

ISSN 3154-813X (Print)
ISSN 3154-8148 (Online)

Міністерство освіти і науки України
Херсонський державний аграрно-економічний університет



Таврійський науковий вісник

**Серія:
Сільськогосподарські науки**

Випуск 150



Видавничий дім
«Гельветика»
2026

*Рекомендовано до друку вченою радою Херсонського державного аграрно-економічного університету
(Протокол № 16 від 28.08.2026)*

Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2026. Вип. 150. 380 с.

Журнал включений до Переліку наукових фахових видань України відповідно до Наказу МОН України № 928 від 11 червня 2026 року (додаток 11) строком на три роки з 01 червня 2026 року по 31 травня 2029 року з присвоєнням категорії «Б». Кластер: Сільськогосподарські і ветеринарні науки. Спеціальності: Н1 Агрономія, Н2 Тваринництво, Н3 Садово-паркове господарство, Н4 Лісове господарство.

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International
(Республіка Польща)

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа: Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення No 2933 від 24.10.2024 року. Ідентифікатор медіа R30-05566.

Суб'єкт у сфері друкованих медіа – Херсонський державний аграрно-економічний університет
(вул. Стрітенська, буд. 23, м. Херсон, 73006; office@ksaeu.kherson.ua, тел. +38(050) 571-19-13).

Мова видання: українська, англійська, німецька, польська.

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення
StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

Головний редактор:

Аверчев О.В. – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри землеробства, Херсонський державний аграрно-економічний університет.

Члени редакційної колегії:

Валентюк Н.О. – кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу первинного та елітного насінництва, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України;

Гамаюнова В.В. – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувачка кафедри землеробства, геодезії та землеустрою, Миколаївський національний аграрний університет;

Домарацький С.О. – доктор сільськогосподарських наук, професор, заступник директора з наукової та інноваційно-інвестиційної роботи, Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннізнавства та сортовивчення;

Жуйков О.Г. – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри землеробства, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

Лавренко С.О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри землеробства, проректор з наукової роботи та міжнародної діяльності, доцент кафедри землеробства, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

Пічуря В.І. – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

Александр Адамович – доктор сільськогосподарських наук, професор, Латвійський університет біологічних наук та технологій, Латвія;

Еркан Кан – Ph.D., професор, завідувач кафедри аквакультури, факультет рибного господарства, Ізмірський університет Катіпа Челебі; президент та співзасновник Товариства сталого водного дослідження (SSAR), Ізмір, Туреччина;

Славка Христова Калапчісва – доктор філософії, доцент, селекціонер кафедри гороху овочевого, Науково-дослідний інститут овочевих культур імені Маріца, Пловдив, Болгарія;

Етер Карашвілі – кандидат наук, професор, завідувач кафедри мікроекономіки, Тбіліський державний університет імені Іване Джавахішвілі, Грузія;

Катаржина Лип-Вронська – PhD (інженерія), ад'юнкт, асистент-професор, AGH Університет у Кракові, Факультет менеджменту, кафедра управління підприємством, Польща.

ЗЕМЛЕРОБСТВО, РОСЛИННИЦТВО, ОВОЧІВНИЦТВО ТА БАШТАННИЦТВО

AGRICULTURE, CROP PRODUCTION,
VEGETABLE AND MELON GROWING

УДК 634.8 (477.42)

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.1>

ДИНАМІКА ТЕПЛОВИХ РЕСУРСІВ І ФІТОСАНІТАРНІ РИЗИКИ ВИРОЩУВАННЯ ВИНОГРАДУ В ЛІСОСТЕПОВІЙ ЗОНІ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Алексєєвич Т.М. – к.с.-г.н., доцент,
кафедра агрономія та лісове господарство,
Житомирський агротехнічний фаховий коледж
orcid.org/0009-0004-4962-775X

Залевський Р.А. – к.с.-г.н.,
старший викладач кафедри агрономія та лісове господарство,
Житомирський агротехнічний фаховий коледж
orcid.org/0000-0003-3704-3998

Ключевич М.М. – д.с.-г.н., професор,
завідувач кафедри здоров'я природи та якості харчових ресурсів,
Державний університет «Житомирська політехніка»
orcid.org/0000-0003-2711-2566

Венгер О.В. – к.с.-г.н., п.н.с.,
завідувач відділу захисту рослин,
Інститут сільського господарства Полісся
Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0002-2213-4670

Пасічник І.О. – к.с.-г.н.,
викладач циклової комісії загальноосвітньої та загальної підготовки,
Фаховий коледж будівництва, архітектури та дизайну
Поліського національного університету
orcid.org/000-0001-5361-2375

Вигера С.М. – к.с.-г.н.,
доцент кафедри здоров'я природи та якості харчових ресурсів,
Державний університет «Житомирська політехніка»
orcid.org/0009-0005-5682-8856

Представлено результати комплексного оцінювання динаміки теплових ресурсів і пов'язаних із ними фітосанітарних ризиків вирощування винограду в лісостеповій зоні Житомирської області в умовах змін клімату. Метою дослідження було встановлення



© Алексєєвич Т.М., Залевський Р.А., Ключевич М.М., Венгер О.В., Пасічник І.О., Вигера С.М., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

закономірностей зміни суми активних температур повітря понад 10°C упродовж 1991–2020 рр. і визначення їхнього впливу на можливість вирощування сортів винограду різних строків досягання, а також на потенційний розвиток комплексу шкідливих організмів. Дослідження виконано на основі багаторічних даних метеорологічних спостережень із використанням статистичного аналізу показників теплозабезпечення території та оцінювання ймовірності досягнення необхідної суми активних температур для досягання винограду. Встановлено стійке підвищення теплових ресурсів регіону: середня сума активних температур зросла з 2602°C у 1991–2000 рр. до 3130°C у 2011–2020 рр., що свідчить про істотне покращення агрокліматичних умов для культури. Доведено формування стабільно сприятливих умов для вирощування дуже ранніх, ранніх і ранньо-середніх сортів винограду, ймовірність досягання яких упродовж останнього десятиліття досягла 100 %. Для сортів середнього строку досягання встановлено істотне підвищення ймовірності визрівання, тоді як для середньо-пізніх, пізніх і дуже пізніх сортів теплозабезпечення залишається недостатнім для гарантованого отримання стабільного врожаю. Показано, що поряд із розширенням агрокліматичного потенціалу регіону підвищення температурного режиму сприяє зростанню фітосанітарних ризиків, пов'язаних із розвитком грибних хвороб, збільшенням чисельності шкідників та активізацією бур'янів. Обґрунтовано необхідність систематичного фітосанітарного моніторингу, адаптації сортименту винограду до сучасних кліматичних умов і вдосконалення інтегрованих систем захисту рослин. Отримані результати можуть бути використані для наукового обґрунтування розвитку виноградарства в північних регіонах України, оптимізації сортової політики та підвищення ефективності технологій вирощування культури в умовах змін клімату.

Ключові слова: виноград, вирощування, зміна клімату, хвороби, шкідники, бур'яни, Лісостеп, Житомирська область.

Aleksieievych T.M., Zalevskiy R.A., Kliuchevych M.M., Venher O.V., Pasichnyk I.O., Vyhera S.M. Trends in thermal resources and phytosanitary risks associated with grape cultivation in the Forest-Steppe zone of Zhytomyr region

This paper presents the results of a comprehensive assessment of the dynamics of thermal resources and the associated phytosanitary risks in grape cultivation in the forest-steppe zone of Zhytomyr Oblast under conditions of climate change. The aim of the study was to identify patterns in changes to the sum of active air temperatures above 10°C during the period 1991–2020 and to determine their impact on the suitability of growing grape varieties with different ripening times, as well as on the potential development of a complex of harmful organisms. The study was conducted on the basis of long-term meteorological observation data, utilising statistical analysis of the territory's heat supply indicators and an assessment of the probability of reaching the required sum of active temperatures for grape ripening. A sustained increase in the region's thermal resources has been observed: the mean sum of active temperatures rose from $2,602^{\circ}\text{C}$ in 1991–2000 to $3,130^{\circ}\text{C}$ in 2011–2020, indicating a significant improvement in the agroclimatic conditions for the crop. It has been demonstrated that consistently favourable conditions have developed for the cultivation of very early, early and early-mid grape varieties, the probability of which reaching maturity over the last decade has reached 100 per cent. For mid-season varieties, a significant increase in the probability of ripening has been established, whilst for mid-late, late and very late varieties, heat availability remains insufficient to guarantee a stable yield. It has been shown that, alongside the expansion of the region's agroclimatic potential, rising temperatures contribute to an increase in phytosanitary risks associated with the development of fungal diseases, an increase in pest populations and the proliferation of weeds. The need for systematic phytosanitary monitoring, the adaptation of grape varieties to current climatic conditions, and the improvement of integrated plant protection systems has been demonstrated. The results obtained can be used to provide a scientific basis for the development of viticulture in the northern regions of Ukraine, to optimise varietal policy and to improve the efficiency of cultivation techniques in the context of climate change.

Key words: grapes, cultivation, climate change, diseases, pests, weeds, Forest-Steppe, Zhytomyr Oblast.

Актуальність теми дослідження. Зміни клімату є одним із провідних чинників трансформації агроєкосистем, що суттєво впливають на умови вирощування

винограду. Основним показником теплозабезпеченості території є сума активних температур повітря понад 10°C, яка визначає проходження фенологічних фаз, формування врожаю та досягнення ягодами технологічної стиглості. За М. О. Лазаревським, потреба в сумі активних температур становить: для дуже ранніх сортів – 2200–2400°C, ранніх – 2400–2600°C, середніх – 2700–2800°C, пізніх і дуже пізніх – 2800–3000°C і більше [1–3].

Підвищення температурного режиму в Україні сприяє зростанню теплозабезпеченості та розширенню потенційного ареалу виноградарства, зокрема в лісостеповій зоні Житомирської області [2]. Водночас потепління змінює фітосанітарний стан насаджень, створюючи сприятливі умови для розвитку грибних хвороб, поширення шкідників і бур'янів, чисельність та шкідливість яких значною мірою залежать від температурних умов [4, 5].

Незважаючи на наявні дослідження, комплексна оцінка багаторічної динаміки теплових ресурсів і пов'язаних із нею фітосанітарних ризиків для умов Житомирської області залишається недостатньо вивченою. Це зумовлює необхідність уточнення придатності території для вирощування сортів винограду різних строків досягання та наукового обґрунтування рекомендацій в умовах сучасних кліматичних змін.

Постановка проблеми. Метою дослідження є оцінювання динаміки теплових ресурсів лісостепової зони Житомирської області та їхнього впливу на розвиток виноградних насаджень і їх фітосанітарний стан. Для цього проаналізовано зміни суми активних температур і тривалості вегетаційного періоду у 1991–2020 рр., визначено сучасний рівень теплозабезпеченості культури та потенційні фітосанітарні ризики вирощування винограду.

Методика досліджень. Для характеристики термічних умов використовували середні багаторічні дані метеорологічної станції м. Житомир (Лісостепова зона) за 30 років (з 1991 по 2020). Аналізували середню, максимальну та мінімальну суми активних температур повітря понад 10°C. Теплозабезпечення сортів винограду визначали за формулою Н. Чегодаєва:

$$P_i = (m_i - 0,3) : (n + 0,4) \times 100\%,$$

де P_i – забезпеченість показника (%);

m_i – порядковий номер елементів статистичного ряду;

n – кількість членів ряду.

Результати досліджень. За даними метеоспостережень (табл. 1) середні суми активних температур повітря понад 10°C за вказані десятиліття відповідно склали 2602, 2809 і 3130°C. У цілому в останньому десятилітті сума температур порівняно з першим підвищилася на 528°C. Збільшилися за вказаними періодами максимальна і мінімальна суми температур (відповідно перший показник – на 593°C, другий – на 495°C).

Таблиця 1

**Теплові ресурси лісостепової зони Житомирської області
(сума активних температур понад 10°C), °C**

Показник	1991–2000 рр.			2001–2010 рр.			2011–2020 рр.		
	макс.	мін.	сер.	макс.	мін.	сер.	макс.	мін.	сер.
Сума активних температур понад 10°C	2937	2303	2602	2977	2466	2809	3530	2798	3130
Амплітуда (макс.–мін.)	634°C			511°C			732°C		

Аналіз багаторічних даних суми активних температур повітря понад 10°C у лісостеповій зоні Житомирської області за три суміжні десятиліття – 1991–2000, 2001–2010 та 2011–2020 рр. – засвідчує стійку тенденцію до зростання теплозабезпечення вегетаційного періоду, яка простежується за всіма досліджуваними показниками: максимальним, мінімальним і середнім значеннями (табл. 1, рис. 1, 2, 3).

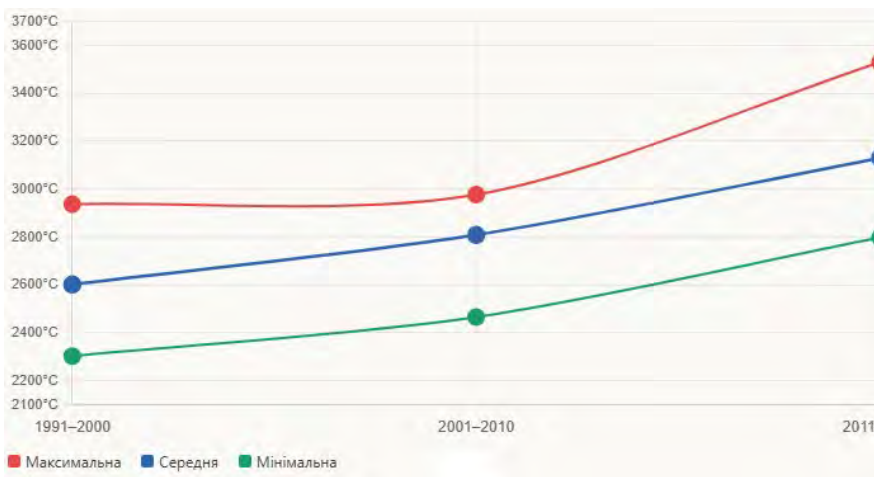


Рис. 1. Динаміка середніх значень суми активних температур понад 10°C за десятирічні періоди

Динаміка середньої суми активних температур упродовж 1991–2020 рр. характеризувалася стійким зростанням: від 2602°C у 1991–2000 рр. до 2809°C у 2001–2010 рр. і 3130°C у 2011–2020 рр. Загальний приріст за 30-річний період становив 528°C (20,3 %), або в середньому близько 176°C за десятиріччя, що свідчить про суттєве покращення теплозабезпечення території для вирощування винограду.

Водночас підвищення температурного режиму зумовлює зростання фітосанітарних ризиків. Подовження вегетаційного періоду та збільшення теплових ресурсів створюють сприятливі умови для розвитку збудників хвороб, прискорюють проходження їхніх циклів розвитку та підвищують інтенсивність інфекційного процесу. За таких умов зростає ризик раннього розвитку мілдью й оїдіуму, які є найбільш шкочинними хворобами винограду.

Отримані результати свідчать про стійку тенденцію до підвищення теплозабезпечення, оскільки кожне наступне десятиріччя характеризувалося вищими значеннями суми активних температур, ніж попереднє. Максимальні значення цього показника також зросли з 2937°C у 1991–2000 рр. до 2977°C у 2001–2010 рр. і 3530°C у 2011–2020 рр. Загальний приріст становив 593°C (20,2 %), причому найбільше збільшення ($+553^{\circ}\text{C}$) відбулося в останньому десятиріччі, що свідчить про зростання частоти аномально теплих вегетаційних сезонів (табл. 2).

Мінімальні значення суми активних температур зросли з 2303°C у 1991–2000 рр. до 2466°C у 2001–2010 рр. і 2798°C у 2011–2020 рр. Загальний приріст становив 495°C , або 21,5 %, що свідчить про більш інтенсивне зростання мінімальних значень порівняно з максимальними та поступове пом'якшення умов вегетаційного періоду.

Таблиця 2

Зведений аналіз динаміки температурного показника за десятиліттями

Показник	1991–2000	2001–2010	2011–2020	Приріст за 30 р.
Максимальна	2937	2977	3530	+593°C (+20,2%)
Середня	2602	2809	3130	+528°C (+20,3%)
Мінімальна	2303	2466	2798	+495°C (+21,5%)
Амплітуда	634	511	732	–

Підвищення мінімальних значень суми активних температур сприяє кращому перезимуванню шкідливих організмів, підвищує виживання зимуючих стадій фітопатогенів і фітофагів, що може зумовлювати зростання початкового інфекційного фону та чисельності шкідників на початку вегетації.

Важливим показником теплового режиму є амплітуда між максимальними та мінімальними значеннями суми активних температур, яка характеризує міжрічну мінливість теплозабезпечення. У 1991–2000 рр. вона становила 634°C, у 2001–2010 рр. зменшилася до 511°C, що свідчило про тимчасову стабілізацію теплового режиму. Проте у 2011–2020 рр. амплітуда зросла до 732°C – найвищого значення за весь період досліджень (рис. 2). Це свідчить, що сучасне потепління супроводжується посиленням міжрічної кліматичної мінливості, коли поряд із загальним зростанням теплозабезпечення зберігаються значні коливання погодних умов. Така нестабільність є важливим фактором ризику для виноградарства, оскільки прохолодні роки можуть обмежувати реалізацію продуктивного потенціалу культури, тоді як теплі роки створюють сприятливі умови для масового розвитку хвороб, шкідників і бур'янів.

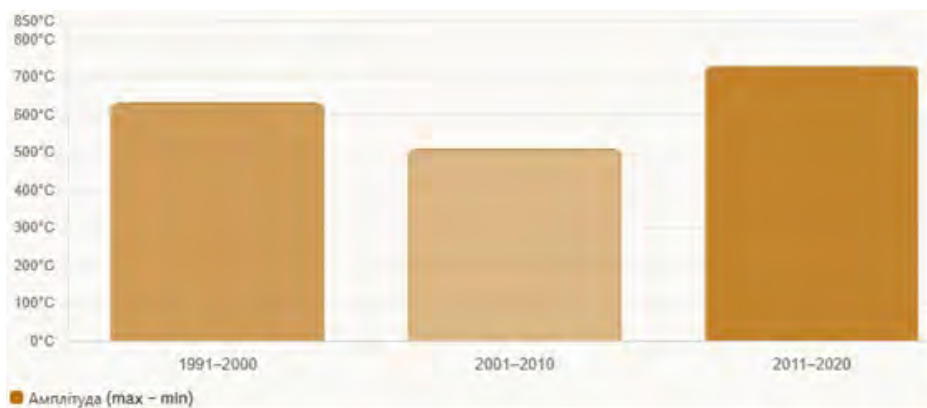


Рис. 2. Амплітуда коливань між максимумом і мінімумом суми активних температур понад 10°C

З позицій агрокліматичного районування виноградарства мінімальна потреба більшості столових сортів у сумі активних температур становить 2800–3000°C. Якщо в першому десятилітті (1991–2000 рр.) середнє значення цього показника (2602°C) не досягало нижньої межі зазначеного діапазону, то у другому (2001–2010 рр.) воно досягло 2809°C, а в третьому (2011–2020 рр.) зросло до 3130°C, перевищивши мінімальні вимоги більшості сортів.

Водночас навіть у 2011–2020 рр. мінімальне значення становило 2798°C, що свідчить про збереження окремих років із граничним рівнем теплозабезпечення. Це підтверджує необхідність урахування міжрічної мінливості температурного режиму під час добору сортименту винограду для умов Житомирської області.

За збереження сучасної тенденції потепління у 2021–2030 рр. середня сума активних температур може зрости до 3300–3400°C, що відповідатиме рівню традиційних виноградарських регіонів України та створюватиме передумови для розширення сортового складу культури.

Разом із тим збільшення міжрічної мінливості температурного режиму свідчить про посилення кліматичної нестабільності, що може ускладнювати прогнозування розвитку шкідливих організмів і потребує впровадження адаптивних технологій вирощування винограду.

Аналіз показників теплозабезпечення винограду в лісостепових районах Житомирської області засвідчив істотне зростання агрокліматичних ресурсів регіону впродовж останніх трьох десятиліть (табл. 3).

Таблиця 3

Теплозабезпечення винограду в лісостепових районах Житомирщини

Групи сортів за термінами досягання	Термін досягання, діб	Сума активних температур повітря понад 10°C	Імовірність суми активних температур понад 10°C, необхідної для досягання винограду, %		
			періоди, роки		
			1991–2000	2001–2010	2011–2020
Дуже ранні	105–115	2300	93	100	100
Ранні	115–125	2500	64	95	100
Ранньо-середні	125–130	2650	45	90	100
Середні	130–140	2750	25	73	90
Середньо-пізні	140–150	2850	16	42	77
Пізні	150–160	2950	7	11	59
Дуже пізні	160 і більше	3000 і більше	0	0	50

Основним критерієм оцінки придатності території для вирощування винограду є сума активних температур повітря понад 10°C, що визначає можливість досягнення ягодами технологічної стиглості.

Встановлено стійке зростання теплозабезпечення території, яке розширює можливості вирощування сортів різних груп стиглості. Імовірність досягнення необхідної суми активних температур для дуже ранніх (2300°C), ранніх (2500°C) і ранньо-середніх сортів (2650°C) зросла відповідно з 93 до 100 %, з 64 до 100 % та з 45 до 100 %, що свідчить про формування стабільно сприятливих умов для їх вирощування (рис. 3).

Для сортів середнього строку досягання (2750°C) цей показник підвищився з 25 до 90 %, що підтверджує перспективність їх вирощування. Для середньо-пізніх (2850°C), пізніх (2950°C) і дуже пізніх сортів також відзначено позитивну динаміку (до 77, 59 і 50 % відповідно), однак міжрічна мінливість теплозабезпечення залишається значною, що обмежує стабільність їх промислового вирощування.

Це свідчить про появу потенційних можливостей для їх вирощування, хоча й із значним ризиком (рис. 4).

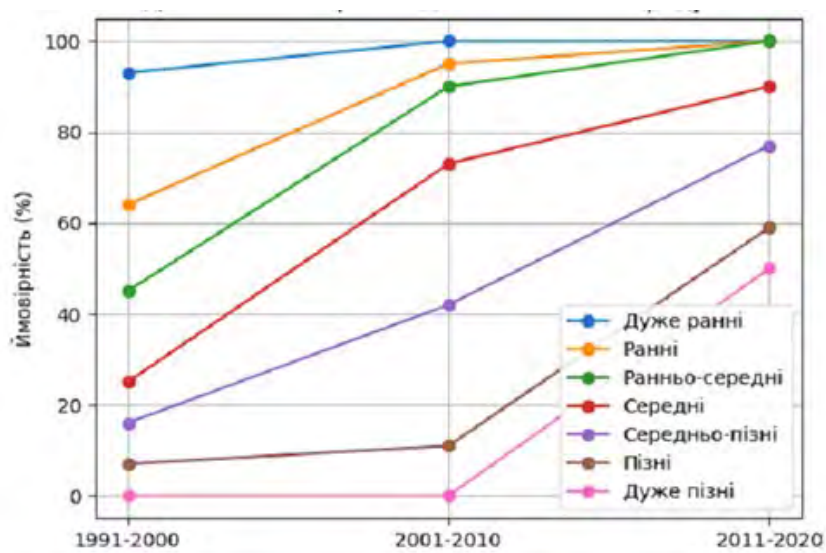


Рис. 3. Динаміка ймовірності досягання винограду, %

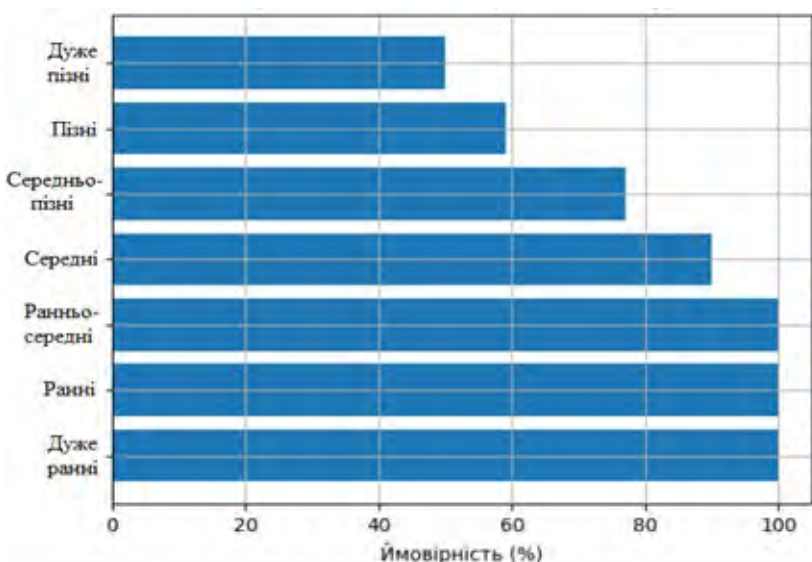


Рис. 4. Ймовірність досягання різних сортів винограду в період 2011–2020 рр.

Аналіз теплозабезпечення показав, що сучасні кліматичні умови забезпечують стабільне досягання дуже ранніх, ранніх і ранньо-середніх сортів винограду. Водночас розширення асортименту за рахунок середніх і середньо-пізніх сортів може супроводжуватися зростанням фітосанітарних ризиків через триваліший період вегетації, що потребує вдосконалення інтегрованої системи захисту рослин.

В умовах кліматичних змін зростає роль бур'янової рослинності як чинника фітосанітарного ризику. Підвищення температури та подовження вегетаційного періоду сприяють активному розвитку бур'янів, зокрема мишію сизого, плоскухи

звичайної, лободи білої, щиріці звичайної, осоту рожевого та берізки польової. Вони не лише конкурують із виноградом за вологу, поживні речовини й світло, а й є резерваторами збудників хвороб і місцями живлення шкідників. Тому контроль бур'янів є важливою складовою інтегрованого захисту виноградних насаджень.

Отже, зміни клімату в лісостеповій зоні Житомирської області покращують теплозабезпечення винограду та розширюють можливості його вирощування, але одночасно підвищують фітосанітарні ризики, що обумовлює необхідність упровадження адаптивних систем захисту рослин.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Установлено стійке зростання суми активних температур повітря понад 10°C, що забезпечує стабільне досягнення дуже ранніх, ранніх і ранньо-середніх сортів винограду. У 2011–2020 рр. імовірність досягнення необхідної суми активних температур для цих груп становила 100 %. Для сортів середнього строку досягнення цей показник зріс з 25 до 90 %, що підтверджує перспективність їх вирощування за сприятливих мікрокліматичних умов. Натомість теплозабезпечення для середньо-пізніх, пізніх і дуже пізніх сортів залишається недостатнім.

Зростання теплових ресурсів одночасно підвищує фітосанітарні ризики через активізацію бур'янів, шкідників і збудників хвороб, що потребує вдосконалення системи фітосанітарного моніторингу та інтегрованого захисту рослин.

Отримані результати підтверджують перспективність розвитку виноградарства в Лісостеповій зоні Житомирської області за умови добору адаптованого сортименту, урахування мікрокліматичних особливостей території та застосування сучасних технологій вирощування і захисту насаджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Дудник М. О., Коваль М. М., Козар І. М. Виноградарство : підручник; за ред. Е. І. Хреновського. Київ : Арістей, 2008. 332 с.
2. Ляшенко Г. В., Мельник Е. Б., Суздалова В. І. Тренди показників ресурсів тепла і вологи в центральних районах виноградарства Північного Причорномор'я. Виноградарство і винарство : міжвідомч. тем. наук. збірник. Одеса : ІВіВ ім. В. Є. Таїрова, 2016. Вип. 53. С. 130–138.
3. Алексєєвич Т. М., Мяснікова Л. М. Добір адаптованих до умов Житомирської області сортів винограду за показниками термічних ресурсів території. Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України. 2009. Вип. 133. С. 306–311.
4. Власов В. В., Ляшенко Г. В., Булаєва Ю. Ю. Вплив зміни клімату на ризики пошкодження винограду заморозками. Збірник тез II Міжнародної науково-практичної конференції «Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти», 10–12 квітня 2019 р. м. Київ; Миколаїв; Херсон : Агроосвіта, 2019. С. 401.
5. Вигера С. М., Ключевич М. М., Ковальчук Р. Л. Обґрунтування новітньої методології забезпечення здоров'я фітоценозів. Moderní aspekty vědy: XLVII. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. P. 166–175.
6. Алексєєвич Т.М., Залевський Р.А., Ключевич М.М., Венгер О.В. Заморозкостійкість рослин столового винограду в умовах Житомирщини. Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2026. Вип. 148. Ч. 1. С. 29–36.

Дата першого надходження статті до видання: 13.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 633.853.494:581.132:631.67:631.847

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.2>

ФОТОСИНТЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТА НАСІННЄВА ПРОДУКТИВНІСТЬ *BRASSICA NAPUS L.* ЗА ВИКОРИСТАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ ТА ЗРОШЕННЯ

Балабаш В.С. – аспірант відділу первинного та елітного насінництва,
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0009-0006-4178-3242

Дробіт О.С. – к.с.-г.н., ст. дослідник,
провідний науковий співробітник відділу первинного та елітного насінництва,
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0002-3633-5828

У статті висвітлено особливості формування фотосинтетичного потенціалу та насіннєвої продуктивності *Brassica napus L.* за використання біопрепаратів в умовах півдня України. Досліджено шляхи оптимізації роботи асиміляційного апарату ріпаку озимого в критичні фази онтогенезу в зрошуваних і неполивних умовах. Доведено, що фотосинтетична діяльність посівів та насіннєва продуктивність культури значною мірою лімітуються абіотичними стресами регіону, які успішно нівелюються за рахунок поєднання штучного зволоження та проведення біостимуляції.

Метою досліджень було встановити особливості фотосинтетичної діяльності та формування насіннєвої продуктивності ріпаку озимого залежно від строків внесення біопрепаратів в зрошуваних і неполивних умовах півдня України. В процесі виконання роботи застосовано польовий, лабораторний, морфолофізіологічний, статистичний методи дослідження.

Чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) ріпаку озимого у міжфазний період «бутонізація – цвітіння» коливалася в межах 5,1–7,7 г/м² за добу під впливом досліджуваних факторів. Зрошення (фактор А) підвищило ЧПФ на 26,8% (до 7,1 проти 5,6 г/м² за добу в неполивних умовах). Застосування біопрепаратів (фактор В) покращувало фотосинтетичну діяльність. Відносно контролю (5,7 г/м² за добу), за використання Триходерміну БТ показник зріс до 6,4 г/м² за добу, Амеломіцину БТ – до 6,6 г/м² за добу. Максимальну ефективність виявив Планриз БТ, який підвищив ЧПФ до 6,7 г/м² за добу (приріст 17,5%, або 1,0 г/м² за добу). Найкращий результат фактором С забезпечила схема обробок «утворення розетки + стеблуння + бутонізація» (6,4 г/м² за добу). Найбільше значення ЧПФ (7,7 г/м² за добу) отримано за поєднання крапельного зрошення та триразового внесення Планриз БТ.

Максимальну насіннєву продуктивність ріпаку озимого – 2,6 т/га за роки проведення досліджень отримали за використання препарату Планриз БТ в фази: утворення розетки + стеблуння + бутонізація за зрошення.

Ключові слова: ріпак озимий, насіння, зрошення, біопрепарат, строк внесення, чиста продуктивність фотосинтезу, врожайність.

Balabash V.S., Drobit O.S. Photosynthetic potential and seed productivity of *Brassica Napus L.* under the application of biological preparations and irrigation

The article presents the peculiarities of the formation of photosynthetic potential and seed productivity of *Brassica napus L.* under the application of biological preparations in the conditions of Southern Ukraine. Approaches to optimizing the functioning of the assimilation apparatus of winter oilseed rape during critical stages of ontogenesis under irrigated and rainfed



© Балабаш В.С., Дробіт О.С., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

conditions were investigated. It was established that the photosynthetic activity of crops and seed productivity are largely constrained by the abiotic stresses characteristic of the region, which can be effectively mitigated through the combined use of irrigation and biostimulation treatments.

The aim of the study was to determine the characteristics of photosynthetic activity and seed productivity formation in winter oilseed rape depending on the timing of biological preparation applications under irrigated and non-irrigated conditions of Southern Ukraine. Field, laboratory, morphophysiological, and statistical research methods were employed.

The net photosynthetic productivity (NPP) of winter oilseed rape during the "budding-flowering" interstage period varied from 5.1 to 7.7 g m⁻² day⁻¹ under the influence of the studied factors. Irrigation (Factor A) increased NPP by 26.8%, reaching 7.1 compared with 5.6 g m⁻² day⁻¹ under rainfed conditions. The application of biological preparations (Factor B) enhanced photosynthetic activity. Compared with the control (5.7 g m⁻² day⁻¹), NPP increased to 6.4 g m⁻² day⁻¹ with Trichodermin BT, and to 6.6 g m⁻² day⁻¹ with Ampelomycin BT. The highest efficiency was demonstrated by Planriz BT, which increased NPP to 6.7 g m⁻² day⁻¹, corresponding to a gain of 17.5% (1.0 g m⁻² day⁻¹). Regarding Factor C, the most effective treatment schedule was "rosette formation + stem elongation + budding," resulting in an NPP of 6.4 g m⁻² day⁻¹. The highest NPP value (7.7 g m⁻² day⁻¹) was obtained under the combination of drip irrigation and triple application of Planriz BT.

The maximum seed productivity of winter oilseed rape during the years of research was 2.6 t ha⁻¹ and was achieved under irrigation with the application of Planriz BT at the growth stages of rosette formation, stem elongation, and budding.

Key words: winter oilseed rape, seed, irrigation, biological preparation, application timing, net photosynthetic productivity, yield.

Актуальність теми дослідження. Ріпак озимий (*Brassica napus* L.) в умовах сьогодення виступає однією з провідних олійних культур України та світу, відіграє важливе продовольче, кормове й енергетичне значення. За сучасного сільськогосподарського виробництва особливої актуальності набуває підвищення насінневої продуктивності посівів ріпаку озимого та одночасне зниження антропогенного навантаження на агроєкосистеми для забезпечення екологічної безпеки вирощування культури [1, с. 35; 2, с. 97].

Використання в технології вирощування ріпаку біопрепаратів є одним із перспективних напрямів інтенсифікації рослинництва. Їх застосування сприяє активізації фізіолого-біохімічних процесів у рослинах, покращенню засвоєння елементів живлення, підвищенню стійкості до абіотичних та біотичних стресів, підвищенню врожайності [3, с. 79; 4, с. 56; 5, с. 6].

Особливий інтерес представляє вплив застосування біопрепаратів на фотосинтетичну діяльність посівів, оскільки ефективність фотосинтезу являється одним із головних чинників накопичення органічної речовини та реалізації продуктивного потенціалу культури [6, с. 42; 7, с. 232].

В умовах кліматичних флуктуацій та зростання дефіциту вологи важливого значення набуває вирощування ріпаку озимого за використання зрошення. Можливість оптимізації водного режиму сприяє формуванню потужного асиміляційного апарату та підвищенню інтенсивності фотосинтетичних процесів. Насьогодні комплексний вплив застосування біопрепаратів і зрошення на фотосинтетичну продуктивність посівів *Brassica napus* L. в умовах півдня України залишається недостатньо вивченим та потребує подальших наукових досліджень [8, с. 114; 9, с. 878].

У зв'язку з цим вивчення особливостей формування фотосинтетичного потенціалу, формування насінневої продуктивності посівів ріпаку озимого на півдні України залежно від застосування біопрепаратів в зрошуваних умовах є актуальним науковим і практичним завданням, спрямованим на розроблення оптимальних елементів технології вирощування культури.

Постановка проблеми. Нинішній розвиток аграрного виробництва потребує впровадження екологічно безпечних та ресурсозберігаючих технологій

виращування сільськогосподарських культур, які забезпечують стабільно високий рівень урожайності та якості продукції. Однією з таких культур є ріпак озимий (*Brassica napus* L.), продуктивність якого значною мірою залежить від ефективності фотосинтетичної діяльності рослин протягом вегетаційного періоду [10, с. 123; 11, с. 176].

Формування врожаю ріпаку озимого безпосередньо пов'язане з розвитком листкової поверхні, накопиченням сухої речовини та інтенсивністю процесів фотосинтезу. За сучасних умов господарювання особливого значення набуває пошук агротехнологічних заходів, спрямованих на підвищення ефективності використання рослинами сонячної енергії, водних і поживних ресурсів. Одним із перспективних шляхів вирішення цієї проблеми є застосування біопрепаратів, які здатні стимулювати ріст і розвиток рослин, активізувати фізіолого-біохімічні процеси та підвищувати адаптаційний потенціал культури [12, с. 176].

За зрошення, де створюються сприятливі умови для росту та розвитку рослин, недостатньо дослідженими залишаються особливості впливу біопрепаратів на формування фотосинтетичного апарату ріпаку озимого, показники фотосинтетичного потенціалу, чистої продуктивності фотосинтезу та накопичення органічної речовини. Відсутність достатньої кількості експериментальних даних щодо ефективності використання біопрепаратів за зрошення обмежує можливості вдосконалення технології виращування культури та повнішої реалізації її генетичного потенціалу [13, с. 8; 14, с. 19].

У зв'язку з цим виникає необхідність комплексного вивчення впливу біопрепаратів на фотосинтетичну продуктивність посівів *Brassica napus* L. в умовах зрошення з метою обґрунтування ефективних елементів технології виращування культури та підвищення її продуктивності.

Методика досліджень. Метою було встановити особливості фотосинтетичної діяльності та процесу формування насінневої продуктивності ріпаку озимого сорту Чорний велетень залежно від строків внесення біопрепаратів в зрошуваних і неполивних умовах півдня України.

Науково-дослідну роботу виконували протягом 2023–2025 рр. на базі ПП «ГСП» Березівського району Одеської області. Ґрунтовий покрив ділянки проведення польового дослідження представлений чорноземами. Польові спостереження, відбір зразків ґрунту та біомаси рослин, а також їхню лабораторну підготовку здійснювали у відповідності до методик проведення польового дослідження [15, с. 58; 16, с. 114].

Трифакторний польовий дослід закладали методом розщеплених ділянок із рендомізованим розміщенням варіантів. Агротехніка була загальноприйнята для умов півдня України, за винятком вивчених чинників. Фактор А – умови вологозабезпечення (без зрошення; зрошення); фактор В – біопрепарат (Контроль (без внесення препарату); Амеломіцин БТ; Планриз БТ; Триходермін БТ); фактор С – строки внесення (утворення розетки + стеблування + бутонізація; стеблування + бутонізація).

У межах наукових випробувань застосовували біологічні препарати, розроблені в Інженерно-технологічному інституті «Біотехніка» НААН України. Досліджувані препарати виготовляли за індивідуальним замовленням на основі оригінальних маткових культур, що гарантує їхню високу якість. Використання зазначених засобів у рослинництві забезпечує екологічно безпечний і дієвий захист посівів від фітофагів та збудників хвороб. Продукція ІТІ «Біотехніка» є результатом власних інноваційних розробок установи, яка успішно пройшла регламентні випробування та сертифікована згідно з міжнародними вимогами до ведення органічного сільського господарства.

Результати досліджень. За результатами проведених досліджень встановлено, що впровадження науково обґрунтованих елементів технології вирощування істотно оптимізує формування фотосинтетичного потенціалу та динаміку наростання асиміляційної поверхні посівів *Brassica napus* L. у критичні фази онтогенезу. Застосування біопрепаратів у поєднанні з зрошенням забезпечує стабільне функціонування листкового апарату, підвищує чисту продуктивність фотосинтезу та створює оптимальні фізіологічні умови для максимальної реалізації насінневої продуктивності культури в посушливих умовах півдня України.

Максимальні значення фотосинтетичного потенціалу рослини ріпаку озимого мали у фазу цвітіння. На наступних етапах розвитку поживні речовини активно переміщуються з листя та стебел до майбутнього насіння. Через цей відтік нижні листки починають жовтіти й відмирати, що призводить до поступового зменшення загальної площі фотосинтезу посівів. Саме тому для об'єктивної оцінки впливу досліджуваних факторів розрахунок чистої продуктивності фотосинтезу доцільно проводити в міжфазний період «бутонізація – цвітіння», коли асиміляційний апарат працює з максимальним навантаженням (табл. 1).

Таблиця 1

Чиста продуктивність фотосинтезу ріпаку озимого у міжфазний період «бутонізація – цвітіння» залежно від досліджуваних факторів, г/м³ за добу (середнє за 2024–2025 рр.)

Фактор А, умови волого- забезпечення	Фактор В, біопрепарат	Фактор С, строк внесення		В середньому по фактору		
		утворення розетки + стеблуння + бутонізація	стеблуння + бутонізація			
		А	В	С		
без зрошення	контроль (без внесення препарату)	5,2	5,1	5,6	5,7	6,4 6,3
	Ампеломіцин БТ	5,8	5,7		6,6	
	Планриз БТ	5,9	5,7		6,7	
	Триходермін БТ	5,6	5,5		6,4	
зрошення	контроль (без внесення препарату)	6,2	6,2	7,1		
	Ампеломіцин БТ	7,5	7,3			
	Планриз БТ	7,7	7,4			
	Триходермін БТ	7,4	7,2			
Оцінка істотності часткових відмінностей: НІР ₀₅ г/м³ за добу А = 1,23; В = 0,74; С = 0,49						
Оцінка істотності середніх (головних) ефектів: НІР ₀₅ г/м³ за добу А = 0,42; В = 0,26; С = 0,18						

У міжфазний період «бутонізація – цвітіння» чиста продуктивність фотосинтезу ріпаку озимого суттєво залежала від умов зволоження, застосування біопрепаратів та строків їх внесення. Впродовж 2024–2025 рр. показник чистої продуктивності фотосинтезу змінювався в межах від 5,1 до 7,7 г/м² за добу. Максимальні значення чистої продуктивності фотосинтезу – 7,7 г/м² за добу – отримано за умов

зрошення та застосування препарату Планриз БТ у строки «утворення розетки + стеблування + бутонізація».

Використання зрошення (фактор А) сприяло істотному підвищенню чистої продуктивності фотосинтезу. На неполивних ділянках середнє значення показника становило $5,6 \text{ г/м}^2$ за добу, тоді як на зрошуваних – зросло до $7,1 \text{ г/м}^2$ за добу, тобто на $1,5 \text{ г/м}^2$ за добу або на $26,8 \%$. Що підтверджує визначальну роль оптимального водозабезпечення у процесі формування фотосинтетичної активності посівів ріпаку озимого. Встановлено позитивний вплив біопрепаратів (фактор В) на інтенсивність фотосинтезу. У середньому, значення показника на контролі дорівнювали $5,7 \text{ г/м}^2$ за добу, в той час як застосування Ампеломіцину БТ підвищувало його до $6,6 \text{ г/м}^2$ за добу, Планриз БТ – до $6,7 \text{ г/м}^2$ за добу, а Триходерміну БТ – до $6,4 \text{ г/м}^2$ за добу. Найбільш ефективним виявився біопрепарат Планриз БТ, застосування якого забезпечило приріст на $1,0 \text{ г/м}^2$ за добу порівняно з контролем, що становить близько $17,5 \%$. За фактором С (строк внесення) варіант «утворення розетки + стеблування + бутонізація» забезпечив максимальну чисту продуктивність фотосинтезу – $6,4 \text{ г/м}^2$ за добу. Більш ранній початок обробок сприяв незначному підвищенню фотосинтетичної активності рослин, однак його вплив був значно слабшим порівняно із зрошенням та застосуванням біопрепаратів.

Математичний аналіз підтверджує статистично достовірний вплив чинників на чисту продуктивність фотосинтезу ріпаку озимого. Найбільший ефект виявлено за фактором А (зрошення), де приріст показника склав $1,5 \text{ г/м}^2$ за добу. Дія біопрепаратів (фактор В) також є математично доведеною, оскільки збільшення продуктивності відносно контролю виявилось більшим за межу випадкових відхилень ($0,26 \text{ г/м}^2$ за добу). Різниця між строками внесення препаратів склала $0,1 \text{ г/м}^2$ за добу і була меншою за НІР₀₅ для фактору С ($0,18 \text{ г/м}^2$ за добу), що свідчить про незначний вплив фактора.

Встановлено істотний вплив зрошення на формування чистої продуктивності фотосинтезу рослин ріпаку озимого (рис. 1). У 2024 році значення показника дорівнювали $5,2 \text{ г/м}^2$ за добу без зрошення та $6,8 \text{ г/м}^2$ за добу за зрошення, а у 2025 році – відповідно $6,0$ та $7,4 \text{ г/м}^2$ за добу.

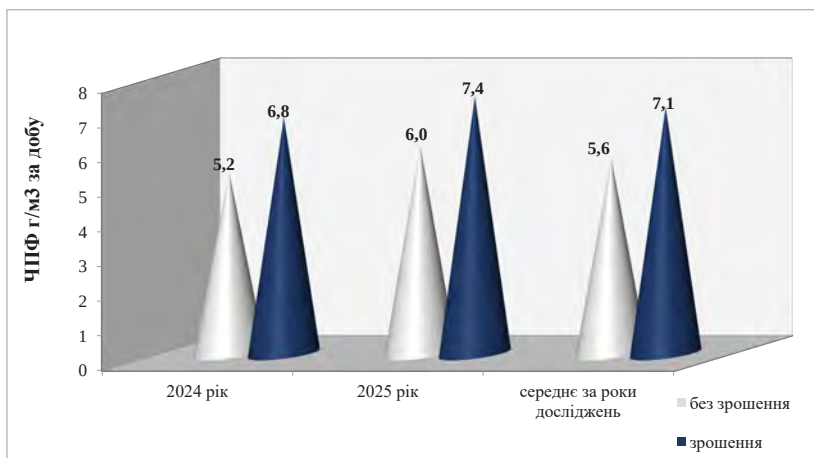


Рис. 1. Вплив зрошення на чисту продуктивність фотосинтезу у міжфазний період «бутонізація-цвітіння», г/м^2 за добу

У середньому за роки досліджень ЧПФ дорівнювала $5,6 \text{ г/м}^2$ за добу без зрошення та $7,1 \text{ г/м}^2$ за добу – в зрошуваних умовах. Фактор зрошення забезпечив приріст показника на $1,5 \text{ г/м}^2$ за добу, або $26,8 \%$, що свідчить про покращення фотосинтетичної діяльності рослин та створення сприятливіших умов для формування насінневої продуктивності вивчаємої олійної культури.

Дані рисунка 2 свідчать про позитивний вплив біопрепаратів на ЧПФ ріпаку озимого у міжфазний період «бутонізація – цвітіння». У 2024 році на контрольному варіанті показник становив $5,1 \text{ г/м}^2$ за добу, тоді як застосування Ампеломіцину БТ, Планриз БТ та Триходерміну БТ сприяло його підвищенню до $5,7$; $5,8$ та $5,5 \text{ г/м}^2$ за добу відповідно. У 2025 році спостерігалось подальше зростання чистої продуктивності фотосинтезу: на контролі вона становила $6,3 \text{ г/м}^2$ за добу, за використання Ампеломіцину БТ – $7,4$, Планриз БТ – $7,5$, а Триходерміну БТ – $7,3 \text{ г/м}^2$ за добу. Застосування біопрепаратів забезпечило підвищення чистої продуктивності фотосинтезу до $6,6 \text{ г/м}^2$ за добу за використання Ампеломіцину БТ, $6,7 \text{ г/м}^2$ за добу – Планриз БТ та $6,4 \text{ г/м}^2$ за добу – Триходерміну БТ. Найвищу ефективність продемонстрував Планриз БТ, який забезпечив приріст показника на $1,0 \text{ г/м}^2$ за добу, або $17,5 \%$ порівняно з контролем.

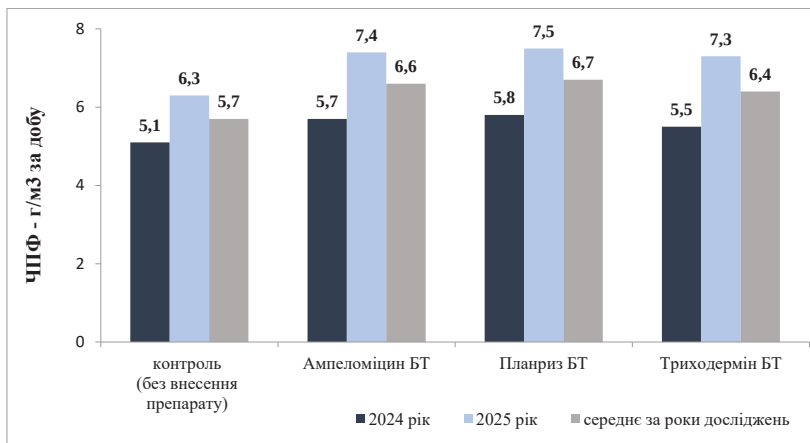


Рис. 2. Вплив застосування біопрепаратів на чисту продуктивність фотосинтезу у міжфазний період «бутонізація-цвітіння», г/м^2 за добу

Аналіз експериментальних даних свідчить, що чиста продуктивність фотосинтезу ріпаку озимого суттєво варіювала під впливом гідротермічних умов року та кратності застосування біопрепаратів. У 2024 році інтенсивність фотосинтетичних процесів була нижчою: за трикратної обробки у фазі «утворення розетки + стеблелування + бутонізація» ЧПФ становила $5,6 \text{ г/м}^2$ за добу, тоді як за двократною схемою («стеблелування + бутонізація») цей показник знижувався до $5,4 \text{ г/м}^2$ за добу. Натомість у 2025 році зафіксовано пік фотосинтетичної активності посівів, де аналогічні варіанти обробок забезпечили зростання ЧПФ до $7,2$ та $7,1 \text{ г/м}^2$ за добу відповідно.

В середньому за роки проведення досліджень чітку перевагу мала повна трикратна схема внесення біопрепаратів, яка дозволила досягти найвищого значення чистої продуктивності фотосинтезу на рівні $6,4 \text{ г/м}^2$ за добу проти $6,3 \text{ г/м}^2$ за добу за умов двократного застосування засобів.

Визначальний вплив на формування насіннєвої продуктивності ріпаку озимого мало зрошення (фактор А). Оптимальне водозабезпечення посівів стало вирішальним чинником реалізації генетичного потенціалу культури в умовах дефіциту та нерівномірного розподілу природних опадів протягом вегетації. На зрошуваних ділянках середня врожайність насіння становила 2,3 т/га ($HP_{05} = 0,07$ т/га), що є статистично достовірним показником.

Використання біопрепаратів (фактор В) сприяло підвищенню врожайності насіння культури в усіх варіантах досліду завдяки стимуляції росту коренів, оптимізації живлення та посиленню імунітету рослин. Найвищу продуктивність забезпечило внесення препарату Планриз БТ – 2,3 т/га. Отриманий результат доводить високу ефективність синергетичної взаємодії мікробіологічних засобів та крапельного зрошення.

Строки внесення біопрепаратів (фактор С) суттєво вплинули на врожайність ріпаку. Найвищу ефективність забезпечила триразова обробка у фазі «утворення розетки + стеблування + бутонізація». Ця схема підтримала рослини на всіх етапах органогенезу, підвищила їхню посухостійкість та активізувала формування репродуктивних органів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Встановлено, що поєднання зрошення та застосування біопрепаратів оптимізує етапи розвитку *Brassica napus* L., сприяє збільшенню фотосинтетичного потенціалу та безпосередньо забезпечує високу насіннєву продуктивність культури.

Найбільш вагомим фактором підвищення чистої продуктивності фотосинтезу ріпаку озимого в період «бутонізація – цвітіння» було зрошення, яке забезпечувало приріст майже на 27 %. Серед біопрепаратів найефективнішим виявився Планриз БТ, особливо за поєднання із зрошенням та триразовим внесенням у фазі утворення розетки, стеблування і бутонізації, що дозволили отримати найбільше значення чистої продуктивності фотосинтезу – 7,7 г/м² за добу.

Отримані результати свідчать про доцільність комплексного застосування зрошення та біологічних препаратів для підвищення фотосинтетичної активності й насіннєвої продуктивності посівів ріпаку озимого. Максимальну середню врожайність насіння ріпаку озимого – 2,6 т/га за роки проведення досліджень отримали за використання препарату Планриз БТ в фазі: утворення розетки + стеблування + бутонізація за зрошення.

Перспективи подальших досліджень полягають у глибшому вивченні адаптивного потенціалу фотосинтетичного апарату *Brassica napus* L. до прогресуючої посушливості клімату півдня України. Важливим науково-практичним напрямом є оптимізація систем екологізованого захисту та мікробіологічної стимуляції посівів для підтримки високої чистої продуктивності фотосинтезу, що дозволить мінімізувати деградацію листової поверхні й забезпечить стабільне формування насіннєвої продуктивності ріпаку в умовах зрошення. За результатами проведених досліджень буде запропоновано науково-обґрунтовані рекомендації з технології вирощування ріпаку озимого в зрошуваних і неполивних умовах півдня України, визначено оптимальний строк внесення біопрепаратів, що гарантовано забезпечать високу насіннєву продуктивність культури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Гаврилюк М.М., Салатенко В.Н., Чехов А.В. Олійні культури в Україні. Київ: Основа, 2007. 414 с.
2. Влащук А.М., Дробіт О.С., Шапарь Л.В., Прищепо М.М., Конашук О.П. Оптимізація технології вирощування насіння ріпаку озимого в умовах Південного Степу України. *Аграрні інновації*. 2020. Вип. 2. С. 96–102. URL: <http://agrarian-innovations.izpr.ks.ua/index.php/agrarian/article/view/48/277>

3. Балабаш В.С. Врожайність ріпаку озимого залежно від застосування біопрепаратів на півдні України. *Таврійський науковий вісник*. 2026. Вип. 148, Част. 1. С. 78–86. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.148.1.9>
4. Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А. Озимий ріпак. Рослинництво. Київ: Аграрна освіта, 2003. 593 с.
5. Вожегова Р.А., Пілярська О.О., Марченко Т.Ю., Влашук А.М., Дробіт О.С., Пілярський В.Г. Водоспоживання та урожайність посівів нуту залежно від застосування гербіцидів в умовах південного степу України. *Зрошуване землеробство*. Одеса, 2024. № 81. С. 5–11. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2024.81.1>
6. Балабаш В.С., Вожегова Р.А. Формування насіннєвої продуктивності ріпаку озимого за умов зміни клімату. *Аграрні інновації*. 2025. № 30. С. 41–46. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.30.6>
7. Кононенко Л.М. Панфілова А.В. Манзій О.П. Вміст хімічних складових та продуктивність ріпаку озимого залежно від сортових особливостей у Правобережному Лісостепу України. Вісник Уманського національного університету садівництва. 2022. Вип. 100. Част. 1. С. 231–241. URL: <https://journal.udau.edu.ua/arxiv-nomerv/2022/vipusk-100-chastina-1/vmist-himichnih-skladovih-ta-produktivnist-ripaku-ozimogo-zalezno-vid-sortovih-osoblivostej-u-pravoberezhnomu-lisostepu-ukraini.html>
8. Влашук А.М., Желтова А.Г., Колпакова О.С., Дзюба М.В. Ріпак озимий – як зберегти врожай. *Пропозиція*. 2015. № 5. С. 114–117.
9. Shilan H.S., Hama S J. Effect of NPK and organic fertilizers on yield and seed oil content of rapeseed (Brassica napus L.). *Iraqi journal of agricultural sciences*. 2022. Vol. 53. № 4. P. 878–889. URL: <https://jcoagri.uobaghdad.edu.iq/index.php/intro/article/view/1600>
10. Балабаш В.С., Вожегова Р.А., Влашук А.М., Дробіт О.С. Особливості формування продуктивності ріпаку озимого за використання біопрепаратів. *Сільське господарство і зміни клімату: наукові підходи та інновації для стійкого майбутнього* : матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф., м. Одеса, 16 трав. 2025 р. / Ін-т клімат. опієн. с.-г. НААН, 2025. С. 122–124. URL: <https://icsanaas.com.ua/wp-content/uploads/2025/05/36ірінк-Final.pdf>
11. Ткачук О.П., Разанов С.Ф., Банул С.О. Наукові принципи підбору
1. сортів і гібридів ріпаку озимого. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 7. С. 175–181. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.19>
12. Raisa Vozhehova, Sergii Kokovikhin, Oleksandr Misievych, Anatolii Vlashchuk, Mykola Pryshchepo, Liudmyla Shapar, Pavlo Lykhovyd, Olesya Drobbit, Olena Konashchuk, Viktor Naidionov. Influence of herbicides on seed productivity and sowing qualities of white melilot in the steppe zone of Ukraine. *AgroLife Scientific Journal*. 2019. Vol. 8, No. 2. P. 174–181. URL: <https://agrolifejournal.usamv.ro/index.php/agrolife/article/view/254/253>
13. Балабаш В.С., Вожегова Р.А., Влашук А.М., Дробіт О.С. Оптимізація елементів технології випрошування ріпаку озимого. *Інноваційні аспекти збереження і підвищення родючості ґрунтів у воєнний та повоєнний періоди* : матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф., с. Оброшине, 18 верес. 2025 р. / Ін-т с.-г. Карпат. регіону НААН, 2025. С. 7–9. URL: https://drive.google.com/file/d/1m3u0JSXWSMdTa5iOFFPiC53Fxb-7_H3j2/view
14. Науково-практичні рекомендації з технології вирощування насіння ріпаку озимого в умовах зрошення півдня України. Науково-практичні рекомендації / Вожегова Р.А. та ін. Херсон : Олді+, 2018. 48 с.
15. Ушкаренко В.А., Нікішенко В.Л., Голобородько С.П., Коковіхін С.В. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві і рослинництві : Навчальний посібник. Херсон: Айлант, 2008. 272 с.
16. Вожегова Р.А., Лавриненко Ю.О., Малярчук М.Г. та ін. Методика польових і лабораторних досліджень на зрошуваних землях. Херсон: Грінв Д.С., 2014 р. 285 с.

Дата першого надходження статті до видання: 25.06.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 635.21:631.526:631.524

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.3>

МОРФОЛОГО-ПРОДУКТИВНА КЛАСИФІКАЦІЯ ГНІЗД КАРТОПЛІ ЗА ТОВАРНІСТЮ ЯК ОСНОВА КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ СТРУКТУРИ ВРОЖАЮ

Бердін С.І. – к.с.-г.н., доцент,

доцент кафедри селекції та насінництва імені професора М.Д. Гончарова,

Сумський національний аграрний університет

orcid.org/0000-0002-2337-4107

Баранік Д.А. – аспірант кафедри біотехнологій та хімії,

Сумський національний аграрний університет

orcid.org/0009-0001-0680-6254

Морозов А.Є. – аспірант селекції та насінництва імені професора М.Д. Гончарова,

Сумський національний аграрний університет

orcid.org/0009-0009-8885-170X

У статті розглянуто особливості формування структури врожаю картоплі з позицій практичної оцінки продуктивності рослин у селекції та виробництві. Обґрунтовано, що поряд із загальним рівнем урожайності важливе значення має співвідношення її структурних елементів, зокрема кількості бульб у гнізді та їх середньої маси. Показано, що традиційне використання цих показників окремо не забезпечує повної характеристики продуктивності, оскільки вони відзначаються значною мінливістю та перебувають у тісному взаємокомпенсаторному зв'язку, що ускладнює об'єктивну інтерпретацію результатів досліджень і порівняння селекційного матеріалу.

Метою роботи є обґрунтування та розробка підходу до оцінки структури врожаю картоплі на основі виділення морфолого-продуктивних типів гнізда як інтегральної характеристики формування продуктивності рослин. Установлено, що формування врожаю є результатом складної взаємодії біологічних особливостей сорту, архітекτονіки рослин, інтенсивності фотосинтетичної діяльності та ефективності функціонування донорно-акцепторної системи, яка визначає розподіл асимілятів між органами.

Показано, що співвідношення між кількістю бульб і їх середньою масою відображає різні стратегії реалізації продуктивного потенціалу рослин картоплі. На основі узагальнення літературних даних та системного аналізу запропоновано підхід до класифікації гнізд картоплі за поєднанням цих показників з виділенням базових типів, які деталізуються до п'яти морфолого-продуктивних варіантів.

Встановлено, що однаковий рівень урожайності може формуватися за рахунок різних комбінацій структурних елементів, що свідчить про наявність альтернативних механізмів формування врожаю. Це має важливе значення для селекційної оцінки, оскільки дозволяє більш диференційовано підходити до добору генотипів залежно від напрямів використання культури.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання запропонованого підходу для підвищення точності оцінки структури врожаю, оптимізації селекційного добору та більш обґрунтованої інтерпретації результатів польових досліджень. Застосування морфолого-продуктивних типів гнізда дозволяє виділяти генотипи з оптимальним поєднанням елементів продуктивності, підвищує ефективність селекційної роботи та може бути використане при вдосконаленні технологій вирощування картоплі.

Ключові слова: картопля, структура врожаю, товарність, кількість бульб, середня маса бульби, морфолого-продуктивна класифікація, архітектоніка рослин, моделювання, структура продуктивності.



© Бердін С.І., Баранік Д.А., Морозов А.Є., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

Berdin S.I., Baranik D.A., Morozov A.Ye. Morphological and productivity-based classification of potato tuber nests based on marketability for integrated yield structure assessment

The article examines the features of potato yield structure formation from the perspective of practical assessment of plant productivity in breeding and agricultural production. It is substantiated that, along with the overall yield level, the ratio of its structural components, particularly tuber number per nest and average tuber weight, is of great importance. It is shown that the traditional use of these indicators separately does not provide a comprehensive characterization of productivity, as they are highly variable and exhibit a close compensatory relationship, which complicates the objective interpretation of research results and comparison of breeding material.

The aim of the study is to substantiate and develop an approach to assessing potato yield structure based on the identification of morpho-productivity types of tuber nests as an integral characteristic of plant productivity formation. It has been established that yield formation is the result of a complex interaction of varietal biological characteristics, plant architecture, intensity of photosynthetic activity, and the efficiency of the source-sink system, which determines assimilate distribution among plant organs.

It is demonstrated that the relationship between tuber number and average tuber weight reflects different strategies for realizing the productive potential of potato plants. Based on the generalization of literature data and a systematic approach, a classification of potato nests is proposed according to the combination of these traits, with the identification of basic types further detailed into five morpho-productivity variants.

It has been established that the same yield level can be achieved through different combinations of structural elements, indicating the presence of alternative mechanisms of yield formation. This is of particular importance for breeding evaluation, as it allows a more differentiated selection of genotypes depending on the intended use of the crop.

The practical significance of the obtained results lies in the possibility of applying the proposed approach to improve the accuracy of yield structure assessment, optimize breeding selection, and enhance the interpretation of field experiment results. The use of morpho-productivity nest types makes it possible to identify genotypes with an optimal combination of productivity traits, increases the efficiency of potato breeding, and can be applied in improving potato cultivation technologies.

Key words: *potato, yield structure, marketability, tuber number, average tuber weight, morphological and productivity-based classification, plant architecture, modeling, structure of productivity.*

Актуальність теми дослідження. У науковій літературі структура врожаю картоплі традиційно оцінюється за такими показниками, як загальна кількість бульб, середня маса однієї бульби, товарність, фракційний склад і співвідношення товарної та нетоварної частин урожаю [1–3]. Водночас аналіз лише окремих показників не дозволяє повною мірою охарактеризувати закономірності формування продуктивності, оскільки однакова маса врожаю може формуватися за різного співвідношення кількості бульб, їхнього розміру та частки товарної фракції [4–5].

Сучасні дослідження свідчать, що архітектоніка рослини, зокрема кількість стебел, ступінь галузнення та розвиток листової поверхні, визначають інтенсивність формування стolonів і кількість бульб, а також характер розподілу біомаси між ними [6]. Однак існуючі підходи до оцінки продуктивності здебільшого базуються на окремих показниках і не враховують цілісності процесу бульбоутворення.

У селекційній практиці та експериментальних дослідженнях широко використовуються інтегральні показники, що дозволяють оцінювати генотипи за комплексом ознак [7, 8]. Проте застосування таких підходів без урахування морфолого-продуктивної структури гнізда не забезпечує повного відображення процесів формування врожаю. У зв'язку з цим актуальним є розроблення типології гнізд, яка б поєднувала морфологічні та продуктивні характеристики і відображала особливості реалізації потенціалу бульбоутворення.

Постановка проблеми. На початкових етапах розвитку відбувається ініціація столонів і закладання бульб, що визначає їх потенційну кількість органів запасаєння [10–11]. Подальший етап пов'язаний із ростом і наливом бульб, у процесі якого формується їх маса, фракційна структура [12].

Співвідношення інтенсивності цих процесів визначає характер формування врожаю. За умов високої інтенсивності ініціації бульб при обмеженому надходженні асимілянтів формується велика кількість дрібних бульб, що свідчить про конкуренцію між акцепторами [13]. Натомість за обмеженої кількості бульб і достатнього рівня їх забезпечення формуються більші за розміром бульби [14].

Таким чином, структура врожаю є результатом балансу між кількістю акцепторів і рівнем їх забезпечення ресурсами, що дозволяє розглядати її як інтегральну характеристику функціонування рослини [6, 15].

З огляду на це, окремі показники структури врожаю (кількість бульб, їх маса, товарність) відображають лише часткові аспекти процесу бульбоутворення, тоді як їх поєднання формує цілісну систему [4, 5].

Це створює теоретичні передумови для типізації гнізда як інтегрального прояву продуктивності, що відображає різні стратегії реалізації продуктивного потенціалу рослин [16–18].

Наукова новизна підходу полягає у формалізованому виділенні морфолого-продуктивних типів гнізда як інтегрального показника процесів бульбоутворення, що дозволяє перейти від аналізу окремих ознак до системної оцінки формування врожаю

Метою дослідження є обґрунтування та розробка підходу до оцінки структури врожаю картоплі на основі виділення морфолого-продуктивних типів гнізда як інтегральної характеристики структури врожаю.

Методика досліджень. Дослідження проводили у 2023–2025 рр. в умовах північно-східного Лісостепу України (Сумська область). Об'єктом дослідження були міжвидові гібриди картоплі, які оцінювали за показниками структури врожаю.

Полеві досліді закладали відповідно до загальноприйнятих вимог «Методики проведення експертизи сортів рослин картоплі на придатність до поширення в Україні» [19]. Облік показників здійснювали за індивідуальними рослинами у чотирикратній повторності.

Для кожної облікової рослини визначали:

- загальну кількість бульб (N), шт.;
- кількість товарних (N_t) і нетоварних (N_n) бульб, шт.;
- середню масу бульби (M), г;
- масу бульб з куща (Y), г.

На основі отриманих даних розраховували частку товарних бульб:

$$T = \frac{N_t}{N} \times 100$$

де T – частка товарних бульб, %.

Статистичну обробку результатів досліджень проводили з використанням методів варіаційної статистики. Обчислювали середні значення показників, коефіцієнт варіації (CV , %), а також оцінювали стабільність прояву ознак за роками досліджень [20].

Тип гнізда визначали для кожної рослини на основі співвідношення кількості товарних і нетоварних бульб, значення показника T , середньої маси бульби та загальної продуктивності. Подальше узагальнення здійснювали на рівні гібриду, для якого визначали переважаючий тип гнізда або фіксували його варіабельність.

До нестабільного типу відносили генотипи, у яких спостерігалася зміна типу гнізда за роками або значна варіабельність співвідношення товарних і нетоварних бульб. Переважаючим вважали тип, який формувався у більшості облікових рослин.

Результати досліджень. З біологічної точки зору формування типу гнізда визначається співвідношенням двох основних процесів: ініціації бульб і їх подальшого росту. На етапі ініціації формується потенційна кількість бульб, тоді як у період росту і наливу визначаються їх середня маса, фракційна структура та господарська цінність урожаю. Таким чином, тип гнізда є відображенням функціонування донорно-акцепторної системи рослини, де листовий апарат виступає донором асимілянтів, а бульби – акцепторами.

Практично тип гнізда визначали на основі співвідношення кількості товарних і нетоварних бульб та їх частки у загальному врожаї, а також з урахуванням середньої маси бульби та варіабельності показників за роками досліджень. Тобто з методичної точки зору типізація гнізда базується на принципі домінування відповідних ознак у структурі врожаю та інтеграції кількісних і якісних показників у єдину характеристику [6, 16].

Враховуючи взаємозв'язок між морфологічними особливостями рослин і структурою врожаю, запропоновано виділення морфолого-продуктивних типів гнізда картоплі, що відображають різні варіанти формування кількості та маси бульб (рис. 1).

На підставі викладеного матеріалу для інтегральної оцінки структури врожаю запропоновано виділення п'яти морфолого-продуктивних типів гнізда:

- продуктивно-збалансований тип – $T \geq 50\%$, середня або висока маса бульби;
- кількісно-орієнтований тип – $T < 50\%$, велика кількість бульб, низька їх маса;
- тип з обмеженим бульбоутворенням – низька загальна кількість бульб;
- компенсаторний тип – невелика кількість бульб при підвищеній їх масі;
- нестабільний тип – значна мінливість структури гнізда за роками досліджень.

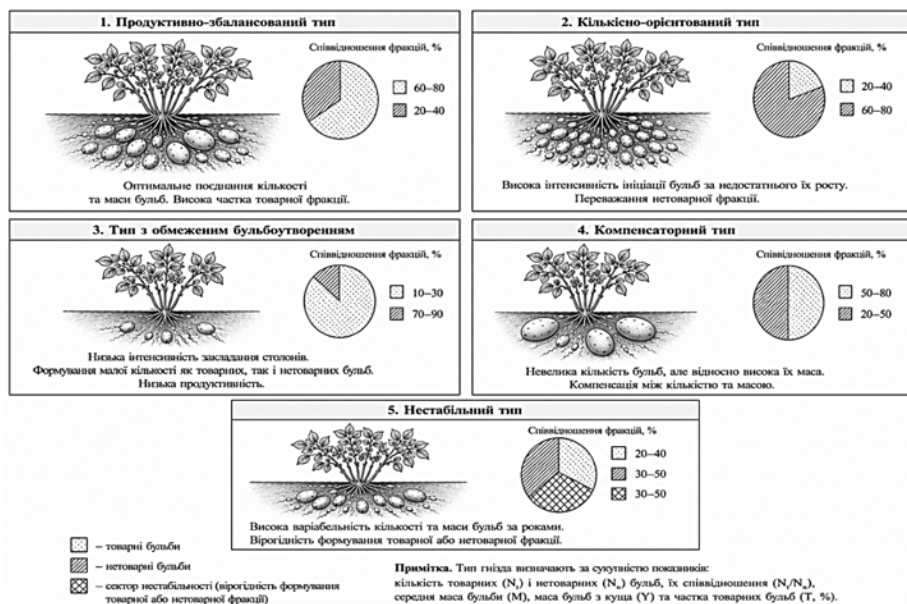


Рис. 1. Морфолого-продуктивні типи гнізда картоплі

Запропоновані типи узгоджуються з сучасними уявленнями про формування врожаю картоплі як результат взаємодії кількості бульб і їх середньої маси, а також відображають варіабельність структури врожаю в залежності від генотипу та умов вирощування [11–13].

Продуктивно-збалансований тип гнізда характеризується приблизно однаковою кількістю товарних і нетоварних бульб або переважанням товарної фракції. Такий тип свідчить про ефективне поєднання процесів бульбоутворення та росту бульб і забезпечує формування вирівняного врожаю з високою часткою товарної продукції.

Кількісно-орієнтований тип формується за умов високої інтенсивності ініціації бульб і характеризується переважанням нетоварної фракції. Для нього властиве утворення великої кількості дрібних бульб унаслідок конкуренції за асимілянти, що свідчить про недостатню збалансованість донорно-акцепторних відносин.

Тип з обмеженим бульбоутворенням характеризується формуванням незначної кількості бульб незалежно від їх фракційної належності, що вказує на низьку інтенсивність закладання столонів і обмежений потенціал продуктивності.

Компенсаторний тип проявляється у формуванні невеликої кількості бульб, але з відносно високою їх масою, що є наслідком перерозподілу асимілянтів і компенсаторної взаємодії між елементами структури врожаю.

Нестабільний тип гнізда характеризується значною мінливістю співвідношення товарних і нетоварних бульб за роками досліджень. У структурі такого типу доцільно виділяти сектор невизначеності, який відображає вірогідність формування товарної або нетоварної фракції, що зумовлено високою залежністю генотипу від умов середовища.

Виділені типи гнізда відображають різні стратегії формування врожаю картоплі та дозволяють більш глибоко охарактеризувати генотипи за ефективністю використання асимілянтів і структурою продукції.

Практичне застосування запропонованого підходу продемонстровано на прикладі розподілу гібридів за типами гнізда у 2023–2025 рр. (табл. 1). Встановлено, що у досліджуваній популяції домінує кількісно-орієнтований тип гнізда (понад 50 %), що свідчить про переважання генотипів, у яких інтенсивне бульбоутворення не супроводжується відповідним ростом бульб [13].

Отримані результати підтверджують, що структура врожаю картоплі формується як результат взаємодії кількості бульб і їх середньої маси, причому різні поєднання цих показників можуть забезпечувати однаковий рівень урожайності [9, 20]. Це свідчить про доцільність використання інтегральних підходів до оцінки бульбоутворення.

Подібні закономірності відзначали й інші дослідники, які вказують на наявність оберненої залежності між кількістю бульб і їх середньою масою, що зумовлено конкуренцією за асимілянти між органами запасання [4].

Водночас виділено гібриди з продуктивно-збалансованим типом гнізда (П2, П3, Г36, Г19), які характеризуються оптимальним поєднанням кількості бульб і їх маси та формують високий рівень товарної продукції. За даними літератури, саме такі генотипи розглядаються як найбільш цінні у селекційному відношенні.

Гібриди з обмеженим бульбоутворенням характеризуються низьким рівнем реалізації продуктивного потенціалу, що узгоджується з результатами досліджень щодо впливу інтенсивності закладання столонів на рівень урожайності [10, 11].

Нестабільний тип гнізда відображає значну мінливість структури врожаю залежно від умов вирощування. Подібні результати підтверджуються роботами, присвяченими оцінці адаптивності та стабільності сортів картоплі.

Таблиця 1

**Розподіл гібридів картоплі за морфолого-продуктивними типами гнізда
(2023–2025 рр.)**

Тип гнізда	Характеристика	Кількість гібридів	Частка, %	Гібриди
Продуктивно-збалансований	товарні $\approx$ або $\geq$ нетоварних	4	$\sim 12\text{--}13$	П2, П3, Г36, Г19
Кількісно-орієнтований	товарні < нетоварних	18	$\sim 55\text{--}58$	П1, Г15, Г4, Г9, Г31, Г32, Г44, Г33, Г34, Г18, Г41, Г3, Г2, Г1, Г5, Г38, Г10 та ін.
Обмежене бульбоутворення	мало товарних і нетоварних	5	$\sim 15\text{--}16$	Г20, Г42, Г22, Г11, Г25
Нестабільний	різна структура по роках	6	$\sim 18\text{--}19$	Г6, Г43, Г37, Г7, Г45, Г16

Таким чином, отримані результати свідчать, що типізація гнізда дозволяє не лише кількісно охарактеризувати структуру врожаю, але й виявити домінуючі стратегії бульбоутворення у популяції.

Запропонований підхід забезпечує можливість переходу від аналізу окремих показників до системної оцінки продуктивності, що дозволяє більш обґрунтовано ідентифікувати генотипи з оптимальною структурою врожаю та визначати напрями селекційного добору [16, 18].

Висновки та перспективи подальших досліджень. Обґрунтовано та запропоновано підхід до оцінки структури врожаю картоплі на основі виділення морфолого-продуктивних типів гнізда за поєднанням кількості бульб і їх середньої маси. Виділено кількісно-орієнтований, компенсаторний тип та збалансований типи гнізда.

Показано, що однаковий рівень урожайності може формуватися за рахунок різних комбінацій структурних елементів, що свідчить про наявність альтернативних механізмів формування врожаю та має важливе значення для селекційної оцінки.

Встановлено, що використання морфолого-продуктивних типів гнізда підвищує інформативність оцінки структури врожаю та може бути ефективно використане у селекційній практиці і при аналізі результатів польових досліджень.

Перспективи подальших досліджень полягають у кількісному обґрунтуванні меж виділених морфолого-продуктивних типів, встановленні їх зв'язку з генотиповими особливостями та адаптивністю рослин, а також у розробці методів інтегральної оцінки продуктивності з використанням кластерного аналізу та регресійних моделей. Доцільним є також вивчення стабільності прояву типів гнізда в різних ґрунтово-кліматичних умовах та їх використання при створенні високопродуктивних і адаптивних сортів картоплі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Jansky S. H., Spooner D. M. *The Evolution of Potato Breeding*. In: *Plant Breeding Reviews*. Vol. 41. Hoboken: John Wiley & Sons, 2018. P. 169–214. DOI: 10.1002/9781119414735.ch4.
2. Taiz L., Zeiger E., Møller I. M., Murphy A. *Plant Physiology and Development*. 6th ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2015. 761 p.
3. Struik P. C. Plant Development in Potato. In: Çalışkan M. E., Bakhsh A., Jabran K. (eds.). *Potato Production Worldwide*. Amsterdam: Elsevier, 2022. P. 57–70. DOI: 10.1016/B978-0-12-822925-5.00025-6.
4. Paul M. J. What are the regulatory targets for intervention in assimilate partitioning to improve crop yield and resilience? *Journal of Plant Physiology*. 2021. Vol. 266. Article 153537. DOI: 10.1016/j.jplph.2021.153537.

5. Haverkort A. J., Struik P. C. Yield levels of potato crops: recent achievements and future prospects. *Field Crops Research*. 2015. Vol. 182. P. 76–85. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.06.002.
6. Gu J., Evers J. B., Lertngim N., Lin R., Driever S. M., Struik P. C. Quantifying differences in plant architectural development between hybrid potato (*Solanum tuberosum* L.) plants grown from two types of propagules. *Annals of Botany*. 2024. Vol. 133, No. 2. P. 365–377. DOI: 10.1093/aob/mcad194.
7. Schittenhelm S., Sourell H., Löpmeier F.-J. Drought resistance of potato cultivars with contrasting canopy architecture. *European Journal of Agronomy*. 2006. Vol. 24, No. 3. P. 193–202. DOI: 10.1016/j.eja.2005.05.004.
8. Hill D., Nelson D., Hammond J., Bell L. Morphophysiology of Potato (*Solanum tuberosum* L.) in Response to Drought Stress: Paving the Way Forward. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 11. Article 597554. DOI: 10.3389/fpls.2020.597554.
9. Devaux A., Goffart J.-P., Petsakos A., Kromann P., Gatto M., Okello J., Suarez V., Hareau G. Global Food Security, Contributions from Sustainable Potato Agri-Food Systems. In: Campos H., Ortiz O. (eds.). *The Potato Crop: Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind*. Cham: Springer International Publishing, 2020. P. 3–35. DOI: 10.1007/978-3-030-28683-5_1.
10. Khan M. S., Hoogenboom G., Gillani S. M., Shah A. S., Khan I., Rahman M. H., El-Sharkawy M. S., Struik P. C. Effects of Planting Date and Genotype on Potato Growth and Yield Determination in a Sub-Tropical Continental Growing Environment. *Potato Research*. 2025. Vol. 68. P. 2357–2394. DOI: 10.1007/s11540-024-09833-x.
11. Aliche E. B., Oortwijn M., Theeuwes T. P. J. M., Bachem C. W. B., van Eck H. J., Visser R. G. F., van der Linden C. G. Genetic mapping of tuber size distribution and marketable tuber yield under drought stress in potatoes. *Euphytica*. 2019. Vol. 215. Article 186. DOI: 10.1007/s10681-019-2508-0.
12. Tessema G. L., Mohammed A. W., Abebe D. T. Genetic variability studies for tuber yield and yield attributes in Ethiopian released potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties. *PeerJ*. 2022. Vol. 10. Article e12860. DOI: 10.7717/peerj.12860.
13. Попроцька І. В. Регуляція донорно-акцепторних відносин у рослин в системі «депо асимілятів – ріст» у процесі проростання : монографія. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. 122 с.
14. Ільчук Ю. Р., Ільчук Р. В. Особливості росту і розвитку ранньостиглих сортів картоплі залежно площі живлення та величини садивної фракції бульб. *Sciences of Europe*. 2021. № 62(2). С. 3–10.
15. Марценюк Я. Ю. Динаміка формування продуктивності картоплі залежно від строків садіння. *Аграрні інновації*. 2024. № 23. С. 112–117. DOI: 10.32848/agrar.innov.2024.23.16.
16. Бондарчук А. А., Колтунов В. А., Олійник Т. М. та ін. *Картоплярство: методика дослідної справи* / за ред. А. А. Бондарчука, В. А. Колтунова. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2019. 625 с.
17. Києнко З. Б., Павлюк Н. В., Барбан О. Б. *Методика проведення експертизи сортів рослин картоплі та груп овочевих, багатих, пряно-смакових на придатність до поширення в Україні* / за ред. С. О. Ткачик. Київ : Цифрове видавництво Українського інституту експертизи сортів рослин, 2016. DOI: 10.21498/978-966-924-576-2.
18. Подгасцький А. А., Баранік Д. А. Взаємозв'язок архітекtonіки куща картоплі з продуктивністю. *Аграрні інновації*. 2025. № 32. С. 286–290. DOI: 10.32848/agrar.innov.2025.32.40.
19. Myronova H., Tymoshchuk T., Voloshyna O., Mazur O., Mazur O. Formation of seed potato yield depending on the elements of cultivation technology. *Scientific Horizons*. 2023. Vol. 26, No. 2. P. 19–30. DOI: 10.48077/scihor.26(2).2023.19-30.
20. Кожушко Н. С., Сахошко М. М., Бердін С. І., Баштовий М. Г., Смілик Д. В. Споживча якість перспективних гібридів картоплі (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Varieties Studying and Protection*. 2020. Т. 16, № 2. С. 156–163. DOI: 10.21498/2518-1017.16.2.2020.209235.

Дата першого надходження статті до видання: 09.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

UDC 631.6/633.2.631.4

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.4>

IMPACT OF FIELD PROTECTIVE FOREST BELTS ON CORN PRODUCTIVITY IN CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE

Viter N.G. – Doctor of Philosophy in Agronomy,
Senior Lecturer at the Department of Ecology and Environmental Protection,
Vinnitsia National Agrarian University
orcid.org/0000-0003-1436-9055

With the presence of highly effective forest shelterbelts, the yield of agricultural crops in adjacent fields can increase by 13% due to the optimization of microclimate parameters: air temperature, humidity, air velocity, soil fertility. Therefore, the tasks we have set are relevant in today's conditions. Considering the effects of climate change, every growing season is extreme; therefore, the potential of field shelterbelts could increase significantly. However, in the present circumstances no studies have been conducted to investigate the limits of the impact of field shelter belts on crop yields. Therefore, our research is highly relevant. The aim of the study is to investigate the actual impact of primary and secondary field shelterbelts on increasing corn yields and to determine the zone of perpendicular spread of their effective influence under conditions of climate change. Investigations were conducted on corn crops at distances of 1 m, 10 m, 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, and 500 m perpendicular to the primary and secondary fieldshelter belts. The studies have shown that primary and secondary field shelterbelts increase corn yields up to a distance of 400 m, raising yields by up to 23%. The highest corn yield is observed at a distance of 200 m from the field shelterbelt. At a distance of up to 10 m from the field shelterbelt, grain yield is 38–66% lower compared to that at 200 m. The average corn yield near a windbreak secondary field shelterbelt at a distance of 0–500 m from it is 2.0% lower than that near the main forest strip. Its positive effect extends up to 300 m, with the highest crop productivity observed at a distance of 100 m. The increase of corn crop productivity due to the influence of the secondary shelter belt is 17%, and no sharp decrease in yield is observed near the shelterbelt at a distance of up to 10 m.

Key words: field shelter belt, species, corn, yield, influence, distance.

Вітер Н.Г. Вплив полезахисних лісосмуг на продуктивність кукурудзи в умовах зміни клімату

Високоєфективні полезахисні лісосмуги, які розташовані на прилеглих до них полях, можуть значно підвищити врожайність сільськогосподарських культур на 13% завдяки оптимізації багатьох параметрів мікроклімату: температури повітря, вологості, швидкості руху повітря, родючості ґрунту. Тому проведені нами спостереження є актуальними. При врахуванні умов глобальних змін клімату відповідно кожен сільськогосподарський рік є екстремальним, тому потенціал полезахисних лісосмуг може значно зростати. Але в умовах сьогодення часу детальні дослідження вивчення меж впливу полезахисних лісосмуг на врожайність сільськогосподарських культур не проводились. Тому проведені нами дослідження стали актуальними.

Мета дослідження – дослідити фактичний вплив основних і допоміжних полезахисних лісосмуг на підвищення врожайності кукурудзи, а також на зону перпендикулярного поширення ефективного впливу в умовах зміни клімату. Спостереження проводились за посівами кукурудзи на відстанях 1 м, 10 м, 100 м, 200 м, 300 м, 400 м, 500 м перпендикулярно до основної та допоміжної полезахисних лісосмуг. Досліджено, що основні та допоміжні полезахисні лісосмуги підвищують врожайність посівів кукурудзи до відстані 400 м від підвищенням її урожайності до 23%. Найвища врожайність кукурудзи на відстані 200 м від лісосмуги. На відстані до 10 м від лісосмуги, врожайність зерна менша на 38–66%, у порівнянні з відстанню у 200 м. Середня врожайність кукурудзи біля продуктивної



© Viter N.G., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

допоміжної лісосмуги на відстані 0–500 м від неї на 2,0 нижча, ніж від основної лісосмуги. Її позитивний ефект простягається на відстань до 300 м з найвищою продуктивністю посівів на відстані 100 м. Підвищення продуктивності посівів кукурудзи від впливу допоміжної лісосмуги складає 17% і не спостерігається дуже різкого зниження врожайності біля допоміжної лісосмуги на відстані до 10 м.

Ключові слова: полезахисна лісосмуга, види, кукурудза, врожайність, вплив, віддаль.

The Relevance of the Research Topic. Shelterbelts are an important component of the forest and agricultural landscape, serving as an effective, long-term, and relatively low-cost measure for combating water and wind erosion of soils. Field shelterbelts have a positive impact on the formation of the microclimate of the territories and increase crop yields [1, c. 56].

Scientists have proven that one hectare of field shelterbelts can effectively protect 20–30 hectares of arable land. Based on these data, millions of hectares of arable land in Ukraine are protected by field shelterbelts, which contributes to the efficient use of land and reduces the costs of crop production. In order to optimize the number of field shelterbelts and to prevent reduction of their total area, it is necessary to plant approximately 6,000–7,000 hectares of field shelterbelts annually for their restoration [2, c. 183].

When highly effective field shelterbelts grow, crop yields in adjacent fields increase by approximately 13% due to the optimization of microclimate parameters, water and nutrient regimes of the soil, and a 1% increase in the area of field shelterbelts makes it possible to obtain an additional 5.3 cwt/ha of grain crop yield. In order to preserve existing or create new field shelterbelts on degraded lands or in areas with poor water conditions, the yield increase can be twice as high. A significant increase in yield will depend on the effectiveness of the current ecological condition of the field shelterbelts [3, c. 229].

Statement of the Problem. Newly established field shelterbelts on agricultural land, when maintained on a permanent basis, represent the only effective and long-term approach to increasing crop yields by improving microclimatic conditions, altering the hydrological regime, and combating soil erosion. Over the past 15–20 years, afforestation efforts in field shelterbelts have decreased again in Ukraine, as these shelterbelts currently lack dedicated owners [4, c. 273].

Field shelterbelts are an important part of the modern agricultural landscape and play a significant role in their functioning, as well as in the development of agroecosystems. Field shelterbelts are unique plantings that differ significantly from other plantings in terms of their location (primary plateau) and structure (narrow strip) [5, c. 85].

Field shelterbelts do not require depreciation, and therefore play a multifunctional role in protecting agricultural lands from adverse natural disasters (droughts, storms, blizzards, water and wind erosion), improving the environment, ensuring crop yields, and increasing soil fertility [6].

Field shelterbelts are classified by structure into primary and secondary belts based on their location according to the prevailing wind directions; they differ not only by location, width, and tree species composition, but also in the methods used to maintain them. The system of primary and secondary field shelterbelts should function as a unified network of forest-reclamation complexes, in which each part complements the others to ensure the ecological protection of the agroecosystem from extreme natural factors. Such features enhance the ecological effect [7, c. 117].

Currently, little is known about the current state of field shelterbelts. The reason for this is that no inventory of field-protective forest belts has been conducted since the mid-1970s. Studies show that Ukraine has 0.43–0.44 million hectares of field shelterbelts. About 13 million hectares of agricultural land are protected by field shelterbelts,

which account for only 30% of the total area of agricultural land in Ukraine. When all types of forest belts are taken into account – roadside, farm-adjacent, forests near water bodies, and forests adjacent to fields and steppes – the total area of agricultural landscapes accounts for 40% of the total area. The area of protective forests for agricultural purposes in Ukraine is 1.5%, while the scientifically justified area is 3.0–3.5% [8, c. 42].

Field shelterbelts in agroecosystems improve ecological, agroforestry, and environmental protection factors and ensure the sustainable functioning of the crop production sector of agricultural activity. However, the current agroforestry infrastructure of field-protective plantings in Ukraine is ineffective. This is evidenced by low crop yields during years with adverse climatic conditions. As a result, ecological and economic losses from soil erosion amount to 9 billion UAH per year [9, c. 84].

Considering the conditions of climate change, practically every agricultural year is extreme, so the potential of field shelter belts can increase significantly. However, for today, no studies have been conducted to determine the extent of the impact of field shelter belts on crop yields under conditions of global warming and climate change. Therefore, the tasks we have set are relevant. [10, c. 82].

Research Methodology. Field observations were conducted during 2024–2025 in Vinnytsia District of Vinnytsia region on agricultural lands protected by blown primary and secondary field shelter belts. The soils are medium-loamy podzolized chernozems. Observations were conducted on corn crops at distances of 1 m, 10 m, 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, and 500 m perpendicular to the primary and secondary fieldshelter belts. [11, c. 182].

The diameter of the corn ear at the base ranged from 5 to 8 cm, depending on the distance to the field shelter belts. The largest diameter was observed at a distance of 10–300 m, and the smallest at a distance of 1 m. Starting at a distance of 400 m from the field shelter belts, the diameter of the corn ear begins to decrease.

It has been proven that, under conditions of sufficient moisture in Ukraine, the planting density for grain corn should not exceed 75,000 plants per hectare. If the density is further increased from 75,000 to 100,000 plants per hectare, the yield will hardly increase at all, and with further increase it will decrease.

Observations of dynamics in corn plant density at various distances from the main field shelter belts showed that it ranged from 71,400 to 100,000 plants per hectare. The highest plant density was observed at distances of 400 and 500 m from the quantity, and the lowest at a distance of 10 m. However, a plant density of 85,700 plants/ha was predominant. This quantity was recorded at distances of 1, 100, 200, and 300 m from the field shelter belts (Table 1).

The height of the corn plants ranged from 200 to 340 cm. The tallest plants were found at the distance of 400 and 500 m from the field shelter belts, where plant density was the highest. The shortest corn plants were found at the distance of 1 m from the field shelter belts, where the effect of trees competing with corn plants for light was evident. Further away from the the field shelter belts, the height of the corn plants increased.

Research results. At all distances from the the field shelter belts, a single ear was found on each corn plant. However, they varied in length and diameter. The length of the ears ranged from 17 to 23 cm. The longest ear was found at distances of 300 and 400 m from the field shelterbelts, and the shortest at a distance of 1 m. The tendency was observed of increasing ear length from a distance of 1 m to 300–400 m, followed by a decrease in this parameter.

Table 1

**Corn crop productivity indicators depending on the distance
to the main field shelterbelt, mid-2024–2025**

Indicators of productivity	Distance from the field shelterbelt, m						
	1	10	100	200	300	400	500
Plant density, thousand plants/ha	85,7	71,4	85,7	85,7	85,7	100,0	100,0
Plant height, cm	200	270	290	320	330	340	340
Number of ears per plant, pcs.	1	1	1	1	1	1	1
Length of the ear, cm	17	20	22	22	23	23	21
Initial diameter of the ear, cm	5	8	8	8	8	6	7
Weight of a thousand seeds, g	235	236	236	236	235	231	228

The diameter of the corn ear at the base ranged from 5 to 8 cm, depending on the distance to the field shelterbelts. The largest diameter was observed at a distance of 10–300 m, and the smallest at a distance of 1 m. Starting at a distance of 400 m from the field shelterbelts, the diameter of the corn ear begins to decrease.

The weight of a thousand of corn seeds ranged from 228 to 236 g. The highest weight was observed in plants growing 10–200 m from the field shelterbelts, while the lowest was observed at a distance of 500 m. There is a trend of increasing the weight of a thousand corn seeds from a distance of 1 m to 10 m from the field shelterbelts; after that, this measure stabilizes and begins to decrease at a distance of 300 m from the field shelterbelt.

Observations of similar parameters for corn crops in relation to the secondary field shelterbelts showed that plant density ranged from 57.1 to 85.7 thousand plants/ha. The highest plant density was observed at distances of 1–100 m from the field shelterbelts, and the lowest at distances of 200 m and 500 m. The plant density of corn near the main field shelterbelt was 16.3% higher than near the secondary field shelterbelt (Table 2).

Table 2

**Corn crop productivity indicators depending on the distance
to the auxiliary forest shelterbelt, mid-2024–2025**

Indicators of productivity	Distance from the field shelterbelt, m						
	1	10	100	200	300	400	500
Plant density, thousand plants/ha	85,7	85,7	85,7	57,1	71,4	71,4	57,1
Plant height, cm	220	270	320	300	320	280	280
Number of ears per plant, pcs.	1	1	1	1	1	1	1
Length of the ear, cm	16	17	23	23	23	17	19
Initial diameter, cm	6	7	7	7	7	6	7
Weight of a thousand seeds, g	235	236	236	236	235	231	228

The height of the corn plants near the secondary field shelterbelt ranged from 220 to 320 cm. The tallest plants were found at distances of 100 and 300 m, and the shortest at a distance of 1 m. An increase in corn plant height was observed from a distance of 1 m to 100 m, and a decrease in height from a distance of 400 m. Corn plants near the main field shelterbelt were found to be 5% taller than those growing near the secondary field shelterbelt. In general, the average height of corn plants near the main field shelterbelt was 4.9% greater (Fig. 1).

The number of ears was similar to that of the corn plants growing near the main field shelterbelt – one per plant. The length of the corn ears near the secondary field shelterbelt

ranged from 16 to 23 cm. The longest ears were found at distances of 100–300 m, while the shortest were found at a distance of 1 m. There is a trend of increasing corn ear length from 1 m to 100 m from the secondary field shelterbelt, followed by stabilization of this indicator over a distance of 100–300 m and a subsequent decrease in length. It was found that the average length of a single corn plant growing near the main field shelterbelt was 6.1% greater than near the secondary field shelterbelt (Fig. 2).

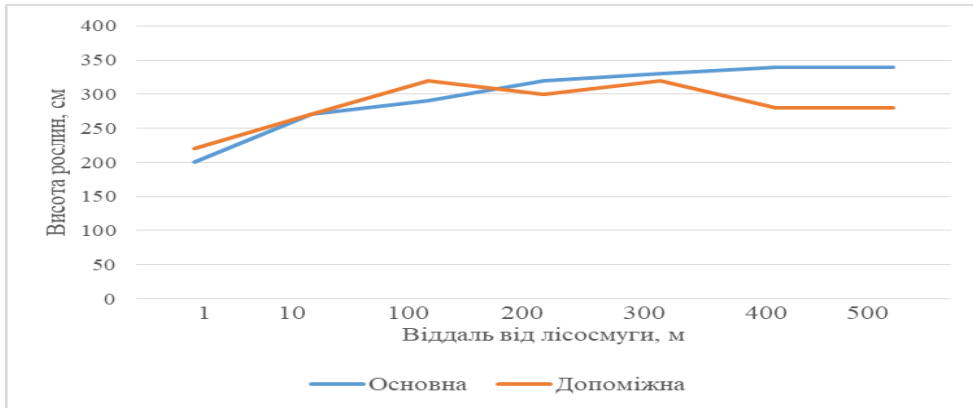


Fig. 1. Dynamics of corn plant height depending on the distance from the main and auxiliary shelterbelt, mid-2024–2025

The diameter of the corn ear was 6–7 cm. The smallest diameter was recorded at distances of 1 and 400 m, while at all the other distances it was 7 cm. The average diameter of the corn ears near the secondary field shelterbelt was 5.4% smaller than near the main one.

The weight of a thousand of corn seeds near the main field shelterbelt ranged from 228 to 236 g. The highest seed weight was observed at distances of 10–200 m, and the lowest at a distance of 400 m. There is a trend of increasing the weight of a thousand of corn seeds from 1 to 10 m, followed by stabilization at a maximum measure over 10–200 m and a subsequent decrease in weight. The weight of a thousand of seeds did not depend on the type of field shelterbelt adjacent to the corn crop.

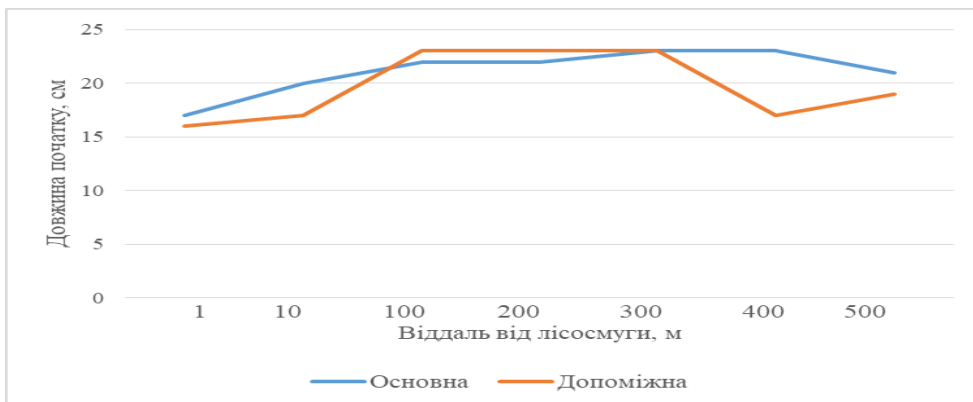


Fig. 2. Dynamics in the length of the ear corn plant depending on distance from the main and secondary field shelterbelts, 2024–2025

Monitoring of corn yields at various distances from field shelterbelts showed that near the main field shelterbelt, grain yields ranged from 2.37 t/ha at a distance of 1 m to 9.03 t/ha at a distance of 300 m from the main which amounted to 33.5%. A trend of increasing yield was observed from 1 m to 300 m, followed by a decrease from 400 to 500 m. A significant increase in corn seed yield was observed from a distance of 10 m to 100 m from the main field shelterbelt, which amounted to 33.5%, and from 1 m to 10 m – 58.2%. At distances of 100 m and 200 m from the main field shelterbelt, the corn grain yield was the same – 8.53 t/ha. At distances from 200 m to 300 m, it increased by another 5.5%. At distances of 300 m to 400 m from the main field shelterbelt, corn grain yield decreased by 19.2%, and from 400 m to 500 m – by another 2.3% (Fig. 3).

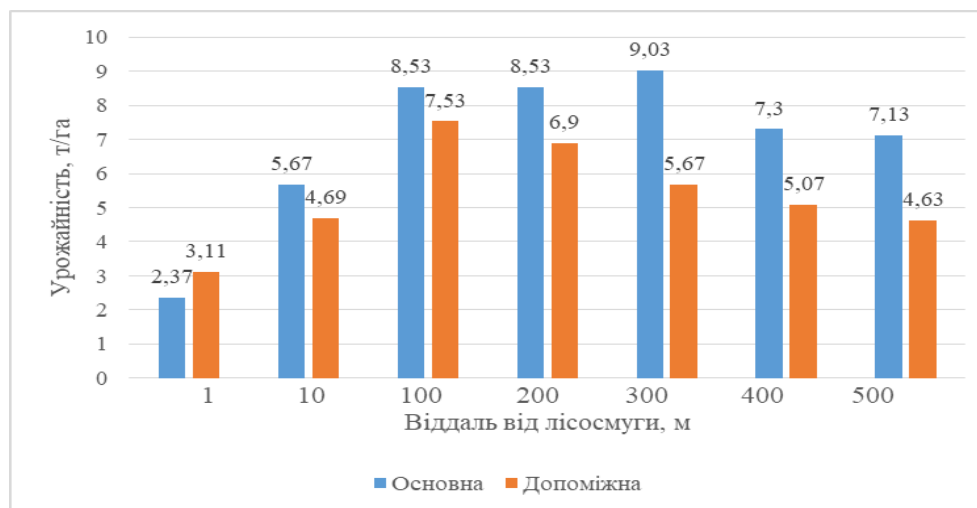


Fig. 3. Dynamics in corn yield depending in distance from field shelterbelts, t/ha, average for 2024–2025

Near the secondary field shelterbelts, corn grain yield ranged from 3.11 t/ha at a distance of 1 m from the shelterbelt to 7.53 t/ha at a distance of 100 m from the shelterbelt. The average corn yield near the main field shelterbelt was 22.6% higher than near the secondary field shelterbelts. Only at a distance of 1 m from the secondary field shelterbelt the corn yield was 23.8% higher than at this distance from the main field shelterbelt. At distances ranging from 1 m to 10 m from the secondary field shelterbelt, corn grain yield increased by 33.7%; from 10 m to 100 m – by 37.7%; from 100 m to 200 m – decreased by 8.4%; from 200 m to 300 m – it was 17.8% lower; at a distance of 300 m to 400 m – it was 10.6% lower, and at a distance of 400 m to 500 m – it decreased by 8.7%.

A moderate positive correlation was found between corn grain yield and the distance of plants from the main field shelterbelt ($r = 0.4962$) with a coefficient of determination $R^2 = 0.2462$, while no correlation was found with the secondary field shelterbelt. It means, as the distance from the main field shelterbelt increases, corn yield increases, but there is no such trend for secondary field shelterbelt. (Fig. 4).

A strong positive correlation was found between corn grain yield and plant height near the main field shelterbelt ($r = 0.8450$); the length of the ear ($r = 0.9413$); and the diameter of the ear ($r = 0.7582$).

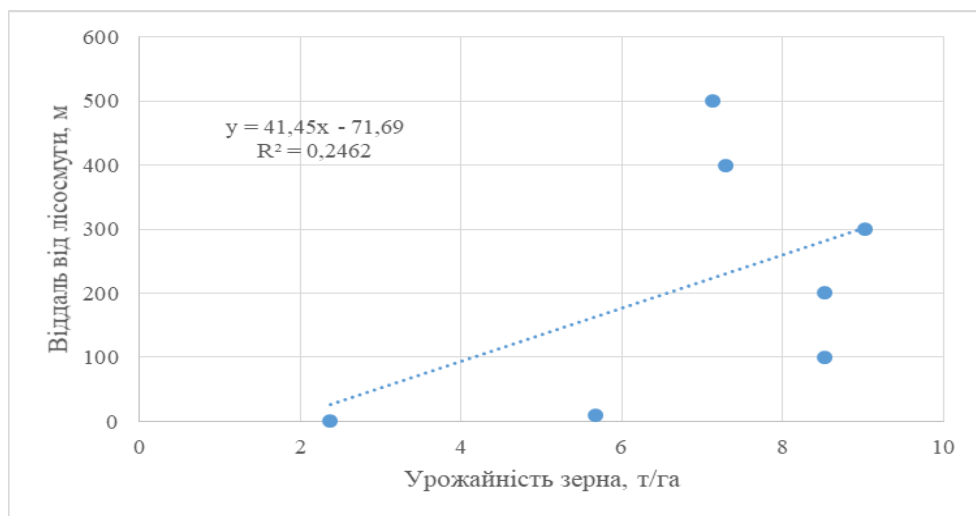


Fig. 4. Correlation-regression dependence and coefficient of determination between corn grain yield and distance from the main field shelterbelt, 2024–2025

A strong positive correlation was established between corn grain yield and plant height near the secondary field shelterbelt $r = 0.8785$; ear length $r = 0.8638$; a moderate positive correlation between corn grain yield and the diameter of the ear base $r = 0.5879$; the weight of 1,000 seeds $r = 0.3360$.

Conclusions and Future Research Directions. The highest corn grain yield was observed at a distance of 300 m from the main blown field shelterbelts, which was 21.0% higher than at a distance of 500 m. Consistently high corn yields were observed at a distance of 100–300 m from the main blown field shelterbelt. The average corn yield near the primary blown field shelterbelt was 22.6% higher than near the secondary blown field shelterbelt. The highest corn grain yield near the secondary blown field shelterbelt was observed at a distance of 100 m from it, with a subsequent decrease.

It is recommended to grow grain corn within 100–300 m from the main blown field shelterbelts, where consistently high yields are achieved, with maximum yields observed at a distance of 300 m.

It is advisable to plant corn near the secondary blown field shelterbelts at a distance of about 100 m, which ensures the highest yield; however, a gradual decrease in productivity with increasing distance from this zone should be taken into account.

REFERENCES:

1. Лукіша В.В. Екологічні функції полезахисних лісових насаджень. Екологічні науки. 2013. № 1. С. 56–64.
2. Ткачук О.П., Панкова С.О. Сільськогосподарські чинники впливу на екологічний стан полезахисних лісосмуг Лісостепу Правобережного. Сільське господарство та лісівництво. 2023. № 1 (28). С. 183–194. DOI: 10.37128/2707-5826-2023-1-13.
3. Максименко М.В., Заїченко Я.С. Агроекологічне значення тривалого існування системи лісосмуг. Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. 2009. Вип. 71. С. 229–236.
4. Юхновський В.Ю. Лісоаграрні ландшафти рівнинної України: оптимізація, нормативи, екологічні аспекти. К.: Інститут аграрної економіки, 2005. 273 с.

5. Піддубна Д. Полезахисні лісові смуги та інші захисні насадження – невід’ємні складові органічного виробництва. Підприємництво, господарство і право. 2016. № 1. С. 85–91.
6. Ткачук О.П., Вітер Н.Г. Екологічні проблеми функціонування полезахисних лісосмуг в умовах зміни клімату. Наукові доповіді НУБіП України. 2022. № 2 (96). URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovid/article/download/16044/1440>.
7. Ткачук О.П., Панкова С.О. Склад і біометричні показники полезахисних лісосмуг центрального Лісостепу. Збалансоване природокористування. 2021. № 4. С. 117–124. DOI: 10.33730/2310-4678.4.2021.253095.
8. Петрович О.З. Полезахисні лісосмуги в контексті впровадження концепції екосистемних послуг. Екосистеми, їх оптимізація та охорона. 2014. Вип. 11. С. 42–29.
9. Миколайко В.П., Кирилук В.П., Козинська П.І. Полезахисні лісові смуги як землі сільськогосподарського призначення. Збалансоване природокористування. 2020. № 2. С. 84–93. DOI :<https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2020.208814>.
10. Ткачук О.П., Панкова С.О. Екологічна стійкість дерев полезахисних лісосмуг до атмосферних забруднень. Збалансоване природокористування. 2021. № 1. С. 82–91. DOI: 10.33730/2310-4678.1.2021.231883.
11. Ткачук О.П., Вітер Н.Г. Вплив полезахисних лісосмуг на продуктивність пшениці озимої в умовах глобального потепління. *Сільське господарство та лісівництво*. 2024. № 3 (34). С. 182–197. DOI:10.37128/2707-5826-2024-16

Дата першого надходження статті до видання: 13.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 633/635, 633.16:631.559

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.5>

ВПЛИВ МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ НА БІОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА ВРОЖАЙНІСТЬ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

Воленчук Є.В. – науковий співробітник,

Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція

Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0009-0000-6294-5825

Вінюков О.О. – д.с.-г.н., професор,

директор,

Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція

Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0000-0002-2957-5487

Бондарева О.Б. – к.т.н., с.н.с.,

учений секретар,

Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція

Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0000-0002-8128-8485

У статті наведено результати досліджень щодо впливу мікробіологічних препаратів на фізіологічні процеси в рослинах та продуктивність ячменю ярого в умовах Північного Степу України. Дослідження проводились у 2023–2025 рр. на дослідному полі ДДСДС НААН України. Методи досліджень – польовий, вимірювальний, розрахунково-порівняльний, математичної статистики. Сорт ячменю ярого Шубін. Технологія вирощування – загальноприйнята для східної частини Північного Степу, крім поставлених на вивчення питань, та відповідає зональним і регіональним рекомендаціям. Обробку насіння проведено біопрепаратами Ризогумін та Ризобіофіт. Найвищі рослини (64,5–65,5 см) та найбільші коефіцієнти продуктивного кущіння (2,0–2,1) були при використанні Ризогуміну для інокуляції насіння та Ризобіофіту для інокуляції насіння та обприскування рослин у фазі кущіння. Встановлено, що при інокуляції насіння препаратами Ризогумін та Ризобіофіт довжина колосу підвищувалась відносно контролю від 0,1 см до 0,6 см, кількість зерен у колосі найбільша була при комплексному застосуванні препарату Ризобіофіт (16,7 шт., або на 1,0 шт. більше за контроль). При комплексному використанні препарату Ризобіофіт (інокуляція насіння + обприскування у фазу кущіння) та при використанні Ризогуміну для інокуляції насіння отримано найвищий коефіцієнт продуктивного кущіння. Інокуляція насіння Ризобіофітом забезпечила найвищу масу 1000 зерен (51,0 г). Позитивний вплив препаратів на показники структури врожаю сприяв отриманню суттєвих та достовірних приростів врожайності порівняно з контрольним варіантом. Запропоновані агротехнічні прийоми вирощування ячменю ярого сприяли покращенню біометричних показників та показників структури врожаю, підвищенню врожайності до 58,7%. Найвищу урожайність 3,65 т/га забезпечила інокуляція насіння препаратом Ризогумін (прибавка 1,35 т/га до контролю).

Ключові слова: ячмінь ярий, мікробіологічні препарати, біометричні показники, показники структури врожаю, урожайність.



Volenshchuk Ye.V., Vinyukov O.O., Bondareva O.B. Influence of microbiological preparations on biometric indicators and yield of spring barley in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine

The article presents the results of studies on the influence of microbiological preparations on physiological processes in plants and the productivity of spring barley in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine. The studies were conducted in 2023–2025 at the experimental field of the DSASS of the NAAS of Ukraine. Research methods - field, measurement, calculation and comparative, mathematical statistics. Spring barley variety Shubin. Cultivation technology – generally accepted for the eastern part of the Northern Steppe, except for the issues raised for study, and met zonal and regional recommendations. Seed treatment was carried out with biological preparations Rhizohumin and Rhizobophyt. The highest plants (64,5–65,5 cm) and the highest coefficients of productive tillering (2,0–2,1) were obtained when Rhizohumin was used for seed inoculation and Rhizobophyt for seed inoculation and spraying of plants in the tillering phase. It was found that when seeds were inoculated with Rhizohumin and Rhizobofit, the length of the spike increased relative to the control from 0,1 cm to 0,6 cm, the number of grains in the spike was the largest with the complex use of the Rhizobofit preparation (16,7 pcs., or 1,0 pcs. more than the control). With the complex use of the Rhizobofit preparation (seed inoculation + spraying in the tillering phase) and when using Rhizohumin for seed inoculation, the highest productive tillering coefficient was obtained. Inoculation of seeds with Rhizobofit provided the highest weight of 1000 grains (51,0 g). The positive effect of the preparations on the yield structure indicators contributed to obtaining significant and reliable yield increases compared to the control option. The proposed agrotechnical methods of growing spring barley contributed to improving biometric indicators and yield structure indicators, increasing yield to 58,7%. The highest yield of 3,65 t/ha was provided by seed inoculation with the drug Rhizogumin (an increase of 1,35 t/ha compared to the control).

Key words: *spring barley, microbiological drugs, biometric indicators, yield structure indicators, yield.*

Постановка проблеми. В умовах східної частини Північного Степу України ячмінь ярий займає значні площі серед зернових культур. Необхідність переходу до адаптивних технологій диктується не тільки організаційними та економічними факторами, але так само і погодними умовами вегетації [1, 2].

Донецький регіон характеризується мінливими погодними умовами з весняно-літніми посухами, високими температурами повітря та поверхні ґрунту, суховіями [3]. В останні роки відбувається різка зміна клімату, що призводить до скорочення міжфазних періодів розвитку зернових колосових культур. Довготривалий бездощовий період з високими температурами повітря і на поверхні ґрунту впливає на ріст та розвиток рослин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз інформаційних джерел результатів іноземних та вітчизняних досліджень свідчить, що важливого значення набуває широке використання агентів біологічного впливу, що передбачає застосування ефективних та екологічно-безпечних стимуляторів росту, мікродобрив та мікробіологічних препаратів, які здатні регулювати процеси життєдіяльності рослин та ґрунтової мікрофлори, спрямовані мобілізувати потенційні можливості, закладені у геномі природою і селекцією [4–6].

Серед біологічних засобів значущу роль відіграють мікробні препарати.

Більшість вчених доводять, що застосування сучасних біопрепаратів разом із внесенням добрив підвищує продуктивність та якість зерна ячменю [7–10]. Ці речовини відіграють вирішальну роль в оптимізації живлення, підвищенні стійкості рослин до різноманітних стресових факторів, таких як високі температури, посухи, хвороби та шкідники.

Передпосівна інокуляція насіння мікробними препаратами є дієвим, екологічно безпечним засобом покращення умов мінерального живлення, росту й розвитку рослин, фітосанітарного стану посівів, підвищення продуктивності вирощування

ячменю [11]. Так, застосування комплексного препарату Мікрогумін шляхом обробки насіння збільшує урожайність ячменю ярого на 14 % [12].

Мікроорганізми відіграють ключову роль у перетворенні складних сполук на прості, які доступні для живлення рослин. В останні роки виробники мікродобрив пропонують саме препарати комплексної дії, оскільки мікроорганізми, на основі яких вони створені, не тільки фіксують азот з атмосфери або розчиняють фосфати ґрунту, але й продукують амінокислоти, ростові речовини та антибіотики, які обмежують розвиток фітопатогенів, не забруднюють навколишнє середовище [13–17]. Це створює необхідність застосування використання мікробних препаратів у технологіях вирощування культурних рослин для передпосівної інокуляції насіння та підживлення.

Постановка завдання. Дослідження спрямовані на розробку нових прийомів догляду за посівами, що забезпечать кращі умови в період вегетації та підвищать резистентність до несприятливих умов зони нестійкого зволоження.

Мета роботи – дослідити вплив мікробіологічних препаратів на фізіологічні процеси в рослинах та продуктивність ячменю ярого в умовах Північного Степу України.

Дослідження проводилися у 2023–2025 рр. на дослідному полі Донецької державної сільськогосподарської дослідної станції НААН України.

Погодні умови 2023 року були достатньо та надмірно вологими, притому що саме травень і червень місяці характеризувалися дуже сильною посухою, яка негативно вплинула на розвиток рослин і формування врожаю.

Метеорологічні умови вегетаційного періоду ярих зернових культур 2024 року виявилися не сприятливими для формування високого врожаю через нестачу вологи, що негативно вплинуло на формування зернівки в колосі озимих та ярих зернових культур. Надлишок опадів в другій декаді червня, що припало на період молочної та молочно-воскової стиглості рослин ярих зернових культур призвели до зниження якості зерна.

Сільськогосподарський 2025 рік виявився вкрай складним за метеорологічними показниками для росту і розвитку рослин зернових культур. Цей період характеризувався дуже низькою вологозабезпеченістю протягом майже всієї вегетації рослин.

Аналіз погодних умов в 2023–2025 рр. засвідчує суттєві коливання температурного режиму та кількості опадів відносно багаторічних показників. Найбільш сприятливим для ячменю ярого був 2023 рік, 2025 рік характеризувалися дефіцитом вологи, а 2024 рік – різкою контрастністю опадів.

Дослідження проводили у багатофакторних польових дослідах, які закладали систематичним способом. Повторність у дослідах – триразова. Площа облікової ділянки становила 80 м².

Сорт ячменю ярого Шубін. Технологія вирощування – загальноприйнята для східної частини Північного Степу, крім поставлених на вивчення питань, та відповідала зональним і регіональним рекомендаціям.

Для формування потужного підземного та наземного апарату рослин було проведено обробку насіння препаратами Ризогумін та Ризобофіт.

Ризогумін – це високоефективний вітчизняний біоінокулянт та добриво для передпосівної бактерізації насіння, який допомагає рослинам отримувати атмосферний азот завдяки симбіозу з бактеріями. Препарат окрім бактерій, містить мікроелементи та стимулятори росту.

Ризобофіт – це високоефективний мікробний інокулянт (біопрепарат) на основі бульбочкових бактерій, призначений для передпосівної обробки насіння.

Він стимулює азотфіксацію, підвищує схожість насіння, стимулює ріст, підвищує вміст білка в зеленій масі, збільшує врожайність і заощаджує витрати на мінеральні добрива.

Основний метод досліджень – польовий, який доповнювався аналітичними дослідженнями, вимірами, підрахунками і спостереженнями відповідно до загальноприйнятих методик [18–20]. Статистична оцінка виконана із застосуванням ППП «ОСГЕ».

Виклад основного матеріалу дослідження. У табл. 1 наведено біометричні показники рослин ячменю ярого під дією мікробіологічних препаратів за роки досліджень.

Таблиця 1

Біометричні показники рослин ячменю ярого

Варіант	Середня висота, см	Кількість продуктивних стебел, шт./м ²	Коефіцієнт продуктивного кущіння
Контроль	61,3	607	1,7
Ризогумін (передпосівна інокуляція)	65,5	650	2,0
Ризобофіт (передпосівна інокуляція)	61,3	634	1,9
Ризобофіт (обприскування кущіння)	63,0	630	1,9
Ризогумін (передпосівна інокуляція) + Ризобофіт (обприскування кущіння)	62,3	628	1,9
Ризобофіт (передпосівна інокуляція + обприскування кущіння)	64,5	638	2,1
НІР ₀₅	3,5	6,1	

Найвищі рослини були при використанні Ризогуміну для інокуляції насіння та Ризобофіту для інокуляції насіння та обприскування рослин у фазі кущіння, прибавка до контролю склала 4,2 см та 3,2 см відповідно.

Найбільший коефіцієнт продуктивного кущіння ми отримали при використанні Ризогуміну для інокуляції насіння та при комплексному використанні препарату Ризобофіт (інокуляція насіння + обприскування у фазу кущіння) – 2,1. Всі інші варіанти забезпечили однакову прибавку стосовно контролю, яка склала 0,2.

Запропоновані препарати позитивно вплинули на підвищення продуктивного кущіння відносно контролю.

У табл. 2 наведено показники структури врожаю, які підтверджують ефективність використання препаратів мікробіологічного походження на ріст та розвиток рослин ячменю ярого.

Так, довжина колосу підвищилась відносно контролю від 0,1 см до 0,6 см, кількість зерен у колосі була найбільша при комплексному застосуванні препарату Ризобофіт (16,7 шт. або на 1,0 шт. більше за контроль), а найменша 16,5 шт. (+ 0,6 шт. відносно контролю) при сумісному використанні Ризогуміну та Ризобофіту.

Найвищу масу 1000 зерен забезпечила інокуляція насіння Ризобофітом, прибавка до контролю склала 7,05 г.

Позитивний вплив препаратів на показники структури врожаю сприяв отриманню суттєвих та достовірних прибавок врожайності порівняно з контрольним варіантом. Найнижча прибавка зерна ячменю ярого відносно контролю була при комплексному використанні препаратів Ризогумін та Ризобофіт – 0,25 т/га або 10,8 %. Найвищу прибавку забезпечила інокуляція насіння препаратом Ризогумін – 1,35 т/га відповідно.

Таблиця 2

Показники структури урожаю залежно від елементу технології

Варіант	Довжина колосу, см	Кіль-ть зерен у колосі, шт.	Маса 1000 зерен, г	Урожайність, т/га
Контроль	5,7	15,7	43,9	2,30
Ризогумін (передпосівна інокуляція)	6,1	16,4	49,5	3,65
Ризобофіт (передпосівна інокуляція)	5,8	16,3	51,0	3,20
Ризобофіт (обприскування кущіння)	5,8	16,2	47,2	2,92
Ризогумін (передпосівна інокуляція) + Ризобофіт (обприскування кущіння)	6,3	16,4	44,7	2,55
Ризобофіт (передпосівна інокуляція + обприскування кущіння)	6,1	16,7	49,4	2,63
НІР ₀₅	0,1	1,2	1,6	0,6

Таким чином, мікробіологічні препарати позитивно вплинули на фізіологічні процеси в рослинах ячменю ярого. Запропоновані агротехнічні прийоми вирощування ячменю ярого сприяли покращенню біометричних показників та показників структури врожаю, підвищенню врожайності до 58,7 %.

Висновки і пропозиції. Дослідження новітніх мікробіологічних препаратів продемонструвало покращення біометричних показників рослин ячменю ярого. Найвищі рослини та найбільші коефіцієнти продуктивного кущіння були при використанні Ризогуміну для інокуляції насіння та Ризобофіту для інокуляції насіння та обприскування рослин у фазі кущіння.

Встановлено, що при інокуляції насіння препаратами Ризогумін та Ризобофіт довжина колосу підвищувалась відносно контролю від 0,1 см до 0,6 см, кількість зерен у колосі найбільша була при комплексному застосуванні препарату Ризобофіт (16,7 шт., або на 1,0 шт. більше за контроль).

Позитивний вплив мікробіологічних препаратів на показники структури врожаю сприяв отриманню суттєвих та достовірних приростів врожайності порівняно з контрольним варіантом. Найвища урожайність одержана при інокуляції насіння препаратом Ризогумін – 3,65 т/га (+1,35 т/га до контролю).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Іващенко О. О., Рудник-Іващенко О. І. Напрями адаптації аграрного виробництва до змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 8. С. 10–12.
2. Сайко В. Ф. Наукові основи землеробства в контексті змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 11. С. 5–10.
3. Вінюков О. О., Бондарева О. Б., Чугрій Г. А. Вплив антропогенних і кліматичних чинників на формування якості продукції ячменю ярого в умовах південно-східного Степу України (с. 345–360). *Climate-smart agriculture: science and practice* : Scientific monograph. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2023. 576 p. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-389-7-17> (дата звернення: 19.06.2026).
4. Вінюков О. О., Балян А. В., Бондарева О. Б., Чугрій Г. А. Актуальні технології підвищення продуктивності зернових культур у східній частині Північного Степу України. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 7. С. 5–14. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202107-01> (дата звернення: 19.06.2026).
5. Чугрій Г. А. Визначення ефективності різних інтенсивних агротехнологій для сталого зерновиробництва ячменю ярого в умовах Степу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. № 3. 2021. С. 18–26. doi: 10.31210/visnyk2021.03.02 (дата звернення: 19.06.2026).

6. Гирка А. Д., Бокун О. І., Мамєдова Е. І. Вплив попередників, мінеральних добрив і біопрепаратів на формування елементів структури врожайності ячменю ярого в Північному Степу України. *Зернові культури*. 2017. Т. 1. № 1. С. 51–55.
7. Вінюков О. О., Чугрій Г. А., Поплевко В. І., Шульдц П., Скнипа Н. Л. Вплив мікробіологічних препаратів на фізіологічні процеси формування зернової продуктивності пшениці озимої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2022. № 2. С. 11–20. doi:10.31210/visnyk2022.02.01 (дата звернення: 19.06.2026).
8. Макуха О. В. Вплив біопрепаратів на ріст і розвиток сортів ячменю ярого в умовах півдня України. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 108. С. 63–91. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.108.9> (дата звернення: 19.06.2026).
9. Волкогон В.В., Надкернична О.В., Ковалевська Т.М. Мікробні препарати у землеробстві. *Теорія і практика*. Київ : Аграрна наука, 2006. 312 с.
10. Гирка А. Д., Вінюков О. О., Андрейченко О. Г., Кулик І. О. Вплив біопрепаратів і регуляторів росту на продуктивність рослин ячменю ярого голозерного та півчастого в умовах північного Степу. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2012. № 3. С. 65–68.
11. Бутурлим Д. А. Вплив мікробних препаратів на урожайність ярого ячменю. *Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі* : зб. тез Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих учених (м. Чернігів, 18–19 берез. 2021 р.). Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2021. С. 298–300. <http://ir.stu.cn.ua/handle/123456789/24581> (дата звернення: 19.06.2026).
12. Пищур І. М., Волкогон К. І., Косенко Л. В. Ефективність мікрогуміну за сумісної обробки насіння ярого ячменю з раксиллом. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2007. Т. 6. С. 77–83. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.6.77-83> (дата звернення: 19.06.2026).
13. Kovalenko O. A. Influence of microfertilizers and bacterial preparations on the productivity of winter barley in the Southern Steppe of Ukraine. *Agrarian innovations*. 2022. No 13. P. 78–86. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.12> (дата звернення: 19.06.2026).
14. Вінюков О. О., Чугрій Г. А. Вплив біопрепаратів на визначення посухостійкості Північного Степу східної частини ярого в умовах рослин ячменю. *Зрошуване землеробство*. 2021. № 75. С. 5–9. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.75.1> (дата звернення: 19.06.2026).
15. Волкогон В. В. Сільськогосподарська мікробіологія в Україні: здобутки, проблеми, перспективи. *Вісник аграрної науки*. 2018. №11. С. 20–27. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-03> (дата звернення: 19.06.2026).
16. Колісник О. М. Вплив технологічних прийомів вирощування на ріст і розвиток ячменю ярого в умовах Лісостепу Правобережного. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. № 1(16). С. 89–107. DOI: 10.37128/2707-5826-2020-1 (дата звернення: 19.06.2026).
17. Gamayunova V., Kuvshinova A. Formation of the main indicators of grain quality of winter barley varieties depending on biopreparations for growing under the conditions of the Southern Steppe of Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. No 22(4). P. 86–92. <https://doi.org/10.12912/27197050/137864> (дата звернення: 19.06.2026).
18. Волкогон В. В., Заришняк А. С., Гриник І. В., Бердніков О. М., Центило Л. В. Методологія і практика використання мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Київ: Аграрна наука, 2011. 156 с.
19. Дідора В. Г., Смаглій О. Ф., Ермантраут Е. Р. Методика наукових досліджень в агрономії: навч. посіб. К.: Центр учбової літератури, 2013. 264 с.
20. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Опришко В. П., Костогриз П. В. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ : Дія, 2005. С. 38–200.

Дата першого надходження статті до видання: 09.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 633.16:631.547:631.53.04

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.6>

ЗАЛЕЖНІСТЬ СТАНУ РОЗВИТКУ РОСЛИН ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ВІД ВПЛИВУ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ НА ПОЧАТКОВИХ ЕТАПАХ ФОРМУВАННЯ АГРОФІТОЦЕНОЗУ

Гораш В.О. – аспірант кафедри рослинництва, селекції та насінництва,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
orcid.org/0009-0004-0310-1672

Мета досліджень – встановити біологічний стан розвитку ячменю ярого на початку процесу куціння рослин в результаті впливу застосованих мінеральних добрив. **Методи.** При проведенні експериментів використано науково-обґрунтовані методи, а саме: лабораторний, аналітичний, конкретизації, узагальнення, статистично-математичний. **Результати.** Доведено, що при вирощуванні ячменю ярого на сірих опідзолених ґрунтах внесенні мінеральні добрива забезпечують істотно кращі результати стану розвитку рослин на початку фази куціння за встановленими біометричними показниками аналізу сирової біомаси, площі листової поверхні та вмісту сухої речовини. **Висновки.** В результаті трірічних досліджень (2024–2026 рр.) доведено залежність між рівнем мінерального удобрення посівів макроелементами та основними біометричними параметрами ячменю ярого за станом розвитку рослин на початку фази куціння. Внесення мінеральних добрив за всіх норм включених в експеримент забезпечило стабільне й математично достовірне збільшення сирової біомаси, сухої речовини рослин та площі асиміляційної поверхні листків порівняно з контрольним варіантом ($N_0P_0K_0$). За результатом динаміки біометричних показників максимальний агрономічний ефект зафіксовано при нормі мінерального добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$. За цього варіанта живлення показники сирової біомаси досягли 586,2 мг, площа листової поверхні становила 658,3 мм², а маса сухої речовини – 135,4 мг, що перевищувало контроль на 76,0 %, 71,7 % та 61,2 % відповідно. Найбільш динамічний крок приросту вегетативної маси та асиміляційної площі рослин в роки досліджень встановлено за оптимізації живлення від норми $N_{15}P_{15}K_{15}$ до $N_{30}P_{30}K_{30}$. Це засвідчує фізіологічну чутливість ячменю до середніх норм макроелементів на ранніх етапах росту та розвитку, де подальше збільшення норм до $N_{45}P_{45}K_{45}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$ сприяє стабільному нарощуванню біометричного потенціалу рослин. Отже, в результаті проведених досліджень встановлено сприятливий вплив застосованого мінерального добрива на реалізацію стартового потенціалу розвитку рослин ячменю ярого на початку фази куціння.

Ключові слова: ячмінь ярий, розвиток рослин, норми мінеральних добрив, фаза куціння, сира біомаса, площа листової поверхні, суха речовина.

Horash V.O. Dependence of spring barley plant development on the influence of mineral fertilizers at the initial stages of agrophytocenosis formation

Purpose. To determine the biological status of spring barley development at the beginning of the tillering stage under the influence of applied mineral fertilizers. **Methods.** The study employed scientifically substantiated research methods, including laboratory, analytical, specification, generalization, and statistical-mathematical methods. **Results.** It was established that the application of mineral fertilizers in spring barley cultivation on gray podzolized soils significantly improved plant development at the beginning of the tillering stage. This was confirmed by biometric indicators, including fresh biomass, leaf surface area, and dry matter content. **Conclusions.** Based on three years of research (2024–2026), a relationship was confirmed between the level of mineral fertilization with macronutrients and the main biometric parameters of spring barley plants at the beginning of the tillering stage. The application of mineral fertilizers at all rates included in the experiment ensured a stable and statistically significant increase in fresh biomass, plant dry matter, and leaf assimilation area compared with the control treatment ($N_0P_0K_0$). According to the



© Гораш В.О., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

dynamics of biometric indicators, the maximum agronomic effect was recorded at the fertilizer rate of $N_{60}P_{60}K_{60}$. Under this nutrition regime, fresh biomass reached 586.2 mg, leaf surface area amounted to 658.3 mm², and dry matter weight reached 135.4 mg, exceeding the control treatment by 76.0%, 71.7%, and 61.2%, respectively. The most intensive increase in vegetative biomass and assimilation area during the study years was observed when fertilizer rates were increased from $N_{15}P_{15}K_{15}$ to $N_{30}P_{30}K_{30}$. This indicates the physiological sensitivity of spring barley to moderate macronutrient rates during the early stages of growth and development. Further increases in fertilizer rates to $N_{45}P_{45}K_{45}$ and $N_{60}P_{60}K_{60}$ contributed to a stable enhancement of the biometric potential of plants. Therefore, the conducted research demonstrated the positive effect of mineral fertilizer application on the realization of the initial growth and development potential of spring barley plants at the beginning of the tillering stage.

Key words: spring barley, plant development, mineral fertilizer rates, tillering stage, fresh biomass, leaf surface area, dry matter.

Постановка проблеми. Ячмінь належить до однієї з найбільш поширених зернових культур, яку вирощують в багатьох країнах світу. Зерно ячменю використовують в якості харчового продукту, кормів для сільськогосподарських тварин, як сировину для виробництва солоду. Вирощене зерно досить поживне і придатне для виготовлення харчових продуктів – борошна, перловки, голландки, ячної крупи. Сухі речовини містять 70–85 % загальних вуглеводів, білка – 10–12 %, жирів – 2–3 %, мінеральних речовин – 2–4 %, інших речовин – 1–2 %. Також ячменю відводиться роль цілющої рослини. Шведські вчені з'ясували, що ячмінна крупа захищає від цукрового діабету другого типу.

Актуальність досліджень полягає в необхідності обґрунтування окремих елементів технології вирощування ячменю ярого на ґрунтах, які належать до типу сірих опідзолених, де вони характеризуються невисоким забезпеченням доступним азотом та рухомим фосфором. Відповідно особливий інтерес щодо забезпечення розвитку агротехнологій вирощування ячменю ярого представляють параметри біологічного стану рослин на початку входження рослин в процес кушення або за термінологією органогенезу при настанні другого його етапу [1, 2]. Це період розвитку, коли розпочинається закладка потенціала продуктивності рослин за кількістю функціональних пагонів та кількістю зернин колоса. Важливо також, що в цьому аспекті підставою для такого формату досліджень є раннє настання можливостей проведення сівби. Зокрема закономірними стали умови в південно-західному Лісостепу для проведення ранньої весняної сівби ячменю ярого з настанням з самого початку весни сприятливих технологічних умов за яких фізичний стан ґрунту забезпечує можливості розпочати польові роботи. Як відомо ячмінь належить до ранніх ярих зернових культур, він витримує короткочасні заморозки до 7–8 °С. За ранніх строків сівби він в процесі проростання ефективно використовує енергетичний ресурс абіотичного середовища. Оцінка впливу мінеральних добрив в результаті їх застосування при вирощуванні ячменю на сірих опідзолених ґрунтах за ранніх строків сівби на ріст та розвиток рослин на початкових етапах формування агрофітоценозу є затребуваним виробництвом в організації такого дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ячмінь звичайний (*Hordeum vulgare*) належить до однієї з найбільш поширених зернових культур. Використовується для різноманітних потреб в народногосподарській діяльності багатьох країн світу. Перш за все як продукт функціонального харчування [3]. Також зерно ячменю використовують для забезпечення виробництва кормів та відповідно годівлі сільськогосподарських тварин. Як культура відомий ячмінь з доісторичних часів. Самі ранні спогади про ячмінь відносяться до документів періоду за

7900 років до нашої ери, які віднайдені в Хузестані. Але вкрай мало інформації про те, як вирощували ячмінь. Існує припущення, що ячмінь був одомашнений більше одного разу. Принаймні одне одомашнення відбулося в межах Родючого Півмісяця, а друге за 1500–3000 км далі на схід [4]. Проте досить детальні інформаційні повідомлення, які торкаються фактично історичної агрономії вирощування ячменю отримані на обломкові дошки. Віком близько 1700 років до нашої ери в Месопотамії в міжріччі Тигр та Євфрат на 109 строчках зазначено клиновидним шрифтом про значну кількість порад, які торкаються питань щодо підготовки ґрунту, оранки, сівби, збирання урожаю, очищення та сортування насіння [5].

Нині вирощування ячменю поширено в країнах помірного клімату. За кількістю виробленого зерна світові обсяги виробництва ячменю за останні сезони демонструють відновлення та коливаються в межах 142–155 млн тонн на рік. Ця культура стабільно посідає 4-те місце в світі за обсягами виробництва серед усіх зернових, поступаючись лише кукурудзі, рису та пшениці. Україна входить до топ-10 світових виробників та утримує сильні позиції в експорті до Китаю та країн Середземномор'я. Левова частка світового врожаю використовується як фуражний ячмінь, який йде на корм для забезпечення потреб годівлі тварин. Ячмінь є незамінною сировиною для виробництва з зерна ячменю ячневих та перлових круп, борошна для забезпечення здорового харчування. Ячмінне зерно містить різноманітні біологічно активні речовини до яких належать у вигляді сполук бета-глюкан, токотрієнол, токоферол та інші флавоноїди, які забезпечують антиоксидантну та проти-запальну дію. Така функціональна дія сприяє зменшенню запалення в людському організмі, особливо коли використовуються ферментовані екстракти з солоду ячмінного зерна [6]. Ячмінь забезпечує малтери сировиною і є основним важливим компонентом у процесі виробництва солоду. Виготовлення солоду залежить від багатьох факторів, включаючи біологічні, технологічні та абіотичні, які зумовлюють якість зерна ячменю. Відповідно мета досліджень полягала у досягненні пивоварної якості солодового потенціалу. В протилежному випадку використання не стандартної якості зерна ячменю для виготовлення солоду потребує не унормованих рішень [7].

В наукових дослідженнях надається увага сорту ячменю ярого як важливому біологічному об'єкту, про що свідчать відповідні публікації [8]. Вирощуванню ячменю на основі органічного землеробства присвячені новітні дослідження в аспекті інноваційних технологій. Автори експериментів використовують мікробні препарати разом із мульчою [9]. Такі дослідження сприятимуть в перспективі виробництву сировини екологічно безпечної для виготовлення продуктів харчування. В аспекті різноманітності досліджень, в процесі переробки зерна ячменю на ячмінні крупи, перловку, виділяється ячмінне лушпиння, це не що інше як побічний продукт. Експериментально встановлено, що лушпиння можна використати для синтезу вуглецевих анодних матеріалів літій-іонних акумуляторів так як воно багате на вуглець та кремнезем. І такі результати досліджень дають підстави стверджувати про альтернативу графіту як традиційному анодному матеріалу та перспективі для розвитку технологій накопичення енергії наступного покоління літій-іонних батарей [10].

В наукових публікаціях висвітлюються також результати впливу на продуктивність ячменю ярого факторів технологічного та абіотичного характеру. Розкрито процес реалізації індивідуальної продуктивності колоса ячменю за кількістю зернин в конкретному ґрунтово-кліматичному середовищі, відповідно впливу умов за різних строків сівби. Отримані результати досліджень фактично представляють

пояснення процесу компенсації рівня урожайності за рахунок зниження редукції генеративних органів колоса ячменю [11]. Встановлено, що при відтермінуванні строку сівби від першого ранньовесняного, відбувається процес достовірного збільшення кількості зернівок в колосі ячменю. В результаті наукових досліджень доведено також істотний вплив на продуктивність колоса ячменю ярого внесених мінеральних добрив та фоліарного застосування мікродобрива «Вуксал». Основні висновки дослідження полягають в тому, що застосовані мінеральні добрива знижують кількість зернин в колосі через формування густішого стеблостою та відповідно більшого виходу зерна з одиниці площі. Встановлено зворотний зв'язок з коефіцієнтом $r = -0,81$. Мікродобрива «Вуксал» підвищують озерненість: триразове позакореневе обприскування за схемою при настанні кушення, вихід у трубку, цвітіння компенсує цей негативний ефект і збільшує кількість зернівок на всіх фонах мінерального живлення. Спільна дія обох факторів характеризується коефіцієнтом кореляції $R = 0,95$ [12].

Методика досліджень. Дослідження проведені впродовж 2024–2026 рр. в Закладі вищої освіти «Подільський державний університет» в умовах Західного Лісостепу України у відповідності до вимог наукової агрономії [13].

Об'єкт дослідження – ячмінь ярий, сорт Себастьян. Мета роботи – встановити біологічний стан розвитку рослин ячменю ярого на початку фази кушіння за різних умов мінерального живлення.

Схема досліду включала такі варіанти застосування мінеральних добрив: $N_0P_0K_0$ (контроль), $N_{15}P_{15}K_{15}$, $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{45}P_{45}K_{45}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$. Для проведення аналізів на початку фази кушіння рослини відбирали разом із кореневою системою, яку згодом ретельно відмивали. Кількість рослин для аналізу в кожній повторності становила 35 шт. Перед зважуванням рослинну масу висушували до повітряно-сухого стану.

Площу листової поверхні визначали методом висічок, сиру біомасу рослин – зважуванням на лабораторних вагах FEN-600L, а масу сухої речовини – термогравіметричним методом за загальноприйнятими методиками [13, 14].

Дослідження проводили на темно-сірому опідзоленому ґрунті. За результатами аналізу ґрунтових зразків дослідна ділянка характеризується такими агрохімічними показниками: реакція ґрунтового середовища – слабокисла (рН 5,6), сума ввібраних основ ($Ca^{2+} + Mg^{2+}$) – 17,0 мг-екс. /100 г ґрунту. Вміст гумусу середній 2,97 %, забезпеченість ґрунту легкогідролізованим азотом низька 128,8 мг/кг ґрунту, рухомими сполуками фосфору середня 56 мг/кг ґрунту, а рухомими сполуками калію дуже висока 245 мг/кг ґрунту.

Для математичної обробки та обґрунтування достовірності результатів досліджень використано t -критерій Стьюдента.

Результати досліджень. У 2024 р. вплив мінеральних добрив на формування сирової біомаси рослин ячменю ярого сорту Себастьян характеризувався чіткою тенденцією: зі збільшенням норм внесення поживних речовин спостерігалось лінійне зростання цього показника (табл. 1).

Зокрема, порівняно з контрольним варіантом ($N_0P_0K_0$) внесення мінімальної норми добрив ($N_{15}P_{15}K_{15}$) забезпечило істотне збільшення сирової біомаси рослин на 55,2 мг (з $358,5 \pm 4,9$ до $413,7 \pm 6,8$ мг) за фактичного значення критерію Стьюдента $t_{\phi} = 6,59$ при $t_{0,05} = 2,02$. Подальше підвищення норми мінерального живлення до $N_{30}P_{30}K_{30}$ порівняно з варіантом $N_{15}P_{15}K_{15}$ призвело до додаткового математично достовірного приросту біомаси на 79,5 мг ($t_{\phi} = 7,74 > t_{0,05} = 2,02$). Аналогічна динаміка простежувалася і при вищих рівнях удобрення. Перехід від норми $N_{30}P_{30}K_{30}$

до $N_{45}P_{45}K_{45}$ сприяв збільшенню маси рослин на $68,4 \text{ мг}$ $t_{\phi} = 6,79 > t_{0,05} = 2,02$. Максимальні показники сирової біомаси зафіксовано на варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$, де вони становили $614,2 \pm 8,1 \text{ мг}$, що на $52,6 \text{ мг}$ вище порівняно з варіантом $N_{45}P_{45}K_{45}$ ($t_{\phi} = 5,07 > t_{0,05} = 2,02$).

Таблиця 1

Біологічний стан розвитку рослин ячменю ярого на початку фази кушіння залежно від норм мінеральних добрив (2024 р.)

Показники	Норма добрив, д. р.				
	$N_{0}P_{0}K_{0}$	$N_{15}P_{15}K_{15}$	$N_{30}P_{30}K_{30}$	$N_{45}P_{45}K_{45}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$
Сира біомаса, мг	$358,5 \pm 4,9$	$413,7 \pm 6,8$	$493,2 \pm 7,7$	$561,6 \pm 6,5$	$614,2 \pm 8,1$
Площа листової поверхні, мм^2	$385,4 \pm 5,8$	$443,7 \pm 6,5$	$533,4 \pm 7,1$	$606,1 \pm 7,5$	$668,6 \pm 10,4$
Суха речовина, мг	$88,6 \pm 3,3$	$99,2 \pm 3,8$	$114,3 \pm 5,5$	$128,1 \pm 3,0$	$136,6 \pm 2,9$

Аналіз розвитку асиміляційного апарату рослин ячменю ярого виявив подібну закономірність: оптимізація умов живлення позитивно впливала на площу листової поверхні. При порівнянні варіантів $N_{0}P_{0}K_{0}$ та $N_{15}P_{15}K_{15}$ різниця становила $58,3 \text{ мм}^2$ на користь підживлення, що є статистично доведеним ($t_{\phi} = 6,69 > t_{0,05} = 2,02$). Збільшення норми до $N_{30}P_{30}K_{30}$ забезпечило площу листків на рівні $533,4 \pm 7,1 \text{ мм}^2$, що суттєво перевищувало попередній показник на $89,7 \text{ мм}^2$ ($t_{\phi} = 9,32$). На варіанті $N_{45}P_{45}K_{45}$ площа листової поверхні досягла $606,1 \pm 7,5 \text{ мм}^2$, продемонструвавши достовірний приріст у $72,7 \text{ мм}^2$ відносно норми $N_{30}P_{30}K_{30}$ ($t_{\phi} = 7,04$). Найбільшу площу фотосинтетичної поверхні сформували рослини на варіанті із внесенням $N_{60}P_{60}K_{60}$ – $668,6 \pm 10,4 \text{ мм}^2$. Істотність відхилення цього результату від показника на варіанті $N_{45}P_{45}K_{45}$ становила $62,5 \text{ мм}^2$ при $t_{\phi} = 4,88 > t_{0,05} = 2,02$.

Динаміка накопичення сухої речовини в рослинах ячменю ярого на початку фази кушіння також перебувала у прямій залежності від рівня мінерального живлення. Застосування добрив у нормі $N_{15}P_{15}K_{15}$ збільшило масу сухої речовини порівняно з контролем на $10,6 \text{ мг}$ ($t_{\phi} = 2,11 > t_{0,05} = 2,02$). Інтенсифікація живлення до норми $N_{30}P_{30}K_{30}$ гарантувала вагоме зростання показника до $114,3 \pm 5,5 \text{ мг}$, що на $15,1 \text{ мг}$ більше за варіант $N_{15}P_{15}K_{15}$ ($t_{\phi} = 2,26 > t_{0,05} = 2,02$). У разі збільшення норми до $N_{45}P_{45}K_{45}$ зафіксовано масу сухої речовини $128,1 \pm 3,0 \text{ мг}$, що на $13,8 \text{ мг}$ перевищувало результат попереднього варіанта ($t_{\phi} = 2,20$). Максимальне накопичення сухої речовини відзначено за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$, де показник досяг $136,6 \pm 2,9 \text{ мг}$. Різниця порівняно з нормою $N_{45}P_{45}K_{45}$ становила $8,5 \text{ мг}$ і була підтверджена математично за допомогою критерію Стюдента ($t_{\phi} = 2,04 > t_{0,05} = 2,02$).

Аналіз експериментальних даних 2025 року підтвердив виявлені раніше закономірності щодо позитивного впливу мінеральних добрив на основні біометричні показники ячменю ярого на початку фази кушіння (табл. 2). Дослідження сирової біомаси рослин засвідчили, що порівняно з контрольним варіантом $N_{0}P_{0}K_{0}$, де цей показник становив $305,1 \pm 5,2 \text{ мг}$, внесення мінімальної норми добрив $N_{15}P_{15}K_{15}$ забезпечило його істотне зростання на $36,3 \text{ мг}$ (до $341,4 \pm 4,3 \text{ мг}$) за фактичного значення критерію Стюдента ($t_{\phi} = 5,38$ при $t_{0,05} = 2,02$). Оптимізація живлення до норми $N_{30}P_{30}K_{30}$ порівняно з варіантом $N_{15}P_{15}K_{15}$ дозволила отримати додатковий достовірний приріст маси рослин на $70,4 \text{ мг}$ ($t_{\phi} = 9,34 > t_{0,05} = 2,02$). Подальше збільшення норми добрив до $N_{45}P_{45}K_{45}$ супроводжувалося вагомим наростанням вегетативної маси – різниця з попереднім варіантом становила $65,3 \text{ мг}$ ($t_{\phi} = 7,64 > t_{0,05} = 2,02$). Максимальну сирову біомасу рослин у 2025 році зафіксовано

на варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$ ($538,3 \pm 8,2$ мг), що на 61,2 мг перевищувало показники за норми $N_{45}P_{45}K_{45}$ при статистично доведеному ($t_{0,05} = 6,06$).

Закономірне збільшення асиміляційної поверхні ячменю ярого також перебувало у прямій залежності від насиченості посівів елементами живлення. Застосування норми $N_{15}P_{15}K_{15}$ збільшило площу листків порівняно з контролем на $62,4$ мм² ($t_{\phi} = 8,36 > t_{0,05} = 2,02$). На варіанті $N_{30}P_{30}K_{30}$ площа листової поверхні досягла $515,5 \pm 8,3$ мм², що забезпечило суттєву різницю в $82,8$ мм² відносно попередньої норми ($t_{\phi} = 8,69$). Внесення добрив у нормі $N_{45}P_{45}K_{45}$ гарантувало подальший розвиток листового апарату до $587,3 \pm 7,1$ мм², що на $71,8$ мм² більше за показники варіанта $N_{30}P_{30}K_{30}$ ($t_{\phi} = 6,58$). Максимальну площу фотосинтетичної поверхні сформували рослини за норми $N_{60}P_{60}K_{60}$ – $638,3 \pm 9,9$ мм², що на $51,0$ мм² достовірно вище порівняно з варіантом $N_{45}P_{45}K_{45}$ ($t_{\phi} = 4,19 > t_{0,05} = 2,02$).

Таблиця 2

Біологічний стан розвитку рослин ячменю ярого на початку фази кушіння залежно від норм мінеральних добрив (2025 р.)

Показники	Норма добрив, д. р.				
	$N_0P_0K_0$	$N_{15}P_{15}K_{15}$	$N_{30}P_{30}K_{30}$	$N_{45}P_{45}K_{45}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$
Сира біомаса, мг	305,1±5,2	341,4±4,3	411,8±6,2	477,1±5,9	538,3±8,2
Площа листової поверхні, мм ²	370,3±5,8	432,7±4,7	515,5±8,3	587,3±7,1	638,3±9,9
Суша речовина, мг	79,1±2,7	86,9±2,6	102,0±4,4	116,4±4,4	127,5±3,1

Інтенсивність накопичення сухої речовини в тканинах ячменю ярого у фазі кушіння чітко корелювала із рівнем мінерального удобрення. Без внесення добрив маса сухої речовини становила $79,1 \pm 2,7$ мг, тоді як за норми $N_{15}P_{15}K_{15}$ вона істотно зросла на $7,8$ мг ($t_{\phi} = 2,08$). Підвищення норми до $N_{30}P_{30}K_{30}$ стимулювало подальше збільшення сухої маси до $102,0 \pm 4,4$ мг, забезпечивши математично доведену різницю в $15,1$ мг ($t_{\phi} = 2,95 > t_{0,05} = 2,02$). На варіанті $N_{45}P_{45}K_{45}$ цей показник дорівнював $116,4 \pm 4,4$ мг, що свідчить про істотний приріст у $14,4$ мг порівняно з нормою $N_{30}P_{30}K_{30}$ ($t_{\phi} = 2,32$). Найвищу масу сухої речовини рослин відзначено за максимального рівня живлення $N_{60}P_{60}K_{60}$ – $127,5 \pm 3,1$ мг. Різниця порівняно з варіантом $N_{45}P_{45}K_{45}$ становила $11,1$ мг, підтверджуючи високу ефективність інтенсивних норм добрив ($t_{\phi} = 2,06 > t_{0,05} = 2,02$).

Аналіз експериментальних даних 2026 року також підтвердив виявлені раніше закономірності щодо позитивного впливу мінеральних добрив на основні біометричні показники ячменю ярого на початку фази кушіння (табл. 3). Дослідження сирової біомаси рослин засвідчили, що порівняно з контрольним варіантом $N_0P_0K_0$, де цей показник становив $335,7 \pm 5,1$ мг, внесення мінімальної норми добрив $N_{15}P_{15}K_{15}$ забезпечило його істотне зростання на $56,3$ мг (до $392,0 \pm 7,3$ мг) за фактичного значення критерію Стюдента $t_{\phi} = 6,32$ при $t_{0,05} = 2,02$. Оптимізація живлення до норми $N_{30}P_{30}K_{30}$ порівняно з варіантом $N_{15}P_{15}K_{15}$ дала змогу отримати додатковий достовірний приріст маси рослин на $82,6$ мг ($t_{\phi} = 7,58 > t_{0,05} = 2,02$). Подальше збільшення норми добрив до $N_{45}P_{45}K_{45}$ супроводжувалося вагомим наростанням вегетативної маси – різниця з попереднім варіантом становила $71,1$ мг ($t_{\phi} = 6,40 > t_{0,05} = 2,02$). Максимальну сирову біомасу рослин у 2026 році зафіксовано на варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$ – $606,1 \pm 9,3$ мг, що на $60,4$ мг перевищувало показники отримані за норми $N_{45}P_{45}K_{45}$ при статистично доведеному значенні критерію Стюдента $t_{\phi} = 5,03 > t_{0,05} = 2,02$.

Таблиця 3

**Біологічний стан розвитку рослин ячменю ярого на початку фази кущіння
залежно від норм мінеральних добрив (2026 р.)**

Показники	Норма добрив, д. р.				
	$N_0 P_0 K_0$	$N_{15} P_{15} K_{15}$	$N_{30} P_{30} K_{30}$	$N_{45} P_{45} K_{45}$	$N_{60} P_{60} K_{60}$
Сира біомаса, мг	335,7±5,1	392,0±7,3	474,6±8,1	545,7±7,6	606,1±9,3
Площа листової поверхні, мм ²	394,5±7,6	451,7±8,7	528,9±10,1	615,0±10,9	668,1±9,8
Суша речовина, мг	84,4±2,2	97,4±2,4	116,4±2,5	130,4±3,6	142,2±3,7

Закономірне збільшення асиміляційної поверхні ячменю ярого також перебувало у прямій залежності від забезпеченості посівів елементами мінерального живлення. Застосування норми $N_{15} P_{15} K_{15}$ збільшило площу листків порівняно з контролем на 57,2 мм² ($t_{\phi} = 4,95 > t_{0,05} = 2,02$). На варіанті $N_{30} P_{30} K_{30}$ площа листової поверхні досягла 528,9 ± 10,1 мм², що забезпечило суттєву різницю в 77,2 мм² відносно попередньої норми ($t_{\phi} = 5,79 > t_{0,05} = 2,02$). Внесення добрив за норми $N_{45} P_{45} K_{45}$ гарантувало подальший розвиток листового апарату до 615,0 ± 10,9 мм², що на 86,1 мм² більше за показники варіанта $N_{30} P_{30} K_{30}$ ($t_{\phi} = 5,79 > t_{0,05} = 2,02$). Максимальну площу фотосинтетичної поверхні сформували рослини за норми $N_{60} P_{60} K_{60}$ – 668,1 ± 9,8 мм², що на 53,1 мм² достовірно більше порівняно з варіантом $N_{60} P_{60} K_{60}$ ($t_{\phi} = 3,62 > t_{0,05} = 2,02$).

Інтенсивність накопичення сухої речовини в тканинах ячменю ярого у фазі кущіння сильно корелювала із рівнем мінерального удобрення. Без внесення добрив маса сухої речовини становила 84,4 ± 2,2 мг, тоді як за норми $N_{15} P_{15} K_{15}$ вона істотно зросла на 13,0 мг ($t_{\phi} = 4,00 > t_{0,05} = 2,02$). Підвищення норми добрив до $N_{30} P_{30} K_{30}$ стимулювало подальше збільшення сухої маси до 116,4 ± 2,5 мг, забезпечивши математично доведену різницю в 19,0 мг ($t_{\phi} = 5,49 > t_{0,05} = 2,02$). На варіанті $N_{45} P_{45} K_{45}$ цей показник дорівнював 130,4 ± 3,6 мг, що свідчить про істотний приріст у 14,0 мг порівняно з нормою $N_{30} P_{30} K_{30}$ ($t_{\phi} = 3,20 > t_{0,05} = 2,02$). Найвищу масу сухої речовини рослин відзначено за максимального рівня живлення $N_{60} P_{60} K_{60}$ – 142,2 ± 3,7 мг. Різниця порівняно з варіантом $N_{45} P_{45} K_{45}$ становила 11,8 мг, підтверджуючи високу ефективність інтенсивних норм добрив ($t_{\phi} = 2,29 > t_{0,05} = 2,02$).

Аналіз узагальнених експериментальних даних за три роки досліджень (2024–2026 рр.) свідчить про стійку закономірність позитивного впливу мінеральних добрив на комплекс біометричних показників ячменю ярого на початку фази кущіння (табл. 4). Проведений аналіз показав сильний кореляційний зв'язок залежності між параметрами біологічного стану розвитку рослин ячменю ярого на початку фази кущіння та нормами мінеральних добрив. Встановлені коефіцієнти кореляції для показників: сирової біомаси рослин $R = 0,94$; площі листової поверхні $R = 0,99$ та вмісту сухих речовин в рослинах $R = 0,95$.

Дослідження сирової біомаси рослин засвідчили, що порівняно з контрольним варіантом $N_0 P_0 K_0$, де цей показник становив 333,1 мг, внесення мінімальної норми добрив $N_{15} P_{15} K_{15}$ забезпечило його істотне зростання на 49,3 мг до 382,4 мг. Оптимізація живлення до норми $N_{30} P_{30} K_{30}$ порівняно з попереднім варіантом дала змогу отримати додатковий приріст маси рослин на 77,5 мг до 459,9 мг. Подальше збільшення норми добрив до $N_{45} P_{45} K_{45}$ супроводжувалося вагомим наростанням вегетативної маси до 528,1 мг – різниця становила 68,2 мг. Максимальну сирову біомасу рослин у середньому за три роки зафіксовано на варіанті $N_{60} P_{60} K_{60}$ – 586,2 мг, що на 58,1 мг перевищувало показники за норми $N_{45} P_{45} K_{45}$.

Таблиця 4

**Агробіологічний стан розвитку ячменю ярого на початку фази кущіння
залежно від норм застосованих мінеральних добрив
(середнє за 2024–2026 рр.)**

Показники	Норма добрив, д. р.				
	$N_0P_0K_0$	$N_{15}P_{15}K_{15}$	$N_{30}P_{30}K_{30}$	$N_{45}P_{45}K_{45}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$
Сира біомаса, мг	333,1	382,4	459,9	528,1	586,2
Площа листової поверхні, мм ²	383,4	442,7	525,9	602,8	658,3
Суха речовина, мг	84,0	94,5	110,9	125,0	135,4

Закономірне збільшення асиміляційної поверхні ячменю ярого також перебувало у прямій залежності від насиченості посівів елементами живлення. Застосування норми $N_{15}P_{15}K_{15}$ збільшило площу листків порівняно з контролем на 59,3 мм² (до 442,7 мм²). На варіанті $N_{30}P_{30}K_{30}$ площа листової поверхні досягла 525,9 мм², що забезпечило різницю в 83,2 мм² відносно попередньої норми. Внесення добрив у нормі $N_{45}P_{45}K_{45}$ гарантувало подальший розвиток листового апарату до 602,8 мм², що на 76,9 мм² більше за показники варіанта $N_{30}P_{30}K_{30}$. Максимальну площу фотосинтетичної поверхні сформули рослини за норми $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 658,3 мм², що на 55,5 мм² більше порівняно з варіантом $N_{45}P_{45}K_{45}$.

Інтенсивність накопичення сухої речовини в тканинах ячменю ярого у фазі кущіння чітко корелювала з рівнем мінерального удобрення. Без внесення добрив маса сухої речовини становила 84,0 мг, тоді як за норми $N_{15}P_{15}K_{15}$ вона зросла на 10,5 мг (до 94,5 мг). Підвищення норми до $N_{30}P_{30}K_{30}$ стимулювало подальше збільшення сухої маси до 110,9 мг, забезпечивши різницю в 16,4 мг. На варіанті $N_{45}P_{45}K_{45}$ цей показник дорівнював 125,0 мг, що свідчить про приріст у 14,1 мг порівняно з попередньою нормою. Найвищу масу сухої речовини рослин відзначено за максимального рівня живлення $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 135,4 мг, що забезпечило додаткове збільшення показника на 10,4 мг відносно варіанта $N_{45}P_{45}K_{45}$.

Висновки та перспективи подальших досліджень. В результаті трирічних досліджень (2024–2026 рр.) доведено залежність між рівнем мінерального живлення посівів макроелементами та основними біометричними параметрами ячменю ярого за станом рослин на початку фази кущіння. Внесення мінеральних добрив за всіх норм включених в експеримент забезпечило стабільне й математично достовірне збільшення сирової біомаси, сухої речовини рослин та площі асиміляційної поверхні листків порівняно з контрольним варіантом ($N_0P_0K_0$).

За результатом динаміки біометричних показників максимальний агрономічний ефект зафіксовано при внесенні норми мінерального добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$. За цього варіанта живлення показники сирової біомаси досягли 586,2 мг, площа листової поверхні становила 658,3 мм², а маса сухої речовини – 135,4 мг, що перевищувало контроль на 76,0 %, 71,7 % та 61,2 % відповідно. Найбільш динамічний крок приросту вегетативної маси та асиміляційної площі рослин в роки досліджень встановлено за оптимізації живлення від норми $N_{15}P_{15}K_{15}$ до $N_{30}P_{30}K_{30}$. Це засвідчує фізіологічну чутливість ячменю до середніх норм макроелементів на ранніх етапах росту та розвитку, де подальше збільшення норм до $N_{45}P_{45}K_{45}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$ сприяє стабільному нарощуванню біометричного потенціалу рослин. Отже, встановлено сприятливий вплив мінерального живлення на реалізацію стартового потенціалу розвитку рослин ячменю ярого.

Перспективи подальших досліджень полягають в аналогічному аналізі стану розвитку рослин ячменю ярого по завершенню процесу кущіння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Klymyshena R., Horash O., Myalkovsky R., Vilchynska L., Nochvina O. Evaluation of barley plants growth and development at the beginning of tillering phenophase at different sowing dates. *Scientific Horizons*. 2024. T. 27(7). P. 87–96. DOI: 10.48077/scihor7.2024.87
2. Horash O., Klymyshena R. Evaluation of growth and development of barley plants of phenotype with three formed shoots at the end of the tillering phenophase at different sowing dates. *Scientific Horizons*. 2025. T. 28(7). P. 9–21. DOI: 10.48077/scihor7.2025.09
3. Карпій В.Б., Рибалка О.І., Моргун Б.В. Фізіолого-біохімічні та генетичні особливості ячменю як продукту функціонального харчування. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. Т. 53, № 6. С. 463–483. DOI: 10.15407/frg2021.06.463
4. Morrell P.L., Clegg M.T. Genetic evidence for a second domestication of barley (*Hordeum vulgare*) east of the Fertile Crescent. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2007. Vol. 104, No. 9. P. 3289–3294. DOI: 10.1073/pnas.0611377104
5. Reid D.A., Wiebe G.A., Dahms R.G. [et al.]. Barley: Origin, Botany, Culture, Winterhardiness, Genetics, Utilization, Pests. U.S. Department of Agriculture. Agriculture handbook, No.338. Washington, 1968. 255 p.
6. Ramakrishna R., Sarkar D., Shetty K. Functional bioactives from barley for human health benefits. In: *Functional Foods and Biotechnology: Sources of Functional Foods and Ingredients* / ed. by K. Shetty, D. Sarkar. Boca Raton: CRC Press, 2020. P. 61–85. DOI: 10.1201/9781003003830-5
7. Dráb Š., Solgajová M., Mendelová A., Mareček J., Drábová B. The impact of non-standard barley quality on the malting process and its utilization possibilities. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2026. Vol. 15, No. 5. e13952. DOI: 10.55251/jmbfs.13952
8. Solgajová M., Dráb Š., Mendelová A., Kolesárová A., Mareček J. Quality assessment of spring barley varieties intended for malting process. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2022. Vol. 12, No. Special issue. e9250. DOI: 10.55251/jmbfs.9250
9. Górski R., Rosa R., Niewiadomska A., Wolna-Maruwka A., Płaza A. Innovative spring barley cultivation technology based on the use of microbial products together with living mulch in organic farming. *Agronomy*. 2023. Vol. 13, No. 7. e1914. DOI: 10.3390/agronomy13071914
10. Yue C., Fereyduni A., Nakhkhanivej P. From waste to energy: utilizing barley husk as a sustainable graphite-replacing anode active material in lithium-ion batteries. *RSC Sustainability*. 2025. Vol. 3, Issue 7. P. 2915–2926. DOI: 10.1039/D5SU00254K
11. Гораш О.С., Климишена Р.І. Залежність продуктивності колоса ячменю ярого за параметром кількості зернин від впливу абіотичних та технологічних факторів. *Таврійський науковий вісник*. 2025. Вип. 142, ч. 1. С. 42–48. DOI: 10.32782/2226-0099.2025.142.1.7
12. Климишена Р.І. Залежність кількості зерен у колосі ячменю ярого від впливу мінерального удобрення. *Таврійський науковий вісник*. 2019. Вип. 110, ч. 1. С. 88–94. DOI: 10.32851/2226-0099.2019.110-1.12
13. Єщенко В.О., Копитко П.Г., Костогриз П.В., Опришко В.П. Основи наукових досліджень в агрономії: підручник. Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К»», 2014. 332 с.
14. Грицаєнко З.М., Грицаєнко А.О., Карпенко В.П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. К.: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2003. С. 17–18.

Дата першого надходження статті до видання: 03.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 631.67:633.16:631.86(477.7)

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.7>

ОСОБЛИВОСТІ ВОДОСПОЖИВАННЯ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТУ Й ОПТИМІЗАЦІЇ ЖИВЛЕННЯ В УМОВАХ ПІВДЕННОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

Добровольський А.В. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри рослинництва та садово-паркового господарства,

Миколаївський національний аграрний університет

orcid.org/0000-0002-8199-681X

Гончаренко Є.В. – аспірант кафедри рослинництва

та садово-паркового господарства,

Миколаївський національний аграрний університет

orcid.org/0009-0008-2093-4309

У статті наведено результати експериментальних досліджень щодо впливу передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення на показники водоспоживання й продуктивність ячменю ярого в умовах Південного Степу України. Дослідження проводили у 2023–2025 рр. в умовах Навчально-науково-практичного центру Миколаївського національного аграрного університету на чорноземі південному залишково-слабкосолонцюватому важкосуглинковому. Об'єктом дослідження були сорти ячменю ярого Надійний і Таманго. Вивчали вплив передпосівної обробки насіння біопрепаратами Фітоцид-р та МікоФренд, а також позакореневого підживлення препаратами HELPROST® Універсальний і ГуміФренд на сумарне водоспоживання, коефіцієнт водоспоживання та урожайність зерна.

Встановлено, що застосування досліджуваних біопрепаратів сприяло оптимізації використання водних ресурсів рослинами ячменю ярого. Найвищі показники сумарного водоспоживання зафіксовано за посівання передпосівної обробки насіння препаратом МікоФренд із дворазовим позакореневим підживленням HELPROST® Універсальний – 1927–1930 м³/га залежно від сорту, що на 3,0–3,2% перевищувало контроль. Основну частку в структурі водоспоживання становили опади вегетаційного періоду – 85,9–87,0%.

Доведено, що ефективність використання води значною мірою залежала від сортових особливостей і застосованих агротехнологічних заходів. Найменший коефіцієнт водоспоживання відзначено у сорту Таманго за використання МікоФренду та HELPROST® Універсальний – 528,8 м³/т, що свідчить про найбільш економне використання води на формування одиниці врожаю. У середньому рослини сорту Таманго витрачали на 8,0% менше води порівняно із сортом Надійний.

Найвищу урожайність зерна забезпечило застосування HELPROST® Універсальний: у сорту Надійний – 3,24 т/га, у сорту Таманго – 3,53 т/га. Встановлено, що сорт Таманго характеризувався вищою адаптивністю до посушливих умов та перевищував сорт Надійний за врожайністю на 8,0%. Отримані результати підтверджують доцільність використання біопрепаратів для підвищення ефективності водоспоживання та продуктивності ячменю ярого в умовах змін клімату.

Ключові слова: ячмінь ярий, передпосівна обробка насіння, позакореневе підживлення посівів, сумарне водоспоживання, коефіцієнт водоспоживання, урожайність.

Dobrovolskyi A.V., Honcharenko Ye.V. Characteristics of water consumption in spring barley depending on variety and optimization of nutrition in the Southern Steppe of Ukraine

This article presents the results of experimental studies on the effect of pre-sowing seed treatment and foliar fertilization on water consumption and yield of spring barley in the Southern



© Добровольський А.В., Гончаренко Є.В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

Steppe region of Ukraine. The research was conducted in 2023–2025 at the Educational, Scientific, and Practical Center of Mykolaiv National Agrarian University on southern residual slightly saline heavy loam chernozem. The study focused on the spring barley varieties Nadiinyi and Tamango. The study examined the effect of pre-sowing seed treatment with the biological products Phytocide-R and MycoFriend, as well as foliar feeding with HELPROST® Universal and Gumifriend, on total water consumption, water use efficiency, and grain yield.

It was found that the use of the tested biological products helped optimize water use by spring barley plants. The highest values of total water consumption were recorded when pre-sowing seed treatment with the MycoFriend preparation was combined with two foliar applications of HELPROST® Universal–1,927–1,930 m³/ha depending on the variety, which was 3.0–3.2% higher than the control. Precipitation during the growing season accounted for the largest share of water consumption–85.9–87.0%

It has been demonstrated that water use efficiency depended to a large extent on varietal characteristics and the agronomic practices employed. The lowest water consumption coefficient was observed in the Tamango variety when using MycoFriend and HELPROST® Universal–528.8 m³/t, indicating the most economical use of water per unit of yield. On average, Tamango plants consumed 8.0% less moisture compared to the Nadiinyi variety.

The highest grain yields were achieved with the application of HELPROST® Universal: 3.24 t/ha for the Nadiyny variety and 3.53 t/ha for the Tamango variety. It was found that the Tamango variety exhibited greater adaptability to drought conditions and outperformed the Nadiyny variety by 8.0% in terms of yield. The results confirm the feasibility of using biological products to improve water use efficiency and the productivity of spring barley under climate change conditions.

Key words: *spring barley, pre-sowing seed treatment, foliar fertilization of crops, total water consumption, water use efficiency, yield.*

Актуальність теми дослідження. Південний Степ України за своїм біокліматичним потенціалом є сприятливим для вирощування переважної більшості сільськогосподарських культур. Водночас основним лімітуючим чинником у цій природно-кліматичній зоні залишається забезпеченість вологою [1]. В умовах сучасних кліматичних трансформацій, що супроводжуються підвищенням температурного режиму, зростанням частоти посушливих явищ, дефіцитом та нерівномірністю випадання атмосферних опадів у зоні Південного Степу України, особливої значущості набувають дослідження, спрямовані на оптимізацію раціонального використання вологозабезпечення. Це зумовлено тим, що в зазначеному регіоні рівень забезпеченості рослин вологою упродовж вегетаційного періоду виступає основним лімітуючим чинником формування їхньої продуктивності [2].

У структурі землекористування регіону домінуюче місце займають зернові культури, насамперед пшениця та ячмінь, посівні площі яких характеризуються щорічною варіабельністю, а в окремі роки мають тенденцію до істотного розширення. Рівень урожайності цих культур також суттєво змінюється залежно від року вирощування та значною мірою визначається запасами продуктивної вологи в ґрунті на момент сівби, а також кількістю атмосферних опадів, що надходять упродовж вегетаційного періоду [1].

Ярий ячмінь (*Hordeum vulgare* L.) є однією з провідних зернових культур у структурі посівів багатьох країн, зокрема України, завдяки своїй пластичності, скоростиглості та широкому спектру використання, від кормових цілей до пивоварної промисловості [3].

Україна займає одне з провідних місць на світовому ринку за обсягами виробництва зерна ячменю та є вагомим експортером цієї культури до країн Африканського й Азійського континентів. Згідно з офіційними статистичними даними, у 2025 році площа посівів ярого ячменю в Україні становила 781,4 тис. га, що дало змогу отримати 2911,4 тис. т зерна за середнього рівня

врожайності 3,73 т/га в усіх категоріях господарств [4]. Слід відмітити, що посівні урожайність цієї культури варіює за роками вирощування, зокрема за рахунок погодно-кліматичних умов.

Постановка проблеми. Останніми роками в Україні і світі простежуються зміни клімату, а саме – посилення посушливості та підвищення температури. Ми вже стали свідками того, що в зоні Південного Степу влітку впродовж 100 і більше днів відсутні опади [5]. Саме тому, у сучасний період господарювання доцільно використовувати ресурсозберігаючі елементи технології, які дозволяють істотно зменшити енерговитрати. Одним із таких заходів, що вже достатньо широко досліджено на багатьох сільськогосподарських культурах, є застосування біопрепаратів та регуляторів росту рослин [6].

Ячмінь ярий є однією з провідних зернових культур світового та національного землеробства, що відіграє ключову роль у формуванні кормової й продовольчої безпеки, а також слугує важливою сировиною для переробної промисловості та експортно орієнтованих ринків [7]. Ячмінь ярий належить до культур, які характеризуються відносно коротким вегетаційним періодом, проте водний режим рослин суттєво впливає на інтенсивність проходження фаз росту і розвитку рослин, фотосинтетичну активність та формування елементів продуктивності. За даними сучасних досліджень, дефіцит вологи в критичні періоди розвитку культури, зокрема у фазах кущення – виходу рослин у трубку та колосіння, призводить до зниження продуктивної кущистості, площі асиміляційної поверхні та маси зерна з колоса. Встановлено, що навіть короточасний водний стрес може спричинити зниження врожайності ячменю ярого на 20–40% залежно від інтенсивності посухи та особливостей сорту [8].

В агроценозах Південного Степу України ячмінь ярий характеризується високою адаптивністю, однак його продуктивний потенціал суттєво обмежується вологозабезпеченням. В умовах сучасних кліматичних змін, які характеризуються нерівномірним зволоженням і значним варіюванням температурного режиму, особливого значення набувають передпосівна обробка насіння біопрепаратами та позакореневе підживлення в період вегетації. Дослідження, проведені в умовах Південного Степу України, підтверджують доцільність застосування біопрепаратів у технології вирощування ячменю ярого. Зокрема, встановлено, що позакореневе підживлення рослин біологічними препаратами сприяє активізації ростових процесів, формуванню більш розвиненої кореневої системи та покращенню використання продуктивної вологи ґрунту. Це забезпечує зниження коефіцієнта водоспоживання на одиницю врожаю та підвищення продуктивності культури навіть за обмеженого вологозабезпечення [9, 10]. Саме тому дослідження цього питання є актуальним в умовах сьогодення.

Методика досліджень. Експериментальні дослідження проводили у 2023–2025 рр. в умовах Навчально-науково-практичного центру Миколаївського національного аграрного університету. Ґрунт дослідних ділянок – чорнозем південний, залишково-слабкосолонцюватий важкосуглинковий на лесах. Дослідне поле розміщене в третьому агрокліматичному районі та належить до підзони Південного Степу України. Клімат території є помірно континентальним і вирізняється теплим та відносно сухим характером, а також нестабільністю снігового покриву. Упродовж років досліджень гідротермічні умови значно варіювали, що дало змогу забезпечити репрезентативність і об'єктивність отриманих результатів.

Схема досліду включала наступні варіанти: Фактор А – сорт: 1. Надійний; 2. Таманго. Фактор В – передпосівна обробка насіння: 1. Контроль (без обробки);

2. Фітоцид-р (1 л/т); 3. МікоФренд (1 л/т). Фактор С – позакореневе підживлення посівів: 1. Обробка водою; 2. HELPROST® Універсальний (2 л/га); 3. ГуміФренд (0,5 л/га).

Підживлення посівів добривами проводили двічі за вегетацію – на початку фаз виходу рослин ячменю ярого у трубку та колосіння. Норма робочого розчину складала 200 л/га.

Агротехніка вирощування ячменю ярого в дослідях була загальноприйнятою для Степової зони. Попередником під ячмінь ярий в дослідях була пшениця озима. Сівбу проводили рядковим способом (15 см) при настанні фізичної стиглості ґрунту сівалкою СЗ-3,6, норма висіву – 3,5 млн. шт./ га. Залежно від особливостей року сівбу проводили в третій декаді березня – першій декаді квітня. Мінеральні добрива вносили в дозі $N_{30} P_{30}$.

Проведення дослідів супроводжувалось обліками та аналізами за загальноприйнятими методиками.

Результати досліджень. Кліматичні зміни є вагомим викликом для сучасного світу та суттєво позначаються на функціонуванні аграрного сектору. Трансформація гідротермічних умов, що спостерігається в Україні, особливо в степовій зоні, протягом останніх десятиліть на тлі загального потепління зумовлює нестабільність виробництва сільськогосподарських культур, в т.ч. і ячменю ярого.

Більш повною характеристикою умов вологозабезпечення рослин є показник сумарного водоспоживання, величина якого визначається комплексом чинників, зокрема метеорологічними умовами, біологічними особливостями культури та фазою її розвитку, фізичним станом ґрунту, ступенем його затінення рослинним покривом, рівнем застосування агротехнічних заходів, забезпеченістю елементами мінерального живлення, а також оптимальністю водного, теплового, сольового й повітряного режимів. За покращення умов росту і розвитку рослин спостерігається більш раціональне та економне використання ними водних ресурсів.

Нашими дослідженнями встановлено, що сумарне водоспоживання ячменю ярого залежало від факторів дослідів (табл. 1).

Таблиця 1

Сумарне водоспоживання 0–100 см шару ґрунту при вирощуванні ячменю ярого та його баланс (середнє за 2023–2025 рр.)

Передпосівна обробка насіння (фактор В)	Позакореневе підживлення посівів (фактор С)	Сумарне водоспоживання, м³/га	Складові сумарного водоспоживання			
			грунтова волога		опади вегетаційного періоду	
			м³/га	%	м³/га	%
Сорт Надійний (фактор А)						
Контроль (без обробки)	Обробка водою	1866	242	13,0	1624	87,0
	HELPROST® Універсальний	1914	256	13,4	1658	86,6
	ГуміФренд	1908	250	13,1	1658	86,9
Фітоцид-р	Обробка водою	1910	252	13,2	1658	86,8
	HELPROST® Універсальний	1921	263	13,7	1658	86,3
	ГуміФренд	1916	258	13,5	1658	86,5

Продовження таблиці 1

Передпосівна обробка насіння (фактор В)	Позакореневе підживлення посівів (фактор С)	Сумарне водо- споживання, м³/га	Складові сумарного водоспоживання			
			грунтова волога		опаді вегетаційного періоду	
			м³/га	%	м³/га	%
МікоФренд	Обробка водою	1916	258	13,5	1658	86,5
	HELPROST® Універсальний	1927	269	14,0	1658	86,0
	ГуміФренд	1919	261	13,6	1658	86,4
Сорт Таманго (фактор А)						
Контроль (без обробки)	Обробка водою	1871	247	13,2	1624	86,8
	HELPROST® Універсальний	1922	264	13,7	1658	86,3
	ГуміФренд	1913	255	13,3	1658	86,7
Фітоцид-р	Обробка водою	1911	253	13,2	1658	86,8
	HELPROST® Універсальний	1922	264	13,7	1658	86,3
	ГуміФренд	1916	258	13,5	1658	86,5
МікоФренд	Обробка водою	1916	258	13,5	1658	86,5
	HELPROST® Універсальний	1930	272	14,1	1658	85,9
	ГуміФренд	1923	265	13,8	1658	86,2

Дещо вищим воно було за передпосівної обробки насіння досліджуваних сортів препаратом МікоФренд та позакореневого підживлення посівів двічі за вегетаційний період препаратом HELPROST® Універсальний – 1927–1930 м³/га залежно від сорту, що пояснюється більшим нагромадженням надземної біомаси рослин ячменю ярого за цього варіанту досліду, інтенсивнішим ростом і розвитком рослин та використанням ними відповідної кількості води. Так, у середньому за роки досліджень, сумарне водоспоживання рослин ячменю ярого за сумісного використання для іннокуляції насіння МікоФренду та обробки посівів HELPROST® Універсальний перевищувало показники варіантів без застосування препаратів на 61,0 м³/га, або на 3,2% за вирощування сорту Надійний та на 59,0 м³/га, або на 3,0% за вирощування сорту Таманго.

Нашими дослідженнями встановлено, що більшу частину у загальному водоспоживанні ячменю ярого складають опаді вегетаційного періоду. Так, їх частка залежно від варіанту досліду, у середньому за три роки досліджень, склала 85,9–87,0%.

Окрім зазначених показників досить важливим та інформативним є коефіцієнт водоспоживання, який показує кількість витраченої води на формування одиниці врожаю. Коефіцієнт водоспоживання, або показник витрат води на формування 1 тони зерна (з відповідною кількістю накопиченої рослинами біомаси), істотно змінюється залежно від погодно-кліматичних умов року вирощування, біологічних особливостей культури, навіть сорту, технологічних заходів тощо й істотно зменшується за оптимізації живлення. Наші дослідження показали, що застосування передпосівної обробки насіння та позакореневих підживлень посівів в період вегетації ячменю ярого впливало на цей показник (табл. 2). Так, більше

води на створення одиниці врожаю, у середньому за роки досліджень, ячмінь ярий споживав за вирощування досліджуваних сортів без застосування інокуляції та позакоренових підживлень у період вегетації – 594,0–652,4 м³/т.

Таблиця 2

Вплив сортових особливостей та біопрепаратів на коефіцієнт водоспоживання ячменю ярого, м³/т (середнє за 2023–2025 рр.)

Сорт (фактор А)	Передпосівна обробка насіння (фактор В)	Позакоренове підживлення посівів (фактор С)		
		Обробка водою	HELPROST® Універсальний	ГуміФренд
Надійний	Контроль (без обробки)	652,4	617,4	640,3
	Фітоцид-р	630,4	594,7	608,3
	МікоФренд	616,1	570,1	594,1
Таманго	Контроль (без обробки)	594,0	565,3	592,3
	Фітоцид-р	582,6	544,5	566,9
	МікоФренд	566,9	528,8	541,7

У середньому за роки досліджень, найбільш економно волога на формування 1 т врожаю рослинами ячменю ярого витрачалась за вирощування сорту Таманго. Так, в середньому за роки досліджень та по варіантам застосування препаратів, рослини ячменю ярого даного сорту витрачали 564,8 м³/т вологи, що менше порівняно з рослинами сорту Надійний на 49,0 м³/т або на 8,0%.

Нашими дослідженнями визначено, що найменше вологи на формування 1 т зерна витрачали рослини ячменю ярого сорту Таманго за використання передпосівної обробки насіння біопрепаратом МікоФренд та проведення позакоренового підживлення рослин на початку фаз виходу рослин ячменю ярого у трубку та колосіння препаратом HELPROST® Універсальний – 528,8 м³/т, що менше порівняно з іншими варіантами дослідів на 12,9–123,6 м³/т, або на 2,4–18,9%.

Стосовно взятих на вивчення сортів, то їх реакція на витрати вологи різнилася за роками вирощування так і в середньому за роки досліджень, що тісно корелювало з рівнями сформованого ними врожаю. Слід відмітити, що найвищу урожайність зерна, в середньому по варіантах дослідів, формували рослини сорту Таманго – 3,39 т/га, що перевищило урожайність сорту Надійний на 0,27 т/га або на 8,0%.

Серед досліджуваних препаратів для проведення позакоренового підживлення посівів ячменю ярого в період вегетації найвищий приріст урожайності зерна забезпечував HELPROST® Універсальний. Так, у середньому за роки досліджень та по фактору передпосівної обробки насіння, урожайність зерна сорту Надійний склала 3,24 т/га, а сорту Таманго – 3,53 т/га, що перевищило показники контрольного варіанту дослідів та підживлення посівів ГуміФрендом на 0,24–0,26 та 0,12–0,14 т/га.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Дослідженнями, проведеними з ячменем ярим упродовж трирічного вирощування на чорноземі південному в зоні Південного Степу України, встановлено, що вирішальним фактором, який визначає рівень урожайності і водоспоживання культури є кількість вологи. Створюється вона за рахунок запасів вологи в ґрунті на період сівби та атмосферних опадів, що випадають упродовж вегетації культури. У балансі сумарного водоспоживання ячменю ярого частка ґрунтової вологи, у середньому за роки

досліджень, складає 13,0–14,1% залежно від варіанту досліджу. Решту вологи від загального водоспоживання рослини використовують і задовольняють за рахунок опадів вегетаційного періоду, на які приходилось 85,9–87,0%.

Отримані результати досліджень засвідчили істотний вплив передпосівної обробки насіння та позакоренових підживлень упродовж вегетації на ефективність використання вологи рослинами ячменю ярого. Встановлено, що за відсутності застосування інокуляції та позакоренових підживлень спостерігались найвищі витрати води на формування одиниці врожаю – 594,0–652,4 м³/т, тоді як використання біопрепаратів сприяло підвищенню водоспоживчої ефективності культури. Найбільш економним щодо використання вологи виявився сорт Таманго, який у середньому за роки досліджень витрачав 564,8 м³/т, що на 49,0 м³/т (8,0%) менше порівняно із сортом Надійний. Максимальне зниження витрат вологи на формування 1 т зерна забезпечило поєднання передпосівної обробки насіння препаратом МікоФренд із дворазовим позакореновим підживленням препаратом HELPROST® Універсальний у фазі виходу в трубку та колосіння у сорту Таманго, де показник становив 528,8 м³/т, що підтверджує доцільність застосування даного агротехнологічного прийому для оптимізації водоспоживання та підвищення адаптивності культури в умовах недостатнього зволоження.

Отже, результати польових досліджень підтвердили доцільність застосування обробки насіння та посівів ячменю ярого біопрепаратами в основні фази вегетації. Такий агротехнічний захід сприяє підвищенню стійкості рослин до впливу несприятливих факторів навколишнього середовища, забезпечує більш ефективне використання ґрунтових запасів вологи та атмосферних опадів для формування врожаю, а також знижує непродуктивні втрати вологи внаслідок випаровування.

Подальші дослідження варто спрямувати на дослідження впливу передпосівної обробки насіння та позакоренових підживлень посівів ячменю ярого у період вегетації сучасними препаратами в умовах змін клімату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Гамаюнова В. В., Кувшинова А. О. Особливості водоспоживання ячменю озимого залежно від сорту і оптимізації живлення в умовах Південного Степу України. *Аграрні інновації*. 2020. № 4. С. 10–17. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.4.2>
2. Гамаюнова В. В., Бакланова Т. В., Хоненко Л. Г. Сумарне водоспоживання ріжю ярого залежно від сортових особливостей і комплексного живлення за вирощування в умовах Південного Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2025. № 145. Ч. 1. С. 67–75.
3. Трембіцька О. І., Столяр С. Г., Ковальчук Ю. В., Маценко Ю. С. Вплив густоти посіву на агробіологічні показники та врожайність ячменю ярого (*Hordeum Vulgare* L.) у зоні Полісся. *Аграрні інновації*. 2025. № 33. С. 290–294. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.33.47>
4. Макаrchук Б. М., Герасько Т. В. Вплив припосівного локального внесення біогумусу на показники продуктивності ячменю звичайного ярого за органічної технології вирощування у Лісостепу України. *Таврійський науковий вісник*. 2025. Вип. 146. Ч. 1. С. 35–42. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.146.1.4>
5. Гамаюнова В. В., Хоненко Л. Г., Федорчук М. І., Коваленко О. А. Добір посухостійких культур для Південного Степу України. *Зернові культури*. 2021. Т. 5, № 1. С. 13–22. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0153>
6. Gamayunova V., Panfilova A., Baklanova T., Kuvshinova A., Kasatkina T., Nagirniy V. The increase of grain production in Ukrainian Steppe area by means of barley cultivation and its nutrition optimization. *Scientific Horizons*. 2020. 23(2). P. 15–23. [10.33249/2663-2144-2020-87-02-15-23](https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-15-23)

7. Столяр С. Г., Трембіцька О. І., Пелехатий В. М., Пелехата Н. П. Фітосанітарна роль протруйників насіння у контролі мікозів ячменю ярого в агроценозах Лісостепу. *Аграрні інновації*. 2025. № 34. С. 158–164. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.34.23>
8. Töpfer V., Matros A., Hamburger S., Schmitt A., Linkies A., Snowdon R. J., Stahl A., Wehner G. The genotype-dependent effects of biologicals on drought adaptation in spring barley. *Plant Stress*. 2025. V. 16. 100884. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.100884>
9. Гамаюнова В. В., Касаткіна Т. О., Бакланова Т. В. Агроекономічна оцінка ефективності використання біопрепаратів у вирощуванні ячменю ярого в умовах Південного Степу України. *Agrology*. 2021. Т 4, № 2. С. 65–70.
10. Gamayunova V., Lopushniak V., Khonenko L., Baklanova T. The use of biologization elements in the cultivation of spring barley in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2025. Vol. 26(7). P. 196–204.

Дата першого надходження статті до видання: 26.06.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 633.15:631.527:631.559:632.51
DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.8>

БИОМЕТРИЯ КАЧАНА У ГИБРИДІВ КУКУРУДЗИ РІЗНИХ ГРУП ФАО ЗА БЕЗЗМІННИХ ПОСІВІВ ТА СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ВІД СЕГЕТАЛЬНОЇ РОСЛИННОСТІ

Донець А.О. — к.с.-г.н.,

докторант,

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0009-0004-0338-5302

У статті наведено результати досліджень щодо впливу систем захисту від сегетальної рослинності в беззмінних п'ятирічних посівах на морфометричні показники структури продуктивності гібридів кукурудзи різних груп ФАО. Польові дослідження проведені в Інституті кліматично орієнтованого сільського господарства НААН НААН в агроекологічній зоні Південного Степу України (2021–2025 рр., 46°38'24" півн. шир. 32°36'52" схід. довг.). В дослідженнях використовували інноваційні гібриди української селекції (ФАО 190-430), що занесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Дослідження проводились за краплинного поверхневого зрошення з рівнем передполивної вологості ґрунту в шарі 0–50 см 75% НВ. Для захисту рослин від сегеталів використовували гербіциди Фронт'єр® Оптіма та МайсТер® Пауер. Застосування засобів захисту від сегетальної рослинності на першому році беззмінних посівів децю підвищило лінійні розміри качанів, проте різниця була мінімальною і в більшості випадків статистично не доказовою. Проте, в середньому за п'ятирічний термін та в середньому за гібридами, довжина качана становила 17,5 см на варіанті без застосування гербіцидів, 18,7 см на варіанті з застосуванням ґрунтового гербіциду та 19,3 см на варіанті з застосуванням сумісної дії ґрунтового та страхового гербіцидів (19,3 см), що є статистично доказовою різницею. За п'ятирічний термін беззмінних посівів без застосування гербіцидів довжина качана у гібридів зменшилась 1,8...2,5 см, що пов'язано з конкурентним впливом бур'янів. Комплексний захист рослин гібридів кукурудзи ФАО 190-430 від сегетальних рослин з застосуванням ґрунтових та післясходових гербіцидів дозволив забезпечити достатньо високу сталість морфометрії качана протягом п'ятирічного терміну беззмінних посівів. У всіх гібридів за п'ятирічний термін беззмінних посівів метричні розміри продуктивного качана знаходились в мінімальних відхиленнях від першого року ротачії.

Урожайність зерна досліджуваних гібридів за п'ятирічний термін беззмінних посівів та різних систем захисту від сегеталів позитивно корелює з довжиною качана, довжиною качана озерненою, Індексом озерненості качана. Застосування системи захисту від сегеталів дозволило забезпечити оптимальні параметри морфометрії качана на рослинах гібридів кукурудзи різних груп ФАО, що відповідають їх біологічним характеристикам. У всіх гібридів за п'ятирічний термін беззмінних посівів метричні розміри продуктивного качана знаходились в мінімальних відхиленнях від першого року беззмінних посівів.

Ключові слова: кукурудза, морфометрія, сегетали, гібриди, гербіциди, захист рослин, урожайність, зерно.

Donets A.O. Cob biometrics in maize hybrids of different FAO groups under constant cropping and protection systems against segetal vegetation

The article presents the results of research on the influence of protection systems against segetal vegetation in constant five-year crops on the morphometric indicators of the productivity structure of maize hybrids of different FAO groups. Field experiments were conducted at the Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy of Sciences of Ukraine in the agroecological zone of the Southern Steppe of Ukraine. Field studies were conducted at the



© Донець А.О., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

Institute of Climate-Oriented Agriculture of the National Academy of Sciences of Ukraine in the agroecological zone of the Southern Steppe of Ukraine (2021–2025, 46°38'24" N lat. 32°36'52" E long.). The studies used innovative hybrids of Ukrainian selection (FAO 190-430), which are included in the State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine. The studies were conducted under drip surface irrigation with a pre-irrigation soil moisture level in the 0–50 cm layer of 75% RH. To protect plants from segetals, the herbicides Frontier® Optima and Meister® Power were used. The use of protective measures against segetal vegetation in the first year of permanent crops slightly increased the linear dimensions of the ears, but the difference was minimal and in most cases not statistically significant. However, on average over a five-year period and on average across hybrids, the length of the ear was 17.5 cm in the variant without the use of herbicides, 18.7 cm in the variant with the use of a soil herbicide and 19.3 cm in the variant with the use of a combined action using the combined action of soil and protective herbicides (19.3 cm), which is a statistically significant difference. Over a five-year period of permanent crops without the use of herbicides, the length of the ear in hybrids decreased by 1.8...2.5 cm, which is associated with the competitive influence of weeds. Comprehensive plant protection of FAO 190-430 corn hybrids from segetal plants with the use of soil and post-emergence herbicides allowed to ensure a sufficiently high stability of the morphometry of the ear during the five-year period of constant crops. In all hybrids, during the five-year period of constant crops, the metric dimensions of the productive ear were within minimal deviations from the first year of rotation.

The grain yield of the studied hybrids for a five-year period of constant crops and various systems of protection against segetals is positively correlated with the length of the ear, the length of the ear with grains, and the Index of graininess of the ear. The use of the system of protection against segetals allowed to ensure optimal parameters of the morphometry of the ear on plants of maize hybrids of different FAO groups, which correspond to their biological characteristics. In all hybrids for a five-year period of constant crops, the metric dimensions of the productive ear were within minimal deviations from the first year of constant crops.

Key words: maize, morphometry, segetals, hybrids, herbicides, plant protection, yield, grain.

Актуальність теми дослідження. Проблема реалізації генотипового потенціалу інноваційних гібридів кукурудзи є актуальною на сьогодні, що потребує розробок адаптивних технологій в конкретних агроекологічних зонах [1].

Сучасні системи землеробства базуються на селекційних здобутках та удосконаленню, економічно доцільною структурою агрокультур у сівоzmіні. Останнім часом спеціалізація аграрних господарств суттєво звузилась, і зосередилась на вирощуванні певних економічно привабливих культур. Наслідком такої трансформації стали кардинальні зміни в структурі сівоzmінів та перехід до короткоротаційних та беззмінних посівів, особливо кукурудзи, яку значна частка фермерів висіває на одному полі, без ротації протягом декількох років [2, 3].

Згідно з науковими дослідженнями, кукурудза може культивуватись беззмінно на одному полі декілька років без суттєвого зниження продуктивності, за умови дотримання всіх технологічних елементів її вирощування. Проте, навіть наявність позитивних наукових результатів щодо толерантності кукурудзи до беззмінних посівів не дозволяє ігнорувати певні проблеми, що супроводжують таку систему вирощування агрокультур. Виробнича та наукова практика застосування високої концентрації у сівоzmіні і застосування беззмінних посівів цієї культури показує, що тривалість повторних посівів кукурудзи недоцільна понад 4–6 років. Після такого періоду виникає необхідність робити перерву на декілька років та висівати на полі культури з інших ботанічних видів, що не мають спільних шкідливих організмів. Тому, встановлення наслідків беззмінних посівів кукурудзи потребує досліджень в конкретних агроекологічних зонах [4–6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зростання забур'яненості посівів залишається одним із ключових чинників у сучасному землеробстві, що істотно стримує реалізацію генетичного потенціалу врожайності агрокультур. З урахуванням зростання вартості ресурсів та необхідності підвищення ефективності

виробництва, питання боротьби з бур'янистими рослинами набуває особливої актуальності. Це питання загострюється передусім синергічною дією екстремальних кліматичних чинників, нестабільним водним режимом та специфіки агротехнічних заходів, що одночасно формують сприятливі умови для активного поширення великого спектру сегетальної рослинності [7, 8].

Найбільший урожай кукурудзи формується за умови оптимального співвідношення розвитку всіх елементів його структури. Однак у разі недостатнього розвитку одного з них урожай може бути частково компенсований за рахунок інших складників. Причому необхідно враховувати, що деякі елементи структури врожаю формуються на різних етапах органогенезу і для їхнього оптимального розвитку необхідні різні умови [9].

Тому важливими напрямками досліджень є встановлення впливу окремих інноваційних елементів технології вирощування кукурудзи на прояв складових ознак продуктивності та на рівень реалізації генотипового потенціалу урожайності гібридів [10–12].

Важливим елементом технології, що визначає розкриття потенціалу урожайності сільськогосподарських культур, є система захисту посівів від бур'янів. За умов зростаючих кліматичних негативних змін та актуалізації вимог щодо прибутковості виробництва, виникає необхідність в розробці агротехнічних заходів, що забезпечують ефективний захист посівів від комплексу бур'янистих видів рослин. Протягом останніх років в аграрному секторі зафіксоване підвищення забур'яненості посівів. Основними причинами негативної тенденції є порушення науково обґрунтованого чергування культур у сівозмінах, мінімізації технологічних операцій без урахування факторів ризику підвищення забур'яненості [13]. Викликає занепокоєність поширеність популяцій бур'янів резистентних до гербіцидів. Зафіксовано тісний зв'язок між зміною клімату й поширенням чужорідних видів сегетальних рослин [14].

Біометричні показники гібридів кукурудзи мають важливе значення в процесі удосконалення технології вирощування кукурудзи в умовах зрошення [15–17]. Морфометричні показники рослин гібридів кукурудзи мають високу залежність від конкурентних впливів сегетальних рослин в посівах, що потребує розробки відповідної системи захисту. Особливої актуальності набуває система захисту рослин від шкідливих організмів за умов беззмінних посівів кукурудзи (*continuous maize cultivation*), що поширюється на виробництві завдяки високій прибутковості цієї культури [18–20].

Мета досліджень. Встановити біометричні показники структури качана у гібридів кукурудзи різних груп ФАО та їх зв'язок з урожайністю зерна за різних систем захисту від сегетальної рослинності в беззмінних п'ятирічних посівах.

Матеріали та методика досліджень. Польові дослідження проведені в Інституті кліматично орієнтованого сільського господарства НААН (2021–2025 рр., м. Херсон, 46°38'24" півн. шир. 32°36'52" схід. довг.). В дослідженнях використовували інноваційні гібриди української селекції, що занесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні: Степовий (ФАО 190), Хотин (ФАО 250), Тронка (ФАО 380), Арабат (ФАО 430). Дослідження проводились за краплинного поверхневого зрошення з рівнем передполивної вологості ґрунту в шарі 0–50 см 75% НВ.

Польові досліді закладали та проводили обробку даних у відповідності з загальноприйнятими в агрономічних дослідженнях методичними рекомендаціями Ушкаренка В.О., Вожегової Р.А. зі співавторами [21, 22].

Забур'яненість посівів визначали кількісним методом, шляхом накладання облікової рамки розміром 70 x 70 см в міжряддя в десятиразовому повторенні. Розрахунки технічної ефективності гербіцидів проводили за методикою С.О. Трибеля зі співавторами [23] та Є.М. Лебідь зі співавторами, 2008 [24]. Економічні пороги шкодочинності бур'янів та визначення ступеня забур'яненості посівів аналізували за Методичними рекомендаціями Р. Вожегової, С. Зайця, О. Рудіка зі співавторами [25].

Використовували гербіциди: Фронт'єр® Оптіма – діюча речовина – диметенамід-П. Dimethenamid-P; МайсТер® Пауер – діюча речовина: форамсульфурон, йодосульфурон, тіенкарбазон-метил, ципросульфамід [26].

Технологія вирощування кукурудзи була загальноновизнана, крім варіантів, що вивчалися [27].

Виклад основного матеріалу досліджень. Нашими попередніми дослідженнями було встановлено, що за беззмінних посівів кукурудзи протягом п'яти років без застосування засобів боротьби з сегетальною рослинністю зафіксовано різке зростання забур'яненості кожного наступного року [28, 29]. Без застосування гербіцидів кількість бур'янів у фазу розвитку ВВСН 83-87 зросла з 23,3 рослин на 1 м² на першому році, до 70,3 рослин на 1 м² на п'ятому році беззмінних посівів на гібридах з ФАО 190–250. На посівах пізньостиглих гібридів (ФАО 380–430) забур'яненість зросла за п'ятирічний термін з 22,9 сегеталів на 1 м² до 80,6 рослин. Така кількість сегетальних рослин, згідно шкали визначення ступеня забур'яненості, відповідає показнику «сильний», що негативно впливає на стан посівів [30]. Пізньостиглі гібриди мали більшу забур'яненість внаслідок більшої тривалості періоду вегетації та сприятливими умовами за вологістю ґрунту для проростання ґрунтових запасів насіння та кореневих паростків. Застосування гербіцидів значно зменшило кількість сегетальних рослин, особливо високу ефективність показала сумісна дія ґрунтового та страхового гербіцидів (Фронт'єр® Оптіма та МайсТер® Пауер). На п'ятому році беззмінних посівів забур'яненість за такої технології відповідала показнику «дуже слабка». Серед бур'янів найбільшого поширення набули *Amaranthus retroflexus* L., *Descurainia sophia* L., *Chenopodium album* L., *Echinochloa crus-galli* L. Попри високу ефективність гербіцидів, не вдається подолати повністю забур'яненість умовно карантинних інвазійних видів. Сумісною дією ґрунтового та страхового гербіцидів вдалось знешкодити в фітоценозі *Cyclachaena xanthifolia* Fres. (чорнощир нетреболистий), проте, *Ambrosia artemisifolia* L. (амброзія полинолиста) залишалась в фітоценозі кукурудзи в обмеженій кількості (0,1–0,2 рослини на 1 м²) при застосуванні ґрунтових та страхових гербіцидів роздільно.

Довжина качана у рослин гібридів кукурудзи є певним маркером щодо оптимізації онтогенезу рослин. Конкурентний вплив сегетальної рослинності на варіанти без захисту негативно позначився на довжині качана гібридів (табл. 1).

На першому році беззмінних посівів довжина качана у гібридів кукурудзи визначалась переважно групою стиглості. Найбільшою довжиною характеризувались гібриди з ФАО 380 та 430 (Тронка, Арабат). Гібриди з ФАО 190 та 250 мали меншу довжину качана, що відповідає заявленим біометричним параметрам цих генотипів (16,8 та 17,3 см).

Застосування засобів захисту від сегетальної рослинності на першому році беззмінних посівів дещо підвищило лінійні розміри качанів, проте різниця була мінімальною і в більшості випадків статистично не доказовою. Проте, в середньому за п'ятирічний термін та в середньому за гібридами (фактор А), довжина

качана становила 17,5 см на варіанті без застосування гербіцидів, 18,7 см на варіанті з застосуванням ґрунтового гербіциду та 19,3 см на варіанті з застосуванням сумісної дії ґрунтового та страхового гербіцидів (19,3 см), що є статистично доказовою різницею.

Таблиця 1

**Довжина качана у рослин гібридів кукурудзи різних груп ФАО
при беззмінних посівах залежно від системи захисту рослин
від сегетальної рослинності**

Система захисту рослин (фактор А)	Гібрид, група ФАО (фактор В)	Довжина качана за роками беззмінних посівів, см (фактор С)						Середнє за фактором, см	
		2021	2022	2023	2024	2025	Середнє	А	В
Без гербіцидів (контроль)	Степовий	16,8	16,4	15,5	15,2	14,3	15,6	17,5	16,7
	Хотин	17,3	17,0	16,3	15,5	15,5	16,3		17,4
	Тронка	19,3	18,6	17,9	17,5	17,4	18,1		19,0
	Арабат	21,1	20,4	19,3	19,0	18,8	19,7		20,8
	середнє	18,6	18,1	17,3	16,8	16,5	17,5		
Фронт'єр® Оптіма	Степовий	17,2	17,2	17,1	17,0	17,0	17,1	18,7	
	Хотин	17,8	17,7	17,5	17,5	17,4	17,6		
	Тронка	19,1	18,9	18,8	18,6	18,6	18,8		
	Арабат	21,7	21,4	21,0	20,9	20,8	21,2		
	середнє	19,0	18,8	18,6	18,5	18,5	18,7		
Фронт'єр + МайсТер® Пауер	Степовий	17,4	17,5	17,3	17,2	17,2	17,3	19,3	
	Хотин	18,3	18,3	18,2	18,1	18,0	18,2		
	Тронка	20,2	20,2	20,1	20,1	20,0	20,1		
	Арабат	21,9	21,8	21,4	21,3	21,2	21,5		
	Середнє	19,5	19,5	19,3	19,2	19,1	19,3		
	Середнє за С	19,0	18,8	18,4	18,2	18,0	18,5		
НІР _{0,05} , см		Для часткових різниць: А=0,5; В=0,4; С=0,6							
		Для середніх (основних) ефектів: А=0,6; В=0,7; С=0,8							

За п'ятирічний термін беззмінних посівів без застосування гербіцидів довжина качана у гібридів зменшилась 1,8...2,5 см, що пов'язано з конкурентним впливом бур'янів.

Застосування гербіцидів значно покращило умови вегетації у гібридів усіх груп ФАО, що відобразилось на мінімальних зменшеннях лінійних розмірів качанів за п'ятирічний термін беззмінних посівів. Застосування ґрунтового та після-сходового гербіцидів дозволило зберегти розміри качана у гібридів різних груп ФАО на рівні першого року монокультури.

Побудовані кореляційно-регресійні моделі залежності урожайності зерна та довжини качана за тривалих беззмінних посівів показали сильний вплив довжини качана на урожайність зерна (рис. 1).

Лінії регресії проходять майже паралельно, проте на п'ятому році беззмінних посівів коефіцієнт кореляції дещо зменшився ($r=0,680$) і відповідно зменшився рівень урожайності, що прогнозується за зменшення розмірів качана. Це, можливо, пов'язано з тим, що на п'ятому році беззмінних посівів урожайність зерна

гібридів кукурудзи визначається меншою мірою довжиною качана, а і іншими факторами, що з'являються на пізніх термінах беззмінних посівів (ураженість шкідливими організмами).

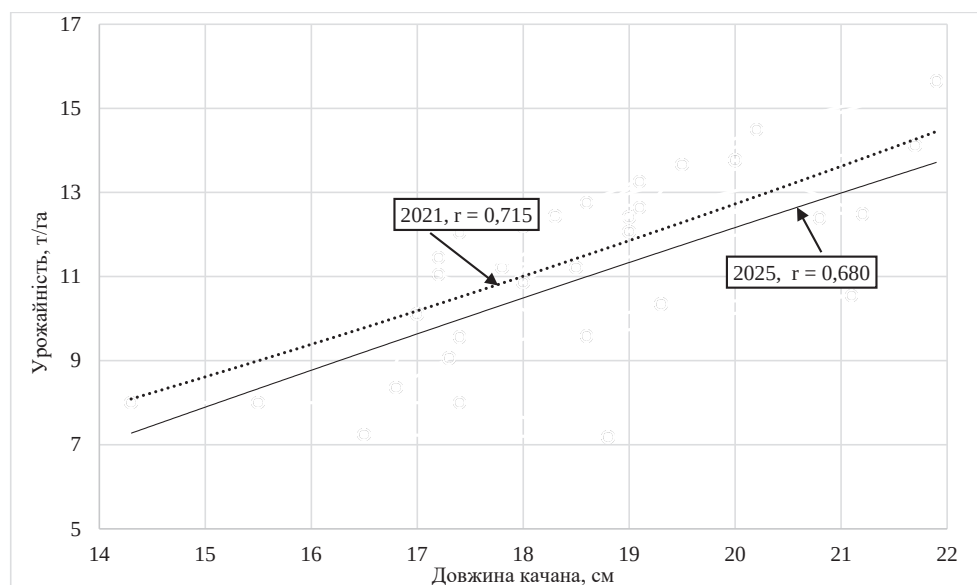


Рис. 1. Кореляційно-регресійна модель залежності довжини качана у гібридів кукурудзи та врожайності зерна за беззмінних посівів 2021–2025 рр.

Показником ступеня реалізації генотипового потенціалу урожайності зерна гібридів може слугувати довжина качана озерна (табл. 2).

Таблиця 2

Довжина качана озерна у рослин гібридів кукурудзи різних груп ФАО при беззмінних посівах залежно від системи захисту рослин від сегетальної рослинності

Система захисту рослин (фактор А)	Гібрид, група ФАО (фактор В)	Довжина качана озерна за роками беззмінних посівів, см (фактор С)						Середнє за фактором, см	
		2021	2022	2023	2024	2025	Середнє	А	В
Без гербіцидів (контроль)	Степовий	16,6	16,0	14,8	14,6	13,8	15,2	16,6	16,3
	Хотин	17,0	16,4	15,2	14,4	13,8	15,4		16,7
	Тронка	18,4	17,0	16,7	15,2	14,3	16,3		18,1
	Арабат	20,2	18,3	16,2	15,1	15,0	17,0		19,3
	середнє	18,1	16,9	15,7	14,8	14,2	16,0		
Фронт'єр® Оптіма	Степовий	17,0	16,9	16,7	16,6	16,4	16,7	18,2	
	Хотин	17,3	17,0	17,1	16,9	16,9	17,0		
	Тронка	18,9	18,6	18,4	18,3	18,0	18,4		
	Арабат	21,3	21,0	20,5	20,0	19,5	20,5		
	середнє	18,6	18,4	18,2	18,0	17,7	18,2		

Продовження таблиці 2

Система захисту рослин (фактор А)	Гібрид, група ФАО (фактор В)	Довжина качана озерна за роками безмінних посівів, см (фактор С)						Середнє за фактором, см	
		2021	2022	2023	2024	2025	Середнє	А	В
Фронт'єр + МайсТер® Пауер	Степовий	17,4	17,4	17,2	17,1	17,0	17,2	18,7	
	Хотин	18,1	18,1	18,0	17,5	17,2	17,8		
	Тронка	19,9	19,9	19,6	19,4	19,2	19,6		
	Арабат	21,0	20,5	20,2	19,8	19,8	20,3		
	Середнє	19,1	19,0	18,8	18,5	18,3	18,7		
	Середнє за С	18,6	18,1	17,6	17,1	16,7	17,6		
НІР _{0,05} см		Для часткових різниць: А = 0,3; В = 0,4; С = 0,3							
		Для середніх (основних) ефектів: А = 0,4; В = 0,3; С = 0,5							

Довжина качана озерна поступово втрачала параметри зі збільшенням тривалості безмінних посівів. Особливо наглядно це спостерігалось на варіантах досліду без застосування гербіцидів. Так, скоростиглий гібрид Степовий зменшив довжину качана озерну на 2,8 см на п'ятому році безмінних посівів, а середньоранній гібрид Хотин зменшив довжину качана озерну на 3,2 см. Гібриди Тронка (ФАО 380) та Арабат (ФАО 430) на варіанті без застосування засобів захисту від бур'янистих рослин зменшили озерну довжину качана на 4, 1 та 5,2 см відповідно. Подовження тривалості періоду вегетації у цих гібридів сприяло підвищенню конкурентного впливу сегетальної рослинності та значному зменшенню потенційної продуктивності качана. Застосування гербіцидів дозволило значно скоротити негативний конкурентний вплив сегетальної рослинності на реалізацію потенційної продуктивності качана. Особливо ефективним було застосування комплексно ґрунтового та післясходового гербіцидів. Довжина качана озерна на цьому варіанті була практично на одному рівні як за першого року безмінних посівів, так і на п'ятому році. Гібриди усіх груп ФАО були спроможні підтвердити потенційну продуктивність качана на п'ятому році безмінних посівів при застосуванні сучасних ефективних гербіцидів.

Побудовані кореляційно-регресійні моделі залежності урожайності зерна та довжини качана озерної за тривалих безмінних посівів показали високий вплив озерної довжини качана на урожайність зерна (рис. 2).

Лінії регресії мають крутий нахил, а коефіцієнти кореляції значно більші ($r=0,741$ та $0,938$) порівняно з рис. 1. На п'ятому році безмінних посівів кореляція між урожайністю зерна та довжиною озерної частки качана була сильною, що вказує на зростання впливу озерності качана на урожайність гібридів за тривалого безмінного вирощування кукурудзи.

Мірою реалізації потенційних можливостей гібридів кукурудзи може бути відношення озерної частини качана до загальної довжини. Цей показник (Індекс озерності) тісно пов'язаний з адаптованістю гібриду до певної технології та агроекологічної зони, тому він може відображувати відсоток реалізації потенціалу гібриду і слугувати «Індексом реалізації потенціалу урожайності». Умови зрощення за оптимального режиму дозволяють майже цілком реалізувати потенційну врожайність у гібридів кукурудзи. Краплинне зрошення забезпечує реалізацію потенційної продуктивності на 99,5% [31].

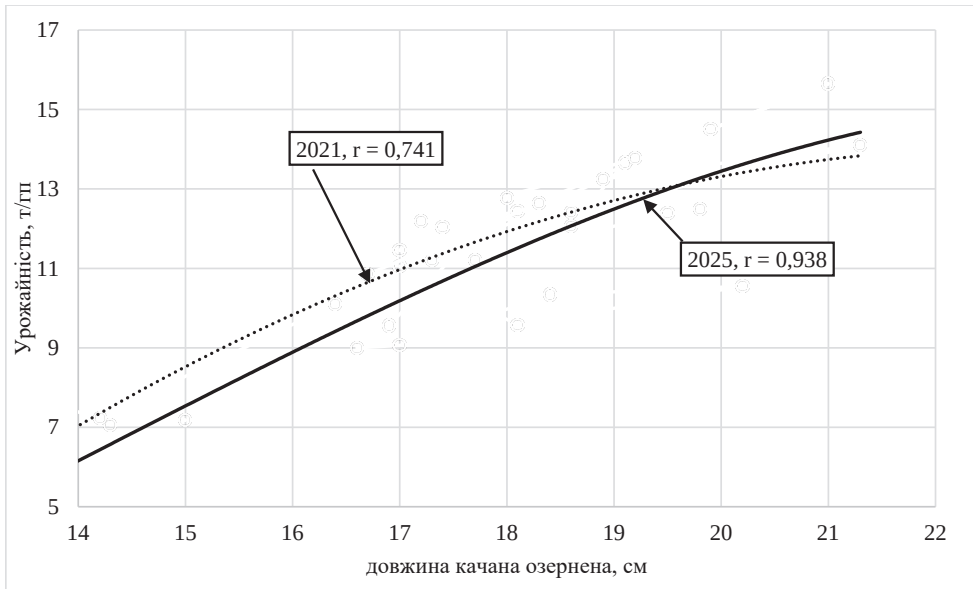


Рис. 2. Кореляційно-регресійна модель залежності довжини качана озерненої у гібридів кукурудзи та врожайності зерна за беззмінних посівів 2021...2025 рр.

В наших дослідженнях «Індекс озерненості» знаходився в межах 79–99% (табл. 3). Умови зрошення та застосування сучасних ефективних гербіцидів дозволяють майже цілком реалізувати потенційну врожайність качана за тривалих беззмінних посівів. Так, у гібридів Степовий, Хотин, Тронка реалізація потенційної продуктивності сягала 96,5–98,8% на п'ятому році беззмінних посівів при застосуванні ґрунтових та післясходових гербіцидів. Дещо меншим Індекс озерненості був у пізньостиглого гібрида Арабат (93,4), що пов'язано з більшою тривалістю вегетації та більшим конкурентним впливом пізніх сегеталів.

Індекс озерненості суттєво зменшувався у пізньостиглих гібридів Тронка (ФАО 380) та Арабат (ФАО 430) на варіанті без застосування засобів захисту від бур'янів зі збільшенням ротації кукурудзи. В середньому за гібридами, Індекс озерненості за п'ятирічний термін беззмінних посівів зменшився з 96,9% до 86,2% на варіанті без застосування засобів захисту від сегетальних рослин. На варіантах досліджень з застосуванням ґрунтового та післясходового гербіцидів Індекс озерненості у скоростиглих гібридів Степовий та Хотин зменшувався на 0,6–3,3%, що вказує на високий рівень захищеності показників структури продуктивності від конкурентного впливу бур'янів. У пізньостиглих гібридів (Тронка, Арабат) Індекс озерненості був під більшим впливом бур'янів пізньої вегетації і зменшився на 2,2–5,4% на п'ятий рік беззмінних посівів.

Побудовані кореляційно-регресійні моделі залежності урожайності зерна та Індексу озерненості качана озерненої за тривалих беззмінних посівів показали високий вплив озерненої довжини качана на урожайність зерна (рис. 3). Лінії регресії мають крутий нахил, а коефіцієнти кореляції мають високі значення ($r=0,784$ та $0,616$). На п'ятому році беззмінних посівів кореляція між урожайністю зерна та Індексом озерненості качана була сильною, що вказує на високий вплив співвідношення озерненої частки качана до загальної довжини на урожайність гібридів за тривалого беззмінного вирощування кукурудзи.

Таблиця 3

Індекс озерненості качана у рослин гібридів кукурудзи різних груп ФАО при беззмінних посівах залежно від системи захисту рослин від сегетальної рослинності

Система захисту рослин (фактор А)	Гібрид, група ФАО (фактор В)	Індекс озерненості качана за роками беззмінних посівів, % (фактор С)						Середнє за фактором, см	
		2021	2022	2023	2024	2025	Середнє	А	В
Без гербіцидів (контроль)	Степовий	98,8	97,6	95,5	96,1	96,5	96,9	91,2	98,0
	Хотин, 250	98,3	96,5	93,3	92,9	89,0	94,0		96,2
	Тронка	95,3	91,4	93,3	86,9	82,2	89,8		95,1
	Арабат	95,7	89,7	83,9	79,5	79,8	85,7		92,1
	середнє	96,9	93,5	91,2	88,2	86,2	91,2		
Фронт'єр® Оптіма	Степовий	98,8	98,3	97,7	97,6	96,5	97,8	97,3	
	Хотин, 250	97,2	96,0	97,7	96,6	97,1	96,9		
	Тронка	99,0	98,4	97,9	98,4	96,8	98,1		
	Арабат	98,2	98,1	97,6	95,7	93,8	96,7		
	середнє	98,3	97,7	97,7	97,0	95,9	97,3		
Фронт'єр + МайсТер® Пауер	Степовий	99,9	99,4	99,4	99,4	98,8	99,4	97,0	
	Хотин, 250	98,9	98,9	98,9	96,7	95,6	97,8		
	Тронка	98,5	98,5	97,5	96,5	96,0	97,4		
	Арабат	98,9	98,0	94,4	93,0	93,4	94,1		
	Середнє	98,2	97,6	97,4	96,2	95,8	97,0		
	Середнє за С	97,8	96,3	95,6	94,0	92,9	95,3		

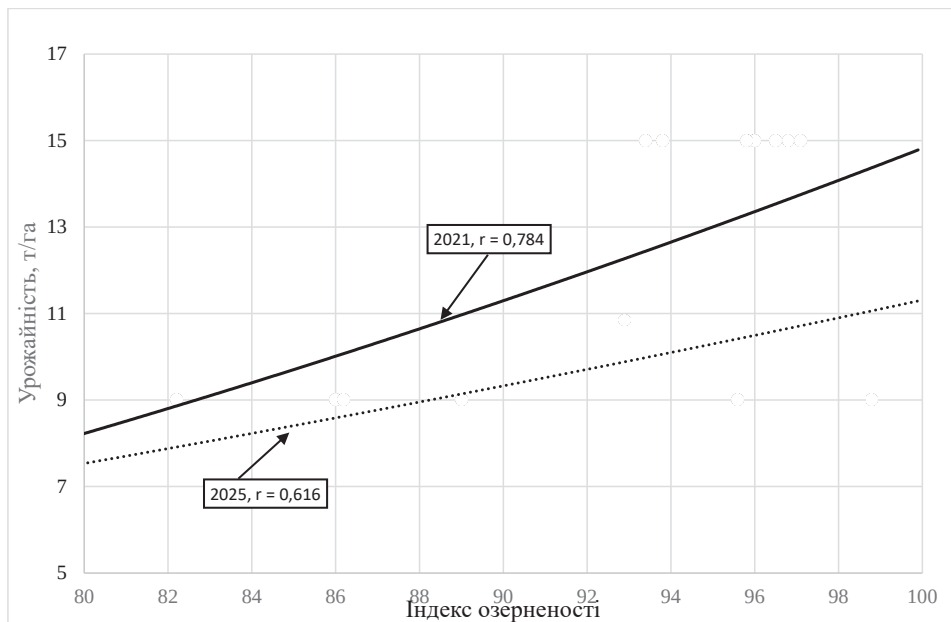


Рис. 3. Кореляційно-регресійна модель залежності Індексу озерненості качана у гібридів кукурудзи та врожайності зерна за беззмінних посівів 2021–2025 рр.

Застосування ґрунтових та післясходових гербіцидів дозволило забезпечити достатньо високу сталість морфометрії качана протягом п'ятирічного терміну беззмінних посівів. Зменшення показників структури продуктивності качана у гібридів на прикінцевих термінах беззмінних посівів пояснюється негативним впливом накопичення шкідливих організмів та зниженням родючості ґрунту, що було показано у попередніх дослідженнях [19, 20].

Висновки. В умовах краплинного поверхневого зрошення комплексний захист рослин гібридів кукурудзи ФАО 190–430 від сегетальних рослин з застосуванням ґрунтових та післясходових гербіцидів дозволив забезпечити достатньо високу сталість морфометрії качана протягом п'ятирічного терміну беззмінних посівів. У всіх гібридів за п'ятирічний термін беззмінних посівів метричні розміри продуктивного качана знаходились в мінімальних відхиленнях від першого року ротації.

Урожайність зерна досліджуваних гібридів за п'ятирічний термін беззмінних посівів та різних систем захисту від сегеталів позитивно корелює з довжиною качана, довжиною качана озерненою, Індексом озерненості качана.

Застосування сучасної системи захисту від сегеталів дозволило забезпечити оптимальні параметри морфометрії качана на рослинах гібридів кукурудзи різних груп ФАО, що відповідають їх біологічним характеристикам. У всіх гібридів за п'ятирічний термін беззмінних посівів метричні розміри продуктивного качана знаходились в мінімальних відхиленнях від першого року беззмінних посівів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Аверчев О.В., Іванів М.О. Індекси врожайності та ефективної продуктивності у гібридів кукурудзи різних груп ФАО за різних способів поливу та вологозабезпеченості в посушливому Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 114. С. 3–13. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.114.1>.
2. Кохан А.В., Глущенко Л.Д., Лень О.І., Олєпир Р.В., Самойленко О.А. Продуктивність сортів і гібридів кукурудзи за різних систем удобрення та беззмінного їх вирощування. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 10 (799). С. 18–23. <https://doi.org/20.31073/agrovisnyk2019010-03>
3. Bockstaller C., Blatz A., Rapp O., Koller R., Slezack S., Schaub A. Sustainable alternative to irrigated maize monoculture in a maize-dominated cropped area: Lessons learned from a system experiment. *Heliyon*. 2024. Vol.10, Issue 10, e30400. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30400>
4. Sindelar A.J., Schmer M.R., Jin V.L., Wienhold B.J. & Varvel G.E. Long-Term Corn and Soybean Response to Crop Rotation and Tillage. *Agronomy Journal*. 2015. Vol. 107(6). P. 2241–2252. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0085>
5. Simić M., Dragičević V., Chachalis D., Dolijanović Ž. & Brankov M. Integrated weed management in long-term maize cultivation. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2020. Vol. 107(1). P. 33–40. <https://doi.org/10.13080/z-a.2020.107.005>
6. Grover K.K., Karsten H.D., Roth G.W. Corn Grain Yields and Yield Stability in Four Long-Term Cropping Systems. *Agronomy Journal*. 2009. Vol. 101(4). P. 940–946. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0221x>
7. Грицюк Н.В., Довбиш Л.Л., Бакалова А.В., Пузняк О.М. Забур'яненість короткоротаційної сівозміни залежно від системи удобрення на дерново-підзолистих ґрунтах. *Scientific Progress & Innovations*. 2022. Vol.1. P. 77–83. <https://doi.org/0.31210/visnyk2022.01.09>
8. Цилюрик О.І., Десятник Л.М., Березовський С.В. Забур'яненість агроценозів кукурудзи під впливом обробітку ґрунту та удобрення в північному Степу України. *Зернові культури*. 2020. № 4(1). С. 152–159. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0119>

9. Черчель В.Ю., Гайдаш О.Л., Таганцева М.М. Морфобіологічна характеристика ліній кукурудзи Змішаної плазми в умовах Степу України. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2015. № 8. С. 99–104
10. Репілевський Д. Е., Іванів М. О. Структура врожаю гібридів кукурудзи різних груп ФАО залежно від способів зрошення в умовах Південного Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 119. С. 99–111. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.18>.
11. Господаренко Г.М., Черно О.Д., Любич В.В., Садовський І.С. Структура врожаю кукурудзи залежно від системи удобрення в умовах Правобережного Лісостепу. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2023. Вип. 1(7). С. 26–37. <https://doi.org/10.54651/agri.2023.01.04>
12. Marchenko Tetiana, Skakun Vadim, Lavrynenko Yurii, Zavalnyuk Oleksandr, Skakun Yehor. Biometric indicators and yield of corn hybrids depending on elements of agrotechnology. *Scientific Horizons*. 2023. Vol. 11. P. 90–99. <https://doi.org/10.48077/scihor11.2023.90>
13. Іващенко О., Ременюк С., Іващенко О. Проблеми потенційної засміченості ґрунту в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 8. С. 58–68. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201808-09>
14. Shuvar I. A., Korpita H.M., Hadzalo O.J. Global warming as a factor of growth of invasiveness of segetal plant species in the Western Forest-Steppe. *Bulletin of Agricultural Science*. 2025. №7(868). P. 47–61. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202507-05>
15. Marchenko T., Vozhegova R., Lavrynenko Y., Zabara P. Biometric Indicators of lines – parents of maize hybrids of different FAO groups depending on biological treatment on irrigation. *Plant Breeding and Seed Production*. 2021. № 119. С. 135–146. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2021.237140>.
16. Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю., Базалій В. В. Прояв і мінливість біометричних ознак у ліній–батьківських компонентів та гібридів кукурудзи за використання різних генетичних плазм під час зрошення. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2021. №29. С. 29–34. <https://doi.org/10.7124/FEEO.v29.1402>.
17. Вожегова Р.А., Лавриненко Ю.О., Марченко Т.Ю., Пілярська О.О., Забара П.П. Морфологічні показники гібридів кукурудзи різних груп ФАО залежно від елементів технології за умов зрошення. *Аграрні інновації*. 2021. № 8. С.91–99. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.8.14>
18. Skrypchenko N. V., Dziuba O. I., Horbenko, N. Y. The estimation of soil fatigue in condition of long-term cultivation of woody fruit lianes. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2020. Vol. 30(3). P. 36–40. <https://doi.org/10.36930/40300306>
19. Donets A., Marchenko T., Lavrynenko Yu., Piliarska O., Mishchenko S. The impact of continuous maize cultivation on grain yield and agrophysical parameters of the arable soil layer. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2026. Vol. 27, Iss. 1. P. 1–13. <https://doi.org/10.12912/27197050/214464>
20. Donets Andrii, Marchenko Tetiana, Piliarska Olena, Lavrynenko Yuri. The effectiveness of protection measures for maize hybrids of different FAO groups against damage caused by *Ostrinia nubilalis* Hübner under continuous maize cultivation conditions with irrigation. *Modern Phytomorphology*. 2025 Vol. 19. P. 91–95. <https://doi.org/10.5281/zenodo.200121>
21. Ушкаренко В.О., Вожегова Р.А., Голобородько С.П., Коковіхін С.В. *Методика польового дослідження* (Зрошуване землеробство). Херсон: Грінь Д.С., 2014. 448 с.
22. Вожегова Р.А., Лавриненко Ю.О., Малярчук М.П. *Методика польових і лабораторних досліджень на зрошуваних землях*. Херсон: Грінь Д.С., 2014. 286 с.
23. Трибель С. О., Сігарьова Д. Д., Секун М. П., Іващенко О. О. *Методи випробування та застосування пестицидів*. Київ: Світ, 2001. 256 с.
24. Лебідь Є. М., Циков В.С., Матюха Л. П., Шевченко М. С. *Методика проведення польових дослідів по визначенню забур'яненості та ефективності засобів її контролювання в агрофітоценозах*. Дніпропетровськ, 2008. С. 5–10.

25. Вожегова Р. А., Заєць С. О., Рудік О. Л. та ін. Формування основ еколого-безпечного функціонування агрофітоценозів на неполивних землях Південного Степу: наук.-метод. рекомендації. Одеса: Олді+, 2025. 50 с.

26. Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів дозволених до використання в Україні. URL: <https://eco.gov.ua/registers/perelik-pesticidiv-i-agrohimikativ-dozvolenih-dlya-vikoristannya>

27. Наукові основи вирощування гібридів кукурудзи в умовах зрошення Південного Степу України : монографія / Р. А. Вожегова, Ю. О. Лавриненко, Т. Ю. Марченко та ін. Одеса : Олді+, 2024. 180 с.

28. Донець А.О., Марченко Т.Ю., Пілярська О.О., Міщенко С.В., Лавриненко Ю.О. Динаміка маси 1000 зерен у гібридів кукурудзи різних груп ФАО за беззмінних посівів та системи захисту від сегетальної рослинності. *Аграрні інновації*. 2026 № 36. С. 91–99. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2026.36.13>

29. Донець А.О., Марченко Т.Ю., Пілярська О.О., Міщенко С.В., Лавриненко Ю.О. Урожайність зерна та біометричні показники гібридів кукурудзи різних груп ФАО за беззмінних посівів та системи захисту від сегетальної рослинності. *Український журнал природничих наук*. 2026. № 16. С.221–233. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.19>

30. Аверчев О.В., Іванів М.О., Лавриненко Ю.О. Мінливість елементів структури продуктивності у гібридів кукурудзи різних груп ФАО та їх зв'язок з урожайністю за різних способів поливу та вологозабезпеченості в Посушливому Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 112. С. 3–15. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.112.1>

31. Аверчев О.В., Іванів М.О., Михаленко І.В., Лавриненко Ю.О. Мінливість елементів структури качана в гібридів кукурудзи різних груп ФАО та їх зв'язок з урожайністю зерна за різних способів поливу та вологозабезпеченості в Посушливому Степу України. *Зрошуване землеробство. Збірник наукових праць*. 2020. Вип. 73. С. 168–174. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2020.73.33>

Дата першого надходження статті до видання: 10.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 635.656:631.559:631.51:631.8(477.7)
DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.9>

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ВРОЖАЮ СОРТІВ ГОРОХУ ЗИМУЮЧОГО (*PISUM SATIVUM* L.) ЗАЛЕЖНО ВІД ЕЛЕМЕНТІВ АГРОТЕХНОЛОГІЇ В УМОВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Жигайло Д.С. – аспірант,

*Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0009-0002-6704-4019*

Марченко Т.Ю. – д.с.-г.н., професор,

*завідувачка відділу селекції сільськогосподарських культур,
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України,
професор кафедри садівництва, виноградарства, біології та хімії,
Одеський державний аграрний університет,
провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу агромоніторингу
та інноваційних технологій в сільському господарстві,
Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція
Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0001-6994-3443*

Міщенко С.В. – д.с.-г.н., с.н.с.,

*доцент кафедри біології, здоров'я людини та методики навчання,
Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка,
головний науковий співробітник відділу селекції і насінництва конопель,
Інститут луб'яних культур Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0002-1979-4002*

Лавриненко Ю.О. – д.с.-г.н., професор, академік

*Національної академії аграрних наук України,
головний науковий співробітник відділу селекції сільськогосподарських культур,
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0001-9442-8793*

Марченко В.Д. – студентка IV курсу агрономічного факультету,

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет
orcid.org/0009-0009-8010-8284*

Метою роботи було дослідження впливу AminoStar® – стимулятора росту та анти-стресанту рослинного походження на основі амінокислот та біологічно активних речовин на врожайність сортів гороху зимуючого (*Pisum sativum* L.) в умовах Південного Степу України. Польові досліді проводили в ТОВ «СК Сергіївка» Білгород-Дністровського району Одеської області (46°1'42" пн. ш. 30°22'13" сх. Д). Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем звичайний. Застосовували загальновизнану методику досліджень. У дослідженнях використовували сорти гороху зимуючого НС Мороз, Анперкот, Балтрап за підзимової сівби. Позакореневе підживлення препаратом AminoStar® сприяла збільшенню маси 1000 зерен порівняно з контролем (без обробки) та контролем (обробка водою). Найвищі показники маси 1000 зерен сформував сорт НС Мороз. У контрольному варіанті цей показник



© Жигайло Д.С., Марченко Т.Ю., Міщенко С.В., Лавриненко Ю.О., Марченко В.Д., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

становив 174,2 г у 2024–2025 вегетаційному році та 178,6 г у 2025–2026 році, тоді як за використання AminoStar® він зріс відповідно до 189,5 та 191,9 г. Середнє значення за два роки становило 190,7 г, що на 14,3 г більше порівняно з контролем. Маса зерна з 1 рослини сортів гороху посівного зимуючого типу розвитку значною мірою залежала від сортових особливостей та застосування препарату AminoStar®. У всіх досліджуваних сортів позакореневе підживлення препаратом AminoStar® забезпечувало підвищення цього показника порівняно з контролем. Урожайність сортів гороху посівного зимуючого типу розвитку значною мірою залежала як від сортових особливостей, так і від застосування препарату AminoStar® упродовж 2024–2026 рр. В усіх варіантах дослідження позакореневе підживлення препаратом забезпечувало підвищення врожайності порівняно з контролем (без обробки) та контролем (обробка водою). Найвищу врожайність сформував сорт НС Мороз. У контрольному варіанті урожайність становила 3,28 т/га у 2024–2025 вегетаційному році та 3,31 т/га у 2025–2026 році. Застосування препарату AminoStar® підвищувало урожайність зерна до 3,63 та 3,70 т/га відповідно за роками. Середня врожайність за два роки досліджень становила 3,66 т/га, що на 0,37 т/га перевищувало контрольний варіант.

Ключові слова: горох зимуючий, сорт, урожайність, маса 1000 зерен, біопрепарати, адаптивність, агротехнологія.

Zhyhailo D.S., Marchenko T.Yu., Mishchenko S.V., Lavrynenko Yu.O., Marchenko V.D.
Formation of the yield structure of winter pea varieties (*Pisum sativum* L.) depending on the elements of agrotechnology in the conditions of Southern Ukraine

Research into the impact of AminoStar® – a growth stimulator and anti-stress agent of plant origin based on amino acids and biologically active substances on the yield of winter pea varieties (*Pisum sativum* L.) in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine was purpose of the study. Field experiments were conducted in the Sergiyevka Agricultural Complex, Bilhorod-Dnistrovskiy district, Odessa region (46°1'42" N, 30°22'13" E). The soil of the experimental plot is ordinary black soil. The generally accepted research methodology was applied. The winter pea varieties NS Moroz, Upperkot, Baltrap were used in the studies. Foliar fertilization with the drug Amino Star contributed to an increase in the mass of 1000 grains compared to the control (without treatment) and the control (water treatment). The highest indicators of the mass of 1000 grains were formed by the NS Moroz variety. In the control variant, this indicator was 174.2 g in the 2024–2025 growing year and 178.6 g in 2025–2026, while with the use of Amino Star it increased to 189.5 and 191.9 g, respectively. The average value for two years was 190.7 g, which is 14.3 g more compared to the control. The weight of grain from 1 plant of pea varieties of sowing wintering type of development depended largely on the varietal characteristics and the use of foliar feeding with the drug AminoStar®. In all studied varieties, foliar feeding with the drug Amino Star provided an increase in this indicator compared to the control. The yield of winter-sown pea varieties largely depended on both varietal characteristics and the use of the AminoStar® preparation during 2024–2026. In all variants of the experiment, foliar feeding with the preparation provided an increase in yield compared to the control (without treatment) and the control (water treatment). The highest yield was formed by the Moroz variety. In the control variant, the yield was 3.28 t/ha in the 2024–2025 growing year and 3.31 t/ha in 2025–2026. The use of the Amino Star preparation increased grain yield to 3.63 and 3.70 t/ha, respectively, over the years. The average yield for two years of research was 3.66 t/ha, which was 0.37 t/ha higher than the control variant.

Key words: winter peas, variety, yield, 1000-grain weight, biological products, adaptability, agrotechnology.

Постановка проблеми. В останній час у зв'язку з глобальним потеплінням клімату з'явилася можливість вирощування культур, які раніше не вирощувалися в даній агроекологічній зоні. Для півдня України такою культурою є горох зимуючий, зазвичай розповсюджений в країнах з більш теплою зимою – Болгарії, Сербії, Туреччині, Ізраїлі, тому актуальною є спроба культивування таких форм гороху в умовах півдня України.

На сьогодні все більшої популярності набирає біологізація агровиробництва, шляхом використання органічних добрив, сидератів, покривних культур, застосування різного роду стимулюючих препаратів біологічного походження, а такої

мікробних біопрепаратів. Використання препаратів, що містять різного роду мікроорганізми, а також продукти їх життєдіяльності, призводить до утворень симбіотичних консорціумів мікроорганізмів з культурою, що сприяє накопиченню в прикореневій зоні доступних елементів живлення для рослини, біологічно активних речовин. В загальному результаті це сприяє кращій реалізації біологічного потенціалу вирощуваних агроценозів. Наразі в Україні вже зареєстровані препарати на основі мікроорганізмів, які створюють як специфічні симбіотичні зв'язки із певними культурами, і препарати, що загалом позитивно впливають на родючість ґрунту, його біологічну активність, сприяють утворенню мікоризи, вивільненню доступних форм елементів живлення у ґрунті.

Неоднорідність даних з різних джерел, щодо ефективності обробки біопрепаратами зернобобових культур обумовлений різною ефективністю при взаємодії з різними культурами та навіть із різними сортами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Світова посівна площа гороху близько 8 млн га. Великі площі гороху в Канаді (1,1 млн га), Китаї (0,75 млн га). Вирощують його у Великій Британії, Швеції, Нідерландах, Бельгії та інших країнах. Нині посівна площа гороху в Україні стабілізувалася на позначці 270–290 тис. га. Ці посіви в основному зосереджено в зонах Лісостепу (правобережна і західна частини) та Поліссі. Степ, особливо його південна частина, лише в окремих випадках згадує про горох і виробляє горохову продукцію без високих економічних показників. Тут середня врожайність не перевищує 1,6–1,8 т/га, у той час як у Центральній Україні цей показник дорівнює 2,8–3,0 т/га, а на Півночі – 3,5–3,8 т/га. Проте, горох всюди у попиті, бо він є відмінним попередником озимих культур, а також відрізняється високим умістом білка високої якості, що особливо важливо для кормовиробництва та харчової промисловості [1].

Перевага зимуючого гороху перед ярим полягає не тільки в отриманні раннього високобілкового корму і більш стабільному по роках врожаїв зерна і зеленої маси, а й у захисті ґрунтів від вітрової та водної ерозії взимку. У зонах, сприятливих для перезимівлі, перевага озимих культур перед ярими незаперечна. Сходи більшості сортів гороху витримують короткочасне зниження температури повітря до $-4\ldots-6^{\circ}\text{C}$, а зразки афганської і особливо китайської та азійської груп – до -12°C . В окремих дослідках сходи деяких зразків зазначених груп витримували зниження температури до $-23,3^{\circ}\text{C}$ при висоті снігового покриву 10 см [2].

Вагомою перевагою гороху зимуючого є ефективне використання зимової вологи, за рахунок чого він встигає розвинути вегетативну масу ще до настання літньої посухи. Після перезимівлі на початку весни культура вже має добре розвинуту кореневу систему, яка сягає глибини близько 10 см, в той час, як горох ярий в цей період зазвичай тільки починає висіватись. За даними науковців саме така особливість фізіології гороху зимуючого забезпечує урожайність на 10–15% вищу в порівнянні зі звичайною ярою формою [3–5].

Вирощування зимуючого гороху має свої специфічні труднощі, пов'язані з особливостями клімату, агротехніки та біології самого рослини. Проблемні питання – це пошкодження морозами, низька зимостійкість при недостатньому покритті снігом, затримка або нерівномірний розвиток навесні, шкідники та хвороби, нестабільність врожаю, проблеми з сівозміною, проблеми з вибором сортів [6].

За умови задовільного розвитку рослин восени, горох зимуючий здатен переносити нетривалу дію низьких температур до $-15\ldots-17^{\circ}\text{C}$, навіть за відсутності снігового покриву. Крім того, такі рослини мають гарні регенеративні властивості, і здатні відновлювати пошкоджену, або навіть майже повністю втрачену надземну

масу через зимові негоди. Особливо критичними є обмерзання, морозні вітри тощо, що характерно для регіонів Степу та Лісостепу України [7].

Відновлюючи вегетацію, підзимові посіви гороху озимого вже мають кореневу систему, що сягає 5–15 см вглиб, залежно від фази входження в зиму, та фотосинтетичний апарат, що дозволяє йому вже використовувати зимові запаси вологи і нарощувати біомасу. В цей час горох за традиційною технологією ще навіть не має сходів [8, 9].

Зимуючий горох здебільшого використовується як високобілкова зернова культура, що дозволяє отримати стабільний урожай раніше за ярий. Натомість зимуючий горох частіше застосовують у ролі зеленої маси – для корму, як компонент у сидеральних сумішах або для раннього прибирання поля перед основною культурою [10].

Для забезпечення зростання рівня врожайності та економічної ефективності від вирощування гороху необхідно впроваджувати сучасні елементи технологій, що сприяли б кращій реалізації потенціалу агроценозів. Численні наукові дослідження вказують на позитивну дію від застосування інокулянтів та загалом мікробних препаратів, стимуляторів рослу різних типів (серед яких продукти життєдіяльності грибів ендоефітів, багатоатомні спирти, амінокислотні композиції, гормональні препарати, зокрема витяжки з водоростей *Ascophyllum nodosum*, тощо). Застосування таких біологічних препаратів сприяє підвищенню врожайності основної продукції зернобобових культур в середньому на 8–17%. Також неодноразово підтверджено синергічну дію вище згаданих груп препаратів на розвиток симбіотичного апарату бобових [11–13].

Технологія вирощування гороху за підзимової сівби сприяє одержанню більш високої продуктивності рослин за рахунок кращого використання зимово-весняної вологи та уникнення дії високих температур повітря на початку літа. Виявлено, що збільшення врожайності у сортів НС Мороз та Ендуро за сівби в осінній період відбувається за рахунок збільшення кількості бобів та кількості насіння на рослині. Проте, у сортів гороху весняної сівби спостерігається вища маса 1000 насінин [14].

З економічної точки зору, вирощування зимуючого гороху сприяє більш раціональному використанню земельних ресурсів. Така технологія забезпечує ранній урожай, знижує потребу в зрошенні та дозволяє встигнути із сівбою наступних культур у сівозміні. Крім того, як і інші бобові, горох збагачує ґрунт азотом, що сприяє зниженню витрат на мінеральні добрива в подальших посівах [15].

Ефективність прийомів застосування біологічно активних речовин нестабільна, і великою мірою залежить від погодно-кліматичних умов, стану та характеристик ґрунту, сортів, обраних біопрепаратів, строків і способів внесення.

Метою досліджень було встановлення впливу стимулятора росту та антистресанту на основі амінокислот рослинного походження та біологічно активних речовин (AminoStar®) на врожайність сортів гороху зимуючого (*Pisum sativum* L.) в умовах Південного Степу України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Польові досліді проводили в ТОВ «СК Сергіївка» Білгород-Дністровського району Одеської області (46°1'42" пн. ш. 30°22'13" сх. д). Розмір ділянок та розміщення: загальна ділянка розміром – 28 м², облікова – 14 м², розміщення – рендомізованих блоків. Кількість повторностей: 4. Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем звичайний. Застосовували загальноовизнану методику досліджень [16].

У дослідженнях використовували три сорти гороху зимуючого.

Сорт гороху НС Мороз – перший сербський озимий сорт білкового гороху, призначеного для виробництва зерна. Оригінатор: «Інститут польовництва та

овочівництва», (Institute of Field and Vegetable Crops, відомий як бренд NS Seme) м. Нові Сад (Сербія). Рослина: антоціанове забарвлення – відсутнє. Стебло: за довжиною – середнє. Стебло: кількість вузлів (перший фертильний вузол включно) – середня кількість. Листя: забарвлення – жовто-зелене. Черешок: за довжиною від пазухи до останнього вусика – середній. Час цвітіння – середній. Рослина: максимальна кількість квіток на вузлі – три. Квітка: колір паруса – білий. Біб: за довжиною – середній. Насіння: маса 1000 шт. – мала [17].

Сорт Апперкот, оригінатор: Florimond Desprez (Франція). Рослина: антоціанове забарвлення – відсутнє. Стебло: за довжиною – середнє. Листя: забарвлення – зелене, листочки – відсутні. Рослина: час цвітіння – середній. Рослина: максимальна кількість квіток на вузлі – дві. Квітка: забарвлення паруса – біле. Насіння: забарвлення сім'ядолей – жовте. Тип розвитку – озимий [18].

Сорт Балтрап, оригінатор: Florimond Desprez (Франція). Рослина: антоціанове забарвлення – відсутнє. Стебло: за довжиною – коротке. Листя: забарвлення – зелене. Рослина: максимальна кількість квіток на вузлі – три. Квітка: забарвлення паруса – біле. Насіння: маса – мала. Тип розвитку – озимий [19].

AminoStar® – це стимулятор росту та антистресант рослинного походження на основі амінокислот та біологічно активних речовин. Препарат випускається українським виробником (ТМ «Кісон»). Діюча речовина: вільні амінокислоти рослинного походження – 30%, органічна речовина – 18%, азот (N) – 5%, фосфор (P_2O_5) – 2%, калій (K) – 4%, допоміжні речовини. Позакореневе підживлення препаратом AminoStar®: 20–25 мл препарату на 10 літрів води. Позакореневі обробки проводили два рази: у стадії формування листків (BBCH 10–19) та формування квітів (BBCH 51–59).

Дослідження показали, що маса 1000 зерен сортів гороху посівного зимуючого типу розвитку суттєво залежала як від сортових особливостей, так і від застосування препарату AminoStar® (табл. 1).

В роки досліджень позакореневе підживлення препаратом AminoStar® сприяло збільшенню маси 1000 зерен порівняно з контролем (без обробки) та контролем (обробка водою). Найвищі показники маси 1000 зерен сформував сорт НС Мороз. У контрольному варіанті (без обробки) цей показник становив 173,1 г у 2024–2025 вегетаційному році та 177,3 г у 2025–2026 році, тоді як за використання AminoStar® він зріс відповідно до 189,5 та 191,9 г., середнє значення за використання AminoStar® за два роки становило 190,7 г, що на 15,5 г більше порівняно з контролем (без обробки). Середнє значення по фактору А для сорту НС Мороз дорівнювало 180,8 г, що підтверджує його високу крупнозерність.

Сорт Апперкот характеризувався дещо нижчими показниками. У контрольному варіанті (без обробки) маса 1000 зерен становила 164,5–170,3 г, а після позакореневого підживлення препаратом AminoStar® підвищувалася до 181,3–185,6 г, у середньому за 2024–2026 рр. за позакореневого підживлення препаратом AminoStar® показник дорівнював 183,4 г, що перевищувало контроль на 14,8 г або на 9,5%.

Для сорту Балтрап також встановлено позитивний вплив позакореневого підживлення препаратом. У контрольному варіанті (без обробки) маса 1000 зерен становила 163,7 г у 2024–2025 рр. та 168,9 г у 2025–2026 рр., тоді як застосування AminoStar® забезпечило підвищення показника до 179,3 та 183,2 г відповідно. Середнє значення за два роки становило 181,2 г, що на 14,9 г більше від контролю.

Таблиця 1

**Маса 1000 зерен сортів гороху посівного зимуючого типу розвитку
залежно від обробки біопрепаратом (2024–2026 рр.), г**

Сорт (фактор А)	Обробка рослин (фактор В)	Маса 1000 зерен, г			
		2024–2025 вегетаційний рік	2025–2026 вегетаційний рік	середнє за 2024–2026 рр.	середнє по фактору В
НС Мороз	Контроль (без обробки)	173,1	177,3	175,2	169,6
	Контроль (обробка водою)	174,2	178,6	176,4	170,8
	AminoStar®	189,5	191,9	190,7	185,1
	середнє по фактору А	178,9	182,6	180,8	
Апперкот	Контроль (без обробки)	164,5	170,3	167,4	
	Контроль (обробка водою)	165,9	171,4	168,6	
	AminoStar®	181,3	185,6	183,4	
	середнє по фактору А	170,6	175,8	173,1	
Балтрап	Контроль (без обробки)	163,7	168,9	166,3	
	Контроль (обробка водою)	164,8	170,0	167,4	
	AminoStar®	179,3	183,2	181,2	
	середнє по фактору А	169,3	174,0	171,6	
НІР ₀₅ , г	Фактор А	6,4	7,1		
	Фактор В	7,4	8,3		
	Фактор АВ	8,5	9,4		

Середнє по фактору В (обробка рослин) маса 1000 зерен на контрольному варіанті (без обробки) становила – 169,6 г, застосування AminoStar® забезпечило підвищення показника до 185,1 г, тобто на 15,5 г. або на 9,1%.

Отже, застосування препарату AminoStar® забезпечувало стабільне збільшення маси 1000 зерен у всіх досліджуваних сортів гороху посівного зимуючого типу розвитку. Найвищою масою 1000 зерен характеризувався сорт НС Мороз, тоді як сорти Апперкот і Балтрап поступалися йому за цим показником, але також позитивно реагували на позакореневе підживлення препаратом AminoStar®.

Маса зерна з 1 рослини сортів гороху посівного зимуючого типу розвитку значною мірою залежала від сортових особливостей та застосування позакореневого підживлення препаратом AminoStar® упродовж 2024–2026 рр. У всіх досліджуваних сортів позакореневе підживлення препаратом AminoStar® забезпечувало підвищення цього показника порівняно з контролем (табл. 2).

Найвищу масу зерна з 1 рослини сформував сорт НС Мороз. У контрольному варіанті (без обробки) показник становив 3,01 г у 2024–2025 вегетаційному році та 3,09 г у 2025–2026 році. За застосування позакореневого підживлення препаратом AminoStar® маса зерна підвищувалася до 3,39 та 3,45 г відповідно на 0,38 та 0,36 г більше порівняно з контролем. Середні значення по фактору А для сорту

НС Мороз становили 3,14–3,22 г, що свідчить про його високий продуктивний потенціал.

Таблиця 2

Маса зерна з 1 рослини сортів гороху посівного зимуючого типу розвитку залежно від обробки біопрепаратом (2024–2026 рр.), г

Сорт (фактор А)	Обробка рослин (фактор В)	Маса зерна з 1 рослини, г			
		2024–2025 вегетаційний рік	2025–2026 вегетаційний рік	середнє за 2024–2026 рр.	середнє по фактору В
НС Мороз	Контроль (без обробки)	3,01	3,09	3,05	2,31
	Контроль (обробка водою)	3,03	3,11	3,07	2,33
	AminoStar®	3,39	3,45	3,42	2,59
	середнє по фактору А	3,14	3,22	3,18	
Апперкот	Контроль (без обробки)	2,19	2,26	2,22	
	Контроль (обробка водою)	2,21	2,28	2,24	
	AminoStar®	2,41	2,45	2,43	
	середнє по фактору А	2,28	2,32	2,30	
Балтрап	Контроль (без обробки)	1,60	1,71	1,65	
	Контроль (обробка водою)	1,61	1,73	1,67	
	AminoStar®	1,89	1,92	1,91	
	середнє по фактору А	1,70	1,79	1,74	
НІР ₀₅ , г	Фактор А	0,08	0,09		
	Фактор В	0,11	0,13		
	Фактор АВ	0,15	0,16		

Сорт Апперкот характеризувався нижчими показниками порівняно із сортом НС Мороз. У контрольному варіанті (без обробки) маса зерна з 1 рослини становила 2,19–2,26 г, тоді як за позакореневого підживлення препаратом AminoStar® показник зростав до 2,41–2,45 г. У середньому за 2024–2026 рр. маса зерна з 1 рослини досягала за позакореневого підживлення препаратом AminoStar® – 2,43 г, що на 0,21 г перевищувало контрольний варіант.

Найнижчі показники маси зерна з 1 рослини відзначено у сорту Балтрап. У контрольному варіанті (без обробки) маса зерна з 1 рослини становила 1,60 г у 2024–2025 рр. та 1,71 г у 2025–2026 вегетаційних роках. Застосування позакореневого підживлення препаратом AminoStar® сприяло збільшенню показника до 1,89 та 1,92 г відповідно. Середнє значення за два роки становило за позакореневого підживлення препаратом AminoStar® становило 1,91 г, що на 0,26 г більше порівняно з контролем.

Отже, позакореневе підживлення препаратом AminoStar® позитивно впливало на формування маси зерна з 1 рослини у всіх сортів гороху посівного зимуючого

типу розвитку. Найвищою продуктивністю характеризувався сорт Мороз, тоді як сорти Апперкот і Балтрап мали нижчі показники, однак також позитивно реагували на застосування препарату.

Урожайність сортів гороху посівного зимуючого типу розвитку значною мірою залежала як від сортових особливостей, так і від застосування препарату AminoStar® упродовж 2024–2026 рр. В усіх варіантах досліді позакореневе підживлення препаратом забезпечувало підвищення врожайності порівняно з контролем (без обробки) та контролем (обробка водою) (табл. 3).

Таблиця 3

**Урожайність сортів гороху посівного зимуючого типу розвитку
залежно від обробки біопрепаратом (2024–2026 рр.), т/га**

Сорт (фактор А)	Обробка рослин (фактор В)	Урожайність, т/га			
		2024–2025 вегетацій- ний рік	2025–2026 вегетацій- ний рік	середнє за 2024–2026 рр.	середнє по фактору В
НС Мороз	Контроль (без обробки)	3,26	3,30	3,28	2,56
	Контроль (обробка водою)	3,28	3,31	3,29	2,55
	AminoStar®	3,63	3,70	3,66	2,80
	середнє по фактору А	3,39	3,44	3,42	
Апперкот	Контроль (без обробки)	2,42	2,46	2,44	
	Контроль (обробка водою)	2,44	2,48	2,46	
	AminoStar®	2,65	2,67	2,66	
	середнє по фактору А	2,50	2,54	2,52	
Балтрап	Контроль (без обробки)	1,86	1,89	1,87	
	Контроль (обробка водою)	1,88	1,91	1,89	
	AminoStar®	2,08	2,11	2,09	
	середнє по фактору А	1,94	1,97	1,95	
НІР ₀₅ , т/га	Фактор А	0,09	0,11		
	Фактор В	0,12	0,14		
	Фактор АВ	0,14	0,17		

Найвищу врожайність сформував сорт НС Мороз. У контрольному варіанті (без обробки) показник становив 3,26 т/га у 2024–2025 вегетаційному році та 3,30 т/га у 2025–2026 році. За застосування препарату AminoStar® урожайність підвищувалася до 3,63 та 3,70 т/га відповідно. Середня врожайність за два роки досліджень становила 3,42 т/га, що на 0,14 т/га перевищувало контрольний варіант. Середні значення по фактору А для сорту НС Мороз становили 3,39, 3,44 т/га за роками досліджень, що підтверджує його високий продуктивний потенціал.

Сорт Апперкот характеризувався нижчим рівнем урожайності порівняно із сортом Мороз. У контрольному варіанті (без обробки) врожайність становила 2,42 т/га у 2024–2025 рр. та 2,46 т/га у 2025–2026 рр. Після позакореневого підживлення

препаратом показник зростав до 2,65 та 2,67 т/га відповідно, що на 0,23 та 0,21 т/га більше порівняно з контролем. Середня врожайність за 2024–2026 рр. становила 2,52 т/га.

Найнижчі показники урожайності були характерні для сорту Балтрап. У контрольному варіанті (без обробки) врожайність становила 1,86 та 1,89 т/га, тоді як застосування AminoStar® сприяло її підвищенню до 2,08 та 2,11 т/га відповідно за роками, що на 0,22 т/га перевищувало контроль. Середній показник за два роки досліджень досягав 2,09 т/га.

Отже, результати досліджень свідчать про позитивний вплив позакореневого підживлення препаратом AminoStar® на формування врожайності сортів гороху посівного зимуючого типу розвитку. Найвищою врожайністю характеризувався сорт Мороз, який найбільш ефективно реагував на застосування препарату, тоді як сорти Апперкот і Балтрап формували нижчу врожайність, але також демонстрували позитивну реакцію на позакореневе підживлення препаратом (рис. 1).

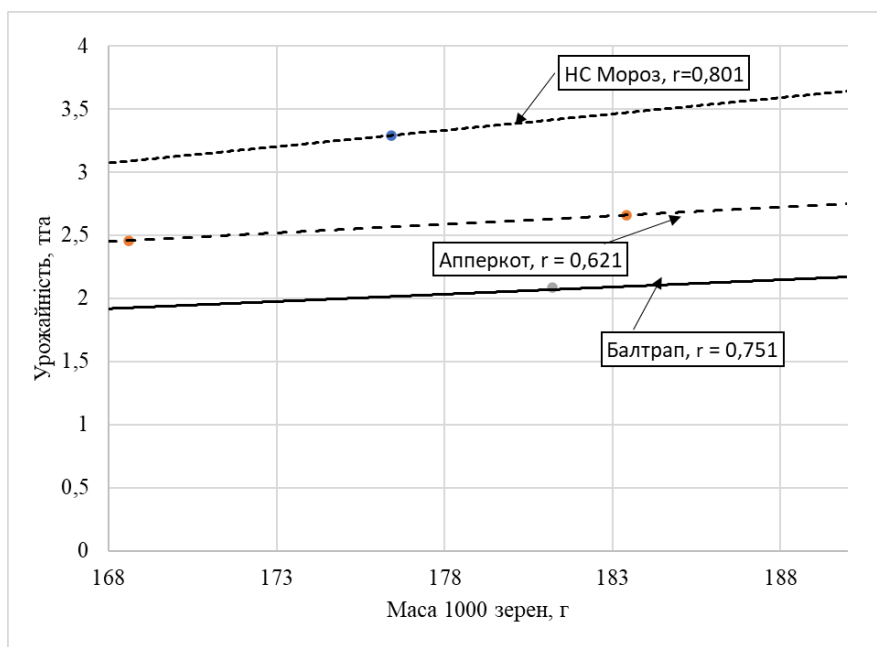


Рис. 1. Кореляційно-регресійні моделі залежності маси 1000 насінин та урожайності сортів гороху

Для всіх сортів спостерігається позитивний зв'язок між масою 1000 зерен і урожайністю, зі збільшенням крупності зерна урожайність зростає (рис. 1). Найсильніша кореляція була у сорту НС Мороз ($r = 0,801$). Маса 1000 зерен є важливим показником продуктивності для всіх трьох сортів, а найбільш тісний зв'язок між цими ознаками встановлено у сорту НС Мороз.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Застосування препарату AminoStar® забезпечувало стабільне збільшення маси 1000 зерен у всіх досліджуваних сортів гороху посівного зимуючого типу розвитку. Найвищою масою 1000 зерен характеризувався сорт НС Мороз за обробки біопрепаратом (190,7 г), тоді як сорти Апперкот і Балтрап поступалися йому за цим показником, але також

позитивно реагували на позакореневе підживлення препаратом AminoStar®. Маса 1000 зерен є важливим показником продуктивності сортів гороху зимуючого ($r = 0,621-0,801$).

Урожайність сортів гороху посівного зимуючого типу розвитку значною мірою залежала як від сортових особливостей, так і від застосування препарату AminoStar® упродовж 2024–2026 років. В усіх варіантах дослідів позакореневе підживлення препаратом забезпечувало підвищення врожайності порівняно з контролем (без обробки) та контролем (обробка водою).

Найвищу врожайність сформував сорт НС Мороз. Середня врожайність за два роки досліджень становила 3,66 т/га, що на 0,37 т/га перевищувало контрольний варіант.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Щербakov В. Я., Руденко В. І. Горох – відмінний попередник озимих культур. *Агробізнес сьогодні*. 2021. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/21621-horokh-vidminnyi-poperednyk-ozymykh-kultur.html> (дата звернення: 03.07.2026)
2. Лихочвор В. В., Проць Р. Р. Горох : монографія. Львів : Українські технології, 2002. 68 с.
3. Ісичко О., Бовсуновський О. Горох – це не тільки найкращий попередник, а ще й... *Пропозиція*. 2004. № 11. С. 48–49.
4. Аверчев О. В., Ковшакова Т. С. Вплив біологізації елементів агротехніки сортів гороху за різної густоти шляхом обробки посівів біостимуляторами та мікроелементами на його біометричні показники в незрошуваних умовах південного степу України. *Development trends of the world agriculture in the XXIst century: the view of the modern scientific community* : Scientific monograph. Riga : Baltija Publishing, 2022. С. 28–59. DOI: 10.30525/978-9934-26-203-6-2.
5. Ковшакова Т. С., Аверчев О. В., Онищенко С. О. Розробка адаптивних технологій вирощування гороху в умовах півдня України з метою покращення якості харчової сировини. *Сучасні підходи до післязбиральних технологій та маркетингу плодовоовочевої продукції* : зб. міжнар. студент. наук.-практ. конф., 28–29 травн. 2019 р. Херсон, 2019. С. 112–115.
6. Жуйков О. Г., Лагутенко К. В. Горох посівний в Україні – стан, проблеми, перспективи (оглядова). *Таврійський науковий вісник. Серія «Сільськогосподарські науки»*. 2017. № 98. С. 65–71.
7. Січкав В. І., Соломонов Р. В. Ефективність вирощування гороху за підзимової сівби. *Аграрна наука: стан та перспективи розвитку* : зб. матеріалів II Всеукраїнської науково-практичної конференції, 24–25 лист. 2022 р. Одеса, 2022. С. 105–107.
8. Cutforth H. W., McGinn S. M., McPhee K. E., Miller P. R. Adaptation of pulse crops in the changing climate of the northern Great Plains. *Agronomy Journal*. 2007. Vol. 99. P. 1684–1699. DOI: 10.2134/agronj2006.0310s.
9. Merrill S. D., Tanaka D. L., Krupinsky J. M., Ries R. E. Water use and depletion by diverse crop species on Haplustoll soil in the northern Great Plains. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2004. Vol. 59. P. 176–183.
10. Литвиненко О. І., Шепель А. В. Горох зимуючий – нова форма гороху для півдня України. *Integration of Education, Science and Business in Modern Environment. Winter Debates* : Proc. of the 5th Int. Sci. and Pract. Internet Conf., 8–9 Feb. 2024. Dnipro : FOP Marenichenko V. V., 2024. P. 118–119.
11. Черенков А. В., Шевченко М. С. Стратегія виробництва зернобобових культур і сої в Степу України. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 1. С. 13–18.

12. Оліфірович В. О. Вплив біопрепаратів на урожайність рослин сої в умовах південної частини Лісостепу західного. *Корми і кормовиробництво*. 2016. Вип. 82. С. 138–140.

13. Дідур І. М., Шевчук В. В., Мостовенко В. В. Особливості проростання насіння та початкові етапи росту гороху озимого за дії мікробного і стимулювального препаратів. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. № 2 (17). С. 15–29. DOI: 10.37128/2707-5826-2020-2-2.

14. Соломонов Р. В., Орехівський В. Д., Кривенко А. І., Руденко В. А. Дослідження сортів зимуючого гороху за різними строками посіву в умовах Півдня України. *Аграрні інновації*. 2022. № 12. С. 70–76. DOI: 10.32848/agrar.innov.2022.12.11.

15. Коломієць М., Аверчев О. Економічна та агрономічна цінність гороху в сучасному сільському господарстві. *Сучасна наука: стан та перспективи розвитку* : зб. наук. праць III Всеукр. наук.-практ. конф. з нагоди Дня працівника сільського господарства в Україні, 13–15 лист. 2024 р. Херсон : ХДАЕУ, 2024. С. 32–34.

16. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень в сільському господарстві та харчових технологіях : монографія. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с. DOI: 10.47414/978-966-924-927-2.

17. Сорт НС МОРОЗ (горох озимий, горох посівний). Аграрії разом. URL: <https://agrarii-razom.com.ua/culture-variety/ns-moroz> (дата звернення: 03.07.2026).

18. Сорт АППЕРКОТ (горох озимий, горох посівний). Аграрії разом. URL: <https://agrarii-razom.com.ua/culture-variety/apperkot> (дата звернення: 03.07.2026).

19. Сорт БАЛТРАП (горох озимий, горох посівний). Аграрії разом. URL: <https://agrarii-razom.com.ua/culture-variety/baltrap>. (дата звернення: 03.07.2026).

Дата першого надходження статті до видання: 07.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 632.7:633.11(477.4)

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.10>

ДИНАМІКА ОСНОВНИХ ФІТОФАГІВ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ В УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Залевський М.Ю. – аспірант кафедри захисту і карантину рослин,
Уманський національний університет
orcid.org/0009-0000-0321-693X

У статті наведено результати досліджень видового складу та чисельності основних фітофагів пшениці озимої в умовах Правобережного Лісостепу України. Актуальність роботи зумовлена необхідністю вдосконалення системи інтегрованого захисту культури в умовах змін клімату, що сприяють трансформації ентомокомплексу агроценозів, підвищенню чисельності окремих видів шкідників і зростанню їх господарського значення. Метою досліджень було визначення видового складу основних комах-фітофагів пшениці озимої, оцінювання їх чисельності та встановлення видів, що становлять найбільшу фітосанітарну небезпеку для культури. Польові дослідження проводили у 2024–2026 рр. у посівах пшениці озимої ПП «ЦЕРЕРА-АГРО-ТРАС» Київської області із застосуванням загальноприйнятих методик обліку і спостережень за шкідниками. Отримані результати досліджень свідчать про те, що ентомокомплекс пшениці озимої нараховує 35 видів комах-фітофагів із 7 рядів, серед яких найбільше видове різноманіття встановлено для рядів Hemiptera та Coleoptera. Домінуючими видами були *Schizaphis graminum* Rond., *Eurygaster integriceps* Put., *Phyllotreta vittula* Redt., *Psammotettix striatus* L., *Cicadella viridis* L., *Lygus rugulipennis* Popp. та *Haplothrips tritici* Kurd. Найвищу чисельність більшості домінуючих видів відмічено у 2025 році, що свідчить про суттєвий вплив погодних умов на формування їх популяцій. Встановлено, що чисельність *Schizaphis graminum*, *Eurygaster integriceps*, *Zabrus tenebrioides* Goeze, *Anisoplia austriaca* Hrbst., *Phyllotreta vittula* Redt., *Haplothrips tritici* Kurd. та *Scotia segetum* Schiff. у окремі роки досягала або перевищувала економічний поріг шкідливості. Обґрунтовано необхідність постійного фітосанітарного моніторингу, прогнозування динаміки популяцій домінуючих видів комах-фітофагів та вдосконалення інтегрованих систем захисту пшениці озимої на основі економічних порогів шкідливості. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації систем захисту культури, підвищення їх екологічної та економічної ефективності в умовах Лісостепу України.

Ключові слова: фітофаги, видовий склад, пшениця озима, захист рослин, фітосанітарний стан посівів.

Zalievskiy M.Yu. Dynamics of the Main Insect Pests of Winter Wheat in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine

The article presents the results of studies on the species composition and abundance of the main phytophagous insects of winter wheat under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The relevance of the study is determined by the need to improve the integrated crop protection system under current climate change conditions, which contribute to the transformation of the entomocomplex of agroecosystems, an increase in the abundance of certain pest species, and the growing economic importance of their harmfulness. The aim of the research was to determine the species composition of the major insect phytophages of winter wheat, assess their abundance, and identify the species posing the greatest phytosanitary threat to the crop. Field studies were conducted during 2024–2026 in winter wheat fields of the private agricultural enterprise «CERERA-AGRO-TRAS» (Kyiv Region, Ukraine) using generally accepted methods for pest monitoring and population assessment. The obtained results demonstrated that the entomocomplex of winter wheat comprised 35 species of phytophagous insects belonging to seven orders, with the greatest species diversity recorded within the orders Hemiptera and Coleoptera. The dominant species were *Schizaphis graminum* Rond., *Eurygaster integriceps* Put.,



© Залевський М.Ю., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

Phyllotreta vittula Redt., *Psammotettix striatus* L., *Cicadella viridis* L., *Lygus rugulipennis* Popp., and *Haplothrips tritici* Kurd. The highest population densities of most dominant species were recorded in 2025, indicating a significant influence of weather conditions on the formation of their populations. It was established that the abundance of *Schizaphis graminum*, *Eurygaster integriceps*, *Zabrus tenebrioides* Goeze, *Anisoplia austriaca* Hrbst., *Phyllotreta vittula* Redt., *Haplothrips tritici* Kurd., and *Scotia segetum* Schiff. reached or exceeded the economic threshold of harmfulness in certain years. The study substantiates the necessity of continuous phytosanitary monitoring, forecasting the population dynamics of dominant phytophagous insect species, and improving integrated winter wheat protection systems based on economic thresholds of harmfulness. The obtained results may be used to optimize crop protection systems and enhance their environmental and economic efficiency under the conditions of the Forest-Steppe zone of Ukraine.

Key words: phytophagous insects, species composition, winter wheat, plant protection, phytosanitary status of crops.

Актуальність теми досліджень. Пшениця озима є важливою сільськогосподарською культурою нашої країни. Світові площі пшениці залежно від року варіюються в межах від 220 до 230 млн га, а валовий збір зерна культури часто перевищує 660 млн т в рік [1, с. 4]. Для отримання стабільно високих врожаїв культури необхідно забезпечити захист пшениці від шкідливих організмів, значну частку яких становлять комахи. За даними різних вчених втрати зерна від шкідливих організмів складають близько 25% від майбутнього врожаю, а інколи сягають і до 50%. Ситуація погіршується і тим, що застосування засобів захисту є не завжди ефективним, що додатково призводить до зниження врожайності на 24–34% [2, с. 163]. Виходячи з цього постійний моніторинг фітосанітарного стану посівів на наявність шкідників культури є важливим для збереження майбутнього врожаю. Крім того, важливим резервом збільшення врожайності пшениці озимої є побудова ефективної системи захисту від шкідливого ентомокомплексу, де передумовою захисних заходів є розробка і впровадження у виробництво моделей багаторічного прогнозу динаміки формувань популяцій шкідливих видів комах [3, с. 160].

Ситуація погіршується і тим, що зміна клімату у світі призводить до зміщення природних зон шкідливості фітофагів, змінюється динаміка та щільність популяцій, зростає шкода від видів, що до недавню були відносно безпечними.

Перелічені вище фактори сприяють зростанню щільності популяцій фітофагів, призводять до періодичних спалахів їх чисельності та, як результат, суттєво знижують врожайність культури, а отже потребують удосконалення існуючих та розробки нових систем захисту під конкретні умови та вимоги сучасного землеробства.

За даними досліджень вітчизняних і зарубіжних науковців, а також практичний досвід сільськогосподарського виробництва підтверджують, що вдосконалення систем захисту пшениці озимої від комплексу комах-фітофагів із використанням сучасних методів моніторингу та регулювання їх чисельності є одним із ключових елементів сучасних агротехнологій. Науково обґрунтований контроль популяцій шкідників забезпечує істотне підвищення врожайності зернових культур, яке може перевищувати 25%, сприяє зростанню продуктивності праці, скороченню витрат паливно-мастильних матеріалів і зменшенню антропогенного навантаження на агроценози. Крім того, оптимізація кількості технологічних операцій дозволяє знизити ущільнення ґрунту, що позитивно впливає на його агрофізичні властивості та ефективність вирощування культури [4, с. 112].

Постановка проблеми. Фітосанітарний стан посівів пшениці озимої останніми роками погіршується, значну роль в цьому відіграють шкідливі види комах. Агроценози даної культури характеризуються специфічними екологічними

умовами, які формують унікальне середовище для розвитку та функціонування різноманітних груп шкідливих організмів. На відміну від природних екосистем, агроценоз зернових колосових культур відзначається спрощеною структурою, домінуванням однієї культурної рослини та періодичними антропогенними впливами, що створює сприятливі умови для масового розмноження багатьох видів шкідників [5, с. 122].

Тому, для ефективного контролю шкідників пшениці озимої, розробки нової чи удосконалення існуючих систем захисту, необхідно розуміти видовий склад фітофагів пшеничного агроценозу, розуміти які види є домінуючими, які з них шкодять в певну фазу культури чи впродовж усієї вегетації. Тому, метою наших досліджень було визначення видового складу основних фітофагів пшениці озимої, визначення видів, що є особливо небезпечними для культури для подальшого удосконалення її захисту.

Методика досліджень. При проведенні досліджень використовували польові та лабораторні методи досліджень. Для обліку шкідників пшениці озимої використовували методики описані Омелютою В.П. та ін. [6, с. 70] та Станкевичем С.В., Забродіною І.В. [7, с. 77]. Для порівняння чисельності фітофагів з ЕПШ, користувались даними наведеними в науковій літературі [8, с. 3] чисельність фітофагів порівнювали Посіви культури обстежували кожні 7–10 діб, зібраних комах ідентифіковували в лабораторії з допомогою співробітників університету та наукової літератури.

Результати досліджень. Отримання стабільно високих врожаїв пшениці озимої неможливе без належного захисту культури від шкідливих організмів. Комахи є ключовими організмами здатними значно знизити потенційний врожай культури, а також істотно пливати на якість сформованого зерна пшениці. Видовий склад шкідників пшениці озимої визначали на базі ПП «ЦЕРЕРА-АГРО-ТРАС», що знаходиться в Ставищанському районі Київській області.

Ентомологічний моніторинг посівів пшениці озимої впродовж 2024–2026 рр. засвідчив формування різноманітного комплексу комах-фітофагів, представленого 35 видами із 7 рядів (рис. 1). Ряди Hemiptera та Coleoptera мали найбільше видове різноманіття фітофагів пшениці озимої – по 10 шкідливих видів відповідно, ряд Diptera – 5 видів, Thysanoptera та Lepidoptera по 3 види, ряди Homoptera та Hymenoptera по 2 види, а також ряд Orthoptera – 1 шкідливий для культури вид (рис. 1).

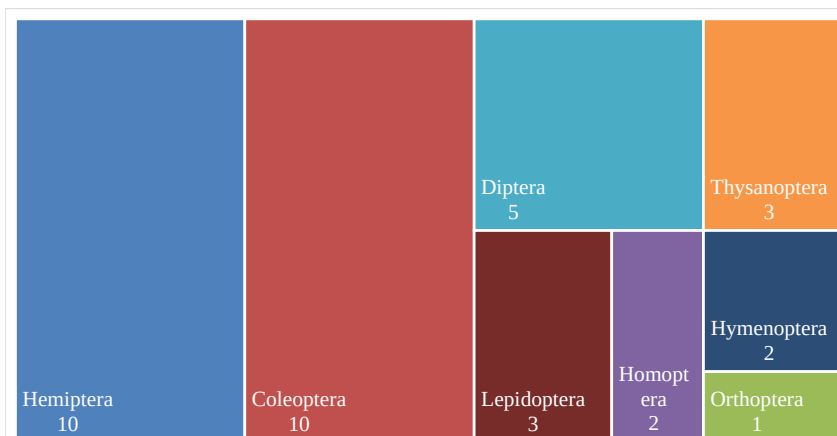


Рис. 1. Таксономічна структура фітофагів пшениці озимої (2024–2026 рр.)

Чисельність фітофагів також була різною, залежала від року та виду шкідників (табл. 1). Серед представників ряду Hemiptera найвищою чисельністю відзначалися злакова попелиця *Schizaphis graminum* Rond. (16,2–26,9 особин/м²), клоп-черепашка *Eurygaster integriceps* Put. (4,1–5,2 особин/м²), люцерновий клоп *Lygus rugulipennis* Popp. (7,8–12,2 особин/м²) та трав'яний клоп *Trigonotylus ruficornis* Geoffr. (5,3–13,4 особин/м²). Чисельність *Schizaphis graminum* у 2024 та 2025 роках перевищувала економічний поріг шкідливості (ЕПШ), а у 2026 році перебувала в його межах.

Популяція *Eurygaster integriceps* Put. впродовж усіх років досліджень досягала або перевищувала ЕПШ. Чисельність *Lygus rugulipennis* Popp. перевищувала поріг лише у 2025 році, тоді як інші види клопів і попелиць не досягали економічного порогу шкідливості.

Таблиця 1

Ентомокомплекс пшениці озимої в період досліджень (2024–2026 рр.)

Ряд	Вид	Чисельність, екз/м ²			ЕПШ
		2024	2025	2026	
Hemiptera	<i>Eurygaster integriceps</i> Put.	4,1	5,2	4,3	2–4
	<i>Eurygaster maurus</i> L.	0,1	0,4	0,2	2–4
	<i>Eurygaster austriaca</i> Schrank.	0,4	0,5	0,3	2–4
	<i>Aelia acuminata</i> L.	2,0	3,6	2,7	1–3
	<i>Aelia acuminata</i> L.	0,7	0,3	1,1	1–3
	<i>Trigonotylus ruficornis</i> Geoffr.	11,7	5,3	13,4	20–30
	<i>Lygus rugulipennis</i> Popp.	7,8	12,2	8,5	10–15
	<i>Schizaphis graminum</i> Rond.	19,5	26,9	16,2	10–25
	<i>Sitobion avenae</i> F.	7,9	9,6	7,0	10–25
Coleoptera	<i>Brachycolus noxius</i> Mordv.	2,1	4,4	3,2	10–25
	<i>Zabrus tenebrioides</i> Goeze	3,1	5,2	4,7	3–5
	<i>Oulema lichenis</i> Voet.	3,9	5,8	5,2	10–15
	<i>Oulema melanopus</i> L.	4,8	7,4	6,6	10–15
	<i>Phyllotreta vittula</i> Redt.	51,2	68,2	39,8	60–100
	<i>Chaetocnema hortensis</i> Geof.	11,4	21,9	16,2	60–100
	<i>Anisoplia austriaca</i> Hrbst.	4,2	5,4	4,9	4–5
	<i>Anisoplia segetum</i> H.	0,6	0,6	0,2	4–5
	<i>Anisoplia agricola</i> Poda.	0,2	0,3	0,1	4–5
Orthoptera	<i>Agriotes sputator</i> L.	3,6	4,3	4,5	5–8
	<i>Agriotes lineatus</i> L.	2,9	3,3	4,1	5–8
Homoptera	<i>Locusta migratoria</i> L.	0,0	0,7	0,0	2–5
	<i>Psammotettix striatus</i> L.	41,0	49,1	33,4	50–150
Diptera	<i>Cicadella viridis</i> L.	28,2	35,1	30,8	50–150
	<i>Mayetiola destructor</i> Say.	6,5	7,8	3,1	30–50
	<i>Phorbia genitalis</i> Schnabl.	8,2	9,4	9,0	30–50
	<i>Chlorops pumilionis</i> Bjerk.	5,8	7,1	6,4	30–50
	<i>Oscinella frit</i> L.	3,4	4,1	3,5	30–50
	<i>Oscinella pusilla</i> Mg.	2,8	3,3	2,9	30–50
Thysanoptera	<i>Haplothrips tritici</i> Kurd.	9,6	11,9	10,2	10–15
	<i>Chirothrips manicatus</i> Halid.	2,1	1,1	2,7	10–15
	<i>Limothrips denticornis</i> Halid.	0,4	0,7	0,2	10–15
Hymenoptera	<i>Cephus pygmaeus</i> L.	0,5	0,6	0,8	4
	<i>Trachelus tabidus</i> F.	1,1	0,9	1,4	4
Lepidoptera	<i>Scotia segetum</i> Schiff.	3,4	3,7	2,3	2–3
	<i>Euxoa tritici</i> L.	1,4	1,5	1,2	2–3
	<i>Agrotis ipsilon</i> Hufn.	0,7	1,1	0,3	2–3

Серед ряду твердокрилих найбільша чисельність спостерігалась у *Phyllotreta vittula* Redt., яка становила 39,8–68,2 особин/м². У 2025 році вона перевищувала нижню межу економічного порогу шкідливості, тоді як у 2024 та 2026 роках залишалася нижчою. Значною була також чисельність *Chaetocnema hortensis* Geof. (11,4–21,9 особин/м²), хоча вона не досягала ЕПШ.

Популяції хлібної жужелиці (*Zabrus tenebrioides* Goeze) (3,1–5,2 особин/м²) та хлібних жука кузьки (*Anisoplia austriaca* Hrbst.) (4,2–5,4 особин/м²) у 2025–2026 роках перебували на рівні або дещо перевищували економічний поріг шкідливості. Чисельність п'явиць (*Oulema lichenis* Voet. та *Oulema melanopus* L.), а також коваликів залишалася нижчою за економічні пороги шкідливості для культури.

Серед представників ряду Homoptera, незважаючи на високу щільність популяцій, чисельність смугастої (33,4–49,1 особин/м²) та зеленої цикадок (28,2–35,1 особин/м²), не перевищувала встановленого економічного порогу шкідливості.

Для ряду двокрилих (Diptera) характерною була порівняно невисока чисельність усіх виявлених видів. Найбільш поширеними були озима муха – 8,2–9,4 особин/м² та гессенська муха – 3,1–7,8 особин/м², однак їх чисельність була істотно нижчою за ЕПШ.

Серед трипсів домінував пшеничний трипс (*Haplothrips tritici* Kurd.), чисельність якого коливалася в межах 9,6–11,9 екз./м². У 2025 році цей показник перевищував нижню межу економічного порогу шкідливості, тоді як у 2024 і 2026 роках знаходився на її рівні або був дещо нижчим. Інші види трипсів (*Chirothrips manicatus* Halid. та *Limothrips denticornis* Halid.) траплялися поодинокі.

Представники рядів Hymenoptera та Orthoptera характеризувалися низькою чисельністю. Популяції хлібних пилючників (*Cephus pygmaeus* L. та *Trachelus tabidus* F.) не перевищували 1,4 особини на м², а перелітна сарана (*Locusta migratoria* L.) відмічалася лише у 2025 році в кількості 0,7 особин/м².

Серед лускокрилих найбільшою чисельністю характеризувалася озима совка (*Scotia segetum* Schiff.) з чисельністю 2,3–3,7 особин/м², яка у 2024–2025 роках перевищувала або досягала економічного порогу шкідливості. Чисельність інших видів совок (*Euxoa tritici* L. та *Agrotis ipsilon* Hufn.) залишалася нижчою за небезпечний для культури поріг.

Загалом найвища чисельність більшості домінуючих видів комах-фітофагів спостерігалася у 2025 році, що свідчить про сприятливі для їх розвитку погодно-кліматичні умови. Найбільшу господарську небезпеку впродовж досліджень становили *Schizaphis graminum* Rond., *Eurygaster integriceps* Put., *Zabrus tenebrioides* Goeze, *Anisoplia austriaca* Hrbst., *Phyllotreta vittula* Redt., *Haplothrips tritici* Kurd. та *Scotia segetum* Schiff., чисельність яких досягала або перевищувала економічний поріг шкідливості, що обґрунтовує необхідність постійного моніторингу їх популяцій та своєчасного застосування інтегрованих заходів захисту посівів пшениці озимої.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У результаті моніторингу посівів пшениці озимої в умовах ПП «ЦЕРЕРА-АГРО-ТРАС» (Правобережний Лісостеп України) упродовж 2024–2026 рр. встановлено формування ентомокомплексу, до складу якого входило 35 шкідливих видів комах із 7 рядів. Найбільше видове різноманіття виявлено серед представників рядів Hemiptera та Coleoptera, які були представлені десятьма видами кожний. Порівняння фактичної чисельності шкідників з економічними порогоми шкідливості показало, що найбільшу загрозу для посівів пшениці озимої становили *Schizaphis graminum*, *Eurygaster integriceps*, *Zabrus tenebrioides* Goeze, *Anisoplia austriaca* Hrbst., *Phyllotreta vittula* Redt.,

Haplothrips tritici Kurd. та *Scotia segetum* Schiff., популяції яких в окремі роки досягали або перевищували ЕПШ. Для більшості інших видів чисельність залишалася нижчою за економічно небезпечний рівень.

Після отриманих даних, подальшу наукову роботу буде спрямовано на створення науково обґрунтованих моделей прогнозування динаміки популяцій основних комах-фітофагів пшениці озимої з використанням багаторічних фітосанітарних спостережень, агрометеорологічних показників і сучасних цифрових технологій моніторингу. Перспективним також є визначення впливу змін клімату, структури сівозмін, систем обробітку ґрунту, сортових особливостей та елементів технології вирощування на формування ентомокомплексу агроценозу. Подальшого розвитку потребує удосконалення інтегрованих систем захисту пшениці озимої шляхом оптимізації критеріїв прийняття рішень щодо застосування засобів захисту рослин відповідно до прогнозованої чисельності домінуючих видів комах-фітофагів та рівня фітосанітарного ризику.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Черенков А. В., Гасанова І. І., Солодушко М. М. Пшениця озима – розвиток та селекція культури в історичному аспекті. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2014. № 6. С. 3–6.
2. Минкіна Г. О. Залежність ураженості посівів озимої пшениці від застосування хімічних засобів та фону живлення в умовах півдня України. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 131. С. 159–164. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.20>.
3. Сахненко В. В., Сахненко Д. В. Багаторічний аналіз динаміки розвитку та розмноження шкідників на пшениці озимій. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 107. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.107.21>.
4. Сахненко В. В., Сахненко Д. В. Агроекологічне обґрунтування захисту зернових культур від шкідників при новітніх системах землеробства у Лісостепу України. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2018. № 28. С. 112–119.
5. В. М., Піщаленко М. А., Кріпак А. В., Логвиненко В. В., Голтвяниця Т. О. Агроекологічні особливості комплексу багатодічних шкідників агроценозів пшениці. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. Vol. 28, No. 3. С. 121–127. DOI: <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.03.20>.
6. Облік шкідників і хвороб сільськогосподарських культур / В. П. Омелюта, І. В. Григорович, В. С. Чабан та ін.; за ред. В. П. Омелюти. Київ : Урожай, 1986. 294 с.
7. Станкевич С. В., Забродіна І. В. Моніторинг шкідників сільськогосподарських культур. Харків: Бровін О.В. 2016. 216 с.
8. Станкевич С. В., Забродіна І. В. Економічні пороги шкідливості основних шкідників сільськогосподарських культур. Харків, 2016. 24 с.

Дата першого надходження статті до видання: 14.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 635.3:631.53.03]:631.559

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.11>

ВІК РОЗСАДИ ЯК ЧИННИК ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЗЕЛЕНИХ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР

Кецкало В.В. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри овочівництва,

Уманський національний університет

orcid.org/0000-0002-9137-6470**Щетина С.В.** – д.с.-г.н.,

професор кафедри овочівництва,

Уманський національний університет

orcid.org/0000-0001-8504-2944

У статті наведено узагальнення результатів досліджень щодо впливу віку розсади на ефективність розсадного способу вирощування салату головчастого та васильків справжніх в умовах відкритого ґрунту. У дослідженні розглянуто передумови формування якісної розсади, її роль у процесах адаптації після пересаджування та подальшого росту рослин. Встановлено, що вік розсади є інтегральним показником, який відображає ступінь розвитку кореневої системи, площу асиміляційного апарату та загальний фізіологічний стан рослин перед висаджуванням. Отримані дані підтверджують, що формування оптимального морфофізіологічного стану розсади є ключовою передумовою стабільного росту та реалізації продуктивного потенціалу культур. У ході аналізу встановлено, що реакція досліджуваних культур на тривалість розсадного періоду має виражені видові особливості. Для салату головчастого характерним є формування найбільш збалансованого розвитку рослин за відносно коротшого періоду вирощування розсади, тоді як васильки справжні потребують тривалішого періоду для формування достатньо розвинутого листового апарату та стійкої кореневої системи. Це свідчить про необхідність диференційованого підходу до визначення строків висаджування залежно від біологічних особливостей культури. Окремо підкреслено, що як надмірне скорочення, так і подовження розсадного періоду негативно впливають на подальший розвиток рослин, що проявляється у зниженні інтенсивності ростових процесів, уповільненні формування асиміляційної поверхні та нерівномірності розвитку надземної частини. При цьому оптимальний вік розсади забезпечує більш рівномірний старт росту після пересаджування та сприяє стабілізації процесів формування біомаси. Отримані результати мають практичне значення для удосконалення технологій вирощування зелених овочевих культур, оскільки дозволяють конкретизувати параметри розсадного періоду з урахуванням видових особливостей рослин. Запропонований підхід сприяє підвищенню ефективності використання розсадного способу, стабілізації продуктивності та поліпшенню якості товарної продукції в умовах інтенсивного овочівництва.

Ключові слова: вік розсади, салат головчастий, васильки справжні, продуктивність, врожайність.

Ketskalov V.V., Shchetina S.V. Seedling Age as a Factor in the Productivity Formation of Leafy Vegetable Crops

The article summarizes the results of studies on the influence of seedling age on the effectiveness of the seedling method of growing lettuce and basil in open ground. The study considers the prerequisites for the formation of high-quality seedlings, their role in the processes of adaptation after transplanting and further plant growth. It was established that the age of seedlings is an integral indicator that reflects the degree of development of the root system, the area of the assimilation apparatus and the general physiological state of plants before



© Кецкало В.В., Щетина С.В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

planting. The data obtained confirm that the formation of the optimal morphophysiological state of seedlings is a key prerequisite for stable growth and the realization of the productive potential of crops. The analysis found that the reaction of the studied crops to the duration of the seedling period has pronounced species-specific characteristics. For lettuce, the formation of the most balanced plant development is characteristic for a relatively shorter period of seedling cultivation, while basil require a longer period to form a sufficiently developed leaf apparatus and a stable root system. This indicates the need for a differentiated approach to determining planting dates depending on the biological characteristics of the crop. It is separately emphasized that both excessive reduction and extension of the seedling period negatively affect the further development of plants, which is manifested in a decrease in the intensity of growth processes, a slowdown in the formation of the assimilation surface and uneven development of the above-ground part. At the same time, the optimal age of seedlings provides a more uniform start of growth after transplanting and helps stabilize the processes of biomass formation. The results obtained are of practical importance for improving the technologies for growing green vegetable crops, as they allow specifying the parameters of the seedling period taking into account the species characteristics of plants. The proposed approach contributes to increasing the efficiency of using the seedling method, stabilizing productivity and improving the quality of marketable products in conditions of intensive vegetable growing.

Key words: seedling age, lettuce, basil, productivity, yield.

Постановка проблеми. Зеленні овочеві культури, зокрема салат головчастий (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*) і васильки справжні (*Ocimum basilicum* L.), користуються стабільним попитом завдяки своїй харчовій та дієтичній значущості. За сучасної інтенсифікації овочівництва особливого значення набув розсадний спосіб вирощування, що дає більш ранню та якісну продукцію та підвищує ефективність використання площ захищеного і відкритого ґрунту. Варто зазначити, що дане питання уже неодноразово вивчали науковці і було доведено ефективність розсади для підвищення врожайності та поліпшення якості продукції. Водночас більшість попередніх робіт зосереджена на загальних або окремих агротехнічних прийомах, тоді як вік розсади розглядався фрагментарно або в різних умовах, що ускладнює узагальнення результатів. Актуальність більш глибокого вивчення цього питання зумовлена зміною технологічних умов вирощування та появою нових сортів і гібридів, які можуть по-іншому реагувати на тривалість розсадного періоду. Саме тому виникає необхідність уточнення та актуалізації даних щодо оптимального віку розсади як чинника, що безпосередньо впливає на адаптацію рослин після пересаджування та формування їх продуктивності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні наукові дослідження у сфері овочівництва свідчать про суттєве зростання інтересу до проблеми формування якості та продуктивності зеленних культур ще на етапі вирощування розсади. Особливу увагу дослідники приділяють віковим параметрам розсадного матеріалу, умовам його вирощування та технологічним факторам, що впливають на подальшу адаптацію рослин після пересаджування. Значний внесок зробили закордонні науковці. Так, колективом авторів висвітлено дані про суттєвий вплив спектрального складу світла та тривалості фотоперіоду на фотоморфогенез і темпи росту рослин, що опосередковано визначає оптимальний вік розсади для висадки у відкритий ґрунт або контрольовані умови [1, с. 5]. Було доведено, що мікроелементне збагачення на ранніх етапах органогенезу не лише підвищує харчову цінність продукції, але й впливає на фізіологічний стан молодих рослин, що може змінювати темпи їх росту та, відповідно, оптимальний строк вирощування розсади [2, с. 14]. Інші вчені, досліджуючи вплив умов виробництва розсади на подальшу врожайність, встановили, що параметри середовища вирощування розсади васильків справжніх (світло, температура, живлення) мають довготривалий

ефект на розвиток рослин у постпересадковий період і безпосередньо визначають рівень урожайності. Це підкреслює важливість контролю віку та якості розсади як інтегрованого фактора продуктивності [3, с. 1].

Також варто відзначити дослідження щодо ефективності застосування біостимуляторів для зменшення стресу пересаджування у салату –фізіологічний стан розсади, включаючи її вік, є критичним фактором, який визначає здатність рослин швидко відновлювати ріст після пересаджування [4, с. 9]. Дослідження впливу субстратів на основі кокосового волокна, компосту та біочару (біовугілля) на ріст розсади салату показали, що їх якість визначає інтенсивність формування кореневої системи та загальний розвиток рослин, що в подальшому впливає на оптимальний вік розсади для висаджування [5, с. 5].

Завдяки регулюванню температури та фотоперіоду можна керувати темпами розвитку зеленних листкових культур. Доведено можливість програмування пришвидшеного або уповільненого росту, що безпосередньо пов'язано з формуванням різного віку розсадного матеріалу та його адаптивними властивостями [6, с. 13]. В інших дослідженнях встановлено, що вік рослин і пошкодження кореневої системи впливають на ризики внутрішньої контамінації патогенними мікроорганізмами у зеленних культурах. Це підкреслює не лише агрономічне, а й безпекове значення оптимального терміну вирощування розсади [7, с. 5]. За вивчення впливу віку розсади на ріст і розвиток овочевих культур у системі циліндричних паперових горщиків, було встановлено, що відхилення від оптимального віку розсади призводить до зниження приживлюваності та нерівномірності росту, що впливає на продуктивність [8, с. 6]. Додатково у гідропонних системах вивчено, що вікові характеристики рослин (зокрема васильків справжніх) впливають на засвоєння елементів живлення та розвиток кореневої системи, що визначає темпи формування біомаси [9, с. 7].

Впливає на скорочення або вирівнювання строків формування розсади передпосівна обробка насіння хітозановими гідролізатами, що покращує енергію проростання та початкові етапи росту салату і є важливим для оптимізації її віку [10, с. 14]. Систематизаційний огляд узагальнює сучасні підходи до сталого виробництва розсади овочевих культур. Автори підкреслюють, що інтеграція технологічних, екологічних та фізіологічних факторів дозволяє оптимізувати строки вирощування розсади та підвищити її якість як базового елемента майбутньої врожайності [11, с. 15]. В українських умовах практичний інтерес становлять дослідження впливу розміру чарунки касет та сорту на урожайність зеленних та пряноароматичних культур. Встановлено, що параметри вирощування розсади мають прямий вплив на формування продуктивності культури у польових умовах, що підтверджує важливість оптимізації розсадного періоду [12, с. 143].

Узагальнення наведених досліджень свідчить, що вік розсади є інтегральним показником, який формується під впливом світлових, температурних, живильних та технологічних факторів. Він визначає рівень адаптації рослин після пересаджування, швидкість відновлення ростових процесів і, зрештою, кінцеву продуктивність зеленних овочевих культур. Таким чином, сучасні наукові підходи однозначно підтверджують необхідність оптимізації віку розсади як одного з ключових чинників підвищення ефективності овочевиробництва.

Методика досліджень. Дослідження проводили впродовж 2024–2025 рр. в Уманському національному університеті з салатом головчастим сорту Елсол (Нідерланди, 2022 р.) та васильками справжніми сорту Грек (Україна, 2023 р.). Розсаду вирощували у весняний період у плівковій теплиці з природним освітленням.

Вік розсади салату головчастого – 20 діб, 25 діб, 30 діб (*контроль*), 35 діб. Вік розсади васильків справжніх – 30 діб, 35 діб, 40 діб (*контроль*), 45 діб (використовували дещо подовжений період формування розсади, що відповідає біологічним особливостям культури). Наукову роботу проводили за методикою дослідної справи в овочівництві і баштанництві [13]. У процесі роботи спостерігали за приживлюваністю розсади; фіксували зміни біометричних показників рослин, площі листової поверхні; тривалість вегетаційного періоду; обліковували урожайність та товарність продукції. Результати досліджень аналізували з урахуванням метеорологічних умов року, біологічних особливостей культур і впливу віку розсади на ріст і врожайність.

Результати досліджень. Ефективність розсадного способу вирощування значною мірою визначається здатністю рослин швидко адаптуватися після пересаджування. Одним із показників такої адаптації є приживлюваність розсади, яка залежить від ступеня розвитку кореневої системи, накопичених пластичних речовин та фізіологічного стану рослин. У проведених дослідженнях встановлено, що кращі показники приживлюваності забезпечувала розсада середнього віку. Для салату головчастого максимальна приживлюваність (98 %) відзначена за висаджування 25-добової розсади, тоді як використання молодших (20 діб) або старших (35 діб) рослин знижувало цей показник до 91–94 %. Аналогічну закономірність спостерігали і у васильків: найвищу приживлюваність (96 %) забезпечила 35-добова розсада, тоді як у варіантах із 30- та 45-добовими рослинами вона не перевищувала 91–92 %. Отже, саме на цьому етапі розвитку рослини мають найбільш збалансоване співвідношення між надземною та кореневою системами, що сприяє швидшому подоланню стресу після пересаджування.

Подальший розвиток рослин підтвердив, що вік розсади істотно впливає на формування врожайності. Незважаючи на високу приживлюваність 25-добової розсади салату, максимальну врожайність забезпечило висаджування рослин у віці 30 діб. У середньому за два роки досліджень урожайність у цьому варіанті становила 21,6 т/га. Скорочення тривалості розсадного періоду до 20 діб призвело до зменшення врожаю до 18,7 т/га, або на 13,0 % порівняно з контролем. Ймовірною причиною є недостатній розвиток листового апарату та кореневої системи, що уповільнювало інтенсивність ростових процесів після висадки. Використання 25-добової розсади забезпечило практично однаковий із контролем рівень продуктивності (21,1 т/га), різниця становила лише 1,9 %. Водночас подальше збільшення віку розсади до 35 діб супроводжувалося зниженням урожайності до 19,9 т/га (–7,9 %), що свідчить про негативний вплив переростання рослин на реалізацію їх продуктивного потенціалу. Подібна тенденція встановлена і для васильків справжніх. Найвищий рівень урожайності отримано за використання 40-добової розсади – 9,8 т/га. Молодші рослини (30 діб) сформували 8,8 т/га, що на 10,2 % менше від контролю. За висаджування 35-добової розсади урожайність зросла до 9,5 т/га і лише незначно поступалася максимальному значенню (на 3,1 %). Використання 45-добової розсади також супроводжувалося зниженням продуктивності до 9,1 т/га, або на 7,1 % відносно контролю. Отже, як недостатній, так і надмірний вік розсади негативно впливає на формування врожаю васильків справжніх (табл. 1).

Аналіз отриманих результатів показує, що оптимальний вік розсади, який забезпечує найвищу приживлюваність, не завжди збігається з віком, за якого формується максимальна врожайність. Це пояснюється тим, що після успішної адаптації визначальне значення набуває здатність рослин підтримувати високі темпи наростання листової поверхні та ефективно використовувати ресурси

середовища протягом усього періоду вегетації. За таких умов найбільш продуктивними виявилися рослини салату віком 30 діб і васильків справжніх – 40 діб.

Таблиця 1
Урожайність салату головчастого та васильків справжніх залежно від віку розсади

Культура	Вік розсади, діб	Урожайність, т/га			Відхилення відносно контролю (від середнього значення)	
		2024 рік	2025 рік	середнє значення	т/га	%
Салат головчастий	20	18,4	18,9	18,7	– 2,8	– 13,0
	25	20,9	21,3	21,1	– 0,4	– 1,9
	30 (контроль)	21,4	21,7	21,6	0	0
	35	19,8	20,1	19,9	– 1,7	– 7,9
НІР ₀₅		0,5	0,4	–	–	–
Васильки справжні	30	8,7	8,9	8,8	– 1,0	– 10,2
	35	9,3	9,6	9,5	– 0,3	– 3,1
	40 (контроль)	9,7	9,9	9,8	0	0
	45	9,0	9,1	9,1	– 0,7	– 7,1
НІР ₀₅		0,2	0,2	–	–	–

Висновки та пропозиції. Проведені дослідження підтвердили суттєвий вплив віку розсади на приживлюваність та врожайність зеленних овочевих культур. Встановлено, що для салату головчастого найвищі показники приживлюваності (98 %) та врожайності (21,6 т/га) формуються за використання розсади віком 30 діб. Зменшення віку до 20 діб та збільшення до 35 діб призводить до зниження врожайності. Таким чином, оптимальний віковий діапазон для даної культури становить 25–30 діб, із максимальним значенням продуктивності при 30 добах. Для васильків справжніх встановлено іншу закономірність: найвища врожайність (9,8 т/га) та приживлюваність (96 %) досягаються за використання 40-добової розсади. Молодша розсада (30 діб) та переросла (45 діб) також знижує врожайність. Це свідчить про триваліший оптимальний період вирощування розсади васильків справжніх порівняно із салатом головчастим, що зумовлено біологічними особливостями культури. Отримані результати дозволяють пропонувати виробникам чітко диференційований підхід до визначення віку розсади: для салату головчастого сорту Елсол оптимальним є висаджування у віці 30 діб, для васильків справжніх сорту Грек – 40 діб. Використання розсади молодшого віку (20–30 діб) або перерослої (35–45 діб) недоцільне, оскільки це призводить до втрат урожайності до 7,1–13,0 %. Доцільно впроваджувати у виробництво регламентовані строки вирощування розсади з урахуванням видових особливостей культури, що забезпечить стабільне формування якісної продукції та підвищення ефективності вирощування зеленних овочевих культур у закритому й відкритому ґрунті.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Solbach J.A., Fricke A., Stützel H. Seasonal efficiency of supplemental LED lighting on growth and photomorphogenesis of sweet basil. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. Article 609975. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.609975>

2. Puccinelli M., Malorgio F., Pintimalli L., Rosellini I., Pezzarossa B. Biofortification of lettuce and basil seedlings with selenium. *Horticulturae*. 2022. Vol. 8, No. 9. Article 801. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090801>
3. Walters K.J., Lopez R.G. Effects of the seedling production environment on subsequent growth and yield of basil. *PLoS ONE*. 2022. Vol. 17, No. 9. Article e0273562. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273562>
4. Krinis D.I., Kasampalis D.S., Siomos A.S. *et al.* Biostimulants as a means to alleviate the transplanting shock in lettuce. *Horticulturae*. 2023. Vol. 9, No. 9. Article 968. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9090968>
5. Martins T.C., Machado R.M. A., Alves-Pereira I., Ferreira R., Gruda N.S. Coir-based growing media with municipal compost and biochar and their impacts on growth and some quality parameters in lettuce seedlings. *Horticulturae*. 2023. Vol. 9, No. 1. Article 105. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010105>
6. Noh K., Jeong B.R. Optimizing temperature and photoperiod in a home cultivation system to program normal, delayed, and hastened growth and development modes for leafy oak-leaf and romaine lettuces. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, No. 19. Article 10879. DOI: <https://doi.org/10.3390/su131910879>
7. Wang Y.-J., Deering A.J., Kim H.-J. Effects of plant age and root damage on internalization of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* in leafy vegetables and herbs. *Horticulturae*. 2021. Vol. 7, No. 4. Article 68. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7040068>
8. Xu C., Kwon J.-K., Kim H.-J. *et al.* The effect of transplant age on vegetable growth characteristic in a cylindrical paper pot system. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 2021. Vol. 62, No. 3. P. 313–324. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13580-020-00318-7>
9. Houston L.L. *et al.* Evaluating species-specific replenishment solution effects on plant growth and root zone nutrients with hydroponic arugula (*Eruca sativa* L.) and basil (*Ocimum basilicum* L.). *Horticulturae*. 2023. Vol. 9, No. 4. Article 486. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040486>
10. Lyalina T. *et al.* Effect of seed priming with chitosan hydrolysate on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth parameters. *Molecules*. 2023. Vol. 28, No. 4. Article 1915. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28041915>
11. Gallegos-Cedillo V.M., Nájera C., Gruda N.S., Signore A., Gallegos J., Rodríguez R., Ochoa J., Egea-Gilabert C., Fernández J. A. An in-depth analysis of sustainable practices in vegetable seedlings nurseries: A review. *Scientia Horticulturae*. 2024. Vol. 334. Article 113342. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113342>
12. Кучер І.О. Вплив розміру чарунки та сорту на урожайність васильків справжніх у Правобережному Лісостепу України. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2021. Вип. 99, ч. 1. С. 134–146. DOI: <https://doi.org/10.31395/2415-8240-2021-99-1-134-146>
13. Бондаренко Г.Л., Яковенко К.І. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві: навч. посіб. Харків: Основа, 2001. 369 с.

Дата першого надходження статті до видання: 09.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 631.51.81:633.85.78

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.12>

ВПЛИВ МІКРОДОБРИВ НА ЕЛЕМЕНТИ СТРУКТУРИ УРОЖАЮ СОНЯШНИКУ

Козечко В.І. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри загального землеробства та ґрунтознавства,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

orcid.org/0000-0002-3843-3093

Якубенко Ю.Л. – к.е.н., доцент,

т.в.о. зав. кафедри маркетингу,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

orcid.org/0000-0001-5409-4792

Прищедько Н.О. – старший викладач кафедри загального землеробства

та ґрунтознавства,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

orcid.org/0009-0004-3944-0211

Рудаков Ю.М. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри загального землеробства та ґрунтознавства,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

orcid.org/0000-0002-4995-0336

Іванченко О.М. – д.філос. з агрономії,

директор,

Товариство з обмеженою відповідальністю «Агрос+»

Дніпровського району Дніпропетровської області

orcid.org/0009-0003-0235-1496

У дослідженні було оцінено вплив мікродобрив серії Торфовіт на масу 1000 насінин соняшника в умовах полів України протягом трьох років (2022–2024). Згідно з отриманими результатами, усі препарати серії Торфовіт сприяли покращенню цього показника порівняно з контрольним варіантом, де середня маса насінин становила 49,07 г. Найбільш виражений позитивний ефект спостерігався при застосуванні препарату Торфовіт Хелат Комплекс, де максимальний приріст маси 1000 насінин становив 2,91 г при дозі 3,0 л/га. Це свідчить про чітку залежність між дозою препарату та ефективністю впливу на розвиток культури.

Застосування препарату Торфовіт В/Мо також сприяло приросту маси 1000 насінин. Найменша доза 1,0 л/га збільшила масу насіння на 2,70 г, але подальше збільшення дози (до 1,25 і 1,5 л/га) майже не впливало на цей показник. Це свідчить про стабільний ефект при використанні препарату в межах рекомендованих доз. Аналогічні результати були зафіксовані при застосуванні Торфовіт Zn/N, де навіть мінімальна доза (0,5 л/га) забезпечила приріст на 2,51 г, а максимальний ефект досягався при дозі 1,5 л/га, що збільшувало масу насінин на 2,78 г порівняно з контролем.

У рамках досліджень також вивчався вплив мікродобрив на інші елементи структури врожаю, зокрема на діаметр кошика та вихід зерна. У контрольному варіанті середній діаметр кошика соняшнику становив 14,8 см, з яких озернена частина мала діаметр 12,5 см. При застосуванні Торфовіт Хелат Комплекс діаметр кошика зростав до 15,5 см, що на 0,7 см більше за контроль, а вихід зерна збільшувався до 63,6%, що перевищувало контроль на 5,4%. Найбільше зростання виходу зерна спостерігалось саме при застосуванні



дози 3,0 л/га Торфовіт Хелат Комплекс, що стало оптимальним для досягнення найвищих показників продуктивності.

Застосування інших препаратів, таких як Торфовіт В/Мо і Торфовіт Zn/N, також продемонструвало позитивний вплив на продуктивність соняшнику. Зокрема, при дозах 1,0–1,5 л/га діаметр кошика збільшувався до 15,2 см, а вихід зерна підвищувався на 1–2% порівняно з контрольним варіантом. Однак ці результати не досягли рівня ефективності Торфовіт Хелат Комплекс.

Ключові слова: соняшник, мікродобрива, елементи структури врожаю, дози мікродобрив.

Kozzechko V.I., Yakubenko Yu.L., Pryshedko N.O., Rudakov Yu.M., Ivanchenko O.M.
The effect of micronutrients on the elements of sunflower yield structure

In the study, the effect of the Torfovity series micronutrients on the 1000-seed weight of sunflower in the field conditions of Ukraine over three years (2022–2024) was evaluated. According to the obtained results, all the Torfovity products contributed to the improvement of this indicator compared to the control variant, where the average seed weight was 49.07 g. The most pronounced positive effect was observed when applying the Torfovity Chelate Complex, where the maximum increase in 1000-seed weight was 2.91 g at a dose of 3.0 l/ha. This indicates a clear relationship between the product dosage and its effectiveness in promoting crop development.

The application of Torfovity B/Mo also resulted in an increase in the 1000-seed weight. The smallest dose of 1.0 l/ha increased seed weight by 2.70 g, but further dose increases (to 1.25 and 1.5 l/ha) had almost no effect on this indicator. This suggests a stable effect when the product is used within the recommended doses. Similar results were observed with Torfovity Zn/N, where even the minimum dose (0.5 l/ha) resulted in an increase of 2.51 g, and the maximum effect was achieved at a dose of 1.5 l/ha, which increased the seed weight by 2.78 g compared to the control.

The study also examined the impact of micronutrients on other yield structure elements, particularly the diameter of the sunflower head and the seed yield. In the control variant, the average head diameter of the sunflower was 14.8 cm, with the seed-bearing part measuring 12.5 cm. When applying Torfovity Chelate Complex, the head diameter increased to 15.5 cm, which was 0.7 cm larger than the control, and the seed yield increased to 63.6%, which exceeded the control by 5.4%. The greatest increase in seed yield was observed with the application of the 3.0 l/ha dose of Torfovity Chelate Complex, which was optimal for achieving the highest productivity indicators.

The application of other products, such as Torfovity B/Mo and Torfovity Zn/N, also showed a positive impact on sunflower productivity. In particular, at doses of 1.0–1.5 l/ha, the head diameter increased to 15.2 cm, and the seed yield rose by 1–2% compared to the control variant. However, these results did not reach the level of effectiveness of Torfovity Chelate Complex.

Key words: sunflower, micronutrients, yield structure elements, micronutrient doses.

Постановка проблеми. У сучасних умовах агровиробництва важливу роль у підвищенні продуктивності сільськогосподарських культур, зокрема соняшнику, відіграє застосування мікродобрив. Це один з найбільш ефективних способів впливу на формування врожаю, оскільки мікроелементи необхідні для нормального розвитку рослин, забезпечення їх життєвих процесів і максимізації врожайності. Однак не всі аспекти використання мікродобрив у технології вирощування соняшнику в Україні є достатньо вивченими, особливо в контексті оптимальних доз і норм їх застосування.

Однією з проблем є відсутність чітких рекомендацій щодо оптимального використання мікродобрив серії Торфовіт для поліпшення таких показників соняшнику, як маса 1000 насінин, діаметр кошика, вихід зерна та загальна врожайність. Це питання потребує детального вивчення з метою розробки ефективних агротехнічних заходів, які сприятимуть підвищенню якості та кількості врожаю, а також економічної ефективності технології вирощування соняшнику.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування мікродобрив є важливим агротехнічним заходом, що суттєво впливає на формування елементів структури врожаю соняшнику. Мікроелементи, такі як бор, цинк, марганець, молібден та інші, відіграють важливу роль у метаболізмі рослин, а також у процесах запилення, наливу насіння та розвитку рослин. Позитивний вплив мікродобрив

на основні показники врожайності соняшнику, такі як діаметр кошика, маса 1000 насінин і кількість насінин у кошику, доведений багатьма міжнародними та вітчизняними дослідженнями [1–2].

Аналіз закордонних досліджень, зокрема, показує, що застосування борвмісних мікродобрив сприяє значному збільшенню діаметра кошика соняшнику та кількості насінин у ньому. Це пояснюється участю бору у процесах запилення та формуванні насіння. Наприклад, дослідження, проведені в Іспанії, довели, що борвмісні мікродобрива позитивно впливають на ці показники, що в свою чергу підвищує загальну продуктивність рослин. У Туреччині, у дослідженнях щодо підживлення соняшнику мікродобривами, що містять цинк і марганець, було встановлено, що ці елементи стимулюють метаболічні процеси та синтез білків, що також сприяє збільшенню маси 1000 насінин [3–5].

Вітчизняні дослідження підтверджують ефективність використання мікродобрив для покращення структури врожаю. Зокрема, в Дніпропетровській області, проведені дослідження з внесення мікродобрив на основі бору (Моно-Бор) у поєднанні з гуміновим препаратом (GumiSil-B) показали збільшення діаметра кошика соняшнику на 7–10%, кількості насінин у кошику на 10–15%, а маса 1000 насінин зросла на 6–12% порівняно з контролем. Це також сприяло підвищенню врожайності на 4–5 ц/га. У Запорізькій області дослідження підтвердили, що застосування мікродобрив з вмістом бору та молібдену сприяло покращенню наливу насіння та збільшенню маси 1000 насінин на 5–9%. При цьому збільшення кількості насінин у кошику відбулося завдяки кращому запиленню, що забезпечило підвищення життєздатності пілку [6–7].

Не менш важливим є підвищення якості насіння через позакореневе підживлення мікродобривами, зокрема цинком і марганцем. За результатами низки досліджень було встановлено, що мікроелементи значно підвищують кількість повноцінних насінин у кошику, що також впливає на підвищення потенційної врожайності соняшнику. Ці дослідження підтверджують важливість використання мікродобрив для поліпшення не лише кількості, а й якості врожаю соняшнику, особливо в умовах змінного клімату і недостатнього зволоження [7–12].

Матеріали і методи досліджень. Польові досліді проводили на виробничому полі ТОВ «Агрос+» Дніпровського району Дніпропетровської області протягом 2024–2025 років.

У виробничих умовах був закладений та проведено дослід з вивчення 3 види мікродобрив та 3 норми внесення, порівняно з контролем. Норма виливу робочої рідини складала 150 л/га за наступною схемою (табл. 1).

Дослідні ділянки розташовані систематично з трьома повтореннями. Кожна ділянка мала посівну площу 0,5 га (50×100 м) та облікову площу 0,24 га (30×80 м).

Підготовка ґрунту в ранньовесняний період передбачала мінімальне порушення ґрунтової структури: після сходження снігу поверхневий шар ґрунту розпушували бороною «Соломія». Для подальшого вирівнювання рельєфу поля та формування дрібногрудочкуватої структури ґрунту на глибину 5–7 см використовували комплексний агрегат Компактомат, що забезпечувало підготовку до висіву.

Посів соняшнику здійснювали за допомогою високоточних посівних комплексів Horsch Maestro, що гарантують рівномірне розміщення насінин та сталість густоти майбутнього стеблостою. Норма висіву становила 55 тис. насінин/га, використовувався гібрид Суомі. Глибина загортання насіння становила 5–6 см, а ширина міжрядь була 70 см. Паралельно з висівом в рядки вносили стартове мінеральне добриво в нормі N20P20.

Таблиця 1

Схема дослідів

Мікродобрива (Фактор А)	Доза використання, л/га (Фактор В)
Контроль (без внесення мікроелементів)	–
Торфовіт Хелат Комплекс	1,0
	2,0
	3,0
Торфовіт В/Мо	1,0
	1,25
	1,5
Торфовіт Zn/N	0,5
	1,0
	1,5

Усі агрономічні обліки та спостереження щодо елементів структури врожаю проводили згідно з методичними рекомендаціями для польових дослідів.

Опис мікродобрив, використаних у дослідженні:

Хелат комплекс Торфовіт. Склад: Бор (В) – 18,0 г/л, Цинк (Zn) – 12,0 г/л, Мідь (Cu) – 7,5 г/л, Залізо (Fe) – 9,0 г/л, Марганець (Mn) – 9,0 г/л, Нікель (Ni) – 0,35 г/л, Кобальт (Co) – 0,35 г/л, Молібден (Mo) – 4,0 г/л, +3% гумінових кислот, + солі янтарної та фумарової кислот. Форма: розчинний концентрат (р.к.). Норма витрати: 1–3 л/га

Торфовіт В/Мо. Склад: Азот (N) – 77,0 г/л Бор (В) – 155,0 г/л Молібден (Mo) – 25 г/л Форма: розчинний концентрат (р.к.). Норма витрати: 1 – 1,5 л/га

Торфовіт Zn/N. Характеристика продукту: Склад: Азот (N) – 120,0 г/л Цинк (Zn) – 270,0 г/л Форма: розчинний концентрат (р.к.). Норма витрати: 0,5 – 1,5 л/га

Результати досліджень. Дослідження впливу різних мікродобрив серії Торфовіт на масу 1000 насінин соняшнику, проведені у 2022–2024 роках, показали значний позитивний ефект від застосування цих препаратів порівняно з контрольним варіантом, в якому середня маса насінин становила 49,07 г. Згідно з отриманими результатами, усі мікродобрива сприяли збільшенню цього показника, при цьому максимальний ефект спостерігався при використанні Торфовіт Хелат Комплекс (табл. 2).

При застосуванні Торфовіт Хелат Комплекс за дозою 1,0 л/га середня маса 1000 насінин зросла до 50,91 г, що на 2,68 г більше, ніж у контрольному варіанті. Подальше збільшення дози до 3,0 л/га призвело до зростання маси насінин до 51,14 г, що на 2,91 г перевищувало контроль і було максимальним серед усіх досліджуваних варіантів.

Застосування мікродобрива Торфовіт В/Мо також показало позитивний результат. Найменша доза 1,0 л/га забезпечила середню масу 1000 насінин на рівні 50,93 г, що на 2,70 г більше контролю. Підвищення доз до 1,25 і 1,5 л/га майже не вплинуло на збільшення цього показника, зберігаючи стабільні значення: 50,81 г і 50,75 г відповідно (на 2,79 г більше, ніж у контролі).

При внесенні Торфовіт Zn/N, навіть мінімальна доза 0,5 л/га показала позитивний ефект, збільшивши масу 1000 насінин до 50,74 г (на 2,51 г більше контрольного варіанту). Підвищення доз до 1,0 л/га мало незначний вплив на цей показник (50,70 г, на 2,46 г більше контролю), а збільшення дози до 1,5 л/га призвело до середньої маси насінин на рівні 51,01 г, що на 2,78 г більше, ніж у контрольному варіанті.

Таблиця 2

Маса 1000 насінин соняшника залежно від застосування мікродобрив, г

Мікродобрива	Доза використання, л/га	Роки досліджень				± до контролю
		2022	2023	2024	середнє	
Контроль	—	37,10	73,00	34,60	48,23	—
Торфовіт Хелат Комплекс	1,0	39,87	76,22	36,65	50,91	2,68
	2,0	39,91	76,17	36,74	50,94	2,71
	3,0	40,21	76,38	36,83	51,14	2,91
Торфовіт В/Мо	1,0	40,02	75,71	37,07	50,93	2,70
	1,25	39,84	75,70	36,89	50,81	2,58
	1,5	39,75	75,63	36,87	50,75	2,52
Торфовіт Zn/N	0,5	39,74	75,62	36,88	50,74	2,51
	1,0	39,67	75,59	36,84	50,70	2,46
	1,5	40,14	76,05	36,84	51,01	2,78

Таким чином, проведений аналіз показав, що максимальний позитивний ефект на масу 1000 насінин соняшнику забезпечує Торфовіт Хелат Комплекс при дозі 3,0 л/га, що призводить до приросту на 2,91 г порівняно з контролем. Однак, навіть за мінімальних доз усіх досліджених мікродобрив, спостерігається суттєвий позитивний вплив на цей важливий показник якості врожаю соняшнику.

Отримані дані, свідчать про позитивний вплив досліджуваних мікродобрив на основні елементи продуктивності соняшнику, порівняно з контрольним варіантом. Зокрема, було виявлено суттєве збільшення діаметра кошика та виходу зерна з нього (табл. 3).

У контрольному варіанті середній діаметр кошика становив 14,8 см, при цьому озернена частина кошика займала 12,5 см, а пустотіла частина – 2,3 см. Вихід зерна в контрольному варіанті був на рівні 58,2%, що свідчить про середній рівень продуктивності в умовах відсутності застосування мікродобрив.

Таблиця 3

Діаметр кошика та вихід насіння з кошика залежно від застосування мікродобрив

Мікродобрива	Доза використання, л/га	Діаметр кошика, см			Вихід насіння з кошика, %
		всього	пустої середини	озерненої частини	
Контроль	-	14,8	2,3	12,5	58,2
Торфовіт Хелат Комплекс	1,0	15,2	2,5	12,6	58,6
	2,0	15,2	2,5	12,6	60,2
	3,0	15,5	2,4	13,1	63,6
Торфовіт В/Мо	1,0	14,9	2,7	12,2	58,3
	1,25	15,1	2,6	12,5	59,4
	1,5	15,1	2,6	12,5	59,4
Торфовіт Zn/N	0,5	15,2	2,5	12,7	58,9
	1,0	15,2	2,4	12,8	60,3
	1,5	15,4	2,4	13,0	62,8

Застосування препарату Торфовіт Хелат Комплекс продемонструвало значний позитивний вплив на основні параметри продуктивності соняшнику. При дозах 1,0 та 2,0 л/га загальний діаметр кошика збільшився до 15,2 см, а діаметр озерненої частини – до 12,6 см, з незначним збільшенням пустотілої частини до 2,5 см. Найвищий вихід зерна був зафіксований при дозі 3,0 л/га, коли він становив 63,6%, що на 5,4% більше, ніж у контрольному варіанті. Ці дані вказують на те, що доза 3,0 л/га є оптимальною для досягнення високих показників продуктивності соняшнику.

Внесення препарату Торфовіт В/Мо сприяло незначному збільшенню діаметра кошика порівняно з контролем. При дозі 1,0 л/га діаметр кошика зріс до 14,9 см, з яких озернена частина становила 12,2 см, а пустотіла частина – 2,7 см. Вихід зерна при цьому склав 58,3%, що було практично на рівні контрольного варіанту. Збільшення доз препарату до 1,25 і 1,5 л/га призвело до покращення озерненої частини кошика до 12,5 см, при цьому діаметр кошика залишався на рівні 15,1 см, що забезпечило зростання виходу зерна до 59,4% (на 1,2% більше, ніж у контролі).

Препарат Торфовіт Zn/N також продемонстрував покращення досліджуваних показників. При дозі 0,5 л/га загальний діаметр кошика зріс до 15,2 см, з яких озернена частина становила 12,7 см, а пустотіла частина – 2,5 см. Вихід зерна при цій дозі склав 58,9%, що на 0,4% більше контролю. Найбільший ефект спостерігався при дозі 1,5 л/га, коли озернена частина кошика досягла 13,0 см, а вихід зерна зріс до 62,8%, що перевищило контроль на 4,6%.

Отже, проведене дослідження показало, що всі досліджувані мікродобрива позитивно впливають на формування ключових структурних елементів урожаю соняшнику. Найбільш ефективними для підвищення виходу зерна виявилися препарати Торфовіт Zn/N (1,5 л/га) та Торфовіт Хелат Комплекс (2,0 л/га та вище). Ці результати дозволяють рекомендувати ці препарати для використання в технології вирощування соняшнику з метою підвищення продуктивності та якості врожаю.

Висновки. Дослідження показали, що застосування мікродобрив серії Торфовіт має позитивний вплив на основні показники продуктивності соняшнику. Найбільш значний ефект був відмічений при використанні препарату Торфовіт Хелат Комплекс, де максимальний приріст маси 1000 насінин досягав 2,91 г при дозі 3,0 л/га. Застосування інших препаратів також дало позитивні результати: Торфовіт В/Мо та Торфовіт Zn/N сприяли збільшенню маси насінин і покращенню виходу зерна, при цьому Торфовіт Zn/N показав найкращий ефект при дозі 1,5 л/га.

Усі досліджувані мікродобрива також покращили діаметр кошика та вихід зерна, зокрема при застосуванні Торфовіт Хелат Комплекс вихід зерна досяг 63,6%, що на 5,4% більше контрольного варіанту. Загалом, отримані результати свідчать про значний позитивний вплив мікродобрив на врожайність соняшнику, що дозволяє рекомендувати їх використання для підвищення продуктивності та якості врожаю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Pati, P.K., Sharma, M., Yadav, R., & Singh, R.K. «Effect of micro-fertilizers on sunflower yield and quality.» *Agricultural Science Digest*, 2021, Vol. 41(3), pp. 235–240. DOI: 10.5958/0976-0563.2021.00069.6.
2. Mullan, D.J., Wasilwa, L.M., & Lemoine, M. «Effect of foliar application of micro-nutrients on sunflower seed yield and quality.» *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2020, Vol. 20(1), pp. 88–97. DOI: 10.4067/S0718-95162020000100010.
3. Khamzina, A., Al-Khayri, J.M., & Farooq, M. «Impact of microfertilizer applications on sunflower seed characteristics under saline conditions.» *Field Crops Research*, 2019, Vol. 234, pp. 49–58. DOI: 10.1016/j.fcr.2019.03.017.

4. Varma, A., & Bhat, R. «Influence of zinc and boron microfertilizers on growth and seed yield of sunflower.» *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, Vol. 68(18), pp. 4903–4911. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c02245.
5. Singh, H., & Ghosh, S. «Boron and manganese in sunflower cultivation: impact on seed yield and quality.» *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2021, Vol. 27(4), pp. 729–738. DOI: 10.1002/j.2042-206X.2021.00239.x.
6. Козечко В.І., Іванченко О.М. «Ефективність застосування мікродобрив в посівах соняшнику.» *Таврійський науковий вісник*, 2024, № 136, ч. 1, с. 192–201. https://www.tnv-agro.ksauuniv.ks.ua/archives/136_2024/part_1/25.pdf
7. Ткаліч, Ю. І., Цілюрик, О. І., Козечко, В. І. Ефективність використання мікродобрив та регуляторів росту рослин в посівах соняшнику Північного Степу. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН, 2017. № 24, 2017: 216-22 <https://dspace.dsau.dp.ua/server/api/core/bitstreams/e0cd3ab8-f2dd-4240-aa7c-19d9344875e5/content>
8. Liu, X., Zhang, T., & Xu, X. «Effect of foliar application of micronutrients on sunflower growth and yield under arid conditions.» *Crop Science*, 2022, Vol. 62(1), pp. 10–18. DOI: 10.2135/cropsci2021.06.0369.
9. Kaur, A., & Sharma, P. «Role of microelements in enhancing sunflower production: A review.» *Agricultural Research Journal*, 2020, Vol. 56(3), pp. 335–347. DOI: 10.5958/0976-0563.2020.00039.X.
10. Nefedov, A., & Tsyganov, A. «Microfertilizers and their role in sunflower productivity under stress conditions.» *Plant Growth Regulation*, 2021, Vol. 94(2), pp. 181–190. DOI: 10.1007/s10725-020-00552-0.
11. Sharma, R., & Singh, R. «Effects of different micronutrient fertilizers on the growth and yield of sunflower in arid regions.» *International Journal of Plant Science*, 2019, Vol. 14(5), pp. 87–95. DOI: 10.1504/IJPS.2019.10000003.
12. Iqbal, M., Ali, M., & Shafiq, M. «Optimizing sunflower growth with micronutrient application under water stress conditions.» *Science of the Total Environment*, 2020, Vol. 724, Article 137334. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137334.

Дата першого надходження статті до видання: 02.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

UDC 631.95:502.521:004.9

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.13>

EVOLUTION OF PHYTOREMEDIATION RESEARCH: FROM HEAVY METAL REMOVAL TO MICROBIOME-ASSISTED NATURE-BASED SOLUTIONS

Kozyrev V.V. – Candidate Agricultural Sciences,
Head of the Department of Irrigated Agriculture and Agroecosystem Decarbonization,
Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine
orcid.org/0000-0003-4717-3200

Danchuk O.V. – Doctor of Veterinary Sciences, Professor,
Acting Director,
Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine
orcid.org/0000-0002-9226-1499

Grafov A.V. – Doctor of Chemical Sciences, Senior Researcher,
Leading Researcher at the Plant Protection Laboratory,
Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine
orcid.org/0000-0002-7387-3676

Zherebchuk S.V. – Researcher Fellow at the Department of Marketing
and International Activities,
Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine
orcid.org/0000-0002-0212-7107

Zhygaylo T.S. – Candidate of Agricultural Sciences, Doctoral Student,
Senior Researcher at the Department of Climate-Oriented Agricultural Technologies,
Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine
orcid.org/0000-0002-9580-5922

Piliarska O.O. – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher,
Head of the Department of Marketing and International Activities,
Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine
orcid.org/0000-0001-8649-0618

Phytoremediation has become one of the most promising nature-based approaches for restoring contaminated ecosystems by combining environmental sustainability, economic feasibility, and ecosystem resilience. The aim of this study was to comprehensively analyze the evolution of phytoremediation research, identify major scientific trends, research hotspots, geographical distribution of scientific production, funding patterns, international collaboration, and future research directions using bibliometric methods.

The results reveal a substantial increase in scientific output, particularly after 2015, reflecting the growing global interest in ecological restoration and sustainable environmental management. China emerged as the leading contributor to phytoremediation research, followed by the United



States, India, and several European countries. Funding analysis demonstrated the significant role of major national and international research programmes in advancing phytoremediation studies. Keyword mapping illustrates a clear evolution of research priorities from heavy metal uptake and plant physiology toward microbiome-assisted phytoremediation, biochar applications, remote sensing, Geographic Information Systems, artificial intelligence, machine learning, Digital Twins, and Nature-based Solutions. The analysis also identified important research gaps related to AI-driven predictive modelling, digital environmental monitoring, remediation of mixed contaminants and PFAS, war-contaminated soils, and climate adaptation.

The findings demonstrate that phytoremediation has evolved from a narrow plant-based remediation technology into a multidisciplinary scientific field integrating environmental science, microbiology, digital technologies, and sustainability concepts. Bibliometric analysis not only reveals the historical evolution of scientific knowledge but also provides valuable insights into emerging research themes and future directions for sustainable environmental remediation.

Key words: phytoremediation, bibliometric analysis, science mapping, VOSviewer, Web of Science, Scopus, heavy metals, microbiome, artificial intelligence, Nature-based Solutions.

Козирєв В.В., Данчук О.В., Графов А.В., Жеребчук С.В., Жигайло Т.С., Пілярська О.О.
Еволюція досліджень фітореMediaції: від видалення важких металів до природоорієнтованих рішень на основі мікробіому

ФітореMediaція є одним із найбільш перспективних природоорієнтованих підходів до відновлення забруднених екосистем, що поєднує екологічну безпечність, економічну доцільність та принципи сталого розвитку. Метою дослідження є комплексний аналіз еволюції наукових досліджень у сфері фітореMediaції, визначення основних тенденцій розвитку, ключових напрямів досліджень, географічної структури наукової продуктивності, фінансування, міжнародної співпраці та перспектив подальших досліджень на основі бібліометричного аналізу.

Результати дослідження свідчать про стрімке зростання кількості наукових досліджень, особливо після 2015 року, що відображає підвищення глобального інтересу до екологічного відновлення та сталого управління природними ресурсами. Лідером за кількістю публікацій є Китай, вагомий внесок також належить США, Індії та країнам Європи. Аналіз фінансування показав визначальну роль великих національних і міжнародних наукових програм у розвитку фітореMediaційних досліджень. Картування ключових слів продемонструвало еволюцію наукової тематики від досліджень механізмів накопичення важких металів рослинами до інтеграції мікробіому, біоcharу, дистанційного зондування, геоінформаційних систем, штучного інтелекту, машинного навчання, цифрових двійників та природоорієнтованих рішень. Визначено основні прогалини сучасних досліджень, пов'язані з використанням цифрових технологій, реMediaцією змішаних типів забруднення, PFAS, військово забруднених територій та адаптацією до зміни клімату.

Отримані результати демонструють трансформацію фітореMediaції з вузькоспеціалізованої технології очищення ґрунтів у міждисциплінарний науковий напрям, що інтегрує екологію, мікробіологію, цифрові технології та концепції сталого розвитку. Проведений бібліометричний аналіз дозволяє визначити сучасні тенденції розвитку галузі та окреслити перспективні напрями майбутніх досліджень.

Ключові слова: фітореMediaція, бібліометричний аналіз, картування науки, VOSviewer, Web of Science, Scopus, важкі метали, мікробіом, штучний інтелект, природоорієнтовані рішення.

Introduction. Background. Soil pollution has become one of the most serious environmental challenges of the twenty-first century. Rapid industrialization, intensive agriculture, mining activities, urbanization, and improper waste disposal have resulted in the continuous accumulation of contaminants in soils worldwide. Among these contaminants, heavy metals such as cadmium (Cd), lead (Pb), arsenic (As), mercury (Hg), chromium (Cr), nickel (Ni), and zinc (Zn) are of particular concern because they are persistent, non-biodegradable, and can accumulate in food chains, posing significant risks to ecosystems and human health. In many regions, soil contamination has reached levels that threaten agricultural productivity, biodiversity, water quality, and food security.

Traditional soil remediation technologies, including excavation, soil washing, thermal treatment, and chemical stabilization, are often effective but remain expensive,

energy-intensive, and may cause additional environmental disturbance. These limitations have stimulated growing interest in sustainable remediation approaches that can restore contaminated environments while preserving ecosystem functions.

Phytoremediation has emerged as one of the most promising environmentally friendly technologies for soil restoration. It relies on the natural ability of plants to extract, stabilize, degrade, or transform pollutants from contaminated soils and water. Compared with conventional remediation methods, phytoremediation is generally less expensive, requires lower energy inputs, improves soil quality, supports biodiversity, and contributes to carbon sequestration. As a result, it has become an important component of sustainable land management and ecological restoration strategies.

Today, the research landscape is considerably broader and more interdisciplinary. The effectiveness of phytoremediation is increasingly being enhanced through the integration of plant-associated microbiomes, biochar amendments, nanomaterials, remote sensing technologies, artificial intelligence, machine learning, and other digital tools. At the same time, phytoremediation is no longer viewed solely as a remediation technique but as a key element of nature-based solutions that support ecosystem restoration, climate resilience, sustainable agriculture, and circular bioeconomy initiatives.

These developments indicate a clear shift in the scientific paradigm – from studying plants as individual remediation agents toward developing integrated, intelligent, and ecosystem-based remediation systems. Understanding how this transformation has occurred is essential for identifying current research priorities and future directions.

In recent years, the importance of phytoremediation has become even more evident due to the increasing number of environmental disasters caused by armed conflicts. The ongoing war in Ukraine has created new challenges for soil protection and environmental restoration. Military activities, including shelling, explosions, destruction of industrial facilities, fuel spills, and the widespread use of military equipment, have resulted in the contamination of agricultural and natural ecosystems with heavy metals, petroleum hydrocarbons, explosive residues, and other hazardous substances. Given Ukraine's significant role as one of the world's major agricultural producers, restoring contaminated soils has become not only a national priority but also an important contribution to global food security and sustainable land management. These circumstances further highlight the need for effective, environmentally friendly, and economically feasible remediation technologies, among which phytoremediation represents one of the most promising solutions.

Rather than simply describing publication growth, this study investigates the evolution of scientific thinking in phytoremediation. It traces the transition from plant-centered approaches focused on heavy metal accumulation to integrated remediation strategies that combine plant science, microbial ecology, advanced materials, digital technologies, and nature-based solutions. This evolutionary perspective provides a more comprehensive understanding of how the field has developed and where future research is likely to emerge.

Research Gap. The rapid growth of phytoremediation research has generated thousands of scientific publications covering diverse contaminants, plant species, remediation strategies, and emerging technologies. Several bibliometric studies have analyzed publication performance, influential authors, countries, institutions, and collaboration networks within this field. These studies have provided valuable insights into the scientific productivity and structure of phytoremediation research.

Nevertheless, existing bibliometric analyses have several limitations. Most focus on descriptive publication indicators or specific subtopics, such as heavy metal remediation

or particular plant species, while paying limited attention to the long-term evolution of research themes. In particular, little effort has been made to investigate how phytoremediation has evolved from conventional heavy metal removal approaches into a multidisciplinary research field incorporating microbiome engineering, biochar-assisted remediation, artificial intelligence, digital monitoring technologies, and nature-based solutions.

Furthermore, recent advances associated with climate change adaptation, ecological restoration, sustainable agriculture, and smart environmental management have significantly expanded the scope of phytoremediation research. However, these emerging directions have rarely been examined within a comprehensive science mapping framework that reveals how scientific priorities have changed over time.

A systematic analysis of thematic evolution can therefore provide a deeper understanding of the development of phytoremediation research, identify emerging knowledge domains, and reveal future research opportunities.

Aim of the Study. The aim of this study is to investigate the evolution of global phytoremediation research between 2000 and 2026 using bibliometric analysis and science mapping techniques.

Specifically, the study seeks to:

- analyze the growth of scientific publications and citation trends;
- identify the leading countries, institutions, authors, and journals contributing to phytoremediation research;
- explore collaboration patterns within the global research community;
- examine the evolution of research themes through keyword co-occurrence and thematic mapping;
- identify emerging topics and technological trends, including microbiome-assisted phytoremediation, biochar, artificial intelligence, digital monitoring, and nature-based solutions; and
- highlight current research gaps and future directions for sustainable phytoremediation research.

By combining conventional bibliometric indicators with science mapping approaches, this study provides a comprehensive overview of how phytoremediation has evolved over the past twenty-five years and how the field is transitioning toward integrated, technology-driven, and ecosystem-oriented remediation strategies.

Materials and Methods. Data Collection. The bibliometric dataset was compiled using Scopus and the Web of Science Core Collection (WoSCC) as the primary sources of bibliographic records. To complement the international analysis with a national perspective, the Open Ukrainian Scientific Content Initiative (OUCI) was additionally consulted to identify publications authored by Ukrainian researchers and to compare their visibility with global publication trends.

A comprehensive literature search was conducted independently in each database using equivalent search strategies adapted to the search syntax of the respective platforms. The search was performed within the Title, Abstract, and Keywords fields to maximize retrieval accuracy while minimizing irrelevant records.

The search strategy included the principal concept *phytoremediation* together with its major remediation mechanisms: *phytoremediation*, *OR phytoextraction*, *OR phytostabilization*, *OR rhizoremediation*, *OR phytovolatilization*, *OR phytodegradation*, *OR rhizofiltration*.

In Scopus, the search was implemented using the TITLE-ABS-KEY field, whereas in the Web of Science Core Collection the equivalent Topic Search (TS) option was applied. For OUCI, keyword searches were performed within indexed publication metadata using the same terminology.

The retrieval period covered publications published between January 2000 and December 2026.

Only peer-reviewed journal articles and review papers written in English were included in the final dataset. Editorials, conference abstracts, notes, corrections, book reviews, duplicate records, and publications lacking complete bibliographic metadata were excluded from further analysis.

After retrieval, bibliographic records were exported in CSV (Scopus) and Plain Text (Web of Science) formats, including complete citation information, abstracts, author keywords, affiliations, references, funding information, and citation counts.

Data Cleaning and Harmonization. The exported datasets were merged into a unified bibliographic database before analysis.

To improve the quality and consistency of the dataset, several preprocessing steps were performed:

- removal of duplicate publications retrieved from multiple databases;
- standardization of author names using author identifiers where available;
- harmonization of institutional affiliations to account for variations in institutional names;
- normalization of country names according to current international standards;
- merging of synonymous keywords (e.g., *heavy metal* and *heavy metals*; *microorganism* and *microorganisms*);
- correction of spelling inconsistencies and abbreviation variants.

Keyword normalization was performed manually to reduce semantic fragmentation within co-occurrence analyses and to improve the reliability of thematic clustering.

The cleaned dataset served as the basis for all subsequent bibliometric analyses.

Bibliometric Analysis. The bibliometric analysis combined descriptive performance indicators with science mapping techniques to evaluate the development of phytoremediation research over time.

Publication dynamics were assessed using annual publication output, annual citation counts, average citations per publication, and cumulative publication growth.

Scientific productivity was analyzed at four different levels: *countries*; *institutions*; *authors*; *scientific journals*.

Citation impact was evaluated using total citation counts, average citations, and identification of highly cited publications.

To investigate the intellectual and conceptual structure of the research field, the following network analyses were performed: *keyword co-occurrence analysis*; *author collaboration networks*; *institutional collaboration networks*; *international collaboration networks*; *document co-citation analysis*; *author co-citation analysis*; *bibliographic coupling*.

Special attention was given to the temporal evolution of research themes to identify shifts in scientific priorities during different stages of phytoremediation development.

Science Mapping. Science mapping analyses were conducted using complementary software tools to visualize relationships among publications, authors, research topics, and institutions.

Bibliometrix (R package) was used as the primary analytical environment for bibliometric calculations. The package was employed to calculate descriptive indicators, generate publication statistics, identify the most productive authors and journals, evaluate collaboration patterns, and perform thematic analyses.

The graphical interface Biblioshiny facilitated interactive exploration of the dataset and was used to construct thematic maps, trend topic diagrams, thematic evolution

plots, and Sankey diagrams illustrating changes in research themes across successive time periods.

VOSviewer was applied to construct bibliometric networks based on similarity relationships among scientific entities. Network maps were generated for: *keyword co-occurrence*; *co-authorship*; *institutional collaboration*; *country collaboration*; *co-citation*; *bibliographic coupling*.

Association strength normalization was applied to optimize clustering and improve visualization of relationships among nodes. Node size represented publication or citation frequency, while link thickness reflected the strength of relationships between nodes.

Overlay visualization in VOSviewer was additionally employed to identify recently emerging research topics and to visualize the temporal development of keywords across the study period.

CiteSpace was used to investigate the temporal evolution of the scientific knowledge base. Citation burst detection was applied to identify publications and keywords that experienced rapid increases in scientific attention. Timeline visualization and cluster analysis were used to reconstruct the chronological development of major research themes and to identify emerging research fronts.

Analysis of Landmark Publications. The development of phytoremediation research has been strongly influenced by several landmark publications that established the conceptual framework of the field and guided its subsequent evolution. An analysis of these highly influential studies reveals a clear transition from fundamental investigations of plant-based contaminant removal towards multidisciplinary approaches integrating ecology, microbiology, environmental engineering, and digital technologies.

The modern concept of phytoremediation emerged during the mid-1990s, when pioneering studies introduced plants as effective biological tools for removing contaminants from polluted environments. One of the earliest milestone publications was the work of Kumar et al. [4], who introduced the concept of phytoextraction and demonstrated the potential of plants to remove heavy metals from contaminated soils. This study provided the theoretical basis for phytoremediation and established phytoextraction as one of the principal remediation strategies.

A few years later, Salt et al. [7] further expanded this concept by describing phytoremediation as an environmentally friendly alternative to conventional remediation technologies. Their comprehensive review explained the major mechanisms of contaminant removal, including phytoextraction, phytostabilization, phytovolatilization, and rhizofiltration, and highlighted the ecological and economic advantages of plant-based remediation over physical and chemical approaches. This publication became one of the most influential references in environmental remediation research and significantly increased scientific interest in phytoremediation.

During the early 2000s, research shifted from demonstrating the feasibility of phytoremediation towards understanding its biological mechanisms. McGrath and Zhao synthesized knowledge on metal hyperaccumulation and provided a comprehensive overview of metal uptake, transport, and accumulation processes in plants. Their work emphasized the importance of hyperaccumulator species and stimulated extensive research on plant physiology, metal transporters, and detoxification mechanisms [6].

As the field matured, scientific attention expanded beyond plants themselves to include the surrounding soil environment. A major milestone was the review by Ali et al. [1], which integrated existing knowledge on phytoremediation mechanisms, practical applications, advantages, and limitations. Unlike earlier publications focusing primarily on plant physiology, this review highlighted the importance of soil properties,

environmental conditions, and ecological interactions in determining remediation efficiency. During the same period, van der Ent et al. [8] proposed a revised definition of metal hyperaccumulators, providing standardized criteria for identifying hyperaccumulator species. This contribution improved the consistency of phytoremediation research and facilitated comparisons among studies worldwide.

Over the past decade, the scientific paradigm has continued to evolve toward integrated ecosystem management. Numerous studies have demonstrated that remediation efficiency depends not only on plant characteristics but also on interactions with rhizosphere microorganisms and soil amendments. In particular, biochar-assisted phytoremediation has emerged as one of the fastest-growing research topics, with studies reporting enhanced contaminant immobilization, improved soil fertility, increased microbial activity, and greater plant tolerance to environmental stress [2, 3, 5].

More recently, phytoremediation research has entered a new stage characterized by the integration of digital technologies. Artificial intelligence, machine learning, remote sensing, Geographic Information Systems, hyperspectral imaging, unmanned aerial vehicles, Internet of Things sensor networks, and Digital Twins are increasingly applied to monitor contaminated sites, predict remediation efficiency, and support environmental decision-making. Unlike earlier studies that primarily evaluated remediation performance through field measurements, contemporary research increasingly relies on data-driven approaches capable of integrating biological, climatic, and geospatial information into predictive models [5].

The evolution of landmark publications illustrates a progressive expansion of phytoremediation research. During the 1990s, the primary objective was to demonstrate the feasibility of plant-based remediation. The 2000s were dominated by studies investigating physiological mechanisms of contaminant uptake and hyperaccumulation. The following decade witnessed increasing integration of microbiology, rhizosphere ecology, and soil amendments, while the current research landscape is characterized by the convergence of environmental science, artificial intelligence, remote sensing, precision agriculture, and Nature-based Solutions. This progression demonstrates that phytoremediation has evolved from a narrow remediation technique into an interdisciplinary scientific field addressing complex environmental and sustainability challenges.

Results. Growth of scientific publications. The bibliometric analysis revealed a substantial and sustained increase in global scientific production on phytoremediation over the past twenty-six years. Both Scopus and the Web of Science Core Collection demonstrated remarkably similar publication dynamics, indicating that the observed trends represent genuine developments within the research field rather than database-specific effects.

According to the **Scopus database**, the annual number of publications increased from 144 documents in 2000 to 2,518 documents in 2024, with 2,456 publications indexed in 2025. The value reported for 2026 (1,548 publications) reflects an incomplete publication year and therefore should not be interpreted as a decline in scientific activity.

The overall increase corresponds to approximately a 17-fold growth in annual scientific output over the study period, highlighting the remarkable expansion of phytoremediation research worldwide.

The publication dynamics reveal four major stages of scientific development.

Phase I (2000–2007): Establishment of the research field

The first stage was characterized by relatively modest but stable growth, with annual publications increasing from 144 to 556 documents. During this period, phytoremediation

was primarily investigated as an alternative to conventional remediation technologies. Research concentrated on identifying hyperaccumulator plant species, understanding metal uptake mechanisms, and evaluating the feasibility of phytoextraction and phytostabilization under different environmental conditions.

The growing scientific interest during this period coincided with increasing international awareness of soil contamination caused by industrialization, mining activities, and intensive agriculture. At the same time, stricter environmental regulations adopted in North America and Europe stimulated research into environmentally sustainable remediation technologies.

Phase II (2008–2014): Methodological expansion

Between 2008 and 2014, publication output almost doubled, increasing from 569 to 1,044 publications annually.

This acceleration reflected the transition of phytoremediation from a primarily botanical discipline toward a broader environmental technology. Researchers increasingly investigated the role of soil amendments, rhizosphere processes, chelating agents, and biomass utilization in improving remediation efficiency. During the same period, advances in molecular biology and plant biotechnology provided new opportunities for understanding plant stress responses and contaminant uptake mechanisms.

The publication growth also coincided with increasing international attention to sustainable environmental management and ecosystem restoration, particularly following the adoption of several international environmental policy initiatives addressing contaminated land and sustainable resource management.

Phase III (2015–2019): Rapid interdisciplinary development

A further acceleration occurred after 2015, when annual publication output increased from 1,175 to 1,672 publications.

This period corresponds closely with several major global policy developments. The adoption of the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) in 2015, particularly SDG 6 (Clean Water and Sanitation), SDG 13 (Climate Action), and SDG 15 (Life on Land), substantially increased scientific interest in sustainable remediation technologies. In the same year, the Paris Agreement further emphasized ecosystem restoration and climate-resilient land management.

Scientifically, phytoremediation evolved into a highly interdisciplinary field incorporating microbiology, environmental engineering, nanotechnology, biotechnology, and agricultural sciences. Research increasingly explored microbial-assisted remediation, biochar amendments, and integrated remediation strategies rather than relying solely on plant uptake.

Phase IV (2020–2026): Transition toward Nature-Based Solutions

The most pronounced increase in publication activity occurred after 2020, when annual scientific production exceeded 2,000 publications for the first time.

Several factors likely contributed to this rapid expansion. The launch of the United Nations Decade on Ecosystem Restoration (2021–2030) placed ecological restoration among the highest global environmental priorities. Simultaneously, the European Green Deal, the EU Biodiversity Strategy for 2030, and increasing international investment in climate adaptation and sustainable agriculture significantly expanded research on nature-based solutions.

During this period, phytoremediation research increasingly incorporated artificial intelligence, machine learning, biochar, microbial ecology, precision agriculture, remote sensing, unmanned aerial vehicles (UAVs), and digital environmental monitoring. Consequently, phytoremediation became viewed not only as a remediation technology but

also as an important component of ecosystem restoration, climate resilience, carbon sequestration, and circular bioeconomy strategies.

The **Web of Science Core Collection** exhibited publication dynamics highly consistent with those observed in Scopus. Annual scientific output increased from 209 publications in 2001 to 1,992 publications in 2021, remaining above 1,800 publications annually thereafter and reaching 2,010 publications in 2025. Similar to Scopus, the lower value reported for 2026 (1,133 publications) reflects partial database coverage during an incomplete publication year.

Although the absolute number of indexed publications was consistently lower than in Scopus, both databases demonstrated nearly identical long-term growth patterns. This consistency indicates that the expansion of phytoremediation research represents a genuine global scientific trend rather than differences in database coverage.

The temporal evolution observed in the Web of Science closely mirrors the four developmental phases identified in Scopus. Early research focused primarily on heavy metal accumulation by hyperaccumulator plants. Subsequently, research expanded toward integrated remediation strategies involving soil chemistry, microbial ecology, and environmental biotechnology. More recently, the field has increasingly emphasized digital technologies, nature-based solutions, and ecosystem restoration, reflecting broader transformations in environmental research priorities.

The slightly lower publication counts recorded by the Web of Science are primarily attributable to its more selective journal indexing policy, whereas Scopus includes a broader range of international journals, particularly within environmental sciences, agricultural research, and engineering disciplines.

Despite differences in database coverage, the overall publication trajectories are remarkably similar (Figure 1). Both databases demonstrate continuous growth throughout the study period without prolonged periods of decline. This agreement strengthens the robustness of the bibliometric analysis and confirms that phytoremediation has become one of the fastest-growing research areas in environmental remediation.

The synchronized increase observed after 2015 and the particularly rapid expansion after 2020 suggest that global environmental policies, climate-related initiatives, and the growing emphasis on sustainable and nature-based remediation strategies have fundamentally reshaped the scientific landscape of phytoremediation. Rather than remaining a specialized technology for heavy metal removal, phytoremediation has evolved into an interdisciplinary research field integrating environmental science, biotechnology, microbiology, digital technologies, and ecosystem restoration.

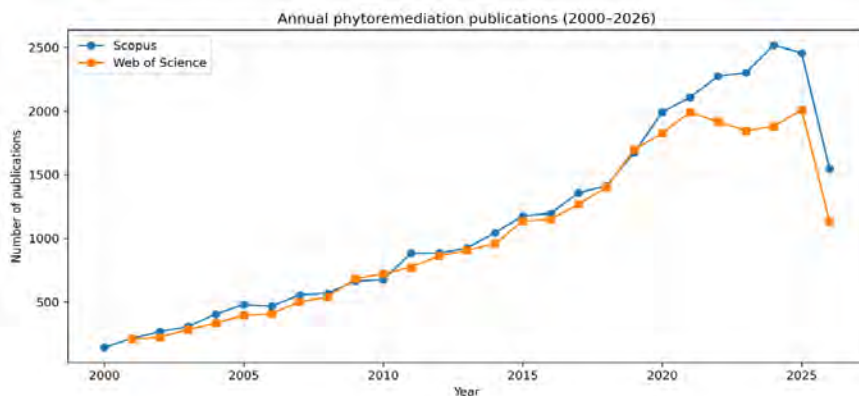


Fig. 1. Comparison between Scopus and Web of Science

Subject Area Distribution. Phytoremediation research is inherently multidisciplinary, integrating concepts from environmental sciences, agriculture, biology, chemistry, engineering, and increasingly digital technologies. The distribution of publications across subject areas in Scopus reflects this interdisciplinary character and illustrates how the field has expanded beyond its original scientific scope.

As expected, Environmental Science represents the dominant research area, accounting for 19,474 publications, which confirms that phytoremediation remains primarily an environmental remediation technology aimed at restoring contaminated ecosystems and improving environmental quality. The strong representation of this subject area reflects the growing global concern regarding soil degradation, heavy metal contamination, industrial pollution, and ecosystem restoration.

The second largest research domain is Agricultural and Biological Sciences, with 11,062 publications. This substantial contribution highlights the fundamental role of plant physiology, soil science, agronomy, and ecological interactions in the development of phytoremediation technologies. Many studies within this category focus on plant tolerance mechanisms, hyperaccumulator species, crop productivity on contaminated soils, and rhizosphere processes that influence contaminant uptake.

A considerable number of publications are also indexed under Biochemistry, Genetics and Molecular Biology (4,111 publications), indicating the increasing application of molecular approaches to investigate gene expression, stress-response pathways, and plant–microbe interactions. These studies have significantly improved the understanding of the biological mechanisms underlying contaminant uptake, transport, detoxification, and tolerance.

The contribution of Medicine (2,900 publications) and Chemistry (2,870 publications) reflects the close relationship between environmental contamination and human health, as well as the importance of chemical characterization of pollutants, soil amendments, and remediation processes. Engineering disciplines also play an important role, with 2,752 publications classified under Engineering, demonstrating the growing interest in designing integrated remediation systems, treatment technologies, and field-scale applications.

Other well-represented disciplines include Earth and Planetary Sciences (2,118 publications), Chemical Engineering (2,028), Immunology and Microbiology (1,712), and Energy (1,589). The increasing contribution of microbiology illustrates the shift toward microbiome-assisted phytoremediation, while the presence of energy-related research reflects the growing interest in combining remediation with biomass production and bioenergy generation.

Although traditionally considered a biological and environmental technology, phytoremediation has gradually expanded into computational and technological domains. Computer Science (687 publications), Materials Science (708), Mathematics (137), and Decision Sciences (63) collectively demonstrate the emergence of digital approaches, including artificial intelligence, machine learning, geographic information systems, remote sensing, precision agriculture, and decision-support systems. Although these disciplines currently represent a relatively small proportion of the total literature, their rapid growth during the last decade indicates an important transformation of phytoremediation into a data-driven and technology-supported research field.

Document Types. The analysis of document types indicates that phytoremediation research is primarily disseminated through peer-reviewed journal articles, which constitute the overwhelming majority of the scientific literature.

Among the retrieved publications, 22,564 documents were classified as research articles, representing the principal medium for communicating original scientific findings. This dominance demonstrates the high level of experimental and applied research

conducted within the field and reflects the continuous generation of new knowledge related to remediation technologies, plant physiology, soil science, microbiology, and environmental engineering.

The second largest document category consists of review articles (3,042 publications). The substantial number of reviews indicates that phytoremediation has reached a level of scientific maturity where periodic synthesis of accumulated knowledge has become essential. Review papers increasingly focus not only on heavy metal remediation but also on emerging topics such as microbial-assisted phytoremediation, biochar applications, nanotechnology, climate resilience, and nature-based solutions.

A further 2,766 book chapters demonstrate the growing educational and interdisciplinary importance of phytoremediation, while 1,402 conference papers reflect active scientific communication and the rapid dissemination of emerging research findings.

Other document types including books, editorials, conference reviews, notes, short surveys, letters, and data papers represent only a small proportion of the total literature, indicating that scientific progress in this field is primarily communicated through peer-reviewed journal publications.

The predominance of original research articles and comprehensive review papers confirms that phytoremediation has evolved into a well-established research discipline characterized by continuous scientific development and strong international research activity.

3.4. GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF SCIENTIFIC PRODUCTION



3.5. FUNDING LANDSCAPE



Fig. 2. Geographical Distribution of Scientific Production

Geographical Distribution. The geographical distribution of publications reveals considerable differences in national research productivity and demonstrates the increasing global interest in phytoremediation (Figure 2).

China is by far the leading contributor, with 8,345 publications, accounting for approximately one-quarter of the total scientific output indexed in Scopus. China's

dominant position reflects extensive governmental investment in environmental remediation, sustainable agriculture, and ecological restoration, as well as the country's need to address widespread soil contamination associated with rapid industrialization and intensive agricultural production. Strong national funding programmes and the active participation of the Chinese Academy of Sciences and leading universities have further accelerated scientific productivity.

India ranks second with 4,888 publications, highlighting the country's long-standing interest in cost-effective and environmentally sustainable remediation technologies. The high publication output is closely related to increasing concerns regarding industrial pollution, mining activities, wastewater irrigation, and heavy metal contamination affecting agricultural soils.

The United States occupies the third position with 3,144 publications. Although the total number of publications is lower than that of China and India, the United States has made substantial contributions to the fundamental development of phytoremediation, particularly in plant physiology, molecular biology, environmental biotechnology, and risk assessment.

Several European countries also demonstrate strong research activity. Spain (1,164 publications), Italy (1,149), Poland (946), France (924), Germany (828), and the United Kingdom (768) collectively represent one of the world's most productive research regions. Their scientific output reflects long-term investments in environmental protection, sustainable land management, circular economy initiatives, and the implementation of European environmental policies, including the European Green Deal and the EU Soil Strategy.

Among emerging contributors, Pakistan, Brazil, Iran, Saudi Arabia, Malaysia, Egypt, and South Korea have experienced particularly rapid growth in publication activity during the last decade. This expansion reflects increasing awareness of environmental degradation, rapid industrial development, and growing investment in sustainable remediation technologies.

Although Ukraine contributed 159 publications, its research output remains comparatively modest relative to leading countries. Nevertheless, increasing international collaboration and growing interest in post-conflict environmental restoration suggest significant opportunities for future development of phytoremediation research within the country.

Funding Landscape. The analysis of funding sources reveals that the rapid expansion of phytoremediation research has been strongly supported by national and international research funding programmes.

The National Natural Science Foundation of China (NSFC) is by far the largest funding organization, supporting 3,689 publications. Several additional Chinese funding programmes – including the National Key Research and Development Program of China, the China Postdoctoral Science Foundation, the Chinese Academy of Sciences, and numerous provincial science foundations – also rank among the leading sponsors. This funding landscape reflects China's strategic prioritization of environmental remediation, ecological restoration, and sustainable agricultural development.

International funding also plays an important role. The European Commission, Horizon 2020 Framework Programme, European Regional Development Fund, and various national European funding agencies have supported a substantial number of publications, highlighting the importance of phytoremediation within European environmental and climate policies.

In addition, major funding agencies from the United States, India, Canada, Japan, South Korea, Australia, and several Middle Eastern countries contribute significantly to

global research activity. The diversity of funding organizations illustrates the worldwide recognition of phytoremediation as an effective and sustainable approach to addressing soil pollution, ecosystem degradation, and climate-related environmental challenges.

The strong participation of governmental funding agencies further demonstrates that phytoremediation has evolved from a niche research topic into a strategic area of environmental research with growing relevance for sustainable development, ecological restoration, circular economy, and climate resilience.

Citation Characteristics. The citation indicators obtained from the Web of Science Core Collection provide additional evidence of the scientific significance and growing influence of phytoremediation research. The dataset includes 219 Highly Cited Papers, indicating that a substantial number of publications belong to the top 1% most cited papers within their respective research fields and publication years. This reflects the strong international visibility of phytoremediation research and its important contribution to addressing environmental pollution, ecosystem restoration, and sustainable land management.

Only three publications are classified as Hot Papers, representing recently published studies that have rapidly accumulated citations and rank among the top 0.1% in their fields. Although their number is limited, these papers demonstrate that phytoremediation remains an active and evolving research area, with emerging topics attracting immediate attention from the scientific community.

The dataset contains 2,416 review articles, highlighting the maturity of the research field. The large number of reviews indicates that phytoremediation has progressed beyond the stage of isolated experimental studies toward the synthesis and critical evaluation of accumulated knowledge. These publications play a key role in identifying research trends, methodological advances, and future research priorities while supporting interdisciplinary collaboration.

A further indicator of the field's dynamic development is the presence of 191 Early Access publications, showing that new findings continue to be disseminated rapidly before assignment to regular journal issues. This reflects both the sustained research activity and the demand for timely communication of scientific results.

Open Science has become an increasingly important feature of phytoremediation research. Among the retrieved records, 8,666 publications are available in Open Access, representing a considerable share of the overall dataset. The widespread adoption of open-access publishing improves the accessibility and visibility of research findings, facilitates international knowledge exchange, and may contribute to increased citation impact.

The Web of Science dataset also includes 4,697 publications with Enriched Cited References, indicating enhanced citation metadata that supports more comprehensive bibliometric analyses. The availability of enriched reference information improves the reliability of citation network analyses, co-citation studies, and the identification of intellectual relationships within the field.

Finally, only 15 Open Publisher-Invited Reviews were identified. This relatively small number reflects the limited implementation of open peer-review practices by scientific publishers rather than any characteristic of phytoremediation research itself.

Emerging Technologies in Phytoremediation Research. The overlay visualization of keyword co-occurrence reveals a clear evolution of phytoremediation research towards the integration of advanced digital technologies and data-driven approaches. While earlier studies primarily focused on plant species, heavy metal uptake, soil contamination, and pollutant removal mechanisms, more recent publications increasingly incorporate artificial intelligence, remote sensing technologies, and digital monitoring systems.

One of the most noticeable emerging trends is the growing application of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) algorithms. These approaches are increasingly employed to predict remediation efficiency, optimize plant selection, model contaminant transport, and analyse large environmental datasets. The integration of AI-based methods enables researchers to improve prediction accuracy while supporting automated decision-making for site management and environmental risk assessment.

Another rapidly expanding research direction involves remote sensing, hyper-spectral imaging, and drone-based monitoring. These technologies allow continuous, non-destructive assessment of vegetation health, pollutant distribution, and remediation progress across large and often inaccessible areas. Compared with conventional field measurements, remote sensing techniques provide high spatial and temporal resolution, making them valuable tools for long-term environmental monitoring.

The emergence of Geographic Information Systems (GIS) further demonstrates the increasing importance of spatial analysis in phytoremediation studies. GIS technologies facilitate the mapping of contaminated sites, assessment of environmental risks, and identification of priority areas for remediation. When combined with remote sensing data, GIS enables comprehensive spatial modelling and supports evidence-based environmental management.

Recent publications also indicate growing interest in the Internet of Things (IoT) and Big Data technologies. Networks of environmental sensors enable continuous collection of real-time information on soil, water, and atmospheric conditions, while Big Data analytics allows researchers to process large and heterogeneous datasets generated through monitoring programs. Together, these technologies improve the efficiency of environmental observations and contribute to more accurate assessments of remediation performance.

An emerging interdisciplinary direction is the development of Decision Support Systems (DSS) that integrate environmental monitoring, predictive modelling, geographic information, and artificial intelligence. Such systems assist researchers and environmental managers in selecting appropriate remediation strategies under different ecological and climatic conditions.

Finally, although still represented by a relatively limited number of publications, Digital Twins have recently appeared as a promising research topic. Digital twin technology enables the creation of virtual representations of contaminated ecosystems that continuously incorporate monitoring data, allowing simulation of remediation scenarios, prediction of long-term outcomes, and optimization of management decisions before field implementation (Figure 3).

Discussion. The bibliometric analysis demonstrates that phytoremediation research has undergone a profound transformation over the past three decades. Rather than representing a simple increase in publication output, the field has evolved conceptually, moving from a predominantly plant-based remediation strategy toward an integrated environmental management framework that combines biological, ecological, digital, and engineering approaches.

In the early stages of research, phytoremediation studies focused primarily on identifying suitable plant species capable of accumulating heavy metals and removing contaminants from soil. Scientific attention was directed towards plant physiology, metal uptake mechanisms, contaminant tolerance, and remediation efficiency. During this period, plants were considered the principal remediation agents, while environmental conditions were generally treated as external factors influencing remediation performance.



The geographical distribution of publications supports this interpretation. China has become the dominant contributor to global phytoremediation research, reflecting sustained national investments in environmental protection, ecological restoration, and remediation of widespread industrial soil contamination. Rapid industrialisation and urbanisation have created substantial demand for efficient remediation technologies, while national research programmes have supported large-scale scientific activity in

this area. The United States and several European countries continue to make important contributions, particularly through research on ecosystem restoration, ecological engineering, environmental monitoring, and advanced analytical technologies. Meanwhile, increasing research output from India and other emerging economies reflects growing concern over soil degradation, mining activities, agricultural contamination, and water quality, together with expanding investments in environmental research.

Funding patterns further illustrate the evolution of the field. A substantial proportion of highly cited publications acknowledge support from major national funding agencies, including the National Natural Science Foundation of China (NSFC), the National Key Research and Development Program of China, the U.S. National Science Foundation (NSF), the National Institutes of Health (NIH), the European Commission through successive Framework Programmes and Horizon 2020/Horizon Europe, the German Research Foundation (DFG), the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC), and the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS). These funding programmes increasingly prioritise interdisciplinary research, digital technologies, climate resilience, and sustainable environmental management, thereby accelerating the integration of ecological and computational approaches within phytoremediation research.

The convergence of funding priorities, technological innovation, and global environmental policies has reshaped the scientific landscape of phytoremediation. Rather than focusing exclusively on pollutant removal, contemporary research seeks to develop intelligent, adaptive, and sustainable remediation systems capable of responding to complex environmental challenges. This evolution is consistent with international policy initiatives, including the United Nations Sustainable Development Goals, the European Green Deal, the Zero Pollution Action Plan, and the growing emphasis on Nature-based Solutions as effective strategies for achieving environmental sustainability.

Research Gaps and Future Directions. Despite the rapid expansion of phytoremediation research, several important scientific and technological challenges remain insufficiently addressed. The bibliometric analysis indicates that although considerable progress has been achieved in understanding plant-based remediation mechanisms, many emerging research areas are still represented by relatively few publications and remain at an early stage of development.

One of the most significant research gaps concerns the application of artificial intelligence and machine learning for predictive modelling of phytoremediation performance. Current studies primarily use AI for data analysis and classification, whereas robust predictive models capable of integrating biological, environmental, climatic, and geo-spatial variables remain limited. The development of explainable and transferable AI models represents an important direction for improving decision-making in contaminated site management.

Another emerging area is the application of Digital Twin technology. Although the concept has recently appeared in environmental research, its implementation in phytoremediation is still in its infancy. Digital Twins have the potential to combine real-time environmental monitoring, remote sensing, process modelling, and artificial intelligence into virtual representations of contaminated ecosystems, enabling simulation of remediation scenarios and optimization of management strategies before field implementation.

The bibliometric results also reveal that the integration of unmanned aerial vehicles (UAVs), hyperspectral imaging, Internet of Things (IoT) sensor networks, and real-time environmental monitoring remains relatively limited. These technologies could substantially improve the temporal and spatial resolution of remediation monitoring while reducing operational costs and enabling continuous assessment of remediation efficiency.

Another important gap concerns microbiome engineering. Increasing evidence suggests that rhizosphere microorganisms strongly influence contaminant transformation, nutrient cycling, and plant stress tolerance. However, the targeted manipulation of plant-associated microbial communities to enhance phytoremediation efficiency remains insufficiently explored and requires greater integration of microbiology, biotechnology, and systems ecology.

Future studies should also move beyond remediation of single contaminants toward multi-contaminant systems, where heavy metals, metalloids, organic pollutants, pharmaceuticals, pesticides, microplastics, and emerging contaminants coexist within the same environment. In particular, per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) have become a global environmental concern due to their persistence, mobility, and resistance to conventional remediation methods. Their interaction with phytoremediation processes remains poorly understood and deserves increased scientific attention.

The growing impacts of climate change introduce another important research challenge. Future phytoremediation systems must operate under changing environmental conditions, including drought, flooding, salinity, heat stress, and extreme weather events. Consequently, stronger integration of phytoremediation research with climate adaptation strategies, ecosystem resilience, and sustainable land management is needed to ensure long-term remediation effectiveness.

An additional priority concerns the remediation of war-contaminated environments. Armed conflicts generate complex mixtures of heavy metals, petroleum hydrocarbons, explosives, combustion products, and military-related pollutants that differ substantially from conventional industrial contamination. The ongoing environmental consequences of military activities, particularly in Ukraine and other conflict-affected regions, highlight the urgent need to develop phytoremediation approaches specifically adapted to these complex contamination scenarios.

Taken together, these research gaps indicate that the next generation of phytoremediation will extend far beyond conventional plant-based remediation. Future research is expected to integrate artificial intelligence, autonomous monitoring systems, remote sensing, Digital Twins, microbiome-associated technologies, and advanced environmental modelling into comprehensive decision-support frameworks. At the same time, phytoremediation will become increasingly embedded within broader concepts of Nature-based Solutions, climate adaptation, ecosystem restoration, and the circular economy, supporting not only contaminant removal but also carbon sequestration, biodiversity conservation, resource recovery, and sustainable landscape management.

This transition reflects the ongoing evolution of phytoremediation from an environmental remediation technique into a multidisciplinary platform that combines ecological processes, digital technologies, and sustainable development principles to address increasingly complex environmental challenges.

Conclusions. This bibliometric study shows that phytoremediation has evolved from a technology mainly focused on heavy metal removal into a multidisciplinary research field combining plant science, microbiology, environmental engineering, digital technologies, and sustainability.

Scientific output has steadily increased over the past 25 years, while research priorities have shifted from contaminant removal and plant selection toward rhizosphere microbiomes, biochar-assisted remediation, remote sensing, artificial intelligence, machine learning, and other digital tools. These developments reflect the growing role of phytoremediation within Nature-based Solutions, ecosystem restoration, climate adaptation, and the circular economy.

The geographical analysis demonstrates the global expansion of phytoremediation research. China is the leading contributor, followed by the United States,

India, and several European countries, highlighting the importance of international collaboration.

The analysis of funding sources shows that the field has been strongly supported by major national and international funding agencies, which have promoted interdisciplinary research and accelerated the integration of biological, environmental, and digital approaches.

The results indicate that phytoremediation is moving toward intelligent, data-driven, and integrated environmental management. Bibliometric analysis also proved to be an effective tool for identifying research trends, knowledge gaps, and future directions. Future research is expected to further strengthen the integration of microbiome engineering, digital technologies, climate adaptation, and circular economy principles to improve the efficiency and sustainability of phytoremediation.

REFERENCES:

1. Ali H., Khan E., Sajad M. A. Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere*. 2013. Vol. 91, No. 7. P. 869–881. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>.
2. Beesley L., Moreno-Jiménez E., Gomez-Eyles J. L. Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. *Environmental Pollution*. 2010. Vol. 158, No. 6. P. 2282–2287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.02.003>.
3. Houben D., Evrard L., Sonnet P. Mobility, bioavailability and pH-dependent leaching of cadmium, zinc and lead in a contaminated soil amended with biochar. *Chemosphere*. 2013. Vol. 92, No. 11. P. 1450–1457. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.03.055>.
4. Kumar P. B. A. N., Dushenkov V., Motto H., Raskin I. Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils. *Environmental Science & Technology*. 1995. Vol. 29, No. 5. P. 1232–1238. DOI: <https://doi.org/10.1021/es00005a014>.
5. Li C., Ji X., Luo X. Phytoremediation of heavy metal pollution: A bibliometric and scientometric analysis from 1989 to 2018. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. Vol. 16, No. 23. Art. 4755. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16234755>.
6. McGrath S. P., Zhao F. J. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Current Opinion in Biotechnology*. 2003. Vol. 14, No. 3. P. 277–282. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0958-1669\(03\)00060-0](https://doi.org/10.1016/S0958-1669(03)00060-0).
7. Salt D. E., Smith R. D., Raskin I. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 1998. Vol. 49. P. 643–668. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.643>.
8. van der Ent A., Baker A. J. M., Reeves R. D., Pollard A. J., Schat H. Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: Facts and fiction. *Plant and Soil*. 2013. Vol. 362. P. 319–334. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1287-3>.
9. Zhang K., Liu F., Zhang H., Duan Y., Luo J., Sun X., Wang M., Ye D., Wang M., Zhu Z., Li D. Trends in phytoremediation of heavy metals-contaminated soils: A Web of Science and CiteSpace bibliometric analysis. *Chemosphere*. 2024. Vol. 352. Art. 141293. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141293>.
10. Zhao X., Lei M., Gu R. Knowledge mapping of the phytoremediation of cadmium-contaminated soil: A bibliometric analysis from 1994 to 2021. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19, No. 12. Art. 6987. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19126987>.

Дата першого надходження статті до видання: 13.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

UDC 712.25:504.75:551.583

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.14>

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON URBAN LAWN ECOSYSTEMS

Kuznetsova O.V. – Candidate of Biological Sciences,

Associate Professor at the Department of Horticultural Art and Landscape Design,

Dnipro State Agrarian and Economic University

orcid.org/0000-0002-5157-3672

The article examines the impact of climatic changes on the ecosystems of urban lawns in the conditions of the steTAE zone of Ukraine. The purpose of the work was to establish the relationship between changes in air temperature and atmospheric moisture and structural and functional characteristics on different lawns: parterre, garden, meadow and special purpose. The general projective covering of grass, the ratio of lawn cereals and forbs, the floristic composition, as well as changes in the cenomorphic and hygromorphic structure were evaluated. A steady trend towards an increase in the average annual air temperature, most pronounced in the spring and autumn periods, as well as a reduction in the amount of atmospheric precipitation during the period of active vegetation of plants, has been established. It is shown that such changes are accompanied by a gradual decrease in the projective coating of lawn cereals, an increase in the participation of forbs and ruderal species, as well as xerophytization of the vegetation cover. Parterre lawns, where the largest reduction in the share of decorative cereals is observed, turned out to be the most sensitive to climatic changes. Meadow and garden lawns are characterized by higher ecological stability due to greater species diversity, while special-purpose lawns are rebuilt with grass in the direction of ruderal communities. Analysis of the ecomorphic structure confirmed a decrease in the proportion of pratants and mesophytes and an increase in the participation of stepants, xerophytes and ruderants, reflecting the adaptation of vegetation to arid habitat conditions. The obtained results indicate the need to revise traditional aTAraches to the creation and maintenance of urban lawns in the conditions of climate change. To increase their durability and ecological efficiency, it is advisable to use climate-resistant grass mixtures and select plant species depending on the functional purpose and ecological conditions of the territory. The results of the study can be used during the planning of urban landscaping systems, the development of measures to adapt urban ecosystems to climate change, and the optimization of lawn plantation care.

Key words: climate change, lawn phytocenoses, urban ecosystems, adaptation to climate change, ecological sustainability.

Кузнєцова О.В. Вплив кліматичних змін на екосистеми міських газонів

У статті досліджено вплив кліматичних змін на екосистеми міських газонів в умовах степової зони України. Метою роботи було встановлення взаємозв'язку між змінами температури повітря та атмосферного зволоження і структурно-функціональними характеристиками на різних газонах у м. Дніпро: партерному, садовому, лучному і спеціального призначення. Оцінювали ознаки: загальне проективне покриття травостою, співвідношення газонних злаків і різноцв'я, флористичний склад, а також зміни ценоморфної та гігоморфної структури. Встановлено стійку тенденцію до підвищення середньорічної температури повітря, найбільш виражену у весняний та осінній періоди, а також скорочення кількості атмосферних опадів у період активної вегетації рослин. Показано, що такі зміни супроводжуються поступовим зменшенням проективного покриття газонних злаків, збільшенням участі різноцв'я та рудеральних видів, а також ксерофітизацію рослинного покриву. Найбільш чутливими до кліматичних змін виявилися партерні газони, де спостерігається найбільше скорочення частки декоративних злаків. Лучні та садові газони характеризуються вищою екологічною стійкістю завдяки більшому видовому різноманіттю, тоді як на газонах спеціального призначення відбувається перебудова



© Kuznetsova O.V., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

травостою у напрямі рудеральних угруповань. Аналіз екоморфної структури підтвердив зменшення частки пратантів і мезофітів та збільшення участі степантів, ксерофітів і рудерантів, що відображає адаптацію рослинності до посушливих умов існування. Отримані результати свідчать про необхідність перегляду традиційних підходів до створення й утримання міських газонів в умовах зміни клімату. Для підвищення їх довговічності та екологічної ефективності доцільно використовувати кліматично стійкі травосуміші та добирати види рослин залежно від функціонального призначення і екологічних умов території. Результати дослідження можуть бути використані під час планування систем міського озеленення, розроблення заходів адаптації урбанізованих екосистем до зміни клімату та оптимізації догляду за газонними насадженнями.

Ключові слова: кліматичні зміни, газонні фітоценози, міські екосистеми, адаптація до змін клімату, екологічна стійкість.

Relevance of the research topic. Climatic changes in the modern world are taking on a global scale throughout the globe, affecting any component of the biosphere. The species composition of plant communities undergoes transformation, displacement of the boundaries of natural habitats, disruption of interspecies relationships formed and adapted over a long period. A change in the temperature regime, amount and seasonal distribution of precipitation causes the gradual displacement of weak species more resistant to drought and temperature stress, causes a general restructuring of the structure of biocenoses. Ruderal, including invasive plants, come to the front row, which can cause significant damage to natural and anthropogenically transformed ecosystems, displacing native species [3, p. 31].

Scientists have already been shouting about the impact of climate change on biodiversity for a long period of time, paying attention to the shift in the phenological phases of plant development, the spread of invasive species and the gradual transformation of natural and urbanized ecosystems. This leads to the fact that phytocenoses become more vulnerable to droughts, temperature stresses, the spread of pests, which reduces resistance and the ability to recover from adverse effects [16]. Even ordinary people are increasingly talking about abnormally warm winters, increased duration of summer droughts, deterioration of green spaces, drying of plants, spread of pests, low resistance to diseases. These changes are becoming more and more noticeable both in private farms and in the landscaping of settlements and in natural landscapes.

Accelerated transformation of ecotopes takes place in urban ecosystems, as they suffer from both anthropogenic load and climatic changes. Therefore, the assessment of the impact of climatic changes on the functioning of urban lawn ecosystems, their ability to adapt is relevant in modern conditions of global warming and instability of natural phenomena. Studying the response of grass communities to climate change will identify the most sustainable species and develop effective approaches to the formation of environmentally sustainable and decoratively attractive lawn coverings.

Problem statement. Today, urban lawns occupy a significant part of the green spaces of settlements and will spread in the future. Simulations have calculated that in the United States their area may increase by 79% by 2030 [8]. As an element of the most common, but at the same time the most manageable, elements of urban green infrastructure, in the face of global warming, such grass covers can be considered not only as a decorative landscape design, but also as an important component of the ecosphere [9].

An increase in the average annual air temperature, a change in the regime of atmospheric precipitation, an increase in the frequency of extreme weather events lead to the transformation of natural ecosystems, especially in regions with an unstable water balance [15]. In recent years, the city of Dnipro has seen an increase in the average annual air temperature by 1.5°C, record summer heat waves are recorded, and atmospheric

precipitation is uneven throughout the year [2]. This leads to a shortage of soil moisture, deterioration of the water regime and degradation of the vegetation cover [13].

As a result of the increase in the average annual air temperature and long hot periods, urban lawn coverings become vulnerable. Formed from a limited number of cereals for better decorative greenery, they depend on regular watering and mowing, and may lose stability under conditions of prolonged droughts and insufficient moisture [14]. It is noted that, first of all, in such phytocenoses, the effect is manifested on the general species composition, and later – on the intraspecific variability of traits [11]. However, it is indicated that the relationship between vegetation and resistance depends on many factors, such as care, species composition and local conditions [10].

That is why, in order to improve forecasts of the consequences of climate change on lawns in industrial cities of eastern Ukraine, to determine reactions to drought, general ecological stability in certain ecosystems, this study was conducted. Its results aim to justify effective approaches to the creation, reconstruction and maintenance of lawns in conditions of global warming.

Research methodology. In the city of Dnipro. 4 test areas (TA) measuring 100 m² were laid on lawns of various purposes according to the classification of O. O. Lapteva [5]: 1st TA – on parterre lawn; 2nd TA – on garden lawn; 3rd TA – on meadow lawn, 4th TA – on special purpose lawn.

On each of them, the percentage of projective coverage (PC) was determined: 1) of all grass; 2) of cereals; 3) of forbs; 4) of each species separately; 5) of cenomorph; 6) of hygromorph. 2025, 2026 and the period a decade ago – 2015 are taken for analysis.

The percentage of projective coating – is a sign that indicates qualitatively formed grass resistance and resistance to external factors. Its low indicators indicate grass degradation or damage [6, p. 14]. We determined this sign visually, from the height of the human eye, as a percentage of the occupied area [4, p. 7].

A floristic composition was recorded on each test area. Belonging to the species and ecological groups was determined by the descriptions of S. L. Mosyakin [12], V. V. Tarasov [13], using the atlas of the flora of Ukraine [2].

Climatic indicators were obtained from the information of the Dnipropetrovsk Regional Center for Hydrometeorology. The following were taken into consideration: air temperature, amount of precipitation.

Of course, lawns, especially parterres, in addition to climatic moisture, receive additional watering during the growing season, but we took their number and volume into account as the same for all options. In further studies, this feature can be considered separately for each local unit. As a result of the research, we needed: 1) an understanding of the response of species to drought; 2) a search for compromises in how drought resistance is related to the distribution of species; 3) an analysis of the general trend of climate change.

Research results. According to the calculated average annual air temperature indicators in the city of Dnipro, there is a clear trend towards an increase in the temperature regime from 2015 to 2026, although the changes have seasonal features (Fig. 1). There is a warming of the autumn season. In the winter period, temperature fluctuations are noted by year. In the spring, there is also an increase in the average air temperature. In summer, changes are less pronounced. Thus, the analysis of the average temperature in June, the month of the description of the test areas, shows minor fluctuations.

The amount of precipitation in the city of Dnipro turned out to be uneven in distribution between seasons and individual years (Fig. 1). In the autumn period, the average amount of precipitation in 2025 is higher compared to 2015. The winter period is characterized

by significant annual fluctuations, which indicates the instability of moisture during this period of the year and an increase in the frequency of dry or, conversely, wetter winters. A pronounced reduction in the amount of precipitation is observed in the spring.

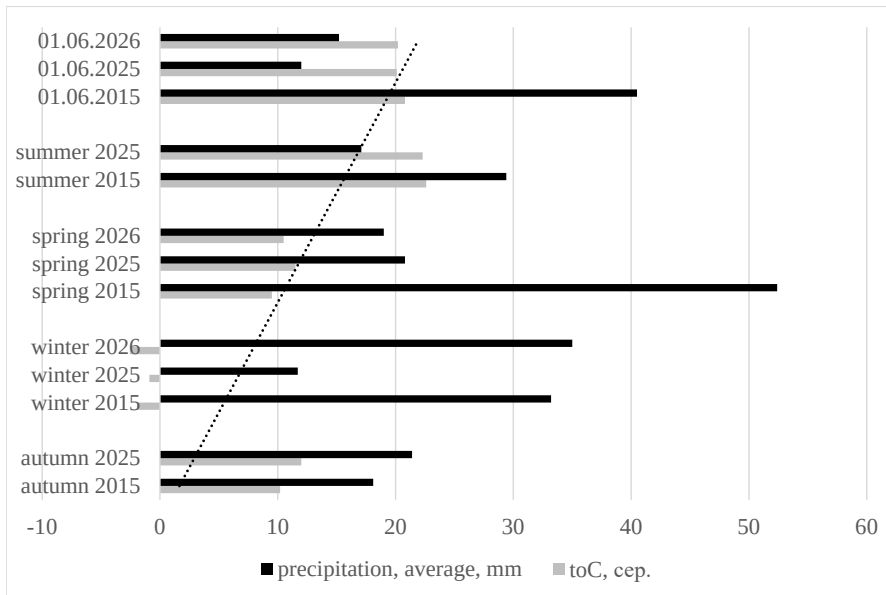


Fig. 1. Air temperature and amount of precipitation in the city of Dnipro (average for the year)

This trend is unfavorable for lawn plants, as this period is decisive for their vegetative development. In the summer period, a tendency to decrease the amount of precipitation was also noted. We observe similar fluctuations separately for June. In combination with an increase in air temperature, this leads to a shortage of soil moisture, deterioration of the vital condition of the grass, a decrease in the decorativeness of lawns, and destructuring of the species composition.

In this context, the processes of replacing lawn cereals with more hardy forbs and xerophytization of vegetation should take place in the grass stand. It turned out that the survival and distribution of plants on lawns changed according to drought conditions, and the effect varied depending on the place of growth (Fig. 2). But the general trend was a decrease in the total projective grass cover, a gradual reduction in the proportion of lawn cereals and an increase in the participation of forbs. This is characteristic of urbanized areas, where the action of climate change and high anthropogenic load is combined.

Cereals at TA 1 experienced the greatest displacement. This ground lawn was not sown during the study period, so their projective coating decreased by almost 20% by 2026. The total area occupied by plants remained relatively high due to replacement by drought-resistant ruderal species. Such a trend indicates the loss of decorativeness of the parterre lawn and its gradual degradation in conditions of increased temperature and lack of moisture. On the special purpose lawn, there was not a liquefaction of the vegetation cover, but its reconstruction into a one close to the ruderal one (Fig. 2; table). Garden and meadow lawns show higher resistance to reconstruction due to greater species diversity, but general manifestations of change persist.

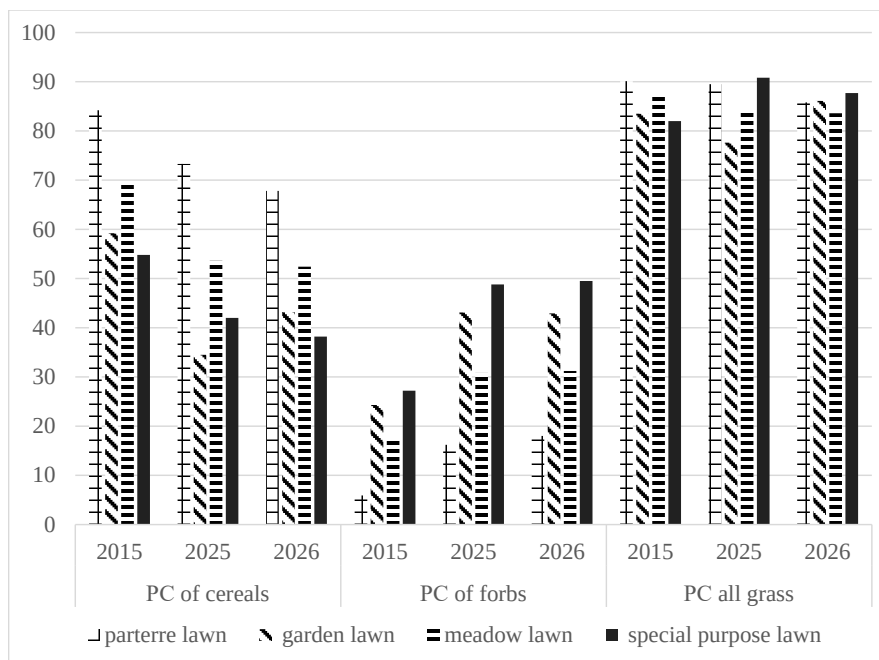


Fig. 2. Dynamics of the percentage of projective coverage on test areas

According to ecomorphs, all four experimental sites are dominated by pratants, which is a characteristic feature of lawn phytocenoses formed mainly by meadow species. However, their share gradually decreases during 2015–2026 (table 1). At the same time, there is an increase in the share of steppe people, which is consistent with the trend towards climate warming. An increase in the share of ruderals is even more indicative. They quickly inhabit weakened and liquefied areas of the lawn, which are formed as a result of plant loss during summer droughts, elevated temperatures and anthropogenic load.

Table 1

Distribution of cenomorphs and hygromorphs on test areas by year

Trial areas	Years	Cenomorphs			Hygromorphs		
		St	Pr	Ru	Ks	MS	HgMs
TA 1	2015	0,5	82,3	7,3	0,5	86,1	3,5
	2025	0,8	76	12,6	0,9	81,3	7,3
	2026	1,3	71,6	12,4	1,4	75,7	8,5
TA 2	2015	2	64,5	11,6	7,5	74,9	2,5
	2025	4	51,6	11	7,8	65,7	6,1
	2026	6,9	54,6	14,2	11	72,7	7,5
TA 3	2015	2,8	69,8	14,5	11,2	71,9	4
	2025	5,6	58,7	20,1	15,4	65,5	3,5
	2026	7,7	52,5	23,4	19	61,3	3,3
TA 4	2015	2,9	60,7	18,4	13,7	65,3	3
	2025	6	55,8	29	18,4	67,6	4,8
	2026	6,7	54	27	20,6	62	5,1

Mesophytes dominate grass stands in terms of moisture requirements. However, over the years, this ecological group is shrinking (table). The decrease in the participation of mesophilic species is explained by the lack of atmospheric and soil moisture, despite watering. A particularly intense increase in xerophytes is observed on lawns with a higher anthropogenic load, where moisture deficiency is most evident. The share of hygromesophytes also increases slightly, but their contribution remains small and is associated with local features of the microrelief or additional moistening of individual areas.

Conclusions and prospects for further research. The results obtained are in good agreement with climate trends. The warming of the climate, which is most clearly manifested in the autumn and spring periods, increases the evaporation of moisture, the risk of summer droughts and heat stress, and for the plants of urban lawns, it is manifested in the reduction of the projective coating of decorative cereals and the gradual replacement by more drought-resistant representatives of forbs and ruderal vegetation.

The studied dynamics of lawn grass stands are the result not only of climatic changes, but also the result of care. When it is insufficient, there is an increase in competition between cereals and forbs towards the preference of more drought-resistant weedy plants. As a result, lawn ecosystems move from dense grass communities to less homogeneous grass stands with an increased proportion of unwanted species, which negatively affects their decorative value.

Under the conditions of an increase in the average annual air temperature and annual fluctuations in precipitation, traditional approaches to the creation and care of lawns no longer ensure their durability and environmental efficiency. In order to improve the urban landscaping system, develop adaptation measures and form stable lawn coverings, it is necessary to implement grass mixtures selected according to the climate and focused on specific habitats.

REFERENCES:

1. Архів погоди Dnipro. *Meteoblue*. веб-сайт. URL: https://www.meteoblue.com/uk/weather/historyclimate/weatherarchive/dnipro_ukraine_709930 (дата звернення: 01.07.2026)
2. Визначник рослин України: навчальний підручник / А. І. Барбарич, та ін. Київ: Урожай, 1965. 880 с.
3. Здійснення оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату: звіт про науково-дослідну роботу за темою № 16/1.1-24. № держреєстрації 01240001811. Харків: УКРНДІЕП, 2024. 214 с.
4. Кузнецова О. В. Фітоценотичні особливості газонів та травостоїв газонного типу урбанізованих екосистем (на прикладі м. Дніпропетровськ): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук: 03.00.16. 2016. 26 с.
5. Лаптев О. О. Газони. Київ : Наукова думка, 1983. 175 с.
6. Пахомов, О. Є., Петрушевський, В. Б. Просторова організація біогеоценозів (частина 2): навчально-методичний посібник для самостійної роботи. Дніпро: типографія «АРБУЗ», 2021. 34 с.
7. Тарасов В. В. Флора Дніпропетровської та Запорізької областей. Дніпропетровськ: ДНУ та ЛІРА, 2012. 294 с.
8. Alig R. J., Kline J. D., Lichtenstein M. Urbanization on the US landscape: looking ahead in the 21st century. *Landsc. Urban Plan.* 2004. Vol. 69. P. 219-234. URL: DOI: 10.1016/j.landurbplan.2003.07.004
9. Ignatieva M., Haase D., Dushkova D., Haase A. Lawns in Cities: From a Globalised Urban Green Space Phenomenon to Sustainable Nature-Based Solutions. *Land.* 2020. Vol. 9(3). DOI:10.3390/land9030073

10. Jung E.-Y., Gaviria J., Sun S., Engelbrecht B. M. J. Comparative drought resistance of temperate grassland species: testing performance trade-offs and the relation to distribution. *Oecologia*. 2020. Vol. 192. P. 1023–1036. DOI: 10.1007/s00442-020-04625-9)
11. Luo W. et al. Long term experimental drought alters community plant trait variation, not trait means, across three semiarid grasslands. *Plant and Soil*. 2019. Vol. 442. P. 343–353. DOI:10.1007/s11104-019-04176-w
12. Mosyakin S. L. Fedorochuk M. M. Vascular plants of Ukraine. Nomenclatural checklist. K.: Institute of botany. National academy of sciences of Ukraine, 1999. 346 с.
13. Norgie E. G. Examining the impact of climate change on local ecosystems and communities. *International Journal of Science and Research Archive*. 2024. Vol. 13(01). P. 1392–1406. DOI: 10.30574/ijrsra.2024.13.1.1825
14. Trémeau J. et al. Lawns and meadows in urban green space – a comparison from perspectives of greenhouse gases, drought resilience and plant functional types. *Biogeosciences*. 2024. Vol. 21(4). P. 949–972. DOI: 10.5194/bg-21-949-2024
15. Unterweger P. A., Schrode N., Betz O. Urban Nature: Perception and Acceptance of Alternative Green Space Management and the Change of Awareness after Provision of Environmental Information. A Chance for Biodiversity Protection, *Urban Science*. 2017. Vol. 1(3). DOI: 10.3390/urbansci1030024
16. Vakal A. et al. The Impact of the Ecosystem on Biodiversity Restoration in the Natural Ecosystems of Ukraine. *Grassroots Journal of Natural Resources*. 2025. Vol. 8(1). P. 945–963. DOI: 10.33002/nr2581.6853.080140

Дата першого надходження статті до видання: 10.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 631:633.1

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.15>

ОБҐРУНТУВАННЯ ОСІННЬОГО ГЕРБІЦИДНОГО ЗАХИСТУ ПОСІВІВ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

Ласло О.О. – к.с.-г.н., доцент,

доцент кафедри землеробства і агрохімії імені В.І. Сазанова,

Державний вищий навчальний заклад

«Полтавський державний аграрний університет»

orcid.org/0000-0002-0101-4442

Марініч Л.Г. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри рослинництва,

Державний вищий навчальний заклад

«Полтавський державний аграрний університет»

orcid.org/0000-0002-0073-9433

Шакалій С.М. – к.с.-г.н., доцент,

доцент кафедри рослинництва,

Державний вищий навчальний заклад

«Полтавський державний аграрний університет»

orcid.org/0000-0002-4568-1386

У статті висвітлено результати досліджень ефективності осіннього гербіцидного захисту у технології вирощування пшениці озимої в умовах центрального Лісостепу України за сучасних кліматичних змін. Актуальність роботи зумовлена тенденцією до подовження осінньо-зимової вегетації, що сприяє активному розвитку озимих та зимуючих бур'янів і посилює їх конкуренцію з культурними рослинами. Основними бур'янами, що засмічують посіви восени, є мак дикий, фіалка польова, підмаренник чіпкий, талабан польовий, кучерявець Софії, осот рожевий, пирій повзучий та інші представники сегетальної і рудеральної рослинності. Метою досліджень було оцінити вплив різних схем застосування гербіцидів на забур'яненість посівів, фітосанітарний стан та урожайність пшениці озимої сорту Сталева, а також обґрунтувати найбільш економічно та агрономічно доцільний варіант захисту.

Польові досліді проводилися у 2023–2025 рр. на чорноземах середньогумусних із застосуванням гербіцидів Аксакал, Шериф та їх бакової суміші у фазі 3–4 листків культури восени. Встановлено, що перед обробкою посіви характеризувалися високим рівнем забур'яненості (82–102 шт./м²) з переважанням дводольних видів. Найвищу біологічну ефективність показала суміш Аксакал + Шериф + ПАР Мачо, яка забезпечила зниження чисельності злакових бур'янів на 98 %, дводольних – на 93 %, тоді як застосування препаратів окремо було менш результативним.

Ефективніший контроль сегетальної рослинності позитивно вплинув на структуру посіву та продуктивність культури. У 2024–2025 рр. максимальна кількість продуктивних стебел (690–705 шт./м²) і найвища врожайність (4,73–5,70 т/га) були отримані саме за комбінованого застосування гербіцидів, що забезпечило приріст урожаю до 0,78 т/га порівняно з однокомпонентними варіантами. Отримані результати підтверджують доцільність осіннього комбінованого гербіцидного захисту як ефективного інструменту зниження забур'яненості, оптимізації використання ресурсів і реалізації продукційного потенціалу пшениці озимої в умовах кліматичних змін.

Ключові слова: пшениця озима, фітотоксичність, гербіциди, урожайність.



Laslo O.O., Marinich L.H., Shakalii S.M. Justification of autumn herbicide protection of winter wheat crops

The article presents the results of research on the effectiveness of autumn herbicide protection in the technology of winter wheat cultivation under conditions of contemporary climate change in the central Forest-Steppe zone of Ukraine. The relevance of the study is determined by the tendency toward prolonged autumn–winter vegetation periods, which promote active development of wintering and overwintering weeds and intensify their competition with crop plants. The main weeds that litter crops in the fall are wild poppy, field violet, common marigold, field marigold, Sophia's creeping thistle, pink thistle, creeping wheatgrass, and other representatives of segetal and ruderal vegetation. The aim of the research was to evaluate the impact of different herbicide application schemes on weed infestation, phytosanitary status, and grain yield of winter wheat of the Staleva variety, as well as to substantiate the most agronomically and economically feasible protection strategy.

Field experiments were conducted during 2023–2025 on medium-humus chernozem soils using the herbicides Aksakal, Sheriff, and their tank mixture applied in the 3–4 leaf stage of winter wheat in autumn. Prior to treatment, the crops were characterized by a high level of weed infestation (82–102 plants/m²), with a predominance of broadleaf species. The highest biological efficiency was demonstrated by the combined application of Aksakal + Sheriff + adjuvant Macho, which reduced grassy weeds by 98 % and broadleaf weeds by 93 %, whereas single-herbicide applications were considerably less effective. Improved weed control had a positive effect on crop stand structure and productivity. In 2024–2025, the maximum number of productive stems (690–705 stems m⁻²) and the highest grain yield (4.73–5.70 t/ha) were recorded in the combined herbicide treatment, providing a yield increase of up to 0.78 t/ha compared with single-component variants. The results confirm the agronomic feasibility of autumn combined herbicide protection as an effective tool for reducing weed pressure, optimizing resource use, and realizing the yield potential of winter wheat under changing climatic conditions.

Key words: winter wheat, phytotoxicity, herbicides, yield.

Постановка проблеми. Кліматичні зміни, які прогнозувалися кілька десятиріч років тому, сьогодні стали реальністю та суттєво впливають на агровиробництво. Стійке похолодання більше не настає за звичним графіком наприкінці жовтня чи на початку листопада. Тепер звичайною для території України стала ситуація, коли озимі зернові культури, а також зимуючі бур'яни в їхніх посівах продовжують часткову вегетацію навіть у зимовий період. Це змушує агровиробників переглядати підходи до технології вирощування озимих зернових.

Для розробки продуктивної та надійної стратегії контролю сеgetальної рослинності у посівах зернових культур є визначення видової різноманітності. Виходячи з цього, аграрії приймають рішення щодо вибору гербіцидів, доз їх застосування, часу внесення та інших параметрів. Водночас слід враховувати, що вибір гербіцидів обумовлений різноманітними чинниками, які впливають на результативність їх застосування [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Діагностика фітосанітарного стану посівів пшениці озимої є важливим фактором у формуванні врожайності культури, адже за несприятливих умов може спостерігатися її істотне зниження, яке подекуди сягає до 50 %. Особливу увагу слід приділяти раннім етапам розвитку рослин, зокрема фазі кущення, оскільки саме в цей період вони найбільш сприйнятливі до рівня забезпечення поживними елементами, вологості і світлового режиму. Технологічні аспекти вирощування озимої пшениці спрямовані на оптимізацію розвитку потужної кореневої системи, що визначається значною мірою фітосанітарним станом посівів, включаючи рівень забур'яненості поля [6].

На полях, забур'янених після збору попередників, ігнорування осіннього гербіцидного захисту підсилює конкуренцію між рослинами пшениці та бур'янами перед входом у зиму. Це негативно впливає на реалізацію генетичного потенціалу сортів пшениці. Осіннє застосування гербіцидів не лише мінімізує конкуренцію

бур'янів, але й сприяє ефективному використанню азотних добрив, оскільки бур'яни зазвичай активніше відновлюють вегетацію та поглинають азот швидше, ніж культурні рослини [2].

Гербіцидний захист восени також зменшує втрати макроелементів у системі удобрення озимої пшениці, що забезпечує більш раціональне використання ресурсів. Враховуючи, що вартість добрив іноді перевищує витрати на гербіциди, застосування осіннього гербіцидного захисту є економічно обґрунтованим заходом для підвищення ефективності вирощування озимої пшениці.

Осіннє забур'янення суттєво впливає на розвиток пшениці озимої, знижуючи коефіцієнт продуктивного кущіння. В цей час сповільнюється накопичення цукрів у вузлі кушення, формується коротший колос із меншою кількістю колосків, а також слабка коренева система, що значно підвищує ризик вимерзання рослин. Основними бур'янами, що засмічують посіви восени, є мак дикий, фіалка польова, підмаренник чіпкий, талабан польовий, кучерявець Софії, осот рожевий, пирій повзучий та інші представники сегетальної і рудеральної рослинності. У цей період багаторічні, озимі та зимуючі бур'яни утворюють розетку листків і добре розвинену кореневу систему, що забезпечує їм успішну перезимівлю [3].

На ранніх етапах весняної вегетації, особливо в період від кінця кущіння до початку виходу в трубку, забур'янені ділянки посівів негативно позначаються на формуванні репродуктивних органів пшениці. Це створює загрозу зменшення майбутньої врожайності. У зв'язку з цим гербіцидна обробка значно знижує ризик втрат зерна, демонструючи високу ефективність. Результати досліджень доводять, що внесення гербіцидів восени є не менш успішним порівняно із весняною обробкою. Більше того, ефективність гербіцидного захисту саме в осінній період часто перевищує показники весняної обробки посівів [1].

Науковці зазначають, що внесення гербіцидів в осінній період може суттєво впливати на їх ефективність. У цей час залежність від температурних умов зменшується, а значний запас вологи в ґрунті сприяє кращій дії препаратів. Водночас навесні несприятливі погодні умови часто ускладнюють внесення гербіцидів у необхідну фазу розвитку як бур'янів, так і культурних рослин. Невчасне застосування може призвести до зниження ефективності препаратів.

Постановка завдання: оцінити ефективність схем гербіцидного захисту у технології вирощування пшениці озимої з метою підвищення урожайності, зменшення засміченості посівів та оптимізації витрат на захист рослин.

Виклад основного матеріалу. Дослідження впливу гербіцидів на фітосанітарний стан посівів і урожайність пшениці озимої проводилося на території аграрного підприємства, що розраховане на центральному лісостепу України. Основною ґрунтовою покриву є звичайні середньогумусні чорноземи. В шарі ґрунту 0–30 см зареєстровано вміст гумусу на рівні 3,35 %; концентрація нітратного азоту становила 15,2 мг/кг, а кількість рухомих сполук фосфору і калію (відповідно до методу Чирікова) – 175 і 155 мг/кг відповідно. Агротехнічні заходи, застосовані в рамках експерименту, відповідають зональним вимогам для вирощування озимої пшениці. Схема удобрення полягала у внесенні азоту (N) – 120 кг/га, фосфору (P) – 80 кг/га та калію (K) – 80 кг/га. Попередником пшениці озимої була соя. У дослідженнях використані такі методи як: польовий – для закладання досліду в умовах виробничих посівів господарства, визначення ефективності гербіцидів за впливом на забур'яненість та урожай пшениці озимої; обліковий – для кількісного визначення забур'яненості посівів (видовий склад, щільність бур'янів до і після застосування гербіцидів); статистичний – для обробки отриманих результатів,

визначення достовірності різниць між варіантами дослідів. Обробка гербіцидами проводилася: восени на етапі появи 3–4 справжніх листків пшениці озимої, повторність – триразова, розміщення варіантів і повторень – послідовне. Посівна площа ділянки – 150 м² [4].

Схема дослідів: Аксакал (0,030 кг/га)+ПАР Мачо, фаза трьох листків у пшениці (восени); Шериф (0,025 кг/га) +ПАР Мачо, фаза трьох листків у пшениці (восени); Аксакал (0,025 кг/га)+Шериф (0,025 кг/га) +ПАР Мачо, фаза трьох листків у пшениці (восени).

Пшениця озима м'яка Сталева – вегетаційний період – 260–275 днів, сильна пшениця з високими хлібопекарськими властивостями. Висока стійкість до вилягання, осипання, проростання; посухо- та жаростійкий, високозимостійкий; стійкий до хвороб; раннє колосіння та дозрівання; придатний для всіх регіонів, оптимальний для Лісостепу. Якість зерна: білок – до 16 %, клейковина – до 32 %.

Характеристика гербіциду Аксакал – селективний післясходовий гербіцид системної дії, призначений для ефективного знищення однорічних дводольних бур'янів у посівах зернових культур. Діюча речовина: трибенурон-метил, 750 г/кг. Норма внесення: 0,025 кг/га.

Характеристика гербіциду Шериф – високоефективний гербіцид системної дії для післясходового контролю однорічних дводольних бур'янів у посівах зернових культур. Діюча речовина: трибенурон-метил, 750 г/кг. Норма внесення: 0,025 кг/га.

Результати досліджень. Перед закладанням дослідів з гербіцидами було проведено моніторинг посівів пшениці озимої на ступінь забур'янення злаковими і дводольними бур'янами у фазі 3–4 справжніх листків восени 2023 і 2024 років, усереднені показники на ділянках дослідів подано у таблиці 1.

Таблиця 1

**Моніторинг видового складу бур'янів після попередника соя
(середнє за 2023 та 2024 рр.)**

Видовий склад сегетальної рослинності восени	Аксакал+ ПАР Мачо		Шериф+ ПАР Мачо		Аксакал+ Шериф+ ПАР Мачо	
	Кількість бур'янів					
	шт/м.кв	%	шт/м.кв	%	шт/м.кв	%
Пирій повзучий	6	8	8	10	10	11
Вівсюг звичайний	8	10	6	7	8	8
Мишій зелений	10	11	7	8	9	10
Метлюг звичайний	15	17	13	16	18	15
Злакові, всього	39	46	34	41	45	44
Берізка польова	4	3	6	5	8	9
Підмаренник чіпкий	13	15	10	15	7	6
Сокирки польові	6	6	10	15	12	12
Трибеберник непахучий	16	18	11	16	15	15
Суріпиця звичайна	5	5	6	5	9	10
Осот жовтий польовий	3	2	5	3	6	4
Дводольні, всього	47	54	48	59	57	56
Всього видів	86	100	82	100	102	100

Результати моніторингу ділянок на забур'янення перед сівбою пшениці озимої виявлено високий рівень забур'яненості як злаковими, так і дводольними

бур'янами. Варіант 3 має найвищу загальну щільність бур'янів – 102 шт/м², зокрема найбільшу кількість як злакових (45), так і дводольних (57) видів, що свідчить про необхідність посиленого гербіцидного контролю.

Ділянки варіанту 1 та 2 мають дещо нижчий за ділянку варіанта 3, але також високий рівень забур'яненості (86 та 82 шт/м² відповідно), що перевищує економічний поріг шкодочинності.

Переважають дводольні бур'яни, що вказує на доцільність внесення післясходового гербіциду системної дії, зокрема на основі трибенурон-метилу (Аксакал або Шериф) у рекомендованих нормах.

Присутність значної кількості злакових бур'янів вимагає включення до системи захисту спеціалізованих протизлакових препаратів або застосування комбінованих бакових сумішей.

У фазу трьох листків у пшениці було проведено обробку гербіцидами, облік забур'янення і фітотоксичний ефект спостерігали через 14 діб.

За отриманих результатів досліджень, представлених у таблиці 2 бачимо, що найвищу ефективність проти злакових бур'янів показала суміш гербіцидів Аксакал + Шериф (98 %), перевищивши дію кожного з препаратів окремо. Крашу дію на дводольні бур'яни також продемонструвала суміш (93 %), що суттєво вище порівняно з Аксакалом (68 %) та Шерифом (54%). Аксакал окремо виявив вищу фітотоксичність як на злакові (97 %), так і на дводольні (68 %) бур'яни у порівнянні з Шерифом (94 % та 54 % відповідно). Суміш гербіцидів Аксакал + Шериф забезпечує найвищий рівень контролю обох типів бур'янів (злакових – 98 %, дводольних – 93 %) і є найефективнішим варіантом гербіцидного захисту серед протестованих.

Таблиця 2

**Вплив гербіцидів на чисельність сегетальної рослинності
у посівах пшениці озимої (середнє за 2023–2024 рр.)**

Варіант	Кількість бур'янів, шт./м.кв			Фітотоксичність, %		
	злакові	дводольні	всього	злакові	дводольні	всього
Кількість бур'янів до обробки	39	47	86	–	–	–
Аксакал ПАР Мачо	1	15	16	97	68	82
Кількість бур'янів до обробки	34	48	82	–	–	–
Шериф+ ПАР Мачо	2	22	24	94	54	71
Кількість бур'янів до обробки	45	57	102	–	–	–
Аксакал+ Шериф+ ПАР Мачо	1	4	5	98	93	95

Одним із ключових факторів стабільного формування високого врожаю озимої пшениці є ефективний контроль бур'янів протягом усього періоду вегетації. Бур'яни не лише конкурують з культурою за вологу, поживні речовини та світло, але й можуть сприяти поширенню хвороб і шкідників, значно знижуючи продуктивність рослин.

Сорт озимої м'якої пшениці Сталева відзначається високим потенціалом урожайності, який можна реалізувати лише за умови дотримання сучасних технологій вирощування, зокрема ефективного гербіцидного захисту. Саме тому

важливо дослідити вплив різних варіантів застосування гербіцидів на урожайність цього сорту.

У таблиці 3 представлено результати вивчення впливу гербіцидів Аксакал, Шериф та їх суміші на основні показники продуктивності пшениці сорту Сталева. Проведена оцінка дозволяє виявити найбільш ефективну систему захисту, яка сприяє зниженню забур'яненості та покращенню агробіологічних характеристик культури, що в підсумку забезпечує підвищення врожайності.

За результатами досліджень у 2024 році ми отримали наступні результати: варіант з гербіцидом Аксакал показали найменшу кількість продуктивних стебел; найнижчу врожайність серед варіантів. Це свідчить про обмежений вплив гербіциду Аксакал на загальну продуктивність посівів, імовірно через недостатній контроль дводольних бур'янів або менш ефективну дію на фоні високого забур'янення.

Таблиця 3

Показники продуктивності пшениці озимої за гербіцидного захисту

Варіант	Кількість продуктивних стебел, шт/м ²	Урожайність, т/га	Приріст, ц/га
2024 р.			
Аксакал+ПАР Мачо	628	3,95	—
Шериф+ПАР Мачо	657	4,28	0,33
Аксакал+ Шериф+ПАР Мачо	690	4,73	0,78
НІР _{0,05}		0,08	
2025 р.			
Аксакал+ПАР Мачо	645	4,98	—
Шериф+ПАР Мачо	669	5,30	0,32
Аксакал+ Шериф+ПАР Мачо	705	5,70	0,72
НІР _{0,05}		0,09	

На варіанті з гербіцидом Шериф кількість продуктивних стебел була більшою, ніж у варіанті з Аксакалом; урожайність зросла на 0,33 т/га порівняно з Аксакалом. Гербіцид Шериф показав кращу ефективність контролю дводольних бур'янів, що позитивно вплинуло на продуктивність культури.

Варіант із сумішшю гербіцидів Аксакал + Шериф показав кращі результати: найвищі показники кількості продуктивних стебел – 690 шт/м²; максимальна врожайність – 4,73 т/га, що на 0,78 т/га більше за Аксакал і на 0,45 т/га більше за Шериф.

За результатами досліджень у 2025 році ми отримали наступні результати: у з гербіцидом Аксакал отримали найменшу кількість продуктивних стебел серед досліджуваних варіантів (645 шт/м²); урожайність становила 4,98 т/га, що є базовим орієнтиром ефективності одного гербіциду з акцентом на злакові бур'яни. Хоча результат досить високий, ефективність обмежується недостатнім контролем дводольних бур'янів.

На варіанті із гербіцидом Шериф відмітили вищу кількість продуктивних стебел на 24 шт/м², ніж у варіанті з Аксакал; урожайність зросла на 0,32 т/га – до 5,30 т/га, що вказує на кращий контроль дводольних бур'янів. Покращення структури посіву та продуктивності може бути пов'язане з ефективною гербіцидною дією на критичні види бур'янів.

На варіанті із сумішшю Аксакал + Шериф максимальна кількість продуктивних стебел складала – 705 шт/м², найвища врожайність – 5,70 т/га.

Застосування суміші забезпечило синергетичний ефект, ефективно контролюючи як злакові, так і дводольні бур'яни.

Висновки і пропозиції. Сумісне застосування обох гербіцидів дало синергетичний ефект, забезпечуючи високий рівень контролю як злакових, так і дводольних бур'янів. До проведення гербіцидного захисту посіви озимої пшениці сорту Сталева характеризувалися високим рівнем забур'яненості як злаковими, так і дводольними бур'янами. Найвища загальна щільність бур'янів спостерігалася у варіанті 3 (Аксакал + Шериф + ПАР Мачо) – 102 шт/м², із значною часткою як злакових (45 шт/м²), так і дводольних (57 шт/м²), що підкреслює необхідність застосування комбінованого гербіцидного контролю. Переважання дводольних видів бур'янів обґрунтовує використання системних післясходових гербіцидів на основі трибенурон-метилу. Найвищу ефективність проти злакових та дводольних бур'янів продемонструвала суміш Аксакал + Шериф (98 % та 93 % відповідно), перевищуючи дію кожного препарату окремо. Аксакал був ефективнішим проти злакових бур'янів (97 %), а Шериф – проти дводольних (54–68 %), однак окреме застосування препаратів не забезпечувало оптимального контролю обох типів бур'янів. Використання суміші гербіцидів Аксакал + Шериф забезпечило найвищу кількість продуктивних стебел (690–705 шт/м²) та максимальну врожайність (4,73–5,70 т/га), що на 0,45–0,78 т/га перевищує результати застосування окремих препаратів. Варіанти з окремим застосуванням Аксакалу або Шерифу показали нижчі результати, що пов'язано з недостатнім контролем дводольних або злакових бур'янів, відповідно.

Для забезпечення ефективного контролю бур'янів та максимального потенціалу врожайності озимої пшениці сорту «Сталева» доцільно застосовувати комбіновані бакові суміші гербіцидів Аксакал + Шериф. Такий підхід дозволяє досягти синергетичного ефекту, одночасно контролюючи злакові та дводольні бур'яни, підвищуючи продуктивність та стабільність врожаю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Laslo O., Onipko V., Hordieieva O. System of protection of winter wheat sowing from segetal and ruderal vegetation. *Modern engineering and innovative technologies*. 2024. Вип. 31. С. 120–125. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2024-31-00-022>.
2. Боротьба з бур'янами восени: закордонний та український досвід. Агрономія Сьогодні. 2025. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/613-borotba-z-burianamy-voseny-zakordonnyi-ta-ukrainskyi-dosvid.html> (дата звернення: 18.01.2026).
3. Гербіцидний захист озимої пшениці восени – вчасна протидія бур'янам. 2023. URL: <https://www.eridon.ua/gerbicidnij-zahist-ozimoyi-pshenici-voseni-vchasna-protidiya-buryanam> (дата звернення: 18.01.2026).
4. Єщенко В.О. Основи наукових досліджень в агрономії: Підручник Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. 332 с.
5. Ласло О.О., Оніпко В.В., Панченко К.С. Гербіцидна технологія захисту соняшника за умов нестійкого зволоження. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. № 1 (46), С. 84–89. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-1.11>.
6. Олійник О.О., Крайна М.А., Ласло О.О. Вплив застосування комбінацій гербіцидів на продуктивність пшениці озимої в умовах Західного Полісся. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2024. № 2(106). С. 100–110. <https://doi.org/10.31713/vs220248>.

Дата першого надходження статті до видання: 26.06.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 632.7:633:502/504 (292.485:477)

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.16>

ФОРМУВАННЯ СУЧАСНИХ ЕНТОМОКОМПЛЕКСІВ І ЇХ КОНТРОЛЬ У ПОСІВАХ КОРМОВИХ І ПОЛЬОВИХ КУЛЬТУР ЗА NO-TILL ТЕХНОЛОГІЙ У ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Молнар А.І. – аспірант кафедри захисту та карантину рослин,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0009-0008-3804-1875

Доля М.М. – д.с.-г.н., професор,
завідувач кафедри захисту рослин, біотехнологій та екології,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0003-0458-9695

Немерицька Л.В. – к.б.н., доцент,
викладач спеціальних дисциплін,
Житомирський агротехнічний коледж
orcid.org/0000-0001-7933-0587

Кравченко Ю.О. – аспірант кафедри фізіології хребетних і фармакології,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0009-0001-1998-7760

Ворох В.В. – аспірант кафедри геоінформатики,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
orcid.org/0009-0005-0112-8422

У 2020–2025 роках встановлено, що в сучасних умовах формування сівозмін за сезонного і багаторічного зменшення інтенсивного хімічного впливу на загальну чисельність наявних в агроценозах корисних видів комах проявляється позитивна взаємодія і життєздатність біоти за No-till, зокрема, зі наявними органічними рештками рослин. Набула важливість розробка короткострокового прогнозування взаємозалежності виявлених видів комах і їх сезонного домінування за ресурсоощадних систем ведення короткоротаційних сівозмін. У роки спостереження застосування No-till сприяло покращенню структурно-агрегатного складу ґрунту та міграції хижих видів жужелиць за порівняно сприятливих умов розмноження, а також ефективних сезонних позитивних змін у саморегуляції ентомокомплексів. Зокрема, із збільшенням у 2.3–3.6 разів чисельності червононової жужелиці – *Carabus cancellatus*, що відноситься до родини жужелиці (*Carabidae*), ряду твердокрилих (*Coleoptera*), а також інших видів імаго та личинок-хижаків ґрунтоживучих видів комах-фітофагів. За No-till розвиток цих та інших видів хижих жужелиць виявлено із довготривалим періодом сезонної міграції у мульчі та в поверхневому шарі ґрунту, це сприяло зменшенню чисельності та шкідливості дотяників, гусениць підгризаючих совок, несправжніх дотяників та інших комах-фітофагів. Додатково досліджено вплив сучасних інсектицидних протруйників на основі імідаклоприду та біфентрину на формування стійкості кукурудзи та інших культур до домінуючих шкідників. Встановлено, що інтеграція таких препаратів у ресурсоощадні технології забезпечує прирост врожайності зерна на рівні 18–34 % залежно від попередника (соя, пшениця озима чи соняшник) та групи стиглості (ФАО) гібридів. Визначено показники екоотоксичності застосовуваних діючих речовин для нецільових видів фауни, що дозволяє оптимізувати пестицидне навантаження. Отже, біологічна активність ґрунтів за No-till формується як за порівняно зволжених, так і за посушливих 2024–2025 років у різних моделях технотерів із інтенсивними процесами накопичення органічної речовини та порівняно ефективних механізмів



© Молнар А.І., Доля М.М., Немерицька Л.В., Кравченко Ю.О., Ворох В.В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

саморегуляції структур ентомокомплексів агроценозів, що у комплексі гарантує підвищення загальної рентабельності виробництва.

Ключові слова: No-till технологія, ентомокомплекс, комахи-фітофаги, ресурсоощадне землеробство, інсектицидні протруйники, біологічна активність ґрунту, саморегуляція агроценозів.

Molnar A.I., Dolia M.M., Nemerytska L.V., Kravchenko Yu.O., Vorokh V.V. Formation of modern entomocomplexes and their control in sowings of forage and field crops under no-till technologies in the Forest-Steppe of Ukraine

In 2020–2025, it was established that under modern conditions of crop rotation formation, with a seasonal and long-term decrease in intense chemical impact on the total number of beneficial insect species present in agroecosystems, a positive interaction and viability of biota under No-till are manifested, particularly with available organic plant residues. The development of short-term forecasting regarding the interdependence of identified insect species and their seasonal dominance under resource-saving systems of short-rotation crop management has gained significance. During the years of observation, the application of No-till contributed to the improvement of the soil structural-aggregate composition and the migration of predatory ground beetle species under comparatively favorable breeding conditions, as well as effective seasonal positive changes in the self-regulation of entomocomplexes. In particular, this was accompanied by a 2.3–3.6-fold increase in the population of the red-legged ground beetle – *Carabus cancellatus*, belonging to the ground beetle family (Carabidae), order Coleoptera, as well as other species of imago and predator larvae of soil-dwelling phytophagous insects. Under No-till, the development of these and other species of predatory ground beetles was observed with a long period of seasonal migration in the mulch and surface soil layer, which contributed to a decrease in the number and harmfulness of wireworms, cutworm caterpillars, false wireworms, and other phytophagous insects. Additionally, the effect of modern insecticidal seed protectants based on imidacloprid and bifenthrin on the formation of resistance in corn and other crops to dominant pests was studied. It was established that the integration of such preparations into resource-saving technologies provides a grain yield increase of 18–34%, depending on the preceding crop (soybeans, winter wheat, or sunflowers) and the maturity group (FAO) of the hybrids. The ecotoxicity indicators of the applied active substances for non-target fauna species were determined, allowing for the optimization of the pesticide load. Consequently, the biological activity of soils under No-till is formed both under comparatively humid and arid conditions of 2024–2025 in various models of technosols with intensive processes of organic matter accumulation and relatively effective mechanisms of self-regulation within the structures of agroecosystems entomocomplexes, which comprehensively guarantees an increase in the overall profitability of production.

Key words: No-till technology, entomocomplex, phytophagous insects, resource-saving agriculture, insecticidal seed protectants, soil biological activity, agroecosystem self-regulation.

Актуальність теми дослідження. Результати сучасних досліджень сезонної динаміки чисельності шкідників у сучасних короткоротаційних польових і кормових сівозмінах за No-till технології характеризуються динамічною зміною механізмів саморегуляції комах у різноякісних типах техноземів, що дозволяє ефективно керувати технологічними процесами при проведенні біологічно орієнтованими заходами захисту польових та кормових культур від фітофагів. Встановлено, що систематичне виконання No-till за моделюванням природного процесу ґрунтоутворення сприяє реалізації механізмів саморегуляції сучасних ентомокомплексів зернових, технічних та інших культур. В гумусовому горизонті ґрунту за No-till із використанням рослинних решток підвищується життєдіяльність комплексу корисних видів організмів агроценозів із забезпеченням фізико-хімічних умов стійкості польових культур до фітофагів. Зокрема, за посилення біологічної активності у 0–10 см шару ґрунту, як «арени охоти» хижих видів членистоногих агроценозів в цілому.

Отже, за No-till активізується жива речовина в ґрунті із залученням післяжнивних рослинних решток як основи біологізації землеробства на фоні

процесу розширеного відтворення родючості ґрунтів, а також системно забезпечується фітосанітарна виваженість із зменшенням інсектицидного навантаження агроценозів.

Постановка проблеми. Пріоритетного значення набуває уточнення показників щодо агротехнічної складової нових систем землеробства, що є важливою частиною фітосанітарного стану короткоротаційних польових сівозмін за No-till із узагальненням показників фенології регіональних видів ентомокомплексів та їх синхронність з етапами органогенезу польових і кормових культур. Характерно, що динаміка коливань сонячної активності та регіональна гідротермічна інформація у комплексі із системними змінами біології та екології комах-фітофагів проявляються як предиктори моделей дистанційного зондування і прогнозу сезонної динаміки чисельності фітофагів із порівняно високими коефіцієнтами детермінації. Ці закономірності виявились пріоритетними за ресурсощадних систем захисту зернових і технічних культур від комплексу шкідливих видів членистоногих. При цьому актуального значення набуло узагальнення сучасних ознак фенології комах-фітофагів із сезонною стійкістю до інсектицидів. Зокрема, препаратів із діючими речовинами ацетаміпрід, імідаклопрід, диметоат, тіаметоксам, хлорантраніліпрол та лямбда-цигалотрин. З урахуванням цього уточнено вплив таких препаратів і їх мікрозалишків у агроценозах на об'єкти довкілля, а також токсичність для нецільових видів. Так за посушливих 2024 і 2025 років визначені періоди стабільної дії окремих інсектицидів на шкідливість та життєздатність домінуючих видів фітофагів.

Місце і методи досліджень. Виявлення та обліки комах-фітофагів за No-till технології проводили за загальноприйнятих методик [4, 5] із оцінкою особливостей біології, екології та закономірностей масового розмноження комплексу видів членистоногих агроценозів.

Методи дослідження: аналітичні із визначенням технологічних кількісних і якісних показників впливу сівозмін на чисельність комах-фітофагів і корисних видів членистоногих, а також побічної продукції польових та кормових культур лабораторний для ідентифікації виявлених видів членистоногих; польовий із спостереженням чисельності по шкідливості комплексу видів комах-фітофагів; вимірювально-ваговий для обліку динаміки росту та врожайності сортів і гібридів; математично-статистичний для оцінки достовірності відмінностей між варіантами досліджень; розрахунковий для моделювання чисельності та шкідливості комах-фітофагів за No-till технології.

Результати досліджень. За сучасного стану ведення короткоротаційних сівозмін відмічена важливість комплексного і обґрунтованого регіонального контролю комах-фітофагів за No-till технології за механізмами саморегуляції ентомокомплексів. Визначені окремі еколого-економічні показники біологічних законів із формуванням механізмів стійкості комах-фітофагів до комплексу чинників. Насамперед через трофічні зв'язки як фактор контролю домінуючих видів комах-фітофагів із новими прогностичними можливостями ефективності ресурсощадних технологій вирощування порівняно стійких сортів і гібридів та кормових і польових культур. При цьому визначена пофазність щодо підвищення ефективності заходів захисту посівів сільськогосподарських культур від комплексу видів комах-фітофагів із застосуванням бакових сумішей інсектицидів. Це набуло першочергового значення за підвищення механізмів стійкості фітофагів при застосуванні нових систем живлення, рістрегуляторів та мікродобрив, а також органо-мінеральних схем удобрення і додаткового позакореневого підживлення пшениці, ячменю,

соняшнику, а також ріпаку і однорічних кормових трав та кукурудзи. Встановлено, що це забезпечує прибавку урожаю від 18 до 34 % у порівнянні з контролем. Інноваційні розробки за No-till технології рекомендовано до використання у господарствах різних форм власності, які стало отримують урожай високої якості, обґрунтовані сівозміни не сприяють розмноження комах-фітофагів.

Отже, визначення і узагальнення впливу комплексу чинників на сезонну динаміку чисельності домінуючих видів комах-фітофагів залежить від функціональних індикаторів стану агроценозів і прогнозу чисельності фітофагів за моделями регіональних екосистем та змін характеру глобалізації в цілому. Підтверджена важливість розробки і впровадження у виробництво системного широкомасштабного способу програмування контролю комах-фітофагів на видовому та популяційному рівнях за сформованих дисбалансів попередніх років ресурсощадних систем вирощування та біологічно спрямованої інтенсифікації ведення короткочасних польових сівозмін [1, 3, 5].

За рівнем фундаментальності сучасних змін структур ентомокомплексів польових і кормових культур відмічені як нові взаємозв'язки членистоногих, і потенційно негативні коливання чисельності на видовому рівні та життєздатності комах-фітофагів регіонального масштабу.

При цьому як це доведено за No-till технології вирощування польових культур із прогнозуванням чисельності та шкідливості комплексів видів комах-фітофагів, ці особливості набули адаптованого значення як за загальноприйнятих систем ведення польових сівозмін, так і за новітньої ресурсощадної глобальної інтеграції заходів захисту рослин при No-till технології [2, 4]. Детальний аналіз структури заселення кукурудзи домінуючими комахами-фітофагами (рис. 1) та частоти виявлення пошкодженого ними зерна (рис. 2) підтверджує зміну цих екологічних відносин в умовах досліджуваного регіону.

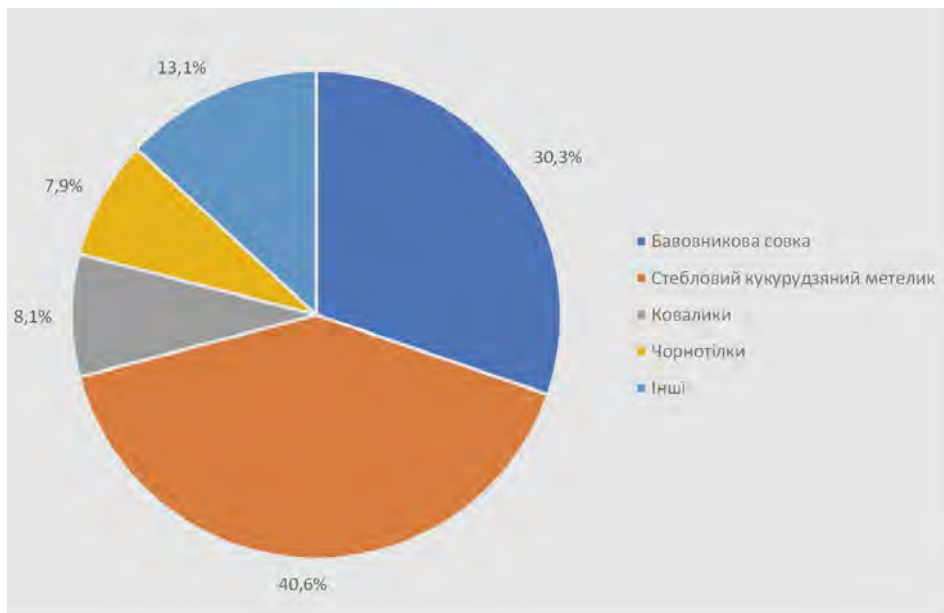


Рис. 1. Структура заселення кукурудзи комахами-фітофагами за No-till (Полтавська обл., ПП «В. Обухівське», в середньому за 2022–2024 р.р.)

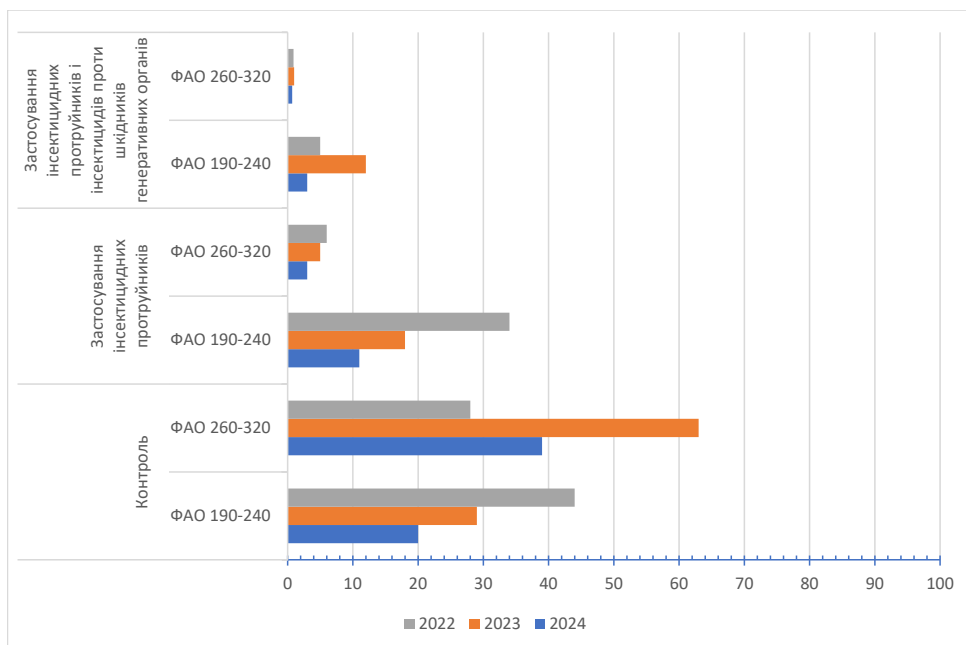


Рис. 2. Частота виявлення пошкодженого зерна кукурудзи комахами-фітофагами за No-till (Полтавська обл., ПП «В. Обухівське», 2022–2024 р.р.)

За No-till технології вирощування кукурудзи та інших польових і кормових культур пріоритетними виявились показники екологічних відносин між комахами-фітофагами, рослинами і навколишнім середовищем на фоні стресового фітотоксичного стану. Встановлені окремі показники стійкості польових культур до комплексу видів комах-фітофагів без втрати продуктивності сучасного генофонду зернових, технічних і кормових культур. Зокрема, за певних фаз розвитку районованих та перспективних сортів і гібридів сільськогосподарських культур.

У регіоні досліджень встановлена видова стійкість домінуючих комах-фітофагів до застосованих сумішей інсектицидів із особливостями біології виявлених членистоногих відповідно до ступеня їх організації.

За No-till технології виділена особливість пристосування домінуючих видів комах-фітофагів до інтенсивності живлення певним видом рослини-господаря, її органів за специфічних сезонних умов комунікації шкідників, що практично не відрізнялось у порівнянні із іншими технологіями ведення рослинництва.

З огляду на зазначені особливості живлення та пристосування фітофагів, важливим етапом досліджень стала оцінка ефективності захисту рослин за допомогою сучасних інсектицидних протруйників насіння. Встановлено, що їх застосування має безпосередній вплив на збереження та підвищення врожайності гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від попередника (табл. 1). Водночас, враховуючи необхідність екологізації ресурсоощадних технологій, проаналізовано показники токсичності застосовуваних діючих речовин для організмів нецільового призначення, що дозволяє оптимізувати загальне пестицидне навантаження на агроценози (табл. 2).

Таблиця 1

**Вплив протруйників на урожайність гібридів кукурудзи за No-till
(в середньому за 2022–2024 р.р.)**

№ з/п	Варіант	Урожайність зерна, т/га								
		ФАО								
		190	220	240	260	280	300	320	340	360
Попередник – соя										
1	Контроль	5,3	6	6,6	7,4	7	9,3	9,6	9,3	9
2	Протруєння насіння препаратом «Антихрущ», КС (д.р. імідаклоприд, 100 г/л + біфентрин, 100 г/л), 5 л/т	7,1	7,7	6,3	7,9	8,3	12	13	14	14
3	Тауго 600 FS, ТН (д.р. імідаклоприд, 600 г/л), 5 л/т	7,6	8,5	8,7	8,5	8,6	12	14	15	16
Попередник – пшениця озима										
1	Контроль	6	6,3	6,9	7,4	7,9	8,1	8,6	8,8	8,7
2	Протруєння насіння препаратом «Антихрущ», КС (д.р. імідаклоприд, 100 г/л + біфентрин, 100 г/л), 5 л/т	7,6	7,9	8,3	9,3	9,9	10	11	11	10
3	Тауго 600 FS, ТН (д.р. імідаклоприд, 600 г/л), 5 л/т	7,9	8,3	8,9	9,9	10	11	11	11	11
Попередник – соняшник										
1	Контроль	4,6	4,9	5,3	5,9	6,3	6,7	7	8,1	8,3
2	Протруєння насіння препаратом «Антихрущ», КС (д.р. імідаклоприд, 100 г/л + біфентрин, 100 г/л), 5 л/т	5,3	5,7	5,9	6,3	6,9	7,9	8,6	8,9	9,6
3	Тауго 600 FS, ТН (д.р. імідаклоприд, 600 г/л), 5 л/т	5,9	6,3	6,7	7	8,3	9,1	9,9	9,8	11
	НІР ₀₅	0,3	0,8	0,8	0,4	0,6	0,9	0,9	1,1	1,7

Таблиця 2

**Токсичність діючих речовин сучасних інсектицидів для організмів
нецільового призначення (в середньому за 2022–2024 р.р.)**

№ з/п	Діюча речовина	ЛД ₅₀ бджоли	ЛД ₅₀ земляні черви	ЕК ₅₀ дафнія Магна	ЛД ₅₀ дика качка
1	Альфа- циперметрин	0,059 мкг/бджолу	>100 мг/кг	0,1–0,3 мг/дм³	>10 000 мг/кг
2	Ацетаміприд	5,29 мкг/бджолу	9 мг/кг ґрунту	>1000 мг/дм³	180 мг/кг (перепел)
3	Диметоат	0,1–0,2 мкг/бджолу	–	5,44 мг/дм³	42 мг/кг
4	Тіаметоксам	0,024 мкг/бджолу	>1000 мг/кг ґрунту	>100 мг/дм³	1552 мг/кг (перепел)
5	Лямбда- цигалотрин	909 мкг/бджолу*	>1000 мг/кг ґрунту	0,36 мкг/дм³	>5000 мг/кг (перепел)

Висновки та перспективи подальших досліджень. У 2020–2025 р.р. показники механізмів саморегуляції і стійкості ентомокомплексу зернових і технічних культур залежали від коливань погоди і систем удобрення та застосованих засобів захисту рослин.

За No-till технології доцільно застосовувати заходи регулювання якісних показників стану ентомокомплексів за рівнями структури сівозмін і накопичення у ґрунті мікро залишків пестицидів із оцінкою особливостей прояву стійкості сортив та гібридів польових культур до комплексу видів комах-фітофагів.

Морфо-фізіологічні та адаптивні сучасні ознаки генотипів польових культур необхідно формувати за механізмів стійкості до стресового стану із системами контролю шкідників, що дозволяють підвищити продуктивність зернових і просяних культур на 30 % і більше у порівнянні з контролем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Information technology for remote evaluation of after effects of residues of herbicides on winter crop rape / M. M. Dolia et al. 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT). 2019. P. 469–473. DOI: 10.1109/AICT48869.2019.8847850
2. Harmfulness of cruciferous bugs / S. V. Stankevych et al. Ukrainian Journal of Ecology. 2021. Vol. 11, № 3. P. 52–59. DOI: 10.15421/2021_131
3. The biological and environmental features of reproduction and distribution of dominant harmful organisms in modern conditions / M. Dolia et al. EUREKA: Life Sciences. 2021. № 1. P. 26–32.
4. Artificial neural networks for predicting the number of field crop pests / M. Dolia et al. Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. 2024. Vol. 20, № 3. DOI: 10.31548/dopovidi.3(109).2024.022
5. Pest of oil producing cabbage crops in the eastern Forest-Steppe of Ukraine / S. V. Stankevych et al. Ukrainian Journal of Ecology. 2020. Vol. 10, № 5. P. 223–232. DOI: 10.15421/2020_234

Дата першого надходження статті до видання: 22.06.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 551.509.313:632.111:633/635

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.17>

МЕТОДИКА І ЕМПІРИЧНА ПЕРЕВІРКА МІЖДЖЕРЕЛЬНОЇ УЗГОДЖЕНОСТІ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ

Панфілова А.В. – д.с.-г.н., професор,

завідувач кафедри рослинництва та садово-паркового господарства,

Миколаївський національний аграрний університет

orcid.org/0000-0003-0006-4090

Кошкін Д.Л. – к.т.н., доцент,

директор навчально-наукового механіко-технологічного інституту,

Миколаївський національний аграрний університет

orcid.org/0000-0002-6927-8487

Мета дослідження – кількісно оцінити узгодженість трьох поширених продуктів (ERA5-Land, NASA POWER, Open-Meteo) для температури повітря, температури точки роси, опадів і похідних вологісних показників, а також визначити агрономічні наслідки міжджерельних розбіжностей. Емпіричну основу становлять погодинні ряди за 2024–2025 рр. Застосовано синхронізацію часових рядів, попарні статистичні порівняння (Bias, RMSE, rRMSE, R^2) та аналіз похибкового каскаду під час переходу від первинних метеозмінних до відносної вологості повітря, абсолютної вологості, дефіциту тиску водяної пари та суми ефективних температур.

Показано наявність стійкої ієрархії міжджерельної узгодженості агрометеорологічних параметрів: найвищі показники узгодженості характерні для температури повітря, проміжні – для температури точки роси, тоді як для опадів встановлено суттєво нижчий рівень узгодженості. В узагальненому вигляді діапазони узгодженості становлять близько 0,93–0,99 для температурних показників і близько 0,33–0,62 для опадів без деталізації за окремими парами джерел. Також підтверджено каскадне підсилення відносної похибки у дефіциту тиску водяної пари порівняно з відотною вологістю повітря, що узгоджується з термодинамічною чутливістю дефіциту тиску водяної пари до температурних змінень. Порівняння вологісних метрик вказує на краю міжджерельну стабільність абсолютних показників вологості відносно відносних, що важливо для прикладних розрахунків водного стресу.

Одержані результати підтверджують робочі гіпотези щодо температурного походження міжджерельних похибок і формують практичну основу для вибору метеорологічного джерела даних залежно від задачі: оперативний моніторинг посушливих умов, оцінка ризиків теплового і водного стресу, а також управління технологіями вирощування сільськогосподарських культур. У цілому встановлено, що міжджерельні температурні відмінності можуть накопичуватися впродовж року та зумовлювати агрономічно значущі зсуви у календарі розвитку культур, які доцільно враховувати для прийняття управлінських рішень.

Ключові слова: агрометеорологічні дані, глобальні метеорологічні продукти, міжджерельна узгодженість.

Panfilova A.V., Koshkin D.L. Methodology and empirical verification of inter-source consistency of agrometeorological data

The study presents an inter-source empirical verification of agroclimatic data for the Southern Steppe of Ukraine using a representative location within the Mykolaiv region. The aim of the research is to quantitatively assess the consistency of three widely used meteorological products (ERA5-Land, NASA POWER, and Open-Meteo) for air temperature, dew point temperature, precipitation, and derived humidity-related parameters, as well as to determine the



© Панфілова А.В., Кошкін Д.Л., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

agronomic implications of inter-source discrepancies. The study was based on hourly datasets for 2024–2025. The analysis included time-series synchronization, pairwise statistical comparisons (Bias, RMSE, rRMSE, and R^2), and evaluation of the error cascade associated with the transition from primary meteorological variables to relative humidity, absolute humidity, vapor pressure deficit (VPD), and growing degree-days (GDD).

A stable hierarchy of inter-source consistency among agroclimatic parameters was identified: the highest agreement was observed for air temperature, intermediate agreement for dew point temperature, and substantially lower agreement for precipitation. In generalized form, consistency levels ranged from approximately 0.93–0.99 for temperature-related variables and 0.33–0.62 for precipitation, without detailed separation by individual source pairs. The study also confirmed a cascade amplification of relative errors in VPD compared with relative humidity, which is consistent with the thermodynamic sensitivity of VPD to temperature biases. Comparisons of humidity-related metrics demonstrated higher inter-source stability for absolute humidity indicators than for relative humidity, which is important for practical assessments of crop water stress.

The obtained results empirically confirm the working hypotheses regarding the temperature-related nature of inter-source discrepancies and provide a practical basis for selecting meteorological data sources depending on the intended application, including operational drought monitoring, assessment of thermal and water stress risks, and management of crop production technologies. Overall, the study demonstrates that inter-source temperature differences may accumulate throughout the year and lead to agronomically significant shifts in crop development timing, which should be considered in agricultural decision-making processes.

Key words: *agroclimatic data, global meteorological products, inter-source consistency.*

Актуальність тематики дослідження. Зростаюча залежність сучасного сільськогосподарства від цифрових агрометеорологічних сервісів зумовлює потребу у надійних джерелах кліматичних даних для оптимізації управління технологіями вирощування сільськогосподарських культур, розподілу ресурсів та зменшення впливу кліматичних ризиків. У сучасних агрокліматичних дослідженнях широко використовуються глобальні метеорологічні продукти ERA5-Land, NASA POWER та Open-Meteo, які відрізняються просторовою роздільністю, методами формування та рівнем узгодженості даних [1, 2, 3]. У попередніх дослідженнях авторів теоретично обґрунтовано каскадне підсилення похибок при переході від температури повітря до дефіциту тиску водяної пари як наслідок нелінійності функції Тетенса, а також кумулятивний механізм накопичення похибок у сумах ефективних температур [4]. Однак ці положення потребують емпіричної перевірки на реальних часових рядах.

Проблема міжджерельної узгодженості є особливо критичною для похідних параметрів, таких як відносна вологість повітря, абсолютна вологість, дефіцит тиску водяної пари та сума ефективних температур. Ці параметри широко використовуються у задачах оцінки водного режиму, стресу та настання фаз росту і розвитку культур [5, 6, 7]. Найбільші розбіжності характерні для вологісних параметрів та опадів. Аналогічні відмінності раніше відзначалися як для глобальних мультиспутникових продуктів опадів, так і для продуктів NASA POWER та ERA5 при їх порівнянні з наземними спостереженнями [8, 9, 10].

Південний Степ України є важливим регіоном для такого дослідження через високу агрокліматичну значущість, різноманітність метеорологічних умов та значну роль в зерновиробництві. Метою дослідження є емпірична верифікація міжджерельної узгодженості продуктів ERA5-Land, NASA POWER та Open-Meteo у похідних агрометеорологічних параметрах для умов Південного Степу України. Завданням дослідження було встановити ієрархію узгодженості між метеорологічними продуктами для первинних параметрів – температури повітря (2 м), температури точки роси та опадів – і перевірити гіпотезу про послідовне зниження

узгодженості у ряду «температура повітря → температура точки роси → опади». Окрему увагу приділено емпіричній верифікації термодинамічної природи розбіжностей між абсолютними та відносними показниками вологості повітря, а також оцінці каскадного підсилення похибок під час переходу від показників вологості до дефіциту тиску водяної пари. Крім того, кількісно оцінено кумулятивний ефект міжджерельних температурних відмінностей у сумах ефективних температур та їх трансляцію у часовий зсув під час визначення фаз росту і розвитку сільськогосподарських культур Південного Степу України.

Матеріалитаметодика. Аналіз виконано для репрезентативної точки «Навчально-науково-практичний центр Миколаївського національного аграрного університету», яка розташована в умовах Південного Степу України (46,9364 пн.ш., 31,6514 сх.д.) за період 01.01.2024 р. – 31.12.2025 р. Масив порівняння склав $n = 17\,544$ погодинних значень для температури повітря і температури точки роси та $n = 731$ добових сум опадів.

Завантаження даних виконано через стандартні API-інтерфейси: Copernicus CDS API (ERA5-Land), NASA POWER API та Open-Meteo Historical Weather API [1, 2, 3]. Для всіх джерел застосовано єдиний часовий стандарт UTC. Гармонізація включала синхронізацію часових міток, уніфікацію одиниць вимірювання та перевірку повноти рядів; після синхронізації пропуски у спільному часовому перетині були відсутні. Для ERA5-Land виконано перехід від температури у К до °C та перетворення накопичених опадів у інкрементні значення. Для NASA POWER використано готові погодинні температурні змінні та добові суми опадів, а для Open-Meteo – погодинні температурні та вологісні ряди з подальшою добовою агрегацією опадів. Додаткове фільтрування аномальних значень не застосовувалось.

Похідні показники відносної вологості (f), абсолютної вологості (ρ_v), дефіциту тиску водяної пари (d) та суми ефективних температур (Σt_{ef}) обчислювалися за уніфікованою схемою з первинних змінних t і t_d . Зокрема, дефіцит тиску водяної пари визначався як

$$d = E(t) - e_a(t_d)$$

де $E(t)$ – тиск насиченої водяної пари за температури повітря t , кПа;

$e_a(t_d)$ – фактичний тиск водяної пари, кПа, відновлений із температури точки роси t_d .

Суми ефективних температур визначалися за класичною однопороговою схемою [11].

$$\Sigma t_{\text{ef}} = \sum_{j=1}^N \max(\bar{t}_j - T_B; 0),$$

де $\bar{t}_j$ – середня добова температура повітря, T_B – базова температура культури, N – кількість діб у періоді розрахунку.

У верифікації використано кілька культурно-специфічних порогів: $T_B = 0^\circ\text{C}$ (пшениця озима), 5°C (ячмінь ярий), 10°C (кукурудза) [7, 12]. Для прикладної агрономічної інтерпретації доцільно обмежити період накопичення Σt_{ef} фактичним вегетаційним періодом культури, однак у межах даного дослідження обрано річний інтервал як універсальну основу для міжджерельного порівняння.

Міжджерельну узгодженість оцінювали за стандартними статистичними показниками: системне зміщення (Bias), середня абсолютна похибка (MAE), середньоквадратична похибка (RMSE), відносна середньоквадратична похибка (rRMSE)

та коефіцієнт детермінації (R^2) для всіх парних комбінацій досліджуваних джерел. Під час аналізу враховували напрямок системного зміщення між джерелами, а rRMSE нормували відносно середнього модульного значення референсного ряду у спільному часовому перетині. Для кожної пари джерел знак Bias інтерпретували як різницю між першим і другим джерелом у парі. Обробку даних та статистичний аналіз виконано в середовищі Python~3.11 із використанням бібліотек pandas, numpy та scikit-learn; графічну візуалізацію реалізовано засобами matplotlib.

Результати досліджень. Аналіз міжджерельної узгодженості показав чітку ієрархію стабільності первинних та похідних агрометеорологічних параметрів. Узагальнені метрики для температури повітря (2 м), температури точки роси, відносної та абсолютної вологості повітря, дефіциту тиску водяної пари й опадів наведено в таблиці 1.

Ієрархія узгодженості $t > t_d \gg P$. За первинними змінними встановлено діапазони R^2 для температури повітря 0,964–0,990 та для температури точки роси 0,929–0,971. Для опадів міжджерельна узгодженість є суттєво нижчою: $R^2 = 0,329–0,621$ при RMSE 2,07–3,31 мм/добу.

Таблиця 1

Зведені метрики міжджерельної узгодженості для t, t_d, f, ρ_v, d (погодинний крок, $n = 17\,544$) та P (добовий крок, $n = 731$)

Параметр	Пара джерел	Bias	MAE	RMSE	R^2	rRMSE (%)
$t, ^\circ\text{C}$	ERA5–OM	–0,18	0,78	1,03	0,990	7,8
	OM–NASA	–0,22	1,70	2,15	0,964	16,6
	NASA–ERA5	+0,40	1,53	1,92	0,973	15,1
$t_d, ^\circ\text{C}$	ERA5–OM	–0,08	0,88	1,21	0,971	19,7
	OM–NASA	–0,18	1,45	1,89	0,929	31,2
	NASA–ERA5	+0,26	1,37	1,77	0,938	30,0
$f, \%$	ERA5–OM	+0,47	4,60	6,32	0,912	9,4
	OM–NASA	+1,28	8,87	11,55	0,761	17,1
	NASA–ERA5	–1,75	8,34	10,8	0,794	15,6
$\rho_v, \text{г/м}^3$	ERA5–OM	–0,002	0,046	0,068	0,957	8,8
	OM–NASA	–0,011	0,076	0,108	0,895	13,9
	NASA–ERA5	+0,014	0,072	0,101	0,908	13,2
$d, \text{кПа}$	ERA5–OM	–0,020	0,110	0,179	0,961	23,4
	OM–NASA	+0,045	0,221	0,347	0,886	46,7
	NASA–ERA5	–0,026	0,200	0,309	0,910	39,1
$P, \text{мм/добу}$	ERA5–OM	+0,14	0,70	2,07	0,621	199,8
	OM–NASA	–0,04	0,85	3,31	0,329	281,7
	NASA–ERA5	–0,10	0,64	2,71	0,508	237,4

Порівняння пар джерел показало, що для температури повітря мінімальне значення RMSE зафіксоване для пари ERA5–OM ($1,03^\circ\text{C}$), тоді як для пар із NASA POWER RMSE підвищується до $1,92–2,15^\circ\text{C}$. Для температури точки роси картина аналогічна: ERA5–OM має найменшу похибку ($1,21^\circ\text{C}$), а комбінації з NASA POWER – вищі значення ($1,77–1,89^\circ\text{C}$). За rRMSE ієрархія також стабільна: 7,8–16,6 % для t проти 19,7–31,2 % для t_d .

Графічне міжджерельне порівняння погодинних значень температури повітря (а-в) та температури точки роси (г-е) для ERA5-Land, NASA POWER та

Open-Meteo наведено на рисунку 1. Аналіз показує високу щільність точок уздовж лінії 1:1 для пар, що включають ERA5-Land та Open-Meteo, тоді як для комбінацій із NASA POWER спостерігається виразніше системне зміщення, що узгоджується з оцінками Bias і RMSE у таблиці 1.

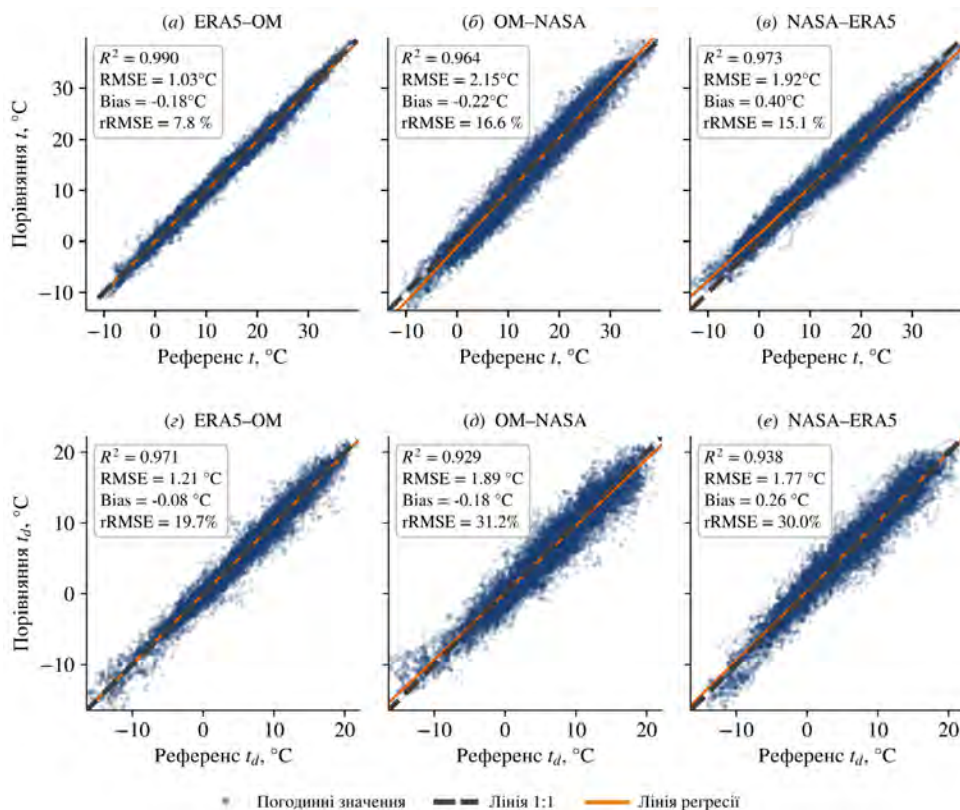


Рис. 1. Діаграми розсіювання погодинних значень температури повітря t (а-в) та температури точки роси t_d (г-е) для парних порівнянь ERA5-Land, Open-Meteo і NASA POWER у дослідній точці, 2024–2025 рр.

Міжджерельну узгодженість опадів оцінювали на добовому масштабі ($\text{мм} \cdot \text{доб}^{-1}$). На відміну від температурних змінних, для опадів характерна нижча синхронізація окремих подій: значення R^2 у межах 0,329–0,621 (табл. 1) вказують на суттєву залежність результатів від вибору джерела навіть за близьких річних сум.

Використання відносних метрик (зокрема rRMSE) для цієї змінної має обмежену інформативність, оскільки через високу частку нульових значень і низькі середні добові суми навіть помірні абсолютні розбіжності можуть призводити до штучного завищення відносних похибок. У зв'язку з цим стандартні метрики узгодженості для опадів доцільно інтерпретувати обережно. Тому, аналіз опадів додатково доповнено кумулятивною оцінкою (накопичені суми) та кореляційним аналізом часових рядів, представлених на рисунку 2. Такий підхід дає змогу окремо оцінити вплив інтенсивності подій та їх часової структури на міжджерельну узгодженість.

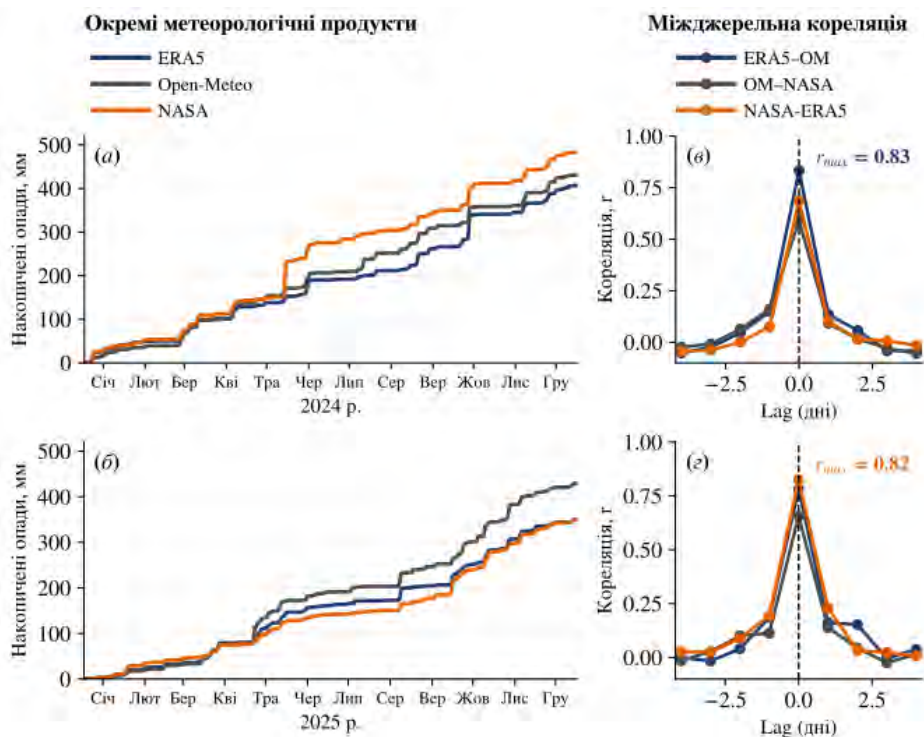


Рис. 2. Кумулятивна оцінка (а, б) та кореляційний аналіз (в, г) часових рядів добових сум опадів джерел ERA5-Land, Open-Meteo і NASA POWER у дослідній точці, 2024–2025 рр.

Аналіз рисунка 2 показує, що всі три продукти загалом відтворюють сезонну структуру опадів, однак амплітуда пікових подій та їх добова локалізація відрізняються між джерелами. Під час інтенсивних епізодів найбільші відмінності спостерігаються між NASA POWER та парою ERA5-Land/Open-Meteo, що узгоджується з нижчими значеннями R^2 для опадів. Отримані результати підтверджують ієрархію узгодженості $t > t_d \gg P$ для всіх проаналізованих пар.

Температурне походження вологісних розбіжностей. Для всіх пар джерел $R^2(\rho_v) > R^2(f)$, а різниця $\Delta R^2 = R^2(\rho_v) - R^2(f)$ становить 0,04–0,13 (табл. 1), що свідчить про вищу узгодженість абсолютної вологості порівняно з відносною та підтверджує визначальний вплив температури на розбіжності f .

Додатково встановлено, що у даних NASA POWER близько 5 % погодинних значень f перевищують 100 %, тоді як для ERA5-Land та Open-Meteo такі випадки практично відсутні (рис. 3, а-в). Ймовірним поясненням є неузгодженість полів t і t_d у продуктах на основі MERRA-2, що може призводити до умов $t_d > t$; це розглядається як робоча гіпотеза, яка потребує окремої верифікації [2]. Значення $f > 100\%$ не обрізалися до фізичної межі, оскільки вони містять діагностично важливу інформацію про якість вхідних даних; відповідно від'ємні значення d інтерпретуються як умови перенасичення. Порівняння погодинних значень d (рис. 3, г-е) демонструє нижчу міжджерельну узгодженість порівняно з t і t_d , що зумовлено нелінійною залежністю d від температури повітря.

Каскад помилки $f \rightarrow d$. Для d отримано $R^2 = 0,886 - 0,961$ при RMSE 0,179–0,347 кПа; найвища узгодженість зафіксована для пари ERA5–OM, тоді як найбільші розбіжності характерні для OM–NASA. Порівняно з f , відносні похибки d є суттєво вищими. Для кількісної оцінки каскадного підсилення використано співвідношення:

$$K_{f \rightarrow d} = \frac{\text{rRMSE}(d)}{\text{rRMSE}(f)}.$$

Отримані значення коефіцієнта підсилення становлять 2,49 (ERA5–OM), 2,73 (OM–NASA) та 2,51 (NASA–ERA5), що формує стабільний інтервал і узгоджується з теоретично визначеним у попередніх дослідженнях авторів діапазоном ($K = 2,22 - 2,86$). Це підтверджує, що навіть помірні міжджерельні відмінності у f призводять до суттєво більшої невизначеності похідного показника d .

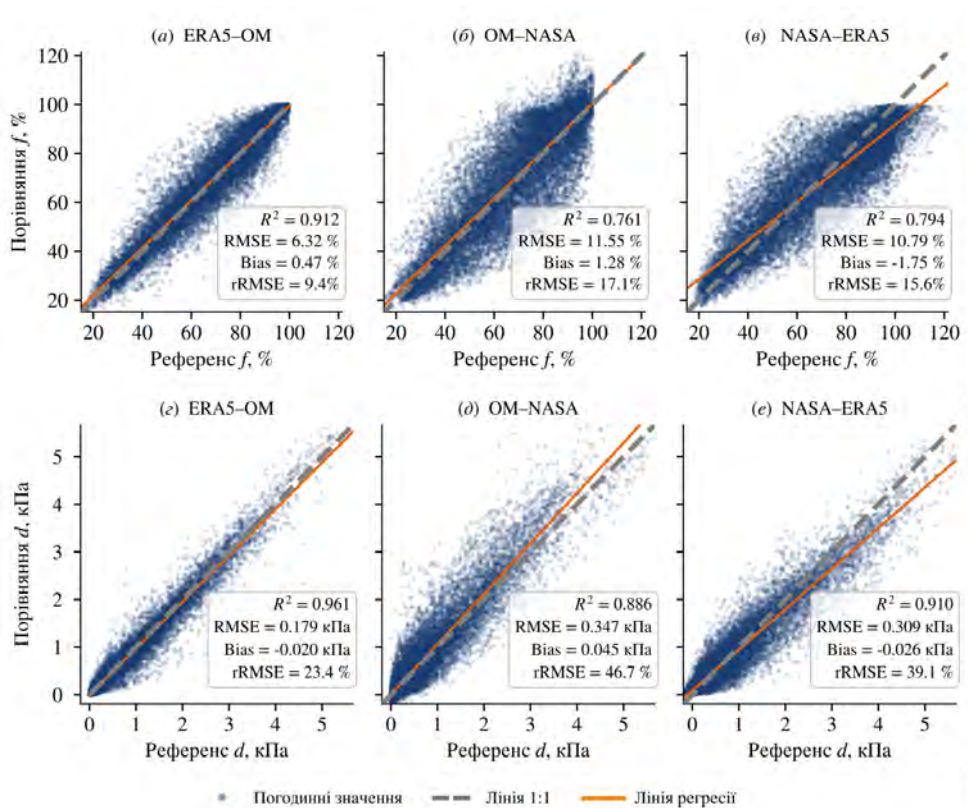


Рис. 3. Діаграми розсіювання погодинних значень відносної вологості f (а-в) та дефіциту тиску водяної пари d (г-е) для парних порівнянь ERA5-Land, Open-Meteo і NASA POWER у дослідній точці, 2024–2025 рр.

Узагальнений аналіз метрик узгодженості показав послідовне зростання міжджерельних розбіжностей у ряду t , t_p , f та d . Найменші значення rRMSE та найвища узгодженість R^2 характерні для температури повітря, тоді як максимальні

розбіжності спостерігаються для d , що підтверджує нелінійне підсилення похибок при переході від первинних до похідних агрометеорологічних параметрів.

Міжджерельні розбіжності у сезонному накопиченні. Розбіжності сум ефективних температур для базових порогів $T_B = 0; 5 \text{ і } 10^\circ\text{C}$ становлять $2,8\text{--}146,9^\circ\text{C}\cdot\text{днів}$ (табл. 1), де наведено повний діапазон значень окремо для 2024 та 2025 років і пар джерел (ERA5–OM, ERA5–NASA, OM–NASA). Величина відхилень суттєво залежить від конкретної комбінації «рік–пара джерел». Найбільше розходження ($146,9^\circ\text{C}\cdot\text{днів}$) зафіксовано для $T_B = 0^\circ\text{C}$ у парі ERA5–NASA у 2024 р., тоді як для $T_B = 10^\circ\text{C}$ максимум ($145,8^\circ\text{C}\cdot\text{днів}$) спостерігається для пари OM–NASA у 2025 р.

Таблиця 2

Міжджерельні розбіжності суми ефективних температур для різних порогів температури, $^\circ\text{C}\cdot\text{днів}$

Культура (T_B)	Рік	ERA5–OM	ERA5–NASA	OM–NASA
Пшениця озима (0°C)	2024	39,8	146,9	107,1
	2025	87,6	60,7	26,9
Ячмінь ярий (5°C)	2024	36,9	53,5	16,6
	2025	87,0	2,8	84,2
Кукурудза (10°C)	2024	41,6	11,7	29,9
	2025	93,2	52,6	145,8

Примітка: наведено модуль розбіжностей $|\Delta\Sigma t_{\text{ef}}|$, оскільки знак залежить від напрямку порівняння джерел.

Для орієнтовного переведення температурних розбіжностей у часовий еквівалент використано лінійне наближення $\Delta\tau = \Delta\Sigma t_{\text{ef}} / T_{\text{ef,сеп}}$, де $T_{\text{ef,сеп}}$ – середньодобова ефективна температура активного вегетаційного періоду. У розрахунках прийнято $T_{\text{ef,сеп}} \approx 20^\circ\text{C}$, як характерне значення для липня–серпня в умовах Південного Степу України. Отриманий діапазон міжджерельних розбіжностей $|\Delta\Sigma t_{\text{ef}}| = 2,8\text{--}146,9^\circ\text{C}\cdot\text{днів}$ відповідає орієнтовному часовому зсуву $0,1\text{--}7,3$ доби. Наведена оцінка має наближений характер, оскільки базується на припущенні про сталу швидкість накопичення Σt_{ef} упродовж року.

Для верифікації аналітичної оцінки визначено дати досягнення контрольного рівня $\Sigma t_{\text{ef}} = 1000^\circ\text{C}\cdot\text{днів}$ (репрезентативного для завершення вегетації ранніх зернових за $T_B = 5^\circ\text{C}$) для трьох джерел даних. Фактичні зсуви між джерелами склали 1–6 днів, що узгоджується з аналітичною оцінкою та підтверджує кумулятивний ефект температурних розбіжностей. Зважаючи на обмежений часовий інтервал дослідження (2024–2025 рр.), отримані значення слід розглядати як попередні кількісні орієнтири, що потребують перевірки на довших рядах спостережень.

Встановлений сезонний діапазон $\Delta\Sigma t_{\text{ef}}$ має безпосередні практичні наслідки для умов Південного Степу України, оскільки трансформується у зсув фенологічних фаз на приблизно 1–6 днів. Такі відхилення є критичними для планування агротехнічних заходів (підживлення, фунгіцидні обробки, міжрядний обробіток, поливи тощо). Навіть зміщення на 1–3 дні може змінювати ефективність технологічного вікна, тоді як відхилення на 4–6 днів створюють ризик передчасного або запізненого виконання операцій [7, 11, 12].

Перспективи подальших досліджень. Подальший розвиток дослідження доцільно спрямувати на чотири взаємодоповнювальні напрями. Насамперед, потрібне просторове розширення вибірки на мережу репрезентативних точок

у різних кліматичних зонах України для оцінки стійкості встановлених міжджерельних співвідношень поза межами умов Південного Степу. Критично важливою є також незалежна верифікація отриманих оцінок за наземними даними автоматичних метеостанцій, що дасть змогу перейти від відносної міжджерельної узгодженості до оцінки абсолютної точності. Окремий прикладний пріоритет пов'язаний із включенням швидкості вітру та сонячної радіації для повного розрахунку ET_0 за FAO-56 Penman–Monteith і кількісного аналізу впливу міжджерельних розбіжностей на оцінку поливної норми. Завершальним напрямом може бути розробка та валідація процедур корекції системного зміщення для NASA POWER на коротких локальних рядах із подальшою перевіркою їх операційної придатності в агрометеорологічних задачах.

Висновки. На погодинних рядах за 2024–2025 рр. ($n=17544$) для репрезентативної точки «Навчально-науково-практичний центр Миколаївського національного аграрного університету», яка розташована в умовах Південного Степу України, підтверджено ієрархію міжджерельної узгодженості: t ($R^2=0,964-0,990$) $>$ t_d ($R^2=0,929-0,971$) $\gg$ P ($R^2=0,329-0,621$ на добовому рівні). Температурне походження вологісних розбіжностей підтверджено стабільно додатною різницею $\Delta R^2=0,04-0,13$, що обґрунтовує доцільність використання абсолютних показників вологості для міжджерельних порівнянь. Каскадне підсилення похибок кількісно зафіксовано на рівні $K=2,5-2,7$ для переходу $f \rightarrow d$. Наявність у NASA POWER значень $f > 100\%$ розглядається як потенційно проблемна ознака, що потребує локальної валідації цього продукту перед оперативним застосуванням у задачах d-стресу. Кумулятивна міжджерельна розбіжність $\Sigma t_{\text{эф}}$ у повному діапазоні даних становить $2,8-146,9$ °C·днів/рік. Для контрольного порогу 1000 °C·днів фактичний зсув дат між джерелами становить 1–6 діб, що має практичне значення для планування польових робіт. Для прикладних агротехнологічних задач у межах дослідженої вибірки ERA5-Land є найпридатнішим джерелом для погодинних розрахунків d і $\Sigma t_{\text{эф}}$. Open-Meteo може розглядатися як прийнятна альтернатива для температурно-орієнтованих оцінок, тоді як використання NASA POWER для вологісних параметрів потребує попередньої корекції даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Muñoz-Sabater J., Dutra E., Agustí-Panareda A. ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*. 2022. 13 (9). P. 4349–83. <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>.
2. Rodrigues Goncalo C., Ricardo I., Braga P. Evaluation of NASA POWER Reanalysis Products to Estimate Daily Weather Variables in a Hot Summer Mediterranean Climate. *Agronomy*. 2021. 11 (6). P. 1207. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061207>.
3. Open-Meteo Contributors. 2026. *Open-Meteo Weather API*. GitHub repository: <https://github.com/open-meteo/open-meteo>.
4. Панфілова А. В., Кошкін Д. Л. Методологія вибору глобальних метеорологічних продуктів для агрометеорологічного забезпечення рослинництва. Таврійський науковий вісник. 2026. Вип. 148. Ч. 3. С. 28–37.
5. Allen Richard G., Luis S Pereira, Dirk Raes, Martin Smith. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage. 1998. Paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
6. Novick K.A., Ficklin D.L., Grossiord C., Konings A.G., Martínez-Vilalta J., Sadok W. The impacts of rising vapour pressure deficit in natural and managed

ecosystems. *Plant, Cell & Environment*. 2024. 47. 3561–3589. <https://doi.org/10.1111/pce.14846>.

7. Rezaei E.E., Webber H., Asseng S. Climate change impacts on crop yields. *Nat Rev Earth Environ*. 2023. 4. 831–846. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00491-0>.

8. Huffman G. J., Adler R. F., Morrissey M. M. Global Precipitation at One-Degree Daily Resolution from Multisatellite Observations». *Journal of Hydrometeorology*. 2001. 2. 36–50. [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2001\)002<0036:GPAODD>2.0.CO](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2001)002<0036:GPAODD>2.0.CO).

9. Mutlu A. Comparative evaluation of NASA, ERA5, and observational data for accuracy and reliability. *Theoretical and Applied Climatology*. 2025. 156. 367. <https://doi.org/10.1007/s00704-025-05605-w>.

10. Aboelkhair Mohamed E., Ahmed A. Abd-Elwahed, Mohamed A Abd-Elwahed. Evaluation of NASA POWER reanalysis products for agroclimatic applications in Egypt. *Atmospheric Research*. 2019. 220. 1–12.

11. Makouate Helene Fotouo, Manuela Zude-Sasse. Advances in Growing Degree Days Models for Flowering to Harvest: Optimizing Crop Management with Methods of Precision Horticulture—A Review. *Horticulturae*. 2025. 11 (12). 1415. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11121415>.

12. Siebert Stefan, Frank Ewert, Ehsan Eyshi Rezaei, Henning Kage, Rikard Graß. Impact of heat stress on crop yield—on the importance of considering canopy temperature. *Environmental Research Letters*. 2014. 9 (4). 044012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/4/044012>.

Дата першого надходження статті до видання: 26.06.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 64:631.559:631.544.4

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.18>

ПРОДУКТИВНІСТЬ ТОМАТІВ ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТУ В УМОВАХ ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ

Панчишин В.З. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри ботаніки, біоресурсів і збереження біорізноманіття,
Житомирський державний університет імені Івана Франка
orcid.org/0000-0001-5256-5052

Матвійчук Б.В. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри ботаніки, біоресурсів і збереження біорізноманіття,
Житомирський державний університет імені Івана Франка
orcid.org/0000-0002-7872-2420

Савченко В.М. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу,
Поліський національний університет
orcid.org/0000-0002-0921-1424

Світельський М.М. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри ботаніки, біоресурсів і збереження біорізноманіття,
Житомирський державний університет імені Івана Франка

Журавська І.А. – к.с.-г.н.,

викладач спеціальних дисциплін,
Житомирський агротехнічний фаховий коледж
orcid.org/0000-0001-9332-1134

Метою дослідження було встановити вплив сортових особливостей на ріст, розвиток та продуктивність томатів в умовах закритого ґрунту, а також визначити найбільш перспективний сорт для тепличного вирощування.

Досліди проводилися протягом 2024–2025 рр. на агробіологічній станції Житомирського державного університету імені Франка.

Наведено результати дослідження продуктивності томатів залежно від сорту в умовах закритого ґрунту. Об'єктом вивчення були сорти Бельмонте, Жовто-рожеве серце та Вечірній Київ. Проведено порівняльний аналіз біометричних показників рослин на різних етапах розвитку (III–IV декада після сходів) та в період масового плодоношення.

Встановлено суттєві сортові відмінності за основними морфологічними ознаками розсади. Сорт Бельмонте характеризувався найбільшими значеннями діаметра стебла, висоти рослин і площі листової поверхні, що свідчить про його інтенсивніший ріст і кращий розвиток вегетативної маси. Сорт Жовто-рожеве серце займав проміжне положення, тоді як Вечірній Київ формував найнижчі показники.

У період масового плодоношення також відмічено перевагу сорту Бельмонте за висотою рослин, кількістю китиць, кількістю квіток у китиці та середньою масою плодів. При цьому сорти Бельмонте і Жовто-рожеве серце мали однакову кількість плодів і плодоносних китиць, що свідчить про їх високий потенціал продуктивності. Сорт Вечірній Київ поступався за більшістю показників, зокрема за кількістю плодів і їх масою.

Аналіз урожайності показав, що максимальний рівень продуктивності забезпечує сорт Бельмонте – 6,3 кг/куща. Сорт Жовто-рожеве серце незначно поступається йому (6,0 кг/куща), демонструючи стабільно високий результат. Найнижчу врожайність зафіксовано у сорту Вечірній Київ – 5,2 кг/куща, що свідчить про його меншу ефективність у формуванні врожаю в умовах закритого ґрунту.

Ключові слова: томат, сорт, урожайність, маса плоду, теплиця.



Panchyshyn V.Z., Matviichuk B.V., Savchenko V.M., Svitelskyi M.M., Zhuravska I.A. Yield performance of tomato varieties under protected cultivation conditions

The purpose of the study was to establish the influence of varietal characteristics on the growth, development and productivity of tomatoes in closed soil conditions, as well as to determine the most promising variety for greenhouse cultivation.

Research was conducted during 2024–2025 at the agrobiological station of Ivan Franko Zhytomyr State University.

The results of the study of tomato productivity depending on the variety in closed soil conditions are presented. The object of study was the Belmonte, Yellow-Pink Heart and Evening Kyiv varieties. A comparative analysis of biometric indicators of plants at the early stages of development (III–IV decade after germination) and during the period of mass fruiting was carried out.

Significant varietal differences were established according to the main morphological features of seedlings. The Belmonte variety was characterized by the greatest values of stem diameter, plant height and leaf surface area, which indicates its more intensive growth and better development of vegetative mass. The Yellow-Pink Heart variety occupied an intermediate position, while Evening Kyiv formed the lowest indicators.

During the period of mass fruiting, the preference of the Belmonte variety was also noted for the height of the plants, the number of tassels, the number of flowers in the tassel and the average weight of the fruits. At the same time, Belmonte and Yellow-Pink Heart varieties had the same number of fruits and fruit-bearing tassels, which indicates their high productivity potential. The Evening Kyiv variety was inferior in most indicators, in particular in terms of the number of fruits and their weight.

Yield analysis showed that the maximum level of productivity is provided by the Belmonte variety – 6,3 kg/bush. The Yellow-Pink Heart variety is slightly inferior to it (6,0 kg/bush), showing a consistently high result. The lowest yield was recorded in the Vechirnaya Kyiv variety – 5,2 kg/shrub, which indicates its lower efficiency in crop formation in closed soil conditions.

Key words: tomato, variety, yield, fruit weight, greenhouse.

Актуальність теми дослідження. Сучасне тепличне овочівництво, зокрема вирощування томатів, є однією з найбільш інтенсивних і наукоємних галузей аграрного виробництва. В умовах глобалізації ринку та зростання вимог до якості продукції виробники змушені впроваджувати інноваційні технології, спрямовані на підвищення врожайності, ефективності використання ресурсів і екологічної безпеки. Особливе значення має оптимізація систем удобрення та правильний вибір сортів і гібридів, адаптованих до умов закритого ґрунту [1; 5].

Базові принципи вирощування томатів у теплицях ґрунтуються на регулюванні мікроклімату, що включає контроль температури, вологості та освітлення. Однак навіть за оптимальних умов середовища вирішальним фактором залишається система живлення рослин. За даними ряду авторів, ефективність вирощування томатів значною мірою залежить від збалансованого забезпечення макро- і мікроелементами, зокрема азотом, фосфором і калієм [11; 13].

Важливість удобрення підтверджується дослідженнями проведеними у заритому ґрунті за результатами яких встановлено, що підвищені дози мінеральних добрив сприяють інтенсивному росту рослин і формуванню більшої кількості плодів, однак потребують точного контролю для запобігання накопиченню нітратів. У цьому контексті інтегровані системи живлення, які поєднують органічні та мінеральні добрива, набувають особливої актуальності. Дослідження доводять, що такі підходи забезпечують не лише підвищення врожайності, а й покращення структури ґрунту та активності мікроорганізмів [9; 18].

Дослідження азіатських вчених поглиблюють це розуміння, демонструючи, що тип органічного добрива впливає на мікробіологічні процеси в ґрунті, які визначають доступність поживних речовин для рослин. Це особливо важливо в умовах тепличного виробництва, де ґрунт зазнає інтенсивного використання. Таким чином, сучасні системи удобрення повинні враховувати не лише потреби рослин, але й стан ґрунтової екосистеми [17; 19].

Не менш важливим фактором є вибір сортів і гібридів томатів. За даними І. М. Дідура [6], сучасні тепличні гібриди характеризуються високою продуктивністю, стійкістю до хвороб і здатністю ефективно використовувати поживні речовини. Генетичний потенціал рослин визначає їх реакцію на умови вирощування, включаючи рівень удобрення та режим зрошення.

Крім того, міжнародні дослідження підкреслюють важливість адаптації сортів до конкретних технологій вирощування. Індійські вчені [15] зазначають, що селекція спрямована на створення гібридів, здатних максимально реалізувати свій потенціал у контрольованих умовах теплиць. У поєднанні з оптимізованими системами удобрення це дозволяє досягати стабільно високих урожаїв.

Таким чином, сучасні підходи до вирощування томатів у тепличних базуються на інтеграції знань про живлення рослин, фізіологію сортів і технологічні інновації, що забезпечує підвищення ефективності виробництва.

Результати сучасних досліджень свідчать, що система удобрення є одним із ключових факторів, що визначають продуктивність томатів у тепличних. Зокрема, встановлено, що поєднання органічних і мінеральних добрив дозволяє підвищити врожайність на 15–25% та покращити агрофізичні властивості ґрунту [18]. При цьому органічні добрива сприяють розвитку мікробіоти, яка забезпечує мінералізацію поживних речовин [7].

Особливу увагу приділено оптимізації азотного живлення. Встановлено, що надлишкове внесення азоту може призводити до дисбалансу ростових процесів, тоді як оптимальні дози у поєднанні з раціональним поливом забезпечують максимальну продуктивність рослин. Також використання динамічних систем фертигації дозволяє зменшити витрати добрив і води, одночасно підвищуючи ефективність їх використання [20; 21].

Суттєвий вплив на ефективність удобрення має сортова специфіка. Дослідження показують, що різні гібриди томатів по-різному реагують на рівень живлення. Зокрема, сучасні інтенсивні гібриди характеризуються високою потребою в поживних речовинах, але водночас більш ефективно їх засвоюють [10]. Це обумовлює необхідність диференційованого підходу до удобрення залежно від генотипу рослин.

Важливі результати отримано також щодо впливу сезонних факторів. Вчені з Іспанії встановили, що ефективність удобрення змінюється залежно від освітлення та температури, що впливає на інтенсивність засвоєння поживних речовин. У таких умовах оптимізація режимів живлення повинна бути адаптивною [16].

Інноваційні технології вирощування також впливають на ефективність використання добрив. Зокрема, багаторусні системи дозволяють підвищити ефективність фотосинтезу і, відповідно, використання поживних речовин. Використання сенсорних систем моніторингу дає змогу точно визначати потреби рослин у елементах живлення та своєчасно коригувати систему удобрення [14].

Українські дослідження підтверджують, що збалансоване мінеральне живлення є основою формування високої врожайності та якості продукції [9]. Водночас порушення режиму удобрення може призводити до зниження ефективності виробництва та погіршення якості плодів.

Отже, аналіз результатів досліджень показує, що ефективне вирощування томатів у тепличних потребує комплексного підходу, який враховує особливості удобрення, сортові характеристики та умови вирощування. Поєднання цих факторів забезпечує максимальну реалізацію потенціалу культури та підвищення економічної ефективності виробництва.

Методика досліджень. Дослідження було проведено в теплиці на агробіологічній станції Житомирського державного університету Франка протягом 2024-2025 рр. Вивчали сорти томатів Бельмонте (Італія), Вечірній Київ (Україна) та Жовто-рожеве серце (США). Усі сорти (рис. 1) є середньостиглими індетермінатними високорослими рослинами, середня маса плоду яких є в одній ваговій категорії (400–800 грам).

Площа облікової ділянки склала 10 м², кількість повторень – 4 [8]. Посів насіння відбувався в I декаді квітня. Через 14–15 днів після сходів проводили пікірування сходів. Розсаду висаджували у теплицю при настанні фази 6–8 справжніх листків середньою висотою рослин не менше 30 см в умовах коли постійна температура повітря на знижувалася менше 12°C. У 2024 році цей період випав на II декаду травня, у 2025 році – на I декаду червня. Усі технологічні процеси вирощування томатів були дотримані згідно методики [2].

Добрива вносились по мірі проходження фаз вегетації рослин розкидним способом та фертигацією (N₁₂₀ P₉₀ K₁₈₀).

Під час вегетації рослин проводили моніторинг щодо шкідливих організмів, де проти хвороб застосовували препарати Ридоміл Голд (2,5 л/га) та Квадріс (0,6 л/га), проти шкідників Актара (корені розсади 2 г/л на 250 рослин) та Ателік (1,5 л/га).

Вивчали біометричні показники розсади томатів перед висадкою у теплиці та під час масового збору урожаю [4].

Дисперсійний аналіз та статистичну обробку даних проводили згідно загальноприйнятих методик [3; 12].



Бельмонте

Вечірній Київ

Жовто-рожеве серце

Рис. 1. Досліджувані сорти томату

Результати та їх обговорення. Нами встановлені біометричні показники розсади томатів перед посадкою у теплиць. У 2024 році цей період припав на 33-й день вегетації, а у 2025 році – на 36-й день вегетації.

Аналіз біометричних показників розсади томатів на III–IV декаду вегетації після сходів показав суттєві сортові відмінності за основними морфологічними ознаками (табл. 1).

Найвищі значення діаметра стебла відмічено у сорту Бельмонте – 7,1 мм, що на 0,3 мм (4,4%) більше порівняно з Вечірнім Києвом та на 0,2 мм (2,9%) більше, ніж у сорту Жовто-рожеве серце. За висотою рослин також переважає Бельмонте (33,4 см), перевищуючи Вечірній Київ на 1,7 см (5,4%) і Жовто-рожеве серце на 1,0 см (3,1%), що свідчить про його інтенсивніший ріст.

Таблиця 1

Біометричні показники розсади томатів перед посадкою у теплицю, середнє за 2024–2025 рр., $M \pm m$

Сорт томату	Біометричні показники,			
	діаметр стебла, мм	висота, см	кількість листків, шт	площа листків, см^2
Бельмонте	$7,1 \pm 0,8$	$33,4 \pm 2,4$	$9,1 \pm 0,7$	$561,7 \pm 47,5$
Вечірній Київ	$6,8 \pm 2,0$	$31,7 \pm 2,0$	$8,8 \pm 0,4$	$534,5 \pm 42,9$
Жовто-рожеве серце	$6,9 \pm 0,8$	$32,4 \pm 2,4$	$9,1 \pm 0,7$	$544,1 \pm 45,0$

За кількістю листків сорти Бельмонте та Жовто-рожеве серце мають однакові значення – 9,1 шт, що на 0,3 шт (3,4%) більше, ніж у сорту Вечірній Київ. Аналогічна тенденція спостерігається і за площею листової поверхні: у сорту Бельмонте цей показник становить $561,7 \text{ см}^2$, що на $27,2 \text{ см}^2$ (5,1%) перевищує Вечірній Київ і на $17,6 \text{ см}^2$ (3,2%) – Жовто-рожеве серце. Загалом сорт Бельмонте характеризується кращим розвитком вегетативних органів, тоді як Жовто-рожеве серце займає проміжне положення, а Вечірній Київ формує найнижчі біометричні показники розсади.

Нами вивчені основні біометричні показники томатів під час масового плодоношення. Слід зазначити, що досліджувані сорти томатів проходили фази вегетації майже в той самий час (різниця між сортами не перевищувала 7 днів), пік плодоношення для усіх сортів припав на 20–21 тиждень після сходів (табл. 2).

Таблиця 2

Біометричні показники томатів в період масового збору урожаю, середнє за 2024–2025 рр., $M \pm m$

Сорт томату	Висота рослин, см, $M \pm m$	Біометричні показники рослин томатів під час масового збору урожаю, $M \pm m$			
		кількість китиць, які зацвіли, шт	кількість китиць, які не плодоносили	кількість китиць, які плодоносили	кількість квіток у китиці, шт
Бельмонте	$144,4 \pm 5,8$	$8,2 \pm 1,4$	$1,7 \pm 0,7$	$6,6 \pm 1,4$	$7,5 \pm 1,1$
Вечірній Київ	$134,3 \pm 5,3$	$7,7 \pm 1,0$	$1,7 \pm 1,4$	$6,0 \pm 1,1$	$6,9 \pm 0,8$
Жовто-рожеве серце	$139,3 \pm 5,3$	$8,1 \pm 1,3$	$1,6 \pm 1,4$	$6,6 \pm 1,4$	$7,4 \pm 1,0$

Найвищі рослини сформував сорт Бельмонте – 144,4 см, що на 10,1 см більше порівняно з сортом Вечірній Київ (134,3 см), або на 7,5%. Порівняно з сортом Жовто-рожеве серце (139,3 см) різниця становить 5,1 см (3,7%). Водночас сорт Жовто-рожеве серце перевищує сорт Вечірній Київ на 5,0 см, або 3,7%. За кількістю китиць, що зацвіли, найбільше відмічено у сорті Бельмонте – 8,2 шт., що на 0,5 шт. (6,5%) більше, ніж у сорті Вечірній Київ, і на 0,1 шт. (1,2%) більше, ніж у сорті Жовто-рожеве серце.

Кількість китиць, які не плодоносили, майже не відрізняється: у сортах Бельмонте та Вечірній Київ – по 1,7 шт., тоді як у сорті Жовто-рожеве серце – 1,6 шт., що на 0,1 шт. менше (5,9%). За кількістю плодоносних китиць сорти Бельмонте

і Жовто-рожеве серце мають однакове значення – 6,6 шт., що на 0,6 шт. (10,0%) більше, ніж у сорті Вечірній Київ (6,0 шт.). Кількість квіток у китиці найбільша у сорті Бельмонте – 7,5 шт., що перевищує сорт Вечірній Київ на 0,6 шт. (8,7%) і Жовто-рожеве серце на 0,1 шт. (1,4%). Загалом сорт Бельмонте характеризується кращими біометричними показниками, тоді як сорт Вечірній Київ поступається за більшістю досліджених ознак.

Встановлені показники кількості плодів на куші та їх середньою масою (рис. 2).

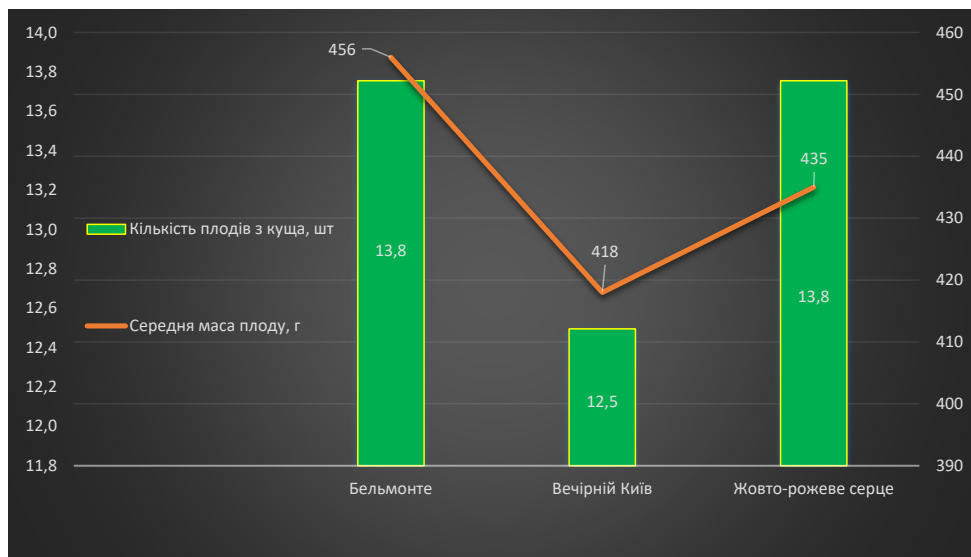


Рис. 2. Кількість плодів з куша томату та їх середня маса

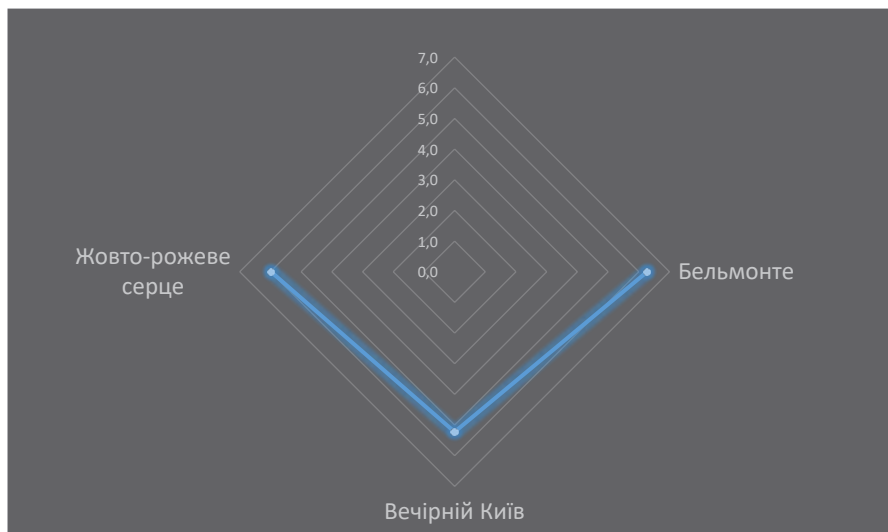
Сорт Бельмонте має перевагу за середньою масою плодів: він перевищує сорт Вечірній Київ на 38 г, що становить приблизно +9,1%, і Жовто-рожеве серце на 21 г (+4,8%). За кількістю плодів сорти Бельмонте та Жовто-рожеве серце мають однакові показники, що на 1,3 плода більше, ніж Вечірній Київ (+10,4%).

Сорт Вечірній Київ демонструє найнижчі показники: він поступається Жовто-рожевому серцю на 1,3 плода (–9,4%) і на 17 г маси (–3,9%). Водночас Жовто-рожеве серце займає проміжне положення: при однаковій кількості з Бельмонте його плоди легші на 4,8%, що свідчить про дещо меншу, але стабільну врожайність.

Нами встановлена урожайність томатів залежно від сорту (рис. 3).

Аналіз урожайності показує, що сорт Бельмонте має найвищий показник – 6,3 кг/куща, що свідчить про його кращу загальну продуктивність. Сорт Жовто-рожеве серце лише незначно поступається (6,0 кг/куща), зберігаючи високий рівень врожайності.

Водночас сорт Вечірній Київ має найнижчий результат – 5,2 кг/куща, що на 1,1 кг (17,5%) менше, ніж у Бельмонте, і на 0,8 кг (13,3%) менше порівняно з сортом Жовто-рожеве серце. Це свідчить про його нижчу ефективність у формуванні врожаю.



$$HIP_{0,05} = 0,08$$

Рис. 3. Урожайність томатів залежно від сорту, середнє за 2024–2025 рр.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У результаті проведених досліджень встановлено суттєві сортові відмінності томатів за біометричними показниками розсади та рівнем продуктивності в період плодоношення. Найкращі результати за більшістю показників продемонстрував сорт Бельмонте, який характеризується інтенсивнішим ростом, кращим розвитком вегетативних органів і найвищою врожайністю (6,3 кг/куща). Сорт Жовто-рожеве серце займає проміжне положення, поєднуючи достатньо високі біометричні показники зі стабільною врожайністю на рівні 6,0 кг/куща. Водночас сорт Вечірній Київ формує найнижчі показники росту та продуктивності (5,2 кг/куща), що свідчить про меншу ефективність його вирощування в досліджуваних умовах.

Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні більш адаптованих сортів у поєднанні з різними варіантами удобрення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Барабаш О. Ю., Тараненко Л. К. Технологія вирощування томатів у закритому ґрунті. *Овочівництво і баштанництво*, 2018. № 64. С. 45–52.
2. ДСТУ 6008:2008 Томат. Технологія вирощування. Загальні вимоги. . Київ: *Держспоживстандарт України*. 2010. 18 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91701 (дата звернення 22.06.2026).
3. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistika – 6 : метод. вказівки. Київ. 2007. 55 с.
4. Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ: Дія. 2005. 288 с.
5. Іванюк С. В. Енергоефективність тепличного виробництва овочів. *Економіка АПК*. 2019. № 10. С. 89–95.
6. Дідур І. М. Особливості формування урожайності томата за різних способів вирощування розсади у плівковій теплиці. *Аграрні інновації*. 2025. № 34. С. 53–59. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.34.6>
7. Мельник О. В. Вплив біопрепаратів на продуктивність томатів у теплицях. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 1. С. 56–62.

8. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві / За ред. Г. Л. Бондаренко. Ред Харків: Основа. 2001. 369 с.
9. Паламарчук В. Д. Формування врожайності томатів у закритому ґрунті залежно від мінерального живлення. *Агробіологія*. 2020. № 2. 112–118.
10. Петриченко В. Ф. Інноваційні технології в овочівництві закритого ґрунту. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2020. 300 с.
11. Романенко О. Л. Системи живлення томатів у закритому ґрунті. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2017. № 86. С. 95–101.
12. Ушкаренко В. О., Нікіщенко В. Л., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Дисперсійний і кореляційний аналіз результатів польових дослідів : монографія. Херсон : Айлант, 2009. 372 с.
13. Шевченко І. В. Особливості мікроклімату теплиць при вирощуванні томатів. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 5. С. 33–37.
14. Furuta T., Qu Y., Ishizuka D., Kawabata S., Sano T., Yamori W. A novel multilayer cultivation strategy improves light utilization and fruit quality in plant factories for tomato production. *Controlled Environment Horticulture*. 2025. Vol. 4. DOI: <https://doi.org/10.3389/fhort.2025.1633097>.
15. Hareesh K. M., Rubee L., Shyam S., Diksha S. M., Himanshu S., Yadav G. C. Scientific advances in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivation, agronomic innovation and genetic improvement: a comprehensive review. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*. 2025. Vol. 28, No. 10. P. 781.
16. Hernandez Maqueda R., Del Moral F. Enhancing greenhouse soil quality through ecological intensification. *Spanish Journal of Soil Science*. 2025. Vol. 15. DOI: <https://doi.org/10.3389/sjss.2025.15184>.
17. Jingshi L., Xiaoming Z., Yingtong M., Jiahui G., Fengyan Y., Ping W., Doudou J., Fang T., Wenqiang F. Effects of organic fertilizer type and application rate on soil–microbe interactions. *Plants*. 2025. Vol. 14, No. 21. Art. 3333. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants14213333>.
18. Meshram S., Adhikari P. Integrative approaches to nutrient management in tomato cultivation. *Frontiers in Plant Science*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1626136>.
19. Mingyu Z., Dongshuang N., Chihai P., Mingze Y., Lizhen M., Zhanyang X., Lei S., Manman G. The comprehensive effects of water-nitrogen coupling regulation on energy-saving greenhouse tomato growth and water-nitrogen utilization. *Crop and Product Physiology*. 2025. Vol. 16. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1644877>.
20. Yanan S., Huayu Z., Huanjie C., Jiatun X., Zhijun L. Seasonal patterns in yield and gas emissions of greenhouse tomatoes under different fertilization levels with irrigation–aeration coupling. *Agronomy*. 2025. Vol. 15, No. 9. Art. 2026. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15092026>.
21. Zhiyu Z., Tianyuan L., Jicheng S., Haitao P., Deyong Y., Jinxiu S., Guoxin M., Hanping M. Dynamic water and fertilizer management strategy for greenhouse tomato based on morphological characteristics. *Agriculture*. 2025. Vol. 15, No. 3. Art. 304. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture15030304>.

Дата першого надходження статті до видання: 01.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 630*181.351:502.17

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.19>

ІНВАЗІЙНА ФЛОРА У ЛІСОВОМУ ГОСПОДАРСТВІ: ШЛЯХИ ПОШИРЕННЯ, ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ТА ЗАХОДИ КОНТРОЛЮ

Парахненко В.Г. – д.філос. з наук про Землю,
старший викладач кафедри екології,
Уманський національний університет
orcid.org/0000-0002-4312-6194

Ляховська Н.О. – старший викладач кафедри агробіології та біохімії,
Уманський національний університет
orcid.org/0009-0001-0995-8966

Кравець І.С. – к.с.-г.н.,
доцент кафедри садово-паркового господарства та екології,
Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»
orcid.org/0000-0002-0335-1346

Березенко К.С. – старший викладач кафедри екології
та садово-паркового господарства,
Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»
orcid.org/0000-0003-3975-5278

Гончарук В.В. – к.пед.н., доцент,
старший викладач кафедри біології та хімії,
Уманський національний університет
orcid.org/0000-0002-3977-3612

Мандебура С.В. – викладач кафедри біології та хімії,
Уманський національний університет
orcid.org/0000-0001-7952-5974

У сучасних умовах глобалізації, активізації міжнародної торгівлі, інтенсивного використання лісових ресурсів і змін клімату проблема поширення інвазійної флори набуває особливої актуальності. Чужорідні види рослин дедалі активніше проникають у лісові екосистеми, змінюючи їхню структуру, видовий склад і природні процеси функціонування. Вони витісняють аборигенні види, пригнічують природне поновлення деревних порід, знижують біорізноманіття та екологічну стійкість лісів, а також ускладнюють ведення лісового господарства й потребують додаткових витрат на заходи контролю.

Метою дослідження є оцінка шляхів поширення інвазійної флори у лісовому господарстві, визначення її впливу на лісові екосистеми та обґрунтування ефективних заходів запобігання й обмеження поширення чужорідних видів рослин.

Методологічною основою дослідження є системний підхід із використанням аналізу наукових джерел, порівняльного аналізу, польових геоботанічних досліджень, методів екологічного та лісівничого моніторингу, картографування осередків інвазійних видів і статистичної обробки результатів. Комплексне застосування цих методів дозволило визначити основні закономірності поширення інвазійної флори та чинники, що сприяють її експансії.

Установлено, що головними шляхами проникнення інвазійних рослин є транспортні коридори, лісгосподарська діяльність, використання зараженого посадкового матеріалу, рекреаційне навантаження, а також природне перенесення насіння вітром, водою і тваринами. Найбільш уразливими є порушені лісові ділянки, молоді насадження, узлісся та території вздовж доріг. Інвазійні види активно конкурують



з місцевою флорою за ресурси, змінюють властивості ґрунтів і погіршують екологічний стан лісових екосистем.

Наукова новизна роботи полягає у комплексній оцінці шляхів поширення інвазійної флори та її екологічних наслідків. Практичне значення результатів полягає у можливості їх використання для вдосконалення системи моніторингу, своєчасного виявлення інвазійних видів, розроблення профілактичних і винищувальних заходів, збереження біорізноманіття та забезпечення сталого ведення лісового господарства.

Ключові слова: інвазійна флора, лісове господарство, лісові екосистеми, чужорідні види рослин, біологічні інвазії, шляхи поширення, екологічні наслідки, біорізноманіття, лісівничий моніторинг, заходи контролю, природне поновлення лісів.

Parakhnenko V.G., Lyakhovska N.O., Kravets I.S., Berezenko K.S., Honcharuk V.V., Mandebura S.V. Invasive flora in forest management: spread, ecological impacts, and control measures

In the current conditions of globalization, intensification of international trade, intensive use of forest resources and climate change, the problem of the spread of invasive flora is gaining special relevance. Alien plant species are increasingly penetrating forest ecosystems, changing their structure, species composition and natural functioning processes. They displace native species, suppress the natural renewal of tree species, reduce forest biodiversity and ecological sustainability, and complicate forestry and require additional costs for control measures.

The purpose of the study is to assess the ways of spreading invasive flora in forestry, determine its impact on forest ecosystems, and justify effective measures to prevent and limit the spread of alien plant species.

The methodological basis of the study is a systematic approach using the analysis of scientific sources, comparative analysis, field geobotanical research, methods of ecological and forestry monitoring, mapping of centers of invasive species and statistical processing of results. The complex application of these methods made it possible to determine the main patterns of distribution of invasive flora and factors contributing to its expansion.

It was established that the main ways of penetration of invasive plants are transport corridors, forestry activities, use of infected planting material, recreational load, as well as natural transfer of seeds by wind, water and animals. The most vulnerable are disturbed forest areas, young plantations, forest edges and areas along roads. Invasive species actively compete with local flora for resources, change soil properties and worsen the ecological condition of forest ecosystems.

The scientific novelty of the work consists in a comprehensive assessment of ways of spreading invasive flora and its ecological consequences. The practical significance of the results lies in the possibility of their use to improve the monitoring system, timely detection of invasive species, development of preventive and extermination measures, preservation of biodiversity and ensuring sustainable forestry management.

Key words: invasive flora, forestry, forest ecosystems, alien plant species, biological invasions, pathways of spread, ecological consequences, biodiversity, forest monitoring, control measures, natural forest regeneration.

Актуальність теми дослідження. У сучасних умовах інтенсивного ведення лісового господарства, розширення міжнародної торгівлі садивним матеріалом, активізації транспортного сполучення, рекреаційного використання лісових територій та посилення кліматичних змін однією з найбільш актуальних екологічних проблем є поширення інвазійної флори в лісових екосистемах. Ліси, які виконують важливі природоохоронні, кліматорегулюючі, водоохоронні та ресурсозберігаючі функції, дедалі частіше зазнають негативного впливу чужорідних видів рослин, що становить серйозну загрозу для їхньої екологічної стійкості та біологічного різноманіття.

Інвазійні види рослин характеризуються високою конкурентоспроможністю, швидким розмноженням, значною екологічною пластичністю та здатністю ефективно адаптуватися до різноманітних природних умов. Це забезпечує їхнє активне проникнення й поширення в лісових екосистемах, де вони витісняють аборигенні види рослин, порушують процеси природного поновлення лісів, змінюють структуру рослинних угруповань і негативно впливають на функціонування лісових

біоценозів. Особливо вразливими до біологічних інвазій є порушені лісові території, молоді лісові культури, узлісся, ділянки після суцільних рубок, а також ліси, що зазнають значного антропогенного навантаження.

Інвазійна флора у лісовому господарстві поширюється різними шляхами, серед яких важливе місце займають використання інтродукованого садивного матеріалу, транспортні коридори, лісгосподарська техніка, рекреаційна діяльність, природне перенесення насіння вітром, водними потоками та тваринами. Суттєву роль відіграють також порушення природного рослинного покриву внаслідок господарської діяльності, лісозаготівлі, будівництва лісових доріг і стихійних природних явищ, що створюють сприятливі умови для закріплення та подальшого поширення чужорідних видів.

Поширення інвазійних рослин супроводжується негативними екологічними наслідками, серед яких зниження біорізноманіття, пригнічення природного поновлення деревних порід, зміна видового складу рослинності, порушення ґрунтових процесів, гідрологічного режиму та трофічних зв'язків у лісових екосистемах. У результаті зменшується екологічна стійкість лісів, погіршується їхній санітарний стан і знижується ефективність виконання ними природоохоронних та господарських функцій.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю комплексного аналізу шляхів поширення інвазійної флори у лісовому господарстві, оцінки її екологічних наслідків та визначення ефективних заходів контролю, спрямованих на обмеження поширення чужорідних видів рослин і збереження природної структури лісових екосистем. В умовах зростання антропогенного навантаження та глобальних кліматичних змін проблема біологічних інвазій стає одним із ключових чинників, що впливають на стан і стійкість лісових насаджень.

Крім того, результати таких досліджень мають важливе практичне значення для вдосконалення систем екологічного моніторингу лісів, своєчасного виявлення інвазійних видів, розроблення ефективних профілактичних і винищувальних заходів, підвищення стійкості лісових екосистем та забезпечення сталого ведення лісового господарства. Таким чином, дослідження шляхів поширення інвазійної флори, оцінка її екологічних наслідків і розроблення дієвих заходів контролю є своєчасними, науково обґрунтованими та необхідними для збереження біорізноманіття, екологічної рівноваги й ефективного функціонування лісових екосистем [2, с. 46].

Постановка проблеми. Інтенсивне ведення лісового господарства, збільшення обсягів міжнародної торгівлі садивним матеріалом, розвиток транспортної інфраструктури, рекреаційне використання лісових територій, а також глобальні кліматичні зміни створюють сприятливі умови для активного поширення інвазійної флори в лісових екосистемах. За таких умов чужорідні види рослин швидко проникають у лісові насадження, узлісся, лісові дороги, вирубки та інші порушені ділянки, нерідко набуваючи домінуючого положення та суттєво змінюючи структуру, видовий склад і функціонування лісових екосистем.

Основна проблема полягає у недостатній вивченості шляхів і механізмів поширення інвазійної флори саме в умовах лісового господарства, а також у неповній оцінці її екологічних наслідків для лісових екосистем. Зокрема, потребують детального дослідження особливості проникнення чужорідних видів через садивний матеріал, лісгосподарську техніку, транспортні коридори, рекреаційну діяльність, а також природні механізми поширення насіння за участю вітру, води й тварин. Недостатня кількість комплексних досліджень ускладнює об'єктивну оцінку масштабів поширення інвазійної флори, її впливу на біорізноманіття, природне поновлення лісів та екологічну стійкість лісових насаджень [3, с. 87].

Крім того, залишається недостатньо розробленим питання ефективного моніторингу, прогнозування та управління поширенням інвазійних видів у лісовому

господарстві. Відсутність уніфікованих методичних підходів до оцінювання екологічних наслідків біологічних інвазій ускладнює своєчасне виявлення осередків поширення чужорідних рослин, прогнозування їхньої подальшої експансії та впровадження ефективних лісогосподарських і природоохоронних заходів щодо їх локалізації та контролю.

Таким чином, виникає необхідність комплексного дослідження шляхів поширення інвазійної флори у лісовому господарстві, оцінки її екологічних наслідків для лісових екосистем, а також розроблення науково обґрунтованих підходів до моніторингу, профілактики та контролю поширення чужорідних видів рослин з метою збереження біорізноманіття, підвищення екологічної стійкості лісів і забезпечення сталого ведення лісового господарства [4, с. 145].

Методика досліджень. Методика дослідження шляхів поширення інвазійної флори у лісовому господарстві, оцінки її екологічних наслідків та обґрунтування заходів контролю базується на комплексному поєднанні польових, камеральних, аналітичних і статистичних методів дослідження.

Польові дослідження проводилися в межах різних типів лісових екосистем, зокрема у природних і штучних лісових насадженнях, на вирубках, узліссях, лісових дорогах, рекреаційних територіях та інших ділянках із різним ступенем антропогенного навантаження. Для вивчення рослинного покриву застосовувався маршрутно-описовий метод із закладанням пробних площ стандартного розміру. На кожній дослідній ділянці проводився повний флористичний опис із визначенням видового складу, проективного покриття, ступеня домінування та ценотичної ролі окремих видів рослин.

Ідентифікація рослин здійснювалася за визначниками флори України, сучасними ботанічними довідниками та електронними базами даних адвентивної флори з поділом видів на аборигенні, адвентивні та інвазійні. Особлива увага приділялася виявленню інвазійних видів із високим інвазійним потенціалом і видів-трансформерів, здатних істотно змінювати структуру та функціонування лісових фітоценозів.

Для оцінки ступеня впливу інвазійної флори на лісові екосистеми використовувалися показники видового різноманіття (індекс Шеннона, індекс Симпсона), а також показники видового багатства, вирівняності та частки інвазійних видів у загальному флористичному складі. Додатково визначалися проективне покриття інвазійних рослин, їхня чисельність, просторове поширення та внесок у формування домінантної структури рослинних угруповань.

Аналіз шляхів поширення інвазійної флори здійснювався шляхом вивчення можливих джерел проникнення чужорідних видів у лісові екосистеми, зокрема через використання садивного матеріалу, лісогосподарську техніку, транспортні коридори, рекреаційну діяльність, природне перенесення насіння вітром, водою та тваринами. Також оцінювався взаємозв'язок між інтенсивністю господарської діяльності, ступенем порушення лісових екосистем і рівнем поширення інвазійної флори.

Камеральна обробка матеріалів передбачала систематизацію польових даних, складання таблиць, картосхем, діаграм і графіків, а також використання методів математичної статистики для встановлення закономірностей поширення інвазійних видів і визначення достовірності отриманих результатів [9, с. 211].

Для узагальнення результатів застосовувалися методи системного, порівняльного, геоботанічного та еколого-лісівничого аналізу, що дозволило комплексно оцінити шляхи поширення інвазійної флори у лісовому господарстві, визначити її екологічні наслідки для лісових екосистем і обґрунтувати ефективні заходи контролю та запобігання подальшому поширенню чужорідних видів рослин.

Результати досліджень. У ході проведених досліджень встановлено, що лісові екосистеми зазнають суттєвого екологічного навантаження внаслідок поширення інвазійної флори. Аналіз польових даних показав, що частка інвазійних видів у досліджуваних лісових насадженнях варіює залежно від типу лісу, інтенсивності лісгосподарської діяльності та рівня антропогенного порушення територій і може становити від 10 до 35 % загального видового складу на вирубках, узліссях, рекреаційних територіях та інших порушених ділянках [10, с. 145].

Найвищий рівень поширення інвазійних видів зафіксовано на вирубках, уздовж лісових доріг, поблизу транспортних коридорів, на узліссях, у молодих лісових культурах та рекреаційних зонах. У цих умовах інвазійні види, зокрема *Acer negundo*, *Impatiens glandulifera*, *Solidago canadensis* та *Robinia pseudoacacia*, формують щільні зарості або монодомінантні угруповання, витісняючи аборигенні види рослин, пригнічуючи природне поновлення деревних порід і знижуючи рівень біорізноманіття лісових екосистем.

Порівняльний аналіз показників біорізноманіття засвідчив чітку негативну кореляцію між ступенем інвазії та структурною складністю лісових фітоценозів. Зокрема, значення індексу Шеннона в лісових екосистемах із високою часткою інвазійних видів зменшувалося в середньому на 20–30 % порівняно з контрольними ділянками, що зазнали мінімального антропогенного впливу. Також відзначено зниження індексу вирівняності, що свідчить про посилення домінування окремих інвазійних видів і поступове спрощення структури рослинних угруповань.

Встановлено, що інвазійні види у лісовому господарстві виконують роль активних конкурентів і частково едификаторів, змінюючи умови середовища, зокрема світловий режим під наметом лісу, фізико-хімічні властивості ґрунту, інтенсивність розкладання органічної речовини, склад ґрунтової мікробіоти та природний перебіг сукцесійних процесів. Це призводить до погіршення умов природного поновлення деревних порід, зниження продуктивності лісових насаджень і порушення екологічної рівноваги лісових екосистем.

Дослідження також показали, що ступінь впливу інвазійної флори безпосередньо залежить від інтенсивності господарського використання лісових територій. У природних або мало порушених лісових екосистемах інвазійні види мають локальний характер поширення, тоді як на територіях із високим рівнем лісгосподарської діяльності, рекреаційного навантаження та після проведення рубок вони формують стійкі популяції й стають одним із провідних чинників трансформації лісових екосистем. За таких умов значно зростає потреба у впровадженні систематичного моніторингу, своєчасному виявленні осередків поширення інвазійних рослин та застосуванні ефективних заходів контролю для збереження біорізноманіття і забезпечення сталого ведення лісового господарства.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У результаті проведеного дослідження встановлено, що інвазійна флора є одним із ключових чинників екологічної трансформації лісових екосистем. Її поширення в межах лісового господарства супроводжується зниженням біорізноманіття, порушенням структури лісових фітоценозів, витісненням аборигенних видів рослин, пригніченням природного поновлення деревних порід, а також погіршенням загального екологічного стану лісових насаджень.

Виявлено, що інвазійні види особливо активно поширюються в умовах значного антропогенного навантаження, проведення лісгосподарських заходів, рекреаційного використання лісів, будівництва транспортної інфраструктури та порушення природного рослинного покриву. За таких умов вони формують стійкі популяції, нерідко набувають домінуючого положення й спричиняють спрощення структури лісових екосистем та зміну природних сукцесійних процесів.

Встановлено наявність прямого зв'язку між ступенем поширення інвазійної флори та погіршенням екологічного стану лісових екосистем, зокрема зі зниженням видового різноманіття, зміною фізико-хімічних властивостей ґрунтів, порушенням ґрунтових мікробіологічних процесів, погіршенням умов природного поновлення деревних порід і зниженням екологічної стійкості лісових насаджень. Інвазійні види виступають потужними біологічними конкурентами та трансформерами середовища, що призводить до довготривалих змін у структурі та функціонуванні лісових екосистем.

Отримані результати підтверджують необхідність здійснення системного моніторингу інвазійної флори у лісовому господарстві, своєчасного виявлення нових осередків поширення чужорідних видів і впровадження ефективних заходів контролю, насамперед на територіях із високим рівнем господарського та рекреаційного навантаження.

Перспективним напрямом подальших досліджень є впровадження геоінформаційних технологій, дистанційного зондування Землі та сучасних методів екологічного моніторингу для раннього виявлення інвазійних видів, прогнозування їх поширення та оцінювання ризиків для лісових екосистем.

Крім того, актуальним є розроблення інтегрованих стратегій управління інвазійною флорою, що передбачатимуть поєднання лісгосподарських, механічних, біологічних, екологічних і профілактичних методів контролю. Реалізація таких заходів сприятиме обмеженню поширення чужорідних видів рослин, збереженню біорізноманіття, підвищенню екологічної стійкості лісових екосистем та забезпеченню принципів сталого ведення лісового господарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бурда Р. І. Адвентивна флора України: формування, структура та трансформація : монографія. Київ: Наукова думка, 2011. 304 с.
2. Дідух Я. П. Основи біоіндикації: навч. посіб. Київ: Наукова думка, 2012. 344 с.
3. Кучерявий В. П. Урбоекологія: підручник. Львів: Світ, 2001. 440 с.
4. Мельник В. І. Біорізноманіття рослинного світу України: стан і перспективи збереження. Київ : Академперіодика, 2015. 280 с.
5. Parakhnenko, V., Honcharuk, V., Balabak, O., Dekarchuk, M., Dekarchuk, S., Borovyk, P., & Shemiakin, M. Assessment of the ecological safety of the Ukrainian Polissya region based on landscape-ecological and radioecological approaches under martial law. *Journal Environmental Problems*, (2026). 11(1), 50–60.
6. Протопопова В. В., Шевера М. В. Інвазійні види рослин у флорі України: сучасний стан і проблеми дослідження. Київ: Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, 2019. 256 с.
7. Соломаха В. А. Синтаксономія рослинності України. Київ: Фітосоціоцентр, 2008. 296 с.
8. Шевера М. В., Протопопова В. В., Мосякін С. Л. Адвентивна та інвазійна флора України: теоретичні й прикладні аспекти. Київ, 2014. 280 с.
9. Vasylenko O. V., Parakhnenko V. H., Mandebura S. V. Landscape and ecological bases for ensuring ecological safety of territories under conditions of natural ecosystem transformation. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Кременчук: КрНУ*, 2026. Вип. 1 (153). С. 106–111.
10. Якубенко Б. Є. Фітоінвазії в природних і антропогенних екосистемах України. Київ: НПУ імені М. П. Драгоманова, 2020. 240 с.

Дата першого надходження статті до видання: 01.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 712:159.91

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.20>

ХОРТІТЕРАПІЯ ТА ТЕРАПЕВТИЧНІ САДИ В КОНТЕКСТІ СУЧАСНИХ НАУКОВИХ ПІДХОДІВ, ФОРМУВАННЯ РОСЛИННОГО СЕРЕДОВИЩА І ПЕРСПЕКТИВ ЗАСТОСУВАННЯ В УКРАЇНІ

Піддубна А.М. – д.філос. з агрономії,

старший викладач кафедри лісового та садово-паркового господарства,

Вінницький національний аграрний університет

orcid.org/0000-0002-0204-1338

Сучасні суспільні трансформації, зростання психоемоційного навантаження та потреба у розширенні природоорієнтованих підходів до відновлення людини посилюють науковий інтерес до хортітерапії та терапевтичних садів. Особливого значення цей напрям набуває в умовах України, де актуальними є питання психосоціальної підтримки, реабілітації та створення доступних озелених просторів для різних груп населення. У цьому контексті взаємодію людини з рослинами розглядають не лише як складову відпочинку, а й як функціонально організований процес, що може поєднувати сенсорне сприйняття, садівничу діяльність, пізнавальну активність і соціальну взаємодію.

Хортітерапія передбачає цілеспрямоване використання рослин і садівничих занять для досягнення визначених реабілітаційних, психологічних, соціальних або освітніх цілей. Практичним середовищем її реалізації є терапевтичні сади, у яких рослини виконують сенсорну, декоративну, просторово-композиційну, пізнавальну, екологічну та функціональну роль. Формування такого середовища потребує обґрунтованого добору видів з урахуванням їх забарвлення, форми, аромату, фактури, сезонної динаміки, придатності до активної взаємодії, екологічної адаптованості та безпечності. Поєднання декоративно-квітучих, ароматичних, пряно-смакових, тактильних, їстівних, плодових і деревних рослин дає змогу створювати багатосенсорні та функціонально різноманітні озеленені простори.

У межах статті акцент зроблено на узагальненні сучасних наукових підходів до хортітерапії та створення терапевтичних садів, а також на систематизації критеріїв формування їх рослинного середовища. Проаналізовано сенсорні, декоративні, фенологічні, біоекологічні, функціональні, ергономічні, експлуатаційні та безпекові характеристики рослин. Запропоновано розмежовувати види, призначені для сенсорного й декоративного наповнення терапевтичного саду, та рослини, придатні для активної хортітерапевтичної діяльності. Обґрунтовано необхідність урахування токсичності, алергенності, наявності колючок, інтенсивності ароматів, складності догляду та відповідності асортименту особливостям цільових груп. Перспективними напрямками визначено формування регіонально адаптованого асортименту рослин для умов України, експериментальне оцінювання окремих видів і рослинних композицій та розроблення практичних рекомендацій для лікувально-реабілітаційних, освітніх, соціальних і громадських об'єктів.

Ключові слова: хортітерапія, терапевтичний сад, рослинне середовище, сенсорні властивості рослин, добір рослин, природоорієнтована реабілітація.

Piddubna A.M. Horticultural Therapy and Therapeutic Gardens in the Context of Contemporary Scientific Approaches, the Development of Plant Environments, and Prospects for Application in Ukraine

Contemporary societal transformations, increasing psycho-emotional stress, and the need to expand nature-based approaches to human recovery are intensifying scientific interest in horticultural therapy and therapeutic gardens. This field is of particular importance in Ukraine, where psychosocial support, rehabilitation, and the creation of accessible green spaces for different population groups remain highly relevant. In this context, human interaction with plants is regarded



© Піддубна А.М., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

not only as a form of recreation but also as a functionally organized process that may integrate sensory perception, horticultural activities, cognitive engagement, and social interaction.

Horticultural therapy involves the purposeful use of plants and gardening activities to achieve specific rehabilitation, psychological, social, or educational goals. Therapeutic gardens serve as the practical settings for its implementation, where plants perform sensory, ornamental, spatial-compositional, cognitive, ecological, and functional roles. The development of such environments requires the evidence-based selection of plant species with consideration of their color, form, fragrance, texture, seasonal dynamics, suitability for active interaction, ecological adaptability, and safety. The combination of ornamental flowering, aromatic, culinary, tactile, edible, fruit-bearing, and woody plants makes it possible to create multisensory and functionally diverse green spaces.

The article focuses on summarizing contemporary scientific approaches to horticultural therapy and the development of therapeutic gardens, as well as on systematizing the criteria for the formation of their plant environment. The sensory, ornamental, phenological, bioecological, functional, ergonomic, maintenance-related, and safety characteristics of plants were analyzed. It is proposed to distinguish between species intended for the sensory and ornamental enrichment of therapeutic gardens and plants suitable for active horticultural therapy activities. The need to consider toxicity, allergenic potential, the presence of thorns or spines, fragrance intensity, maintenance requirements, and the suitability of the plant assortment for the characteristics of specific target groups is substantiated. Promising directions include the development of regionally adapted plant assortments for the conditions of Ukraine, experimental evaluation of individual species and plant compositions, and the preparation of practical recommendations for healthcare and rehabilitation facilities, educational institutions, social care settings, and public spaces.

Key words: *horticultural therapy, therapeutic garden, plant environment, sensory properties of plants, plant selection, nature-based rehabilitation.*

Актуальність теми дослідження. Сучасні процеси урбанізації, зростання психоемоційного навантаження та обмеження повсякденного контакту з природою посилюють інтерес до природоорієнтованих підходів, спрямованих на підтримання фізичного, психічного й соціального благополуччя. Озеленені простори створюють умови для відпочинку, фізичної активності, сенсорного сприйняття природних компонентів і психологічного відновлення [1, 2].

Одним із таких напрямів є хортітерапія – цілеспрямоване залучення людини до вирощування рослин, догляду за ними та інших видів садівничої діяльності для досягнення визначених реабілітаційних, психологічних, соціальних або освітніх цілей [2]. Просторовою основою її реалізації є терапевтичні сади, у яких планувальна структура, рослинне наповнення та функціональні елементи пристосовані до активної або пасивної взаємодії користувачів із природним середовищем [3; 4, с. 264].

Постановка проблеми. Рослини є основним функціональним і композиційним компонентом терапевтичного саду. Їх забарвлення, аромат, текстура, форма, сезонна мінливість і придатність до практичної взаємодії забезпечують зорове, нюхове, тактильне та смакове сприйняття. Водночас асортимент має відповідати призначенню території, особливостям цільової групи, природно-кліматичним умовам, вимогам безпечності, сезонної декоративності та екологічної стійкості.

Результати систематичних оглядів і метааналізів свідчать про позитивний потенціал садівничої діяльності щодо поліпшення психоемоційного благополуччя та якості життя, хоча неоднорідність програм і методів оцінювання ускладнює узагальнення отриманих висновків [5, с. 2; 6, с. 1]. Для України розвиток хортітерапії є особливо актуальним у контексті розширення можливостей психосоціального відновлення та реабілітації. Водночас критерії формування рослинного середовища терапевтичних садів і адаптація міжнародного досвіду до умов України залишаються недостатньо систематизованими.

У сучасних дослідженнях хортітерапію розглядають як міждисциплінарний напрям, що поєднує садівництво, ландшафтну архітектуру, психологію, реабілітацію, геронтологію та соціальну роботу. Метааналіз S. Soga, K. J. Gaston та Y. Yamauga засвідчив зв'язок участі у садівництві з поліпшенням показників фізичного і психічного здоров'я та якості життя [7, с. 92]. Узагальнювальний огляд I. Panfili та співавторів підтвердив переважно позитивний вплив садівничих втручань, але наголосив на залежності доказовості від дизайну досліджень, тривалості програм і характеристик цільових груп [5, с. 1].

Поряд з оцінюванням психоемоційних результатів зростає увага до терапевтичних садів як спеціально організованих озелених просторів. Їх ефективність пов'язують із доступністю, функціональним зонуванням, можливістю споглядання природи та виконання садівничих робіт. Важливим чинником є рослинний асортимент, який визначає сенсорну насиченість, сезонну мінливість і придатність простору до різних форм взаємодії [8, с. 3].

В Україні проблематика хортітерапії перебуває на етапі становлення. Я. Онуфрієв і Г. Лукашук розглянули принципи створення терапевтичного саду для психологічного відновлення осіб, постраждалих від війни [9, с. 113]. О. Є. Мотузга та Ю. С. Котовська наголосили на значенні функціонального зонування, доступності, безпеки та сенсорної насиченості терапевтичних садів [10, с. 74].

Отже, наявні дослідження переважно зосереджені на психоемоційних і фізіологічних результатах, тоді як формування рослинного середовища, систематизація критеріїв добору видів і адаптація асортименту до природно-кліматичних умов України потребують подальшого опрацювання.

Незважаючи на зростання кількості досліджень, недостатньо узагальненими залишаються критерії добору рослин з урахуванням їх сенсорних, декоративних, фенологічних, біоекологічних, експлуатаційних і безпекових характеристик. Потребує систематизації функціональна роль деревних, чагарникових, квіткових, ароматичних, пряно-смакових та їстівних рослин у терапевтичному середовищі.

Для України актуальним є поєднання терапевтичних функцій озелених територій із принципами екологічної стійкості, інклюзивності та адаптивного садово-паркового проектування. Відсутність комплексних рекомендацій щодо регіонально придатного й безпечного асортименту зумовлює необхідність узагальнення міжнародного досвіду та визначення перспектив його практичного застосування [14, с. 6; 16].

Метою дослідження є узагальнення сучасних наукових підходів до хортітерапії та створення терапевтичних садів, систематизація принципів формування їх рослинного середовища й визначення перспектив застосування міжнародного досвіду в Україні.

Рослини у хортітерапії виконують сенсорну, психоемоційну, пізнавальну, реабілітаційну, просторово-композиційну та екологічну функції. Їх роль визначається сукупністю візуальних, ароматичних, тактильних, смакових, акустичних, біоекологічних та експлуатаційних характеристик [11, с. 80; 12, с. 5].

Багатосенсорне середовище формується завдяки поєднанню кольорів, форм, текстур, ароматів, їстівних компонентів і сезонних змін. Візуальне сприйняття забезпечують квітки, листки, плоди та габітус; нюхове – ароматичні й пряно-смакові види; тактильне – рослини з виразною фактурою; смакове – безпечні їстівні культури. Інтенсивність стимулів має відповідати особливостям цільових груп і не спричинювати сенсорного перевантаження [8, с. 4; 10, с. 75].

Активна хортіерапія передбачає висівання, живцювання, висаджування, полив, догляд, обрізування та збирання врожаю. Для таких занять доцільні рослини з нескладною технологією вирощування, зрозумілим циклом розвитку та можливістю швидко отримати помітний результат. Добре впізнавані культури й характерні аромати можуть підтримувати особисті асоціації та зацікавленість користувачів [13; 17, с. 130].

Деревні та чагарникові види формують просторову структуру, затінення і захищеність; квіткові та декоративно-листяні рослини забезпечують колір, текстуру і сезонну динаміку; ароматичні, лікарські та пряно-смакові види посилюють нюхову й тактильну взаємодію; їстівні культури поєднують пізнавальну та практичну функції. Використання місцевих і добре адаптованих рослин може підвищувати стійкість насаджень і підтримувати біорізноманіття [15, с. 65].

Науково обґрунтований добір рослин має ґрунтуватися на багатокритеріальному підході. S. Lu та співавтори запропонували оцінювати рослини для терапевтичних ландшафтів за показниками психологічного відновлення, фізіологічного впливу, декоративної цінності та практичної придатності [8, с. 5]. Для умов України доцільно виокремити сенсорні, декоративно-фенологічні, біоекологічні, функціональні, ергономічно-експлуатаційні та безпекові критерії [18, с. 4003].

Сенсорні критерії охоплюють забарвлення, форму, аромат, фактуру та можливість безпечної смакової взаємодії. Декоративно-фенологічні передбачають тривалість цвітіння, сезонне забарвлення, декоративність плодів і кори та послідовність змін упродовж року. Біоекологічні критерії включають зимостійкість, посухостійкість, відповідність ґрунтовим умовам, стійкість до шкідників і хвороб та придатність до міського середовища [19].

Функціональні критерії визначають придатність рослин до висівання, пересаджування, живцювання, обрізування, контейнерного вирощування і збирання врожаю. Ергономічні та експлуатаційні характеристики охоплюють доступність догляду, компактність, потребу в агротехнічних операціях, схильність до самосіву чи надмірного розростання. Асортимент має відповідати віку, фізичним і когнітивним можливостям користувачів [20, с. 37; 21, с. 13].

Безпечність передбачає оцінювання токсичності, алергенності, наявності колючок, шипів, гострих листків, подразнювального соку та надмірно інтенсивного аромату. У зонах активної взаємодії перевагу слід надавати нетоксичним, добре впізнаваним і простим у догляді видам. Універсального асортименту не існує: його склад визначається призначенням об'єкта, характеристиками цільової групи та природно-кліматичними умовами.

Таблиця 1

**Рослини для сенсорного та декоративного формування
терапевтичного середовища**

Функціональна група	Вид рослини	Основні сенсорні та декоративні властивості	Можливі форми використання
Ароматичні та пряно-смакові	Лаванда вузьколиста (<i>Lavandula angustifolia</i> Mill.)	Виразний аромат, тривале цвітіння, декоративність	Сенсорні ділянки, спостереження, догляд, зрізування суцвіть
Тактильні	Чистець візантійський (<i>Stachys byzantina</i> K. Koch)	М'які, густо опушені листки, сріблясте забарвлення	Безпосередній дотик, порівняння текстур

Продовження таблиці 1

Функціональна група	Вид рослини	Основні сенсорні та декоративні властивості	Можливі форми використання
Декоративно-квітучі	Ехінацея пурпурова (<i>Echinacea purpurea</i> (L.) Moench)	Великі суцвіття, тривале цвітіння	Спостереження, природні квіткові композиції
Декоративно-структурні	Костриця сиза (<i>Festuca glauca</i> Vill.)	Тонкі листки, компактна форма, сизе забарвлення	Візуальне та обмежене тактильне сприйняття
Декоративні кущі	Бузок звичайний (<i>Syringa vulgaris</i> L.)	Рясне ароматне цвітіння, висока впізнаваність	Візуальне та нюхове сприйняття

З огляду на відмінності у функціональному призначенні рослин доцільно окремо розглядати види, що формують сенсорне й декоративне середовище терапевтичного саду, та рослини, які можуть використовуватися у процесі активної хортітерапевтичної діяльності.

Таблиця 2

**Рослини для активної хортітерапевтичної діяльності
та практичної взаємодії**

Функціональна група	Вид рослини	Основні функціональні властивості	Можливі форми хортітерапевтичної діяльності
Рослини для висівання і спостереження	Соняшник однорічний (<i>Helianthus annuus</i> L.)	Велике насіння, швидкий ріст, виразна зміна висоти	Висівання, вимірювання росту, спостереження за розвитком
Рослини для висівання і догляду	Календула лікарська (<i>Calendula officinalis</i> L.)	Велике насіння, швидке проростання, тривале цвітіння	Висівання, догляд, фенологічні спостереження
Їстівні та пряно-смакові	Базилік звичайний (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	Виразний аромат, швидке формування листової маси	Висівання, пересаджування, полив, зрізування листків
Їстівні	Салат посівний (<i>Lactuca sativa</i> L.)	Швидкий розвиток, різноманітність форм і кольорів листків	Висівання, проріджування, догляд, збирання врожаю
Їстівні та плодові	Суниця садова (<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i> (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier)	Компактний габітус, цвітіння та утворення плодів	Догляд, спостереження, збирання плодів
Деревні декоративні	Липа серцелиста (<i>Tilia cordata</i> Mill.)	Формування затінення, виразна сезонна динаміка	Спостереження, відпочинок, фенологічні дослідження
Рослини для контейнерного вирощування	М'ята перцева (<i>Mentha</i> × <i>piperita</i> L.)	Швидке відростання після зрізування, ароматичне листя	Висаджування, полив, зрізування, розмноження

Перелік сформовано на основі аналізу сенсорних, декоративних, функціональних, біоекологічних та експлуатаційних характеристик видів, а також їх придатності до вирощування в умовах України.

Узагальнення наведеного асортименту свідчить, що придатність рослин до хортітерапії визначається поєднанням сенсорної виразності, сезонної динаміки, доступності догляду, екологічної адаптованості та безпечності. Тому остаточний добір видів має здійснюватися з урахуванням функціонального призначення саду та характеристик цільової групи.

Безпечність є обов'язковою умовою формування терапевтичного рослинного середовища. Необхідно враховувати токсичність окремих органів, наявність колючок і шипів, жорстких листків, подразнювального соку, алергенного пилю, інтенсивних ароматів та здатність до неконтрольованого поширення. Особливо ретельного відбору потребують насадження для дітей, людей похилого віку й осіб із когнітивними порушеннями. Потенційно небезпечні види доцільно розмішувати поза зонами активного контакту або вилучати з асортименту.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Хортітерапія та терапевтичні сади є перспективним напрямом природоорієнтованої підтримки фізичного, психоемоційного й соціального благополуччя. Рослини в такому середовищі виконують сенсорну, пізнавальну, реабілітаційну, просторово-композиційну та екологічну функції. Їх добір має ґрунтуватися на комплексному врахуванні сенсорних, декоративно-фенологічних, біоекологічних, функціональних, ергономічних і безпекових характеристик. Поділ асортименту на рослини для сенсорного й декоративного формування середовища та види для активної хортітерапевтичної діяльності дає змогу узгодити його з характером взаємодії користувачів із садом. Перспективними є експериментальна оцінка окремих видів і сортів, розроблення регіонально адаптованого асортименту та створення рекомендацій для лікувально-реабілітаційних, освітніх і громадських об'єктів України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. World Health Organization. Improving health and well-being through nature. *WHO Regional Office for Europe*. URL: <https://www.who.int/europe/activities/improving-health-and-well-being-through-nature> (дата звернення: 11.07.2026).
2. American Horticultural Therapy Association. Horticultural therapy. URL: <https://www.ahta.org/horticultural> (дата звернення: 11.07.2026).
3. American Horticultural Therapy Association. About therapeutic gardens. URL: <https://www.ahta.org/about-therapeutic-gardens> (дата звернення: 11.07.2026).
4. Nieberler-Walker K., Desha C., Bosman C., Roiko A., Caldera S. Therapeutic hospital gardens: literature review and working definition. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*. 2023. Vol. 16, № 4. P. 260–295. DOI: 10.1177/19375867231187154.
5. Panțiru I., Ronaldson A., Sima N., Dregan A., Sima R. The impact of gardening on well-being, mental health, and quality of life: an umbrella review and meta-analysis. *Systematic Reviews*. 2024. Vol. 13. Article 45. DOI: 10.1186/s13643-024-02457-9.
6. Wood C. J., Barton J., Wicks C. L. Effectiveness of social and therapeutic horticulture for reducing symptoms of depression and anxiety: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychiatry*. 2025. Vol. 15. Article 1507354. DOI: 10.3389/fpsy.2024.1507354.
7. Soga M., Gaston K. J., Yamaura Y. Gardening is beneficial for health: a meta-analysis. *Preventive Medicine Reports*. 2017. Vol. 5. P. 92–99. DOI: 10.1016/j.pmedr.2016.11.007.
8. Lu S., Wu F., Wang Z., Cui Y., Chen C., Wei Y. Evaluation system and application of plants in healing landscape for the elderly. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2021. Vol. 58. Article 126969. DOI: 10.1016/j.ufug.2020.126969.

9. Онуфрив Я., Лукашук Г. Терапія садом: як засобами ландшафтної архітектури впливати на ментальне здоров'я під час війни? *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2025. Т. 7, № 2. С. 111–120. DOI: 10.23939/sa2025.02.111.
10. Мотузна О. Є., Котовська Ю. С. Основні особливості створення терапевтичних садів як запорука фізичного та ментального здоров'я людей. *Аграрні інновації*. 2024. № 28. С. 74–79. DOI: 10.32848/agrar.innov.2024.28.11.
11. Ferrini F. Horticultural therapy and its effect on people's health. *Advances in Horticultural Science*. 2003. Vol. 17, № 2. P. 77–87.
12. Howarth M., Brettle A., Hardman M., Maden M. What is the evidence for the impact of gardens and gardening on health and well-being: a scoping review and evidence-based logic model to guide healthcare strategy decision making on the use of gardening approaches as a social prescription. *BMJ Open*. 2020. Vol. 10, № 7. Article e036923. DOI: 10.1136/bmjopen-2020-036923.
13. Koay W. I., Dillon D. Community gardening: stress, well-being, and resilience potentials. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17, № 18. Article 6740. DOI: 10.3390/ijerph17186740.
14. Onufriv Y., Lukashchuk H. Restoration of urban gardening practices in Lviv and their significance for the unification of the city's community. *Housing Environment*. 2025. Vol. 50, № 1. P. 4–10. DOI: 10.2478/he-2025-0001.
15. Stigsdotter U. K., Grahn P. What makes a garden a healing garden? *Journal of Therapeutic Horticulture*. 2002. Vol. 13. P. 60–69.
16. Сила саду: ідеї для занять з садотерапії / ГО «Плато». URL: <https://plato.lviv.ua/wp-content/uploads/2023/07/syla-sadu.pdf> (дата звернення: 11.07.2026).
17. Делорі О. Л. Шінрін-йоку. Цілюще мистецтво лісотерапії. Київ : Країна мрій, 2024. 160 с.
18. Дерев'янка Н., Хорошков Л. Проєктні пропозиції для садотерапевтичної локації на базі Хортицької національної академії. *Traektoriâ Nauki = Path of Science*. 2020. Vol. 6, № 9. P. 4001–4005. DOI: 10.22178/pos.62-5.
19. Жданович Д. Що таке терапевтичні сади і хто їх створює у Києві та Львові. URL: <https://bzh.life.ua/mesta-i-veshi/1712577434-shcho-take-terapevtichni-sadi-i-hto-yih-stvoryue/> (дата звернення: 11.07.2026).
20. Поцелуйко Ю. Реабілітаційні сади: обґрунтування необхідності та певні моменти специфіки. *Ландшафт і архітектура*. 2024. №1. С. 36–39.
21. Рурик Г. Здатність до відновлення у особистості, яка пережила трагічні події. *Простір арт-терапії*. 2022. № 1 (31). С. 5–15.

Дата першого надходження статті до видання: 17.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 633.63:631.526.32.

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.21>

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНОГЕНЕЗУ, ПРОДУКТИВНОСТІ ТА НАСІННЄВОЇ ЯКОСТІ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ У СИСТЕМІ АГРОТЕХНІЧНИХ ЧИННИКІВ

Поліщук В.В. – д.с.-г.н., професор,
професор кафедри садово-паркового господарства,
Уманський національний університет
orcid.org/0000-0001-8157-7028

Селецький В.П. – аспірант кафедри садово-паркового господарства,
Уманський національний університет
orcid.org/0009-0001-4189-0500

У статті узагальнено результати теоретичних та прикладних досліджень щодо впливу комплексної системи агротехнічних заходів на формування продуктивності та насіннєвої якості цукрових буряків. Встановлено, що повна реалізація високого генетичного потенціалу сучасних гібридів в умовах інтенсивного землеробства неможлива без глибокої оптимізації процесів органогенезу, які перебувають під постійним тиском зовнішніх стресових чинників. Визначено, що ключовим інструментом інтенсифікації насінництва є збалансоване мінеральне живлення. Особливий акцент зроблено на застосуванні мікроелементів (Cu, Zn, Mo, Mn, B) у хелатній формі, що виступають потужними каталізаторами фізіологічних і метаболічних процесів у критичні фази розвитку (стеблуння та бутонізація), які точно ідентифікуються за міжнародною шкалою кодів ВВСН. Доведено, що синергізм вологозабезпечення та мінерального живлення дозволяє ефективно нівелювати лімітуючий вплив дефіциту води на репродуктивну сферу рослин. Зокрема, обґрунтовано доцільність застосування краплинного зрошення для підтримання вологості на рівні 70–80% НВ та використання сучасних гідрогелевих абсорбентів, ефективність яких залежить від механічного складу ґрунту. У роботі також детально проаналізовано негативний вплив хімічного контролю забур'яненості на генеративні органи. Встановлено, що дія окремих гербіцидів може спричиняти дестабілізацію мейотичних процесів, знижувати показники фертильності пилку та викликати стерильність зародкового мішка. Це вимагає розробки інтегрованих схем захисту. Доведено, що оптимізація фону мінерального живлення дозволяє рослинам значно швидше регенерувати після фітотоксичного стресу. Результати дослідження підтверджують, що перехід до адаптивної моделі насінництва, яка базується на синергійній взаємодії збалансованого живлення, керованого гідротермічного режиму та прецизійного захисту, є необхідною умовою для формування високоякісного насіння при дотриманні екологічної безпеки та економічної доцільності агропродукування.

Ключові слова: цукрові буряки, насінництво, органогенез, мінеральне живлення, краплинне зрошення, гербіцидний стрес, продуктивність насіння.

Polishchuk V.V., Seletsky V.P. Features of organogenesis, productivity and seed quality of sugar beet in the system of agrotechnical factors

The article summarizes the results of theoretical and applied research on the influence of a comprehensive system of agrotechnical measures on the formation of productivity and seed quality of sugar beets. It was established that the full realization of the high genetic potential of modern hybrids in conditions of intensive farming is impossible without deep optimization of organogenesis processes, which are under constant pressure from external stress factors. It was determined that the key tool for intensification of seed production is balanced mineral nutrition. Special emphasis is placed on the use of microelements (Cu, Zn, Mo, Mn, B) in chelated form,



© Поліщук В.В., Селецький В.П., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

which act as powerful catalysts of physiological and metabolic processes in critical phases of development (stemming and budding), which are accurately identified according to the international scale of BBSN codes. It is proven that the synergism of moisture supply and mineral nutrition allows effectively to level the limiting effect of moisture deficiency on the reproductive sphere of plants. In particular, the feasibility of using drip irrigation to maintain humidity at 70–80% RH and the use of modern hydrogel absorbents, the effectiveness of which depends on the mechanical composition of the soil, is substantiated. The work also analyzes in detail the negative impact of chemical weed control on generative organs. It was established that the action of certain herbicides can cause destabilization of meiotic processes, reduce pollen fertility indicators and cause embryo sac sterility. This requires the development of integrated protection schemes. It is proven that optimizing the mineral nutrition background allows plants to regenerate much faster after phytotoxic stress. The results of the study confirm that the transition to an adaptive model of seed production, which is based on the synergistic interaction of balanced nutrition, controlled hydrothermal regime and precision protection, is a necessary condition for the formation of high-quality seeds while maintaining environmental safety and economic feasibility of agricultural production.

Key words: *sugar beet, seed production, organogenesis, mineral nutrition, drip irrigation, herbicide stress, seed productivity.*

Постановка проблеми. Сучасне насінництво цукрових буряків в Україні перебуває на етапі інтенсивної трансформації, де ключовим елементом є повна реалізація високого біологічного потенціалу новітніх гібридів.

Досягнення стабільних показників врожайності та високої якості насіння неможливе без системного управління агротехнічними факторами, насамперед – збалансованим мінеральним живленням та оптимізацією водного режиму ґрунту.

Проте, аналіз сучасних підходів вказує на існування складної технологічної дилеми: прагнення до інтенсифікації ростових процесів часто входить у конфлікт із біологічними вимогами культури та екологічною стійкістю агроценозів.

Дослідження показують, що застосування макро- та мікродобрих (особливо у формі хелатів) стимулює морфогенез, покращує енергію проростання та схожість насіння. Водночас зростаюча залежність бурякосіяння від посушливих явищ вимагає впровадження систем зрошення, ефективність яких напряму залежить від рівня забезпеченості рослин елементами живлення. Проте критично важливим і недостатньо дослідженим залишається питання інтеграції цих заходів із захистом посівів від бур'янів.

Актуальність проблеми посилюється неоднозначністю впливу гербіцидів на репродуктивну систему насінників. Наукові джерела свідчать, що використання хімічних засобів захисту, попри високу ефективність у боротьбі з забур'яненістю, може викликати низку небажаних ефектів: від порушень процесів мейозу та гаметогенезу до зниження життєздатності пилку та виникнення стерильності. Особливе занепокоєння викликає факт, що за умов нераціонального поєднання пестицидного навантаження та мінерального живлення, гербіциди можуть діяти як стресові фактори, що негативно позначаються на формуванні ембріонального зародка та, зрештою, знижують посівні якості насіння.

Виникає наукова потреба у комплексному осмисленні взаємодії агротехнічних факторів – удобрення, вологозабезпечення та гербіцидного захисту – як єдиної технологічної системи. Обґрунтування оптимальних режимів, які мінімізують фітотоксичну дію засобів захисту та максимально стимулюють репродуктивний розвиток рослин, є необхідною умовою для підвищення ефективності вітчизняного насінництва цукрових буряків.

Постановка завдання. Метою роботи є наукове обґрунтування та розробка оптимізованої системи агротехнічних заходів, спрямованих на підвищення

врожайності та поліпшення посівних якостей насіння цукрових буряків шляхом гармонізації процесів мінерального живлення, вологозабезпечення та мінімізації стресового впливу засобів захисту рослин.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасне насінництво цукрових буряків в умовах інтенсивного землеробства базується на концепції управління продукційним процесом, де кінцевий результат – врожайність та якість насіння – є функцією від складної взаємодії генетичного потенціалу гібридів та комплексу агротехнічних чинників [1, с. 84; 2, с. 14]. Науковий аналіз свідчить, що формування насіннєвої продуктивності підпорядковується закономірностям органогенезу, перебіг яких критично залежить від зовнішнього середовища та рівня антропогенного втручання [3, с. 112–118].

Ключовим фактором інтенсифікації насінницьких посівів залишається система мінерального живлення. Дослідження вітчизняних науковців, зокрема Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН [4, с. 18–19; 5, с. 18; 6, с. 283], переконливо доводять, що насінники потребують значно інтенсивнішого поглинання елементів живлення порівняно з фабричними коренеплодами, причому максимуми споживання припадають на фази стеблуння та бутонізації максимуми споживання поживних речовин припадають на фази стеблуння та бутонізації.

Для точної ідентифікації цих періодів в агротехнологічних дослідженнях доцільно використовувати міжнародну шкалу кодів BVCH (рис. 1), яка дозволяє уніфікувати опис онтогенезу культури. Зокрема, стадії розвитку розетки (BVCH 12–16) та інтенсивного наливу коренеплоду (BVCH 42–49) є ключовими для корекції систем живлення та зрошення, що забезпечує високу точність проведення агротехнічних заходів.



Рис. 1. Шкала стадій росту та розвитку цукрових буряків (код BVCH)

Встановлено, що застосування макродобрих у збалансованих дозах забезпечує не лише приріст урожайності, а й якісну трансформацію посівного матеріалу, що проявляється у збільшенні маси 1000 плодів та енергії проростання [7, с. 73–74; 8, с. 41].

Особливого наукового значення набуває застосування мікроелементів у хелатній формі. Праці, присвячені цій проблематиці, [7, с. 73–74] вказують, що комплексонати металів (Cu, Zn, Mo, Mn, B) виступають каталізаторами фізіологічних процесів, активізуючи ферментативні системи рослин, що сприяє кращому

засвоєнню поживних речовин з ґрунту та підвищує адаптивну здатність насінників до стресових факторів навколишнього середовища (рис. 1).

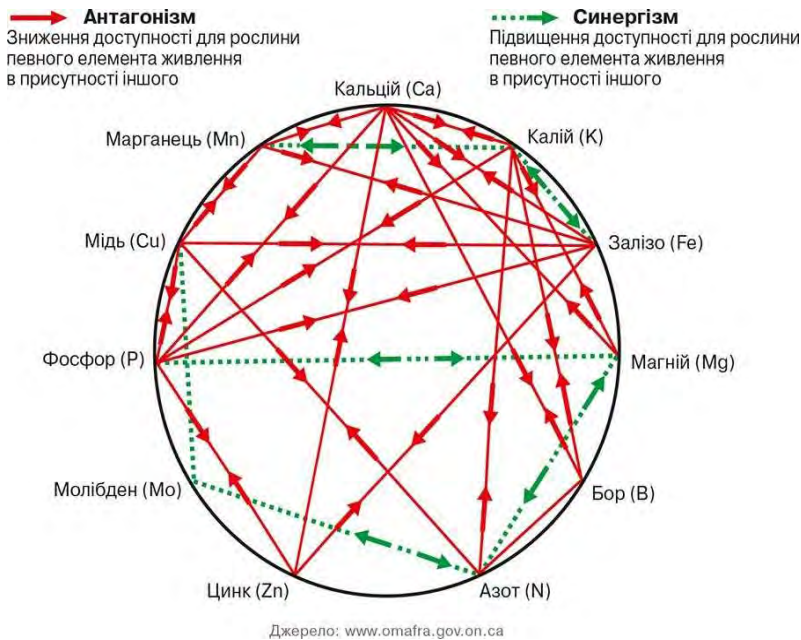


Рис. 2. Схема синергічних та антагоністичних взаємодій між елементами мінерального живлення в агроценозах

Важливим компонентом оптимізації продуктивності насінників є регулювання водного режиму ґрунту. Літературні дані засвідчують, що в зонах нестійкого зволоження дефіцит вологи стає лімітуючим чинником, який призводить до порушення водного обміну та уповільнення фотосинтетичної діяльності [9, с. 55–56].

Здатність ґрунту утримувати вологу та забезпечувати нею рослини під час критичних фаз розвитку значною мірою залежить від його механічного складу. Як свідчать дані основної гідрофізичної характеристики (рис. 3), глинисті та суглинкові ґрунти характеризуються вищою вологоутримувальною здатністю порівняно з піщаними, що безпосередньо впливає на динаміку доступності води для насінників цукрових буряків. У зонах нестійкого зволоження розуміння цих параметрів є визначальним при розрахунку поливних норм та виборі технології зрошення, оскільки швидкість виснаження запасів продуктивної вологи варіює залежно від типу ґрунту.

Проведений аналіз дослідниками [10, с. 44] підкреслює переваги краплинного зрошення перед традиційними методами, оскільки воно дозволяє підтримувати вологість ґрунту на рівні 70–80% НВ, забезпечуючи стабільну життєздатність генеративних органів. Особливої уваги заслуговують результати досліджень щодо використання гідрогелевих абсорбентів [11, с. 324–326], які підвищують вологоутримувальну здатність ґрунтового субстрату та, як наслідок, позитивно впливають на біометричні показники рослин і вихід кондиційного насіння.

Ефективність вологозабезпечення є нерозривно пов'язаною з рівнем мінерального живлення, оскільки лише синергізм цих факторів дозволяє реалізувати потенціал гібрида [12].

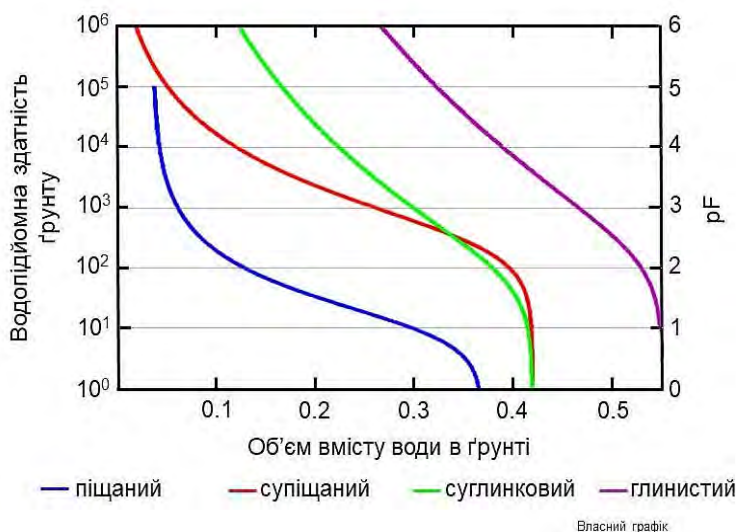


Рис. 3. Основна гідрофізична характеристика (ОГХ) ґрунтів різного механічного складу

Визначено, що впровадження сучасних систем захисту від бур'янів за допомогою гербіцидів породжує низку нових наукових викликів [13, с. 1659]. Хоча хімічний контроль засміченості посівів є обов'язковим заходом, останні дослідження вказують на суттєву фітотоксичну дію окремих препаратів на репродуктивну сферу рослин.

У працях [14, с. 14] науково обґрунтовано, що використання гербіцидів може призводити до дестабілізації мейотичних процесів, зниження життєздатності пилку та виникнення явищ стерильності зародкового мішка, що негативно позначається на врожайності насіння. Дискусії навколо цієї теми зосереджуються навколо пошуку механізмів нівелювання токсичної дії гербіцидів.

Виявлено, що оптимізація мінерального живлення дозволяє рослинам швидше проходити критичні фази розвитку та мінімізувати негативний вплив хімічного стресу.

Сучасна наукова парадигма насінництва цукрових буряків полягає у переході до інтегрованого управління агротехнологічними чинниками, де живлення, зрошення та захист діють як єдина злагоджена система, спрямована на збереження генетичної та фізіологічної якості насіння [15, с. 18; 2, с. 15; 3, с. 380].

Висновок. Реалізація генетичного потенціалу сучасних гібридів цукрових буряків в умовах сьогодення неможлива без переходу до адаптивної моделі насінництва, яка базується на синергичній взаємодії збалансованого мінерального живлення, керованого гідротермічного режиму та прецизійного захисту посівів.

Доведено, що ключовим інструментом інтенсифікації є оптимізація мінерального живлення з акцентом на критичні фази стеблуння та бутонізації, де застосування мікроелементів у хелатній формі відіграє роль каталізатора метаболічних процесів, підвищуючи стійкість рослин до несприятливих умов. Водночас інтеграція сучасних методів вологозабезпечення, зокрема краплинного зрошення та використання гідрогелевих абсорбентів, дозволяє стабілізувати фізіологічний стан насінників, нівелюючи лімітуючий вплив дефіциту води на репродуктивний розвиток.

Визначено, що попри високу біологічну ефективність гербіцидів, їхнє використання потребує обережного наукового обґрунтування: мінімізація фітотоксичного стресу на генеративні органи можлива лише за умови виваженого поєднання хімічних заходів з високим фоном мінерального живлення, що активізує регенеративні механізми рослин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ненька М. М., Ненька О. В., Корнєєва М. О. Генетична детермінація схожості насіння топкросних гібридів буряка цукрового. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2012. Вип. 80, ч. 1. С. 83–90.
2. Корнєєва М. О., Власюк М. В., Опанасенко Т. Г. Комбінаційна здатність за схожістю насіння запилювачів при створенні ЧС гібридів цукрових буряків. *Цукрові буряки*. 2005. № 4. С. 13–15.
3. Паламарчук В. Д., Доронін В. А., Колісник О. М., Алексєєв О. О. Основи насіннєзнавства (теорія, методологія, практика) : монографія. Вінниця : Друкарня ТОВ «Друк», 2021. 392 с.
4. Ермантраут Е. Р., Умрихін Н. Л. Вплив фонів живлення та строків збирання на продуктивність ЧС гібридів. *Цукрові буряки*. 2006. № 6. С. 18–19.
5. Жердецький І. М. Позакореневе внесення макро- і мікродобрив та поглинання основних елементів живлення кореневою системою рослин цукрових буряків. *Цукрові буряки*. 2010. № 2 (74). С. 18–19.
6. Заришник А. С., Кубряк Р. В. Ефективність норм і способів внесення мінеральних добрив під насінники цукрових буряків. *Збірник наукових праць ІБЦ НААН*. Київ, 2005. Вип. 8. С. 282–287.
7. Доронін В. А., Заришник А. С., Бусол М. В., Марченко С. І. Ефективність мікроелементів за умов використання їх при підготовці насіння цукрових буряків до сівби. *Агроном*. 2006. № 1 (11). С. 72–74.
8. Iamail A. M., Abo El-Ghait R. A. Effect of balanced fertilization on NPK on yield and quality of sugar beet. *Egyptian Journal of Agricultural Research*. 2004. Vol. 82, № 2. P. 40–42.
9. Заворуєва І. Хелатні мікродобрива – маленький друг великого врожаю. *Зерно*. 2010. № 3. С. 55–56.
10. Єремко Л. С., Сидоренко А. В., Олєпир Р. В., Агафонова С. О. Продуктивність окремих сільськогосподарських культур за застосування регуляторів росту рослин. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2009. № 1. С. 43–45.
11. Motsi H., Molapo M., Phiri E. E. A review of the adaptive capacity of sweet sorghum to improve food security and poverty alleviation in sub-Saharan Africa. *South African Journal of Botany*. 2022. Vol. 150. P. 323–329. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.07.040>
12. Xiao M.-Z., Sun Q., Hong S., Chen W.-J., Pang B., Du Z.-Y., Yang W.-B., Sun Z., Yuan T.-Q. Sweet sorghum for phytoremediation and bioethanol production. *Journal of Leather Science and Engineering*. 2021. Vol. 3. Art. 32. 12 p. <https://doi.org/10.1186/s42825-021-00074>
13. Heitman A. J., Castillo M. S., Smyth T. J., Crozier C. R. Stem, leaf, and panicle yield and nutrient content of biomass and sweet sorghum. *Agronomy Journal*. 2018. Vol. 110, № 5. P. 1659–1665. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.03.0178>
14. Oktem A., Oktem A. G. Bioethanol obtained from soluble sugars in sweet sorghum, influencing properties and their interrelationships. *Industrial Crops and Products*. 2024. Vol. 221. Art. 119351. 14 p. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119351>
15. Sun W., He Z., Liu B., Ma D., Si R., Li R., Wang S., Malekian A. Changes in photosynthetic efficiency, biomass, and sugar content of sweet sorghum under different water and salt conditions in arid region of Northwest China. *Agriculture*. 2024. Vol. 14, № 12. Art. 2321. 18 p. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122321>

Дата першого надходження статті до видання: 13.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

UDC 635.62:631.559:631.526.32(477)

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.22>

CURRENT STATE OF SPECIES, VARIETY-HYBRID COMPOSITION, AND YIELD LEVELS OF PUMPKIN IN UKRAINE

Sydiakina O.V. – Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor at the Department of Plant Science and Agroengineering,
Kherson State Agrarian and Economic University
orcid.org/0000-0001-8812-6078

Hamaiunova V.V. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Head of the Department of Agriculture, Geodesy and Land Management,
Mykolayiv National Agrarian University
orcid.org/0000-0002-4151-0299

The article presents the results of an analysis of the current state of pumpkin production in Ukraine and the peculiarities of the development of its varietal composition. The relevance of pumpkin cultivation as a promising vegetable crop characterized by high nutritional, feed, medicinal, preventive, and industrial value is substantiated. It is emphasized that under the conditions of climate change and the need to diversify agricultural production, pumpkin is becoming increasingly important due to its high adaptive potential, comprehensive utilization of its products, and growing demand for fruits and seeds in both domestic and international markets.

The study found that pumpkin seed yield exhibits considerable variability across years and farm categories, indicating the significant influence of agronomic, economic, and weather-related factors on production efficiency. In contrast, the yield of table pumpkin remained relatively stable throughout the study period, demonstrating the crop's high adaptive capacity and the effectiveness of existing cultivation technologies. An upward trend in yield levels was identified for both agricultural enterprises and peasant (farmer) farms, which can be attributed to the introduction of modern varieties, improvements in cultivation technologies, and increased production concentration.

*The analysis of the State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine revealed that, as of June 2026, a total of 47 pumpkin varieties and hybrids had been registered, representing three botanical species: *Cucurbita pepo* L., *Cucurbita maxima* Duch., and *Cucurbita moschata* Duch. The most intensive expansion of the varietal assortment occurred during 2022–2025, reflecting the intensification of breeding activities and the growing interest of producers in modern high-yielding varieties and hybrids. Domestic breeding was found to play a leading role in shaping the assortment of *C. pepo* and *C. maxima*, whereas the assortment of *C. moschata* is predominantly represented by varieties developed through foreign breeding programs.*

The obtained results confirm the considerable potential for further development of pumpkin production in Ukraine. The identified trends may serve as a scientific basis for improving varietal policy, optimizing cultivation technologies, developing recommendations for agricultural producers, and determining promising directions for future breeding programs.

Key words: pumpkin, botanical species, diversification of vegetable crops, fruit and seed yield, farm categories, plant breeding, varietal and hybrid composition.

Сидякіна О.В., Гамаюнова В.В. Сучасний стан видів, сорто-гібридного складу та рівнів урожайності гарбуза в Україні

У статті наведено результати аналізу сучасного стану виробництва гарбуза в Україні та особливостей формування його сортового складу. Обґрунтовано актуальність вирощування гарбуза як перспективної овочевої культури, що характеризується високою харчовою, кормовою, лікувально-профілактичною та промисловою цінністю. Відзначено, що в умовах змін клімату та необхідності диверсифікації аграрного виробництва гарбуз



© Sydiakina O.V., Hamaiunova V.V., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

набуває дедалі більшого значення завдяки високому адаптивному потенціалу, комплексному використанню продукції та зростанню попиту на плоди і насіння на внутрішньому та міжнародному ринках.

Встановлено, що врожайність гарбуза за вирощування на насіння характеризується значною мінливістю як за роками, так і категоріями господарств, що свідчить про істотний вплив агротехнологічних, економічних і погодних чинників на ефективність виробництва. Урожайність гарбуза столового протягом досліджуваного періоду залишалася відносно сталою, що свідчить про високий адаптивний потенціал культури та відповідність технологій її вирощування. Виявлено тенденцію до підвищення рівнів урожайності у сільськогосподарських підприємствах і фермерських господарствах, що пов'язано із впровадженням сучасних сортів, удосконаленням технологій вирощування та концентрацією виробництва.

За результатами аналізу Державного реєстру сортів рослин встановлено, що станом на червень 2026 р. в Україні зареєстровано 47 сортів і гібридів гарбуза, які належать до трьох ботанічних видів: гарбуза звичайного, гарбуза великоплідного та гарбуза мускатного. Визначено, що найбільш інтенсивне поповнення сортименту відбулося впродовж 2022–2025 рр., що свідчить про активізацію селекційної роботи та зростання зацікавленості виробників до сучасних високопродуктивних сортів і гібридів. Встановлено, що провідні позиції у формуванні сортименту займає вітчизняна селекція, особливо для гарбуза звичайного та гарбуза великоплідного, а сортимент гарбуза мускатного більшою мірою представлений сортами іноземної селекції.

Наведені результати обґрунтовують наявність значного потенціалу подальшого розвитку виробництва гарбуза в Україні. Встановлені закономірності можуть бути використані для формування сортової політики, удосконалення технологій вирощування культури, розроблення рекомендацій для товаровиробників та визначення перспективних напрямів селекційної роботи.

Ключові слова: гарбуз, ботанічні види, диверсифікація овочевих культур, урожайність плодів і насіння, категорії господарств, селекція, сорто-гібридний склад.

Problem statement. Pumpkin is a strategically important crop in global agriculture, combining high nutritional, feed, medicinal, preventive, and industrial value. Owing to its broad species diversity, adaptability to diverse soil and climatic conditions, and high ecological plasticity, pumpkin is successfully cultivated in many countries worldwide, including Ukraine.

Pumpkin fruits are characterized by high contents of carotenoids, dietary fiber, vitamins, phenolic compounds, and antioxidants, whereas the seeds represent a valuable source of plant protein, unsaturated fatty acids, tocopherols, phytosterols, magnesium, zinc, and other biologically active compounds. Therefore, pumpkin is regarded as a promising raw material for the production of functional foods, dietary supplements, and vegetable oils [1–3].

Particular attention has recently been paid to hull-less pumpkin varieties, whose seeds lack a hard seed coat and constitute a highly profitable raw material for edible oil production. The global demand for pumpkin seed oil continues to increase, especially in the countries of the European Union, where it is widely used as a high-value functional food ingredient. At the same time, the assortment of butternut pumpkins (*Cucurbita moschata* Duch.) is rapidly expanding due to their excellent sensory qualities and suitability for processing [4–6].

Under the conditions of climate change, pumpkin has attracted considerable attention as a crop with relatively high drought tolerance, efficient utilization of photosynthetically active radiation, and broad opportunities for the comprehensive use of harvested biomass. Virtually all plant components have economic value: fruits are processed by the food industry, seeds are used for edible oil and food ingredients, while processing by-products serve as raw materials for animal feed and bioenergy production. Such versatility is fully consistent with the modern concepts of zero-waste and sustainable agricultural production [7].

For Ukraine, pumpkin represents a promising niche crop capable of contributing to the diversification of vegetable production, expansion of export opportunities, and improvement of the economic efficiency of farming enterprises. However, enhancing the competitiveness of pumpkin production requires increasing crop productivity, improving cultivation technologies, and introducing modern high-yielding varieties and hybrids adapted to specific soil and climatic conditions. Therefore, an assessment of the current varietal composition of pumpkin included in the State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine is of particular scientific and practical importance.

Analysis of recent research and publications. During the past decade, the number of studies devoted to pumpkin has increased considerably. Contemporary research is mainly focused on the biochemical composition of fruits and seeds, the functional properties of pumpkin-derived products, and their applications in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries.

In a comprehensive review, Kaur et al. [8] summarized current knowledge regarding the chemical composition of pumpkin and demonstrated that it is among the richest plant sources of carotenoids, polyphenols, tocopherols, flavonoids, and cucurbitacins, which determine its antioxidant, anti-inflammatory, and health-promoting properties.

Special attention has been devoted to pumpkin seeds as a functional food ingredient. According to Dotto and Chacha [1], pumpkin seeds contain up to 50% oil and approximately 30–40% protein and are rich in essential fatty acids, phytosterols, squalene, tocopherols, and mineral elements, making them highly promising for the production of functional foods and nutraceuticals.

The review by Singh and Kumar [2] demonstrated that all parts of the pumpkin plant can be efficiently utilized in the production of food products, vegetable oil, protein concentrates, animal feed, and biomaterials, making pumpkin an almost zero-waste crop. The authors also emphasized the steadily growing global demand for pumpkin seed products, particularly within the healthy food sector.

The review by Batool et al. [3] further confirmed the considerable potential of different *Cucurbita* species as sources of biologically active compounds and highlighted the importance of breeding varieties with elevated contents of carotenoids, antioxidants, and oil.

Despite the growing number of international publications, studies addressing the current state of pumpkin production and varietal diversity in Ukraine remain limited. This particularly concerns the assessment of the current assortment of varieties and hybrids included in the State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine, which is essential for identifying breeding trends and determining future prospects for pumpkin production. Therefore, the analysis of pumpkin productivity and varietal composition represents a relevant area of contemporary agricultural research.

Materials and methods. The objective of this study was to analyze the current state of pumpkin production in Ukraine based on the productivity of seed and table pumpkins across different farm categories; to investigate the current varietal and hybrid composition of pumpkin included in the State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine; and to identify prospects for improving the efficiency of pumpkin production.

To achieve the stated objective and ensure the reliability of the obtained results, a combination of general scientific and specialized research methods was employed, including the monographic method for reviewing scientific literature, the statistical and economic method for analyzing the dynamics of pumpkin yield across different farm categories, the comparative method for evaluating crop productivity and the characteristics of varietal composition, and systems analysis and generalization for interpreting the obtained results and formulating conclusions.

The study was based on official statistical data provided by the State Statistics Service of Ukraine on pumpkin production and yield [9], the State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine (as of June 2026) [10], as well as scientific publications by Ukrainian and international researchers addressing the current state of pumpkin production, breeding, and varietal resources.

Presentation of the main research material. Statistical analysis demonstrated that pumpkin productivity in Ukraine differs substantially depending on the production purpose of the crop and the category of agricultural producers. Seed pumpkin production was characterized by considerably greater yield variability than table pumpkin production, indicating a higher sensitivity of seed-oriented cultivation to agronomic practices and weather-related factors (Table 1).

Table 1

Dynamics of pumpkin seed yield by farm categories in Ukraine, t/ha

Farm category	Year									
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Farms of all categories	0.72	0.40	0.75	0.63	0.57	1.11	0.96	0.71	0.76	0.56
Peasant (farmer) farms	0.49	1.11	0.88	0.50	0.42	0.72	0.31	0.57	0.50	0.37
Enterprises	0.72	0.38	0.68	0.53	0.64	1.23	1.04	0.62	0.64	0.38
Households	0.73	0.49	0.91	0.70	0.44	0.94	0.90	0.76	0.87	0.84

Source: State Statistics Service of Ukraine [9]

During 2016–2025, the average seed pumpkin yield across all farm categories ranged from 0.40 to 1.11 t/ha. The highest yield was recorded in 2021, followed by a declining trend in subsequent years. A similar pattern was observed for agricultural enterprises, where seed yield reached 1.

23 t/ha, representing the highest value recorded during the study period. This may indicate more efficient implementation of modern cultivation technologies, the use of high-quality varietal material, and a higher level of technical and resource support compared with other farm categories.

Peasant (farmer) farms exhibited the greatest variability in seed yield, with values ranging from 0.31 to 1.11 t/ha. Such fluctuations are likely attributable to relatively small cultivation areas, differences in resource availability, and variations in production technologies. In contrast, household farms demonstrated relatively stable performance and, during the final years of the study period, achieved higher seed yields than both peasant (farmer) farms and agricultural enterprises.

Unlike seed pumpkin production, table pumpkin cultivation was characterized by considerably more stable yield performance (Table 2). Across all farm categories, yields during 2015–2025 varied within a relatively narrow range of 20.92–23.48 t/ha, indicating a generally stable level of crop productivity despite year-to-year weather fluctuations.

The most consistent yields were recorded in household farms, where productivity remained virtually unchanged throughout the study period. At the same time, agricultural enterprises demonstrated a positive trend toward increasing productivity, particularly in 2025, when yields reached 36.36 t/ha. A similar trend was observed in peasant (farmer) farms, where, following substantial interannual fluctuations, the maximum yield of 36.59 t/ha was recorded. These improvements can be attributed to the adoption of modern high-yielding varieties and hybrids, advances in cultivation technologies, and the increasing concentration of production in specialized farms.

Table 2

Dynamics of table pumpkin yield by farm categories in Ukraine, t/ha

Farm category	Year										
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Farms of all categories	21.80	21.61	22.07	23.48	23.26	21.76	21.96	21.87	22.60	20.92	21.75
Peasant (farmer) farms	–	5.24	12.97	13.27	22.52	16.14	32.79	12.59	10.37	13.99	36.59
Enterprises	12.33	11.14	16.38	19.27	19.49	18.15	15.88	17.48	19.99	19.72	36.36
Households	22.05	21.84	22.15	23.56	23.34	21.83	22.10	21.91	22.63	20.96	20.79

Source: State Statistics Service of Ukraine [9]

Overall, the results indicate that the potential for further improving pumpkin productivity in Ukraine remains substantial. This is particularly evident in seed pumpkin production, where yield variability across years and farm categories remains considerable. In contrast, the stability of table pumpkin production reflects the crop's high adaptability to cultivation conditions. Under these circumstances, one of the key reserves for enhancing production efficiency is the wider adoption of modern varieties and hybrids that combine high yield potential, superior product quality, and broad adaptability to diverse soil and climatic conditions.

The analysis of the State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine revealed differences in the rate of expansion of the varietal and hybrid composition among the three botanical pumpkin species. As of June 2026, the Register included 47 pumpkin varieties and hybrids, of which 17 (36.2%) belonged to *Cucurbita pepo* L., 16 (34.0%) to *Cucurbita maxima* Duch., and 14 (29.8%) to *Cucurbita moschata* Duch. (Fig. 1).

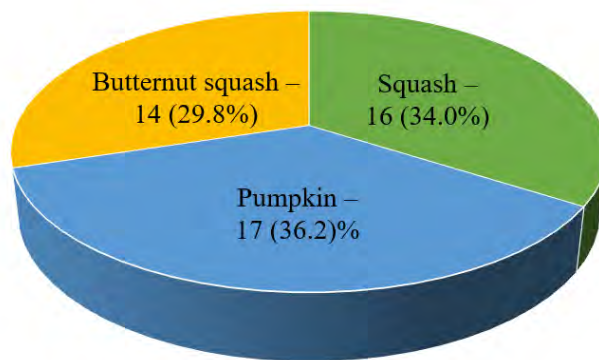


Fig. 1. Structure of the variety and hybrid composition of pumpkin in the State Registry of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine [10]

The most intensive breeding activity for *Cucurbita maxima* was observed in 2022, when four new varieties and hybrids were registered. Three varieties and hybrids were added to the State Register in both 2018 and 2025, two in 2017, and one each in 2019, 2024, and 2026.

The varietal assortment of *Cucurbita pepo* is characterized by the longest period of development. The first two varieties were registered as early as 1950, followed by a gradual expansion of the Register, with one variety added in 1987, 1993, 1998, 2000,

2016, 2018, and 2020, and two varieties each in 2015 and 2024. The most intensive renewal of the assortment occurred in 2025, when four new varieties and hybrids were registered.

The varietal composition of *Cucurbita moschata* has been formed primarily over the last decade. Two varieties were registered in 2010, followed by two additional varieties in 2017, one variety each in 2018 and 2024, and three in 2021. The most substantial expansion of the assortment was recorded in 2023, when five new varieties and hybrids were included in the State Register.

The obtained results indicate a marked intensification of breeding activities for all three botanical pumpkin species in recent years. Particularly active expansion of the State Register occurred during 2022–2025, reflecting the growing interest of breeding institutions and producers in developing new high-yielding varieties and hybrids adapted to contemporary cultivation conditions and market requirements.

The results also demonstrate that domestic breeding plays a leading role in shaping the pumpkin assortment in Ukraine (Fig. 2). The highest proportion of Ukrainian-developed varieties and hybrids was identified for *Cucurbita pepo* (58.8%) and *Cucurbita maxima* (50.0%). In contrast, the assortment of *Cucurbita moschata* is dominated by introduced varieties, primarily of Dutch origin. An analysis of the countries of origin indicates the extensive use of both domestic and foreign breeding achievements to broaden the assortment of pumpkin crops available in Ukraine.

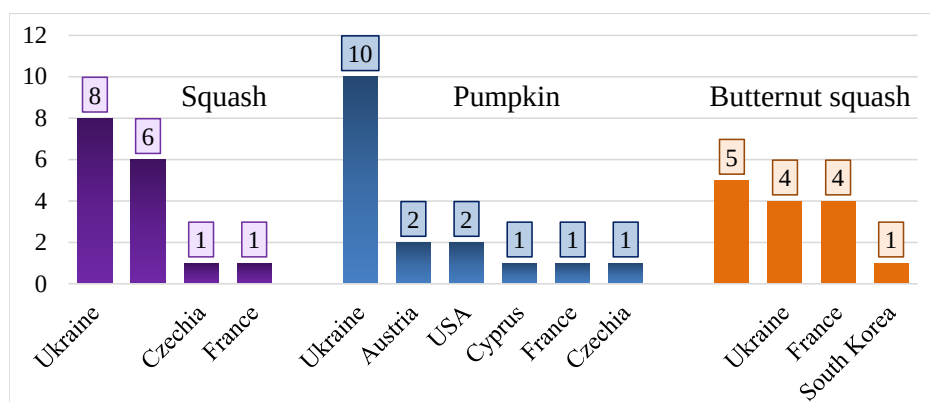


Fig. 2. Distribution of pumpkin varieties and hybrids by originating countries and botanical species

Source: State Registry of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine [10]

Overall, the results demonstrate that the current pumpkin varietal composition in Ukraine is characterized by substantial species diversity and a positive trend in varietal renewal. The active expansion of the State Register of Plant Varieties in recent years reflects the increasing demand for high-yielding varieties and hybrids adapted to current soil and climatic conditions as well as market requirements. At the same time, the considerable share of domestically developed varieties confirms the strong scientific potential of Ukrainian breeding institutions and their capacity to provide producers with competitive planting material. Future development of the sector should focus on expanding the assortment of pumpkins for different economic purposes, particularly hull-less and butternut types, which possess considerable export potential and meet the current requirements of the processing industry.

Thus, the analysis of production performance and the current varietal composition of pumpkin indicates that further improvements in the efficiency of pumpkin cultivation in Ukraine should be based on the integration of advanced cultivation technologies with the adoption of high-yielding varieties and hybrids adapted to specific soil and climatic conditions. Variety selection remains one of the principal factors for realizing the biological potential of the crop and enhancing the competitiveness of pumpkin production.

Conclusions and prospects. Pumpkin productivity in Ukraine varies in its degree of stability depending on the production purpose of the crop. Seed pumpkin production is characterized by considerable yield variability, whereas table pumpkin production demonstrates relatively stable productivity over time. The study revealed an active renewal of the pumpkin varietal composition in recent years and an increasing contribution of domestic breeding programs. Further improvement in production efficiency should be associated with the introduction of modern high-yielding varieties and hybrids adapted to regional cultivation conditions.

REFERENCES:

1. Dotto J. M., Chacha J. S. The potential of pumpkin seeds as a functional food ingredient: A review. *Scientific African*. 2020. Vol. 10. P. e00575. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00575>.
2. Singh A., Kumar V. Pumpkin seeds as nutraceutical and functional food ingredient for future: A review. *Grain & Oil Science and Technology*. 2024. Vol. 7(1). P. 12–29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2023.12.002>.
3. Batool M., Ranjha M. M. A. N., Roobab U. et al. Nutritional Value, Phytochemical Potential, and Therapeutic Benefits of Pumpkin (*Cucurbita* sp.). *Plants*. 2022. Vol. 11(11). P. 1394. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11111394>.
4. Буряк Р., Авраменко Р. Досвід австрійських компаній в операційному менеджменті та маркетингу насіння гарбуза голонасінного. *Вісник Полтавського державного аграрного університету. Серія «Економіка, управління та фінанси»*. 2025. № 4. С. 46–54. DOI: <https://doi.org/10.32782/pdau.eco.2025.4.7>.
5. Zhu Y., Zhou X., Li J., Feng J. et al. Can Functional Micro-organisms Associated with Pumpkin Sizes Be Sought Out from the Soil? A Comparison of Soil Microbial Community Structures in Rhizospheres between Giant- and Small-Sized Pumpkin Varieties. *Plants*. 2024. Vol. 13(16). P. 2258. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13162258>.
6. Любич В. В. Продуктивність різних видів гарбуза. *Аграрні інновації*. 2026. № 36. С. 207–210. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2026.36.28>.
7. Gavril R. N., Stoica F., Lipsa F. D. et al. Pumpkin and pumpkin by-products: A comprehensive overview of phytochemicals, extraction, health benefits, and food applications. 2024. *Foods*. Vol. 13(17). P. 2694. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13172694>.
8. Kaur S., Panghal A., Garg M. K. et al. Functional and nutraceutical properties of pumpkin – a review. *Nutrition & Food Science*. 2020. Vol. 50(2). P. 384–401. DOI: <https://doi.org/10.1108/NFS-05-2019-0143>.
9. Державна служба статистики України. Площі, валові збори та урожайність сільськогосподарських культур за їх видами (офіційні статистичні дані) : веб-сайт. URL: <https://stat.gov.ua/uk/datasets/ploshchi-valovi-zbory-ta-urozhaynist-silskohospodarskykh-kultur-richna> (дата звернення: 29.06.2026).
10. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні : веб-сайт. URL: <https://sops.gov.ua/derzavniy-reestr> (дата звернення: 29.06.2026).

Дата першого надходження статті до видання: 06.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 633.1:631.147:631.86

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.23>

ВПЛИВ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ПРЕПАРАТІВ НА ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ГРЕЧКИ ПОСІВНОЇ

Сімчук А.П. – д.б.н.,

професор кафедри біології та екології,

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

orcid.org/0000-0002-1762-144X

Заїка В.К. – д.б.н.,

професор кафедри лісового і аграрного менеджменту,

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

orcid.org/0000-0002-2206-772X

Гусак В.В. – к.б.н.,

доцент кафедри біохімії та біотехнології,

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

orcid.org/0000-0001-9415-9837

Шеленко Д.І. – д.е.н.,

професор кафедри підприємництва, торгівлі та прикладної економіки,

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

orcid.org/0000-0002-9214-7258

Дмитрик П.М. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри лісового і аграрного менеджменту,

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

orcid.org/0000-0003-1973-391X

Кліматичні та ґрунтові умови України є сприятливими для вирощування різноманітних нішевих культур у тому числі гречки, яка користується попитом на ринку України та інших країн. Вона є надзвичайно цінною культурою для народного господарства, яка має широкий спектр використання. За історичними відомостями, гречку в світовому рослинництві вирощували впродовж двох тисяч років. Вона відзначається різноманітністю використання та високою якістю продуктів переробки.

Виходячи з того, що гречка є основною круп'яною культурою, важливою частиною дитячого харчування, хорошим медоносом та лікарською рослиною при її вирощуванні не слід використовувати хімічні засоби захисту. Отже, ця культура оптимально підходить для вирощування за органічного виробництва.

У статті висвітлено результати ефективності застосування біопрепаратів в технології вирощування гречки за органічного виробництва. За результатами досліджень проаналізовано вплив біопрепаратів на продуктивність гречки, що включало оцінку урожайності та показників структури урожаю. Досліджувані біопрепарати продемонстрували найбільший вплив при комплексному їх застосуванні. Максимальну урожайність гречки сорту Українка отримано за поєднання позакореневого підживлення препаратом Вермимаг у фазу гілкування та Гуматом калію у фазу бутонізації, яка склала 2,05 т/га, що на 0,62 т/га, або на 43,3 % більше ніж на контрольному варіанті, де не застосовували біопрепарати.

За результатами досліджень встановлено, що на формування елементів структури урожаю гречки посівної впливали біопрепарати. За поєднання обприскування посівів Вермимагом та Гуматом калію отримано найвищий приріст маси 1000 насінин – 4,2 г, та натури зерна 21 г/л.



Аналіз результатів досліджень підтвердив ефективність і доцільність застосування біопрепаратів в технології вирощування гречки.

Ключові слова: органічне виробництво, біопрепарати, позакореневе підживлення, гречка, урожайність, показники структури врожаю.

Simchuk A.P., Zaika V.K., Husak V.V., Shelenko D.I., Dmytryk P.M. The influence of environmentally safe preparations on the formation of buckwheat productivity

The climatic and soil conditions of Ukraine are favorable for growing various niche crops, including buckwheat, which is in demand in the Ukrainian and other countries. It is an extremely valuable crop for the national economy, which has a wide range of uses. According to historical data, buckwheat has been grown in world crop production for two thousand years. It is distinguished by its diversity of uses and high quality of processed products.

Based on the fact that buckwheat is the main cereal crop, an important part of baby food, a good honey plant and a medicinal plant, chemical protection agents should not be used when growing it. Therefore, this crop is optimally suited for growing under organic production.

The article highlights the results of the effectiveness of the use of biological products in the technology of growing buckwheat under organic production. According to the results of the research, the impact of biological products on buckwheat productivity was analyzed, which included an assessment of yield and yield structure indicators. The studied biological products demonstrated the greatest impact when used in combination. The maximum yield of buckwheat of the Ukrainka variety was obtained by combining foliar feeding with the drug Vermimag in the branching phase and Potassium Humate in the budding phase, which amounted to 2.05 t/ha, which is 0.62 t/ha, or 43.3% more than in the control variant, where biological preparations were not used.

According to the results of the research, it was established that the formation of elements of the structure of the buckwheat crop was influenced by biological preparations. The combination of spraying crops with Vermimag and Potassium Humate resulted in the highest increase in the mass of 1000 seeds – 4.2 g, and the grain quality of 21 g/l.

Analysis of the research results confirmed the effectiveness and feasibility of using biological preparations in the technology of growing buckwheat.

Key words: organic production, biological products, foliar feeding, buckwheat, yield, yield structure indicators.

Постановка проблеми. Для забезпечення населення екологічно чистими продуктами харчування, зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище та збереження стану земельних угідь все більше уваги приділяється органічному виробництву. Це підтверджують іноземні дослідники, які зазначають, що традиційні резерви інтенсифікації технологій вирощування с.-г. культур для збільшення валового виробництва майже вичерпані та їх використання часто призводить до забруднення довкілля, втрати біорізноманіття видів флори та мікроорганізмів [1, 2]. Розвиток екологічної загрози спонукає науковців та виробників до розробки альтернативних методів ведення землеробства, яке покращує та відновлює екологічну складову.

Важливе місце у вирішенні проблем продовольчої безпеки України посідає виробництво продуктів харчування, яке можна стабілізувати збільшенням урожайності та покращення якості зерна круп'яних культур, серед яких основне місце займає гречка.

Перспективним напрямком підвищення продуктивності гречки та отримання екологічно чистої продукції є використання сучасних новітніх препаратів, які є недорогі та прості у застосуванні.

Отже, дослідження впливу біопрепаратів на продуктивність гречки є актуальним в умовах сьогодення для отримання екологічно чистої продукції та забезпечення продовольчої безпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В раціоні людини гречка була і залишається цінною круп'яною культурою. Завдяки високим харчовим властивостям,

вона є однією з найцінніших культур, яка містить велику кількість білка, вітамінів та мікроелементів. Як зазначають науковці це робить її важливим продуктом у збалансованому харчуванні людей [3, 4, 5].

Застосування науково-обґрунтованих заходів розроблених для конкретних агрокліматичних умов вирощування дає можливість отримати повноцінний урожай гречки. За зміни клімату та зниження рівня вологозабезпеченості культур в критичні періоди розвитку потрібно шукати нові шляхи для підвищення врожайності в умовах, що склалися [6, 7, 8].

Останніми роками площі під посівом гречки є нестабільними. Для підвищення урожайності та збільшення виробництва зерна гречки використовують нові високоефективні сорти, удосконалені, науково-обґрунтовані елементи технології вирощування. На даний час все більшої популярності набуває застосування препаратів органічного походження. Для отримання високих врожаїв гречки перспективним є використання біологічних препаратів. Нові органічні добрива сприяють зростанню мікробіологічної активності ґрунту навіть в екстремальних умовах. Вони покращують доступ елементів живлення з ґрунту для рослин та сприяють формуванню високих врожаїв [9, 10].

Все більшої популярності серед аграріїв набуває позакореневе підживлення рослин в період вегетації. За даними науковців застосування позакореневого підживлення рослин підвищує їх адаптивність до абіотичних стресів, особливо до дефіциту вологозабезпеченості у критичні періоди розвитку [11].

В умовах теперішніх викликів гречка стала майже національною культурою, крупа якої залишається серед важливих продуктів для продовольчої безпеки держави. Збільшення виробництва зерна гречки є однією із головних проблем в Україні. При цьому отримана продукція має бути екологічно чистою [10].

Отримати якісну екологічно безпечну продукцію можливо за широкого впровадження органічного виробництва, яке виключає застосування мінеральних добрив. Одним з чинників підвищення популярності органічного виробництва є те, що воно все частіше позиціонується як ресурсозберігаюче сільськогосподарське виробництво, яке дає можливість максимально ефективно використовувати потенціал різних ґрунтів агроecosистем. Воно підходить для виробництва практично всіх сільськогосподарських культур.

Важливим резервом підвищення урожайності сільськогосподарських культур в органічному виробництві, де не застосовуються мінеральні добрива є використання біопрепаратів. Виходячи з цього для підвищення рівня урожайності сільськогосподарських культур використовують в системі удобрення сучасні новітні біопрепарати, які прості у використанні та порівняно не дорогі.

За даними науковців, застосування біологічних препаратів у технологіях вирощування гречки, проса, сорго зернового та соризу, що проводились на Хмельницькій дослідній станції, сприяло покращенню кореневого живлення рослин, підвищенню урожайності та якості продукції [13].

Як зазначає Ю. В. Машенко, І. М. Семеняка застосування стимулятора росту в агротехнології забезпечує краще галуження рослин і підвищення маси 1000 насінин гречки, що сприяло формуванню вищого рівня врожайності [14].

Постановка завдання. Проаналізувати дані вітчизняної та зарубіжної літератури, щодо досвіду оптимізації системи удобрення гречки на основі застосування біопрепаратів. За результатами досліджень визначити вплив біопрепаратів на урожайність та показники продуктивності гречки за органічного виробництва.

Метою роботи є аналіз ефективності позакореневого підживлення, як чинника підвищення продуктивності гречки.

Матеріали і методи досліджень. Польові дослідження з вивчення впливу препаратів органічного походження на продуктивність гречки сорту Українка проводили протягом 2024–2025 років у Фермерському господарстві «АГРО-ЛАЙФ КОРШІВ» Коломийського району, Івано-Франківської області. В дослідженнях використовували гречку с. Українка.

Виходячи з того, що гречку вирощували без застосування швидкорозчинних мінеральних добрив в дослідженні застосовували біопрепарати, що є актуальним для отримання екологічно чистої продукції.

В досліді використовували рідке комплексне добриво-біостимулятор Верми-маг та Гумат калію для позакореневого підживлення рослин гречки.

Одноразове обприскування посівів Вермимагом та одноразове обприскування посівів Гуматом калію проводили у фазу гілкування. На варіанті поєднання двох препаратів позакореневе підживлення посівів гречки Вермимагом проводили у фазу гілкування та Гуматом калію у фазу бутонізації. Схему досліді наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Схема досліді

Біопрепарати	Доза використання, л/га
– без біопрепаратів (контроль)	–
– обприскування посівів Вермимагом	5 л/га
– обприскування посівів Гуматом калію	1 л/га
– обприскування посівів Вермимагом + обприскування посівів Гуматом калію	5 л/га 1 л/га

Результати досліджень. Як зазначають дослідники у підвищенні врожайності зерна гречки вирішальну роль відіграє забезпечення рослин елементами живлення залежно від її потреб протягом вегетації [12]. На даний час ефективним є позакореневе підживлення посівів гречки.

За результатами проведених досліджень протягом 2024–2025 років встановлено позитивний вплив досліджуваних препаратів на урожайність та показники продуктивності гречки. Зокрема, використання біопрепаратів для позакореневого підживлення сприяло покращенню умов росту і розвитку рослин, що мало істотний вплив на урожайність гречки.

На контролі, де не застосовували біопрепарати урожайність культури становила 1,43 т/га (рис. 1). Проведення позакорневих підживлень посівів біопрепаратами сприяло підвищенню врожайності гречки. Зокрема, застосування Вермимагу для одноразового обприскування посівів забезпечило підвищення урожайності на 24,5 %, а одноразове обприскування посівів у цій же фазі Гуматом калію збільшувало урожайність на 28 %.

Найефективнішим прийомом виявилось поєднання першого обприскування посівів Вермимагом та другого обприскування посівів Гуматом калію, де урожайність склала 2,05 т/га, що на 0,62 т/га, або на 43,3 % більше порівняно з контролем.

За результатами досліджень встановлено, що біопрепарати мали суттєвий вплив на структуру урожаю гречки. Зокрема застосування біопрепаратів в системі удобрення гречки сприяло підвищенню маси 1000 насінин. Так, на контрольному варіанті, де не застосовували удобрення маса 1000 насінин складала 24,2 г. (рис. 2). Використання біопрепарату Вермимаг сприяло збільшенню маси 1000 насінин до

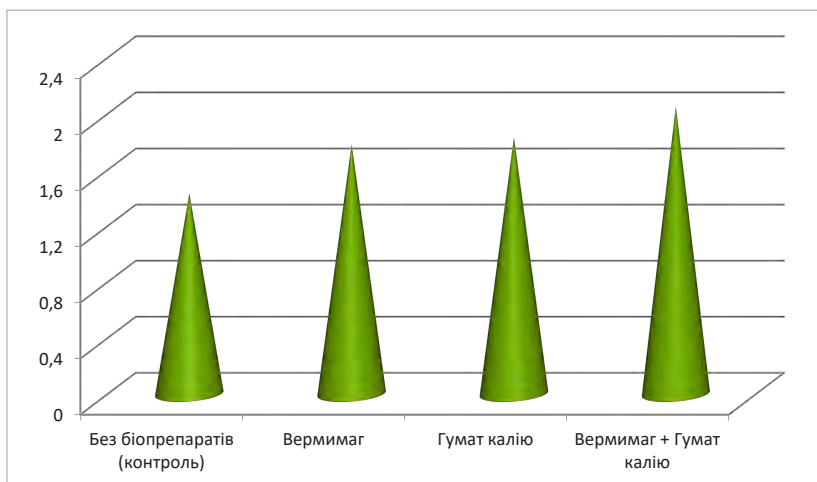


Рис. 1. Вплив позакореневого підживлення на урожайність гречки, т/га (середнє 2024–2025 рр.)

27,0 г, що на 2,7 г, або 11,1 %, більше порівняно з контролем. Подібний ефект спостерігався і за застосування Гумату калію, де маса 1000 насінин досягала 27,2 г, перевищуючи контрольний варіант на 2,9 г, або 11,9 %. Найвищий показник було отримано за сумісного використання препаратів Вермимаг і Гумат калію – 28,0 г, що на 3,7 г, або 15,2 %, більше від контролю. Зростання маси 1000 насінин під впливом позакорневих підживлень свідчить про покращення умов мінерального живлення рослин та активізацію фізіолого-біохімічних процесів, пов'язаних із формуванням і наливом насіння. Поєднане застосування Вермимагу та Гумату калію забезпечило найбільш сприятливі умови для накопичення пластичних речовин у зернівках, що позитивно позначилося на виповненості насіння та його посівних якостях.

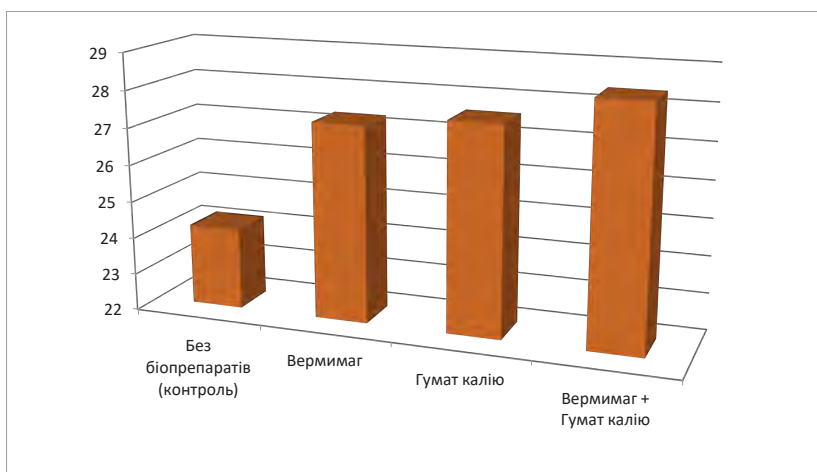


Рис. 2. Вплив позакореневого підживлення на масу 1000 насінин гречки, г (середнє 2024–2025 рр.)

Аналогічна закономірність спостерігалась і при визначенні натури зерна. На варіанті без застосування біопрепаратів вона становила 561 г/л (рис. 3).

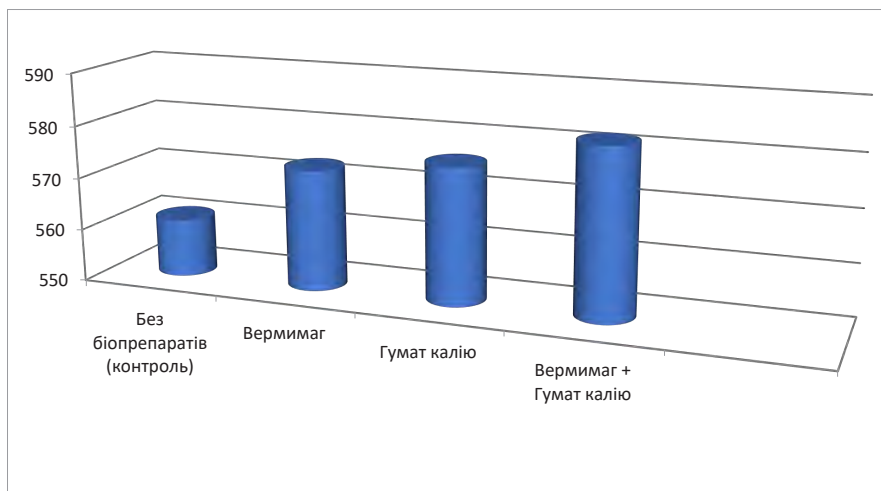


Рис. 3. Натура зерна гречки залежно від застосування біопрепаратів, г/л (середнє 2024–2025 рр.)

За одноразового обприскування посівів Вермимагом вона збільшилась на 12 г/л та за одноразового обприскування Гуматом калію – на 15 г/л. Найбільша натура зерна гречки була за дворазового позакореневого підживлення і становила 582 г/л, що на 21 г/л вище за контроль.

Отримані результати свідчать про позитивний ефект застосування біопрепаратів в системі удобрення шляхом дворазового позакореневого підживлення рослин гречки.

Висновки. Аналіз результатів досліджень підтвердив ефективність і доцільність застосування біопрепаратів в технології вирощування гречки без застосування мінеральних добрив.

Максимальну урожайність зерна гречки посівної отримано за поєднання першого обприскування посівів Вермимагом та другого обприскування посівів Гуматом калію, яка склала 2,05 т/га, що на 0,62 т/га, або на 43,3 % більше ніж на контролі.

Також біопрепарати продемонстрували найбільший вплив на масу 1000 насінин при комплексному застосуванні, де вона становила 28,4 г, що на 4,2 г більше за контроль. За даних заходів натура зерна склала 582 г/л, що було вище на 21 г/л проти варіанту, де біопрепарати не застосовували.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Jaroszewska A., Sobolewska M., Podsiadło C., Stankowski S. The effect of fertilization and effective microorganisms on buckwheat and millet. Acta Agroph. 2019. Vol. 26. № 3. P. 15–28. <https://doi.org/10.31545/aagr/114016>.
2. Bielski S., Marks-Bielska R., Wiśniewski P. Investigation of energy and economic balance and GHG emissions in the production of different cultivars of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench): A case study in Northeastern Poland. Energies. 2022. Vol. 16. № 1. P. 17. <https://doi.org/10.3390/en16010017>.

3. Chettry U., Chrungoo N. K. Beyond the cereal box: breeding buckwheat as a strategic crop for human nutrition. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2021. Vol. 76, № 4. P. 399–409. <https://doi.org/10.1007/s11130-021-00930-7>
4. Dutchak O., Kunychak H., Karbivska U., Sendetskyi V., Matviiets V. Efficiency of Biologized Fertilizer System in Organic Buckwheat Production. *Acta fytotechnica et zootechnica*. 27, 2024(4): 321–330. <https://doi.org/10.15414/afz.2024.27.04.321-330>
5. Karbivska U., Kunychak H., Dutchak O., Karpuk L., Tatarchuk L., Kashtanova T., Shelenko D., Hryhoriv Ya., Gniezdilova V., Sluchyk I. Application of biologization elements in buckwheat organic cultivation technology. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 2024. 25 (5), 235–242. <https://doi.org/10.12912/27197050/186125>
6. Кабанець В.М., Страхоліс І.М. Агротехнічні прийоми вирощування круп'яних культур для умов північно-східного Лісостепу України. Інститут сільського господарства Північного Сходу НААН. Сад. 2017. 20 с.
7. Троценко В.І., Кліщенко А.В. Адаптивний потенціал гречки в умовах північно-східного Лісостепу України. *Вісник Сумського НАУ*, серія «Агрономія і біологія». Суми, 2016. Вип. 9 (32). С. 192–196.
8. Long Jiang-xue, Cheng Hui-yan, Dai Zhi-neng, Liu Jian-fu. The Effect of Silicon Fertilizer on The Growth of Chives. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018. Vol. 192, P. 1–6.
9. Вінюков О.О., Бондарева О.Б., Сіпун О.Л., Мамєдова Е.І. Сучасні органічні технології – шлях екологізації сільськогосподарського виробництва. *Аграрний вісник Півдня*. 2014. № 1. С. 74–78.
10. Яковець Л.А., Соломон А. М. Господарсько-біологічна оцінка сортів гречки на нектаропродуктивність залежно від факторів інтенсифікації землеробства. *Сільське господарство та лісівництво*. 2023. № 1 (28). С. 195–209. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-1-14>
11. Мойсієнко В. В., Тимошук Т. М., Панчишин В. З. Формування продуктивності гречки залежно від позакореневого підживлення. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2023. № 8. С. 63–72. URI: <https://eprints.zu.edu.ua/id/eprint/38875>
12. Дерев'янський В.П., Сучек М.М., Каленська С.М., Токмакова Л.М. Ефективність біологічних препаратів при вирощуванні круп'яних культур в умовах Правобережного Лісостепу України: науково-практичні рекомендації. Самчики, 2015. 20 с.
13. Мащенко Ю.В., Семеняка І.М.. Удосконалена технологія вирощування гречки в умовах Північного Степу України. Київ : Аграрна наука, 2018. 184 с.
14. Страхоліс І.М., Бердін С. І., Оничко В. І., Оничко Т. О. Сортова реакція гречки на комплексне застосування біологічних препаратів та добрив. *Вісник СНАУ*. 2019. Вип. 1–2. С. 46–52. DOI: <https://doi.org/10.32845/agrobio.2019.1-2.7>.

Дата першого надходження статті до видання: 06.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 631. 422:631. 582

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.24>

ПРОДУКТИВНІСТЬ РІПАКА ОЗИМОГО ЗА УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ В УМОВАХ ПЕРЕДКАРПАТТЯ

Стельмах О.М. – с.н.с.,

старший науковий співробітник відділу технологій у рослинництві,

Прикарпатська державна сільськогосподарська дослідна станція

Інституту сільського господарства Карпатського регіону

Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0000-0002-4097-6388

Мельничук Т.В. – к.с.-г.н.,

завідувач відділу технологій у рослинництві,

Прикарпатська державна сільськогосподарська дослідна станція

Інституту сільського господарства Карпатського регіону

Національної академії аграрних наук України

[/orcid.org/0000-0002-1235-0302](https://orcid.org/0000-0002-1235-0302)

Григорів Я.Я. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри лісового і аграрного менеджменту,

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

orcid.org/0000-0002-5892-9483

Медвідь Б.М. – м.н.с.,

молодший науковий співробітник відділу технологій у рослинництві,

Прикарпатська державна сільськогосподарська дослідна станція

Інституту сільського господарства Карпатського регіону

Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0009-0002-0291-7691

Курлянова І.І. – фахівець,

Прикарпатська державна сільськогосподарська дослідна станція

Інституту сільського господарства Карпатського регіону

Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0009-0008-1287-182X

У статті наведено результати досліджень, спрямованих на вдосконалення системи мінерального живлення ріпаку озимого сорту Дарунок селекції Прикарпатської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту сільського господарства Карпатського регіону. Упродовж 2024–2025 рр. проведено польові та аналітичні дослідження щодо оцінки впливу різних варіантів мінерального удобрення та позакореневого підживлення на формування продуктивності рослин, структуру врожаю та економічну ефективність вирощування культури за удосконалених елементів технології. Встановлено, що застосування мінеральних добрив у поєднанні з позакореновими підживленнями суттєво впливає на формування елементів продуктивності ріпаку озимого. Зокрема, кількість стручків на одній рослині зростала на 34,3–156,6 %, кількість насінин у стручку – на 4,5–16,8 %, маса 1000 насінин – на 2,12–6,43 % порівняно з контролем без внесення добрив. Найвищу врожайність насіння – 4,05 т/га – отримано за варіанту удобрення $N_{30}P_{140}K_{190} + N_{150}$ у поєднанні з позакореновими підживленнями препаратами Бортрак 150 (2,5 л/га) та Брасітрел



© Стельмах О.М., Мельничук Т.В., Григорів Я.Я., Медвідь Б.М., Курлянова І.І., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

ПРО (2,5 л/га), що перевищувало контроль у 2,7 раза. Аналіз структури витрат показав, що частка витрат на добрива становила 53,3–72,1 %, засоби захисту рослин – 9,89–44,6 %, паливо-мастильні матеріали – 7,9–32,5 %. Собівартість однієї тонни продукції коливалася в межах 10,5–12,8 тис. грн, умовно-чистий прибуток становив 9,05–24,94 тис. грн/га, а рівень рентабельності – 27,5–80,0 %. Доведено, що впровадження удосконалених елементів технології забезпечує формування врожайності ріпаку озимого на рівні 2,7–5,8 т/га та сприяє підвищенню економічної ефективності його вирощування.

Ключові слова: ріпак озимий, сорт Дарунок, мінеральне живлення, позакореневе підживлення, структура врожаю, урожайність, економічна ефективність.

Stelmakh O.M., Melnychuk T.V., Hryhoriv Ya.Ya., Medvid B.M., Kurlyanova I.I.
Productivity of Winter Rapeseed under Improved Cultivation Technology Elements in the Conditions of the Precarpathian Region

The article presents the results of research aimed at improving the mineral nutrition system of winter rapeseed of the Darunok variety, developed by the Precarpathian State Agricultural Research Station of the Institute of Agriculture of the Carpathian Region. During 2024–2025, field and analytical studies were conducted to assess the impact of different variants of mineral fertilization and foliar feeding on plant productivity, yield structure, and the economic efficiency of crop cultivation under improved technological elements. It was established that the application of mineral fertilizers in combination with foliar feeding significantly affects the formation of productivity components of winter rapeseed. In particular, the number of pods per plant increased by 34.3–156.6%, the number of seeds per pod by 4.5–16.8%, and the thousand-seed weight by 2.12–6.43% compared to the control (without fertilization). The highest seed yield of 4.05 t/ha was obtained under the fertilization treatment $N_{50}P_{140}K_{190} + N_{150}$ combined with foliar application of Bortrak 150 (2.5 L/ha) and Brasitrel PRO (2.5 L/ha), which was 2.7 times higher than the control. The analysis of cost structure showed that fertilizers accounted for 53.3–72.1% of total costs, plant protection products for 9.89–44.6%, and fuel and lubricants for 7.9–32.5%. The cost of production per ton ranged from 10.5 to 12.8 thousand UAH, conditional net profit amounted to 9.05–24.94 thousand UAH/ha, and profitability ranged from 27.5 to 80.0%. It was proven that the implementation of improved technological elements ensures the formation of winter rapeseed yield at the level of 2.7–5.8 t/ha and increases the economic efficiency of its cultivation.

Key words: winter rapeseed, Darunok variety, mineral nutrition, foliar feeding, yield structure, productivity, economic efficiency.

Актуальність теми дослідження. У сучасних умовах розвитку аграрного сектору України зростає значення виробництва олійних культур для внутрішнього споживання та експорту. Провідне місце серед них займає ріпак, олія якого завдяки унікальним біологічним і хімічним властивостям широко використовується у харчовій і промисловій сферах [21; 24]. Насіння ріпаку є цінною сировиною для виробництва олії, біопалива та кормів, а рівень його врожайності значною мірою залежить від оптимізації елементів технології вирощування, насамперед системи мінерального живлення [9; 16].

Україна стабільно входить до числа провідних експортерів ріпаку, причому понад 90 % продукції реалізується на зовнішніх ринках, що підвищує економічну значущість культури [2; 7]. Водночас формування високої та стабільної врожайності можливе лише за умов раціонального удобрення, яке забезпечує збалансоване живлення рослин, покращує властивості ґрунту та підвищує ефективність використання елементів живлення. Недотримання оптимальних норм і строків внесення добрив може призвести до зниження врожайності та якості продукції [11].

Постановка проблеми. Ріпак озимий належить до культур із високими вимогами до умов вирощування та рівня технологічної дисципліни. Порушення елементів технології може зумовити втрати 30–50 % потенційного врожаю [22]. Внесок добрив у формування врожайності культури становить 50–60 %, а потреба ріпаку в елементах живлення перевищує показники зернових культур [10; 14; 23].

При цьому ефективність удобрення залежить від обґрунтованості норм внесення, оскільки їх надлишок не завжди забезпечує економічну доцільність [5; 25].

Використання мінеральних добрив під час основного внесення сприяє кращому розвитку рослин восени та покращує їх перезимівлю і розвиток кореневої системи [1; 17].

Від забезпеченості ріпаку поживними речовинами залежить зимостійкість рослин, їх стійкість проти хвороб та шкідників, а у підсумку – урожайність насіння [13; 17].

Ріпак озимий позитивно реагує на внесення мінеральних добрив високою прибавкою урожаю. Проте занадто високі норми добрив не дають часто очікуваного економічного результату за істотного зростання цін на мінеральні добрива та окупності затрат приростом продуктивності [1; 17].

Ріпак озимий є вибагливою культурою, що потребує чіткого дотримання всіх елементів технології вирощування і характеризується високою технологічною дисципліною протягом усього вегетаційного періоду. Порушення оптимальних строків сівби, норм висіву, доз внесення мінеральних добрив, заходів захисту рослин та строків збирання може призвести до втрати 30–50 % потенційного врожаю та суттєвого зниження економічної ефективності виробництва [22].

У системах вирощування сільськогосподарських культур внесок добрив у формування врожайності може становити 50–60 % і більше. Ріпак озимий, у свою чергу, характеризується підвищеною потребою в поживних речовинах порівняно із зерновими культурами. Отримання високих урожаїв цієї культури можливе на родючих ґрунтах за умов дотримання оптимальних норм і строків внесення мінеральних добрив [10; 14; 23].

Ріпак, як культура, високотехнологічної дисципліни вимогливий до умов вирощування і потребує чіткого дотримання технологічних вимог до формування агроценозу в осінній період та забезпечення рекомендованих основ живлення рослин, системи захисту рослин від шкідочинних об'єктів, а за їх недотримання господарства втрачають 30–50 % потенційного врожаю, що впливає на економічні показники вирощування культури [4; 6].

Одним з основних чинників підвищення врожайності зерна та продуктивності сільського господарства загалом є удобрення сільськогосподарських культур.

За даними вітчизняних і зарубіжних учених, вплив мінеральних добрив на формування врожаю є досить високим і становить близько 30–50 %, на приріст урожаю 50–80 %. Витрати на їхнє внесення 20–30 % усіх витрат у рослинництві [4; 6; 12].

Від забезпеченості ріпаку поживними речовинами залежить зимостійкість рослин, їх стійкість проти хвороб та шкідників, а в підсумку врожайність насіння [3; 5; 13].

Переважає більшість дослідників вважають оптимальною нормою висіву ріпаку озимого для гібридів 0,6–0,8 та сортів – 0,8–1,2 млн. с.х. нас./га залежно від біологічних особливостей гібридів, сортів і термінів сівби за оптимального вологозабезпечення ґрунту. За таких норм висіву густина гібридів перед входженням у зиму становила 50–60, у сортів 60–80 рослин /м² [11; 12; 19; 20].

Ріпак озимий позитивно реагує на внесення мінеральних добрив високою прибавкою урожаю. Проте занадто високі дози добрив не дають часто очікуваного економічного результату за істотного зростання цін на мінеральні добрива та окупність затрат приростом продуктивності [5; 25].

Тому удосконалення традиційних і розроблення нових елементів технології вирощування ріпаку озимого, зокрема оптимізація системи удобрення, з врахуванням ґрунтово-кліматичних умов для реалізації потенціалу сучасних сортів та

гібридів за останніх тенденцій зміни клімату, нині є актуальним завданням науковців і сільгоспвиробників.

Методика досліджень. Мета наших досліджень – вивчити вплив варіантів мінерального, позакореневого удобрення на продуктивність рослин, урожайність та економічну ефективність ріпака озимого в умовах Передкарпаття.

Дослідження проводили на дослідному полі впродовж 2024–2025 років у технологічній сівозміні Прикарпатської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААНУ на дернових глибоких опідзолених глеюватих важкосуглинкових ґрунтах.

Агрономічна характеристика: рН-сольове (потенціометричний) – 5,5, сума увібраних основ (Ca + Mg) (за Коппеном), – 16,6 мг-екв/100 г, уміст гумусу (за Тюрніним) – 2,86 %, лужногідролізованого азоту (за Корнфілдом) – 73,0, рухомого фосфору (за Кірсановим) – 94,0, рухомого калію (за Кірсановим) – 106,0 мг/кг ґрунту, рухомих форм мікроелементів: бору (за Бергером і Труогом) – 0,95, молібдену (за Грігом) – 0,20, марганцю (за Пейве і Рінкісом) – 42 мг/кг ґрунту.

В дослідженнях використовувався сорт ріпаку озимого Дарунок селекції Прикарпатської ДСГДС ІСГ КР.

Попередник – ярий ячмінь. Спосіб сівби – суцільний, міжряддя – 12,5 см. Норма висіву 0,8 млн. схожих насінин на 1 га. Повторення дослідів – триразове, площа посівної ділянки – 55 м², облікової – 45 м².

Дослідженнями вивчалися 4 варіанти основного і 3 варіанти позакореневого удобрення сортів ріпаку озимого за рівнем програмованої продуктивності.

Схема дослідів: А – варіанти удобрення на програмований рівень урожаю ріпака озимого:

А1 – контроль (без добрив) (0,8–1,0 т/га);

А2 – $N_{20}P_{60}K_{80} + N_{50}$ (2,0–2,5 т/га);

А3 – $N_{35}P_{100}K_{140} + N_{100}$ (3,0–3,5 т/га);

А4 – $N_{50}P_{140}K_{190} + N_{150}$ (4,0–4,5 т/га).

В – позакореневе підживлення:

В1 – без позакореневого підживлення;

В2 – позакореневе підживлення (Бортрак 2,5 л/га ВВСН 30-40);

В3 – позакореневе підживлення (Бортрак 2,5 л/га ВВСН 30-40) + (Брасітрел ПРО 2,5 л/га ВВСН 50-60).

У дослідів використовувалися добрива: комплексне добриво яра Міла $N_7P_{20}K_{28}$; аміачну селітру (N_{34}).

Система захисту включала використання Бутізан Авант с.-е. (2,0 л/га) після сівби (до 3 днів); Коннект к.с. (0,5 л/га) – 4-х разове внесення: осінь (ВВСН 10-14), весна (ВВСН 50-65); Карамба Турбо, в.р. (0,8 л/га) – осінь (ВВСН 10-14); Альтерно к.е. (0,7 л/га) – весна (ВВСН 55-65).

Структуру рослин сортів ріпаку озимого визначали відповідно до загальноприйнятої методики досліджень [8].

Врожай насіння облікувався за методом суцільного обмолоту з кожної ділянки і його зважуванням з перерахунком на стандартну вологість і 100 % густоту.

Статистична обробка дослідних даних проводилась методом статистичного аналізу [18].

Економічна ефективність досліджуваних елементів технології вирощування розраховано за методикою [15].

Результати досліджень. За результатами досліджень представлено вплив досліджуваних факторів на особливості формування структурних елементів продуктивності агроценозу впродовж періоду вегетації ріпака озимого.

Результатами досліджень встановлено, що найвища густота рослин ріпака озимого відмічалася при внесенні мінерального удобрення $N_{50}P_{140}K_{190} + N_{150}$ і позакореневого підживлення Бортрак 150 (2,5 л/га) + Брасітел ПРО (2,5 л/га) і становила 53,5 шт/м² (табл. 1). На варіанті контроль (без добрив) ця величина сягала 49,5 шт/м².

Найбільшу кількість стручків на рослині 132,5 шт. відмічено у варіанті удобрення $N_{50}P_{140}K_{190} + N_{150}$ + Бортрак 2,5 л/га + Брасітел ПРО 2,5 л/га. Кількість насінин у стручку також була найбільшою за вирощування у цьому варіанті і складала 21,1 шт., маса 1000 насінин 4,01 г.

Найнижчими показники структури рослин ріпака озимого були за вирощування у варіанті контроль (без добрив): кількість стручків на одній рослині становила 54,0 шт., кількість насінин у стручку - 18,1 шт., маса 1000 насінин - 3,78 г.

Таблиця 1

Вплив досліджуваних факторів на структурні елементи формування потенціалу урожайності ріпаку озимого за 2024–2025 рік

Варіанти удобрення, А		К-ть рослин, /м ²	К-ть стручків на рослині, шт.	К-ть насінин у стручку, шт	Маса 1000 насінин, г	Біологічна урожайність, т/га
А1 Контроль (без добрив)	A1	49,5	54,0	18,1	3,78	1,71
	A2	50,0	57,5	18,4	3,80	1,94
	A3	50,0	61,5	18,7	3,83	2,15
А2 N20P60K80+N50	A1	51,0	72,5	18,9	3,87	5,72
	A2	51,0	77,0	19,2	3,88	2,91
	A3	51,0	83,0	19,5	3,90	3,15
А3 $N_{35}P_{100}K_{140} + N_{100}$	A1	51,0	99,5	19,8	3,92	3,80
	A2	52,0	102,5	20,0	3,94	4,09
	A3	52,0	107,5	20,3	3,96	4,42
А4 $N_{50}P_{140}K_{190} + N_{150}$	A1	52,0	120,0	20,7	3,98	5,13
	A2	53,0	127,0	20,9	4,00	5,56
	A3	53,5	132,0	21,1	4,01	5,85
НІР ₀₅ Фактор А		3,1800	6.3309	0,2434	0,0675	0,0990
Фактор В		0,4713	1,0535	0,0856	0,0111	0,1060
Взаємодія АВ		0,3848	0,8602	0,0699	0,0090	0,0865

Аналіз результатів досліджень показав, що врожайність насіння значною мірою залежала від досліджуваних чинників (табл. 2).

Найвища врожайність 4,05 т/га спостерігається за вирощування ріпака озимого у варіанті внесення мінеральних добрив $N_{50}P_{140}K_{190} + N_{150}$, позакореневого живлення Бортрак 150 (2,5 л/га) і Брасітел ПРО (2,5 л/га), гербіцида Бутізан Авант 50 % к.с. (2,0 л/га), інсектицида Коннект 112,5 (0,5 л/га), фунгіцида Карамба Турбо в. р. (0,8 л/га) і Альтерно к. с. (0,7 л/га).

За вирощування ріпака озимого у варіанті удобрення $N_{35}P_{100}K_{140} + N_{100}$ + Бортрак (2,5 л/га) + Брасітел (2,5 л/га), отримано дещо нижчу врожайність – 2,95 т/га.

Таблиця 2

**Урожайність ріпаку озимого за різних варіантів удобрення
(середнє за 2024–2025 рр.)**

Варіанти удобрення, А	Позакореневе підживлення, В	Урожайність, т/га	Приріст урожайності до контролю	
			т/га	%
A ₁ Контроль (без добрив)	B ₁	1,09	–	–
	B ₂	1,18	0,09	8,26
	B ₃	1,30	0,21	19,27
A ₂ N ₂₀ P ₆₀ K ₈₀ + N ₅₀	B ₁	1,86	0,77	70,64
	B ₂	1,93	0,84	77,06
	B ₃	2,08	0,99	90,83
A ₃ N ₃₅ P ₁₀₀ K ₁₄₀ + N ₁₀₀	B ₁	2,77	1,68	154,13
	B ₂	2,87	1,78	163,30
	B ₃	2,95	1,86	170,64
A ₄ N ₅₀ P ₁₄₀ K ₁₉₀ + N ₁₅₀	B ₁	3,74	2,65	243,12
	B ₂	3,92	2,83	259,63
	B ₃	4,05	2,96	271,56
Нір ₀₅				
Фактор А	0,0674			
Фактор В	0,0287			
Взаємодія АВ	0,0287			

Результатами досліджень доведено, що за вирощування ріпаку озимого у варіанті контроль (без добрив) отримано найменшу врожайність – 1,09 т/га. Одержання максимальної кількості продукції за мінімальних затрат є пріоритетним та необхідним завданням сучасної аграрної науки.

Важливою умовою застосування мінеральних добрив у виробництві є їхня економічна ефективність. За основу її визначення взято приріст урожаю, отриманого завдяки внесенню добрив, а також нормативи окупності мінеральних добрив додаткової продукції.

Аналізуючи економічну ефективність вирощування ріпаку озимого за різних рівнів інтенсивності технологій вирощування можна сказати, що найвищі економічні показники забезпечив варіант удобрення N₅₀P₁₄₀K₁₉₀ + N₁₅₀ + Бортрак (2,5 л/га) + Брасітрел ПРО (2,5 л/га) (табл. 3).

Умовно-чистий прибуток становив 22,53 тис. грн., рівень рентабельності 43,5 %. Собівартість однієї тонни продукції у досліджуваних варіантах в середньому за 2024–2025 роки становила від 10,55 до 12,80 тис. грн. Витрати на вирощування ріпаку озимого за різних варіантів удобрення в середньому за роки досліджень становили від 11,51 до 51,87 тис. грн.

Таблиця 3

**Економічні показники ефективності вирощування ріпака озимого
за різних варіантів удобрення (середнє за 2024–2025 рр.)**

Варіанти удобрення, А	Позакоре- неве піджив- лення, С	Врожай- ність, т/га	Витрати на вирощу- вання тис. грн.	Собівар- тість, 1т/тис. грн.	Виручка від реалізації, тис. грн.	Умовно- чистий дохід, тис. грн.	Рента- бель- ність, %
A ₁ Контроль (без добрив)	B ₁	1,09	11,51	10,55	20,55	9,05	80,0
	B ₂	1,18	12,57	10,56	22,36	9,79	79,5
	B ₃	1,30	14,22	10,99	24,58	10,36	73,5
A ₂ N ₂₀ P ₆₀ K ₈₀ + N ₅₀	B ₁	1,86	27,86	15,03	35,36	7,49	27,5
	B ₂	1,93	28,92	15,00	37,07	7,85	27,5
	B ₃	2,08	30,57	14,67	39,68	9,11	30,0
A ₃ N ₃₅ P ₁₀₀ K ₁₄₀ + N ₁₀₀	B ₁	2,77	38,79	14,02	52,77	13,99	36,0
	B ₂	2,87	39,85	13,87	54,68	14,84	37,0
	B ₃	2,95	41,50	14,08	56,09	14,60	35,0
A ₄ N ₅₀ P ₁₄₀ K ₁₉₀ + N ₁₅₀	B ₁	3,74	49,16	13,13	70,68	21,52	44,0
	B ₂	3,92	50,22	12,82	74,08	23,56	48,0
	B ₃	4,05	51,87	12,80	76,80	24,94	48,0

Структура витрат на вирощування ріпака озимого за різного рівня інтенсивності технології показує, що найбільший процент витрат становлять добрива від 53,3 до 72,1 %, засоби захисту рослин – від 9,89 до 44,6 %, паливо-мастильні матеріали – від 7,9 до 32,5 %.

Обговорення. Отримані результати досліджень підтверджують вагому роль мінерального живлення у формуванні продуктивності ріпака озимого. Низькі показники структури врожаю та врожайності на контролі (1,09 т/га) зумовлені недостатнім забезпеченням рослин елементами живлення, що обмежувало формування генеративних органів.

Застосування мінеральних добрив у поєднанні з позакореновими підживленнями сприяло покращенню структурних елементів урожаю, зокрема збільшенню кількості стручків на рослині, насінин у стручку та маси 1000 насінин. Найвищі показники (132,5 шт. стручків на рослині, 21,1 насінин у стручку, маса 1000 насінин – 4,01 г) та врожайність 4,05 т/га отримано за варіанту N₅₀P₁₄₀K₁₉₀ + N₁₅₀ у поєднанні з позакореновим підживленням, що свідчить про ефективність інтегрованого підходу до живлення рослин.

Аналогічна тенденція простежувалася і в економічних показниках: найбільший умовно-чистий прибуток (22,53 тис. грн/га) та рівень рентабельності (43,5 %) забезпечив варіант із комплексним застосуванням добрив і засобів захисту рослин. Водночас підвищення інтенсивності технології супроводжувалося зростанням витрат, у структурі яких найбільшу частку займали добрива.

Отже, поєднання мінерального удобрення та позакоренового підживлення є ефективним заходом підвищення врожайності та економічної ефективності вирощування ріпака озимого за умов Передкарпаття.

Висновки. Встановлено вплив удосконалених елементів технологій вирощування на формування потенціалу продуктивності ріпака озимого на рівні 2,5–5,8 т/га за рахунок збільшення порівняно з контролем (без добрив) кількості стручків на рослині від 34,3 до 156,6 %, насінин у стручку від 4,5 до 16,8 %, маси 1000 насінин від 2,12 до 6,43 %.

Удосконалені елементи технології вирощування ріпака озимого забезпечили приріст урожаю порівняно з контролем (без добрив) від 0,77 до 2,96 т/га, або від 70,64 до 271,56 %.

Найвищу врожайність насіння ріпака озимого 4,05 т/га отримано за вирощування у варіанті удобрення $N_{50}P_{140}K_{190} + N_{150}$ + Бортрак 150 (2,5 л/га) + Брасітрел ПРО (2,5 л/га), що становило 271,5 % до контролю (без добрив).

Собівартість однієї тонни продукції у досліджуваних варіантах становила від 10,55 до 12,80 тис. грн., умовно чистий прибуток від 9,05 до 24,94 тис. грн., рівень рентабельності від 27,5 до 80,0 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Агротехнологічні основи вирощування насіння ріпаку озимого в умовах Західного Лісостепу України : монографія / Волощук І. С. та ін. Львів : СПОЛОМ, 2017. 212 с.
2. Вирощування ріпака озимого в сівозмінах короткої ротації за різних систем живлення / Стельмах О. М. та ін. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 133. С. 151–159.
3. Волощук О. П., Волощук І. С., Косовська Р. Ю. Продуктивність сортів та гібридів ріпаку озимого вітчизняної й зарубіжної селекції. *Посібник українського хлібороба*. 2012. Т. 2. С. 283–284.
4. Григорів Я. Я. Озимий ріпак: як сягнути максимуму. *Зерно*. 2018. № 8. С. 66–67.
5. Дударчук І. С., Петренко Т. С., Мисковець К. В. Вплив рівня удобрення та строків сівби на урожайність ріпаку озимого. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2014. Вип. 21. С. 73–79.
6. Забарний О. С., Забарна Т. А. Вплив погодних умов на перезимівлю ріпаку озимого. *Корми і кормовиробництво*. 2023. Вип. 95. С. 97–107. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202395-08>
7. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Ріпак. 2-ге вид. Львів : Українські технології, 2010. 124 с.
8. Методика проведення експертизи сортів рослин групи олійних культур. Київ, 2020. 169 с.
9. Петриченко В. Ф., Кургак В. Г., Рибак С. П. Біоенергетичний потенціал луків України. Київ, 2014. С. 143–145.
10. Поляков О. І., Вахненко С. В., Нікітенко О. В. Формування врожайності ріпаку озимого залежно від удобрення. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2016. Вип. 23. С. 143–148.
11. Савчук Ю. М., Антоненко О. Ф. Урожайність ріпаку озимого залежно від технології. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 2. С. 20–27.
12. Сендецький І. В. Вплив норм висіву на продуктивність ріпаку озимого. *Збірник наукових праць*. 2019. С. 195–197.
13. Сендецький В. М., Мельничук Т. В., Сендецький І. В. Продуктивність ріпаку озимого. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 131. С. 188–195. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.24>
14. Стельмах О. М., Кифорук І. М., Григорів Я. Я. Урожайність та якість насіння ріпаку озимого. *Вісник Львівського НАУ*. 2021. Вип. 25. С. 125–131. <https://doi.org/10.31734/agronomy2021.01.125>
15. Татаріко Ю. О. Енергетична оцінка систем землеробства. Київ : Нора-Прінт, 2021. 380 с.
16. Титко Р., Калініченко В. Відновлювані джерела енергії. Варшава : QWG, 2010.
17. Ткачук О. П., Разанов С.Ф., Банул С.О. Наукові принципи підбору сортів і гібридів ріпаку озимого. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 7. С. 175–181. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.19/>

18. Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Статистичний аналіз результатів польових дослідів. Херсон : Айлант, 2013. 378 с.
19. Фурманець О. А. Продуктивність ріпаку озимого. Таврійський науковий вісник. 2021. № 121. С. 109–114. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.121.15>
20. Harker K. N., O'Donovan J. T., Blackshaw R. E. et al. Seeding depth and speed effects on canola. *Canadian Journal of Plant Science*. 2012. Vol. 92. P. 795–802.
21. Hryhoriv Y., Lyshenko M., Butenko A. et al. Competitiveness of *Camelina sativa*. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. Vol. 24(4). P. 97–103. <https://doi.org/10.12912/27197050/161956>
22. Hryhoriv Y., Butenko Y., Kabanets V. et al. Prospects of energy crops. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2024. Vol. 25(5). P. 191–197. <https://doi.org/10.12912/27197050/185710>
23. Hryhoriv Y., Dmytrash T., Butenko A. et al. Efficiency of fertilizers and biostimulants. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2026. Vol. 27(2). P. 417–423. <https://doi.org/10.12912/27197050/217562>
24. Kefale H. et al. Metabolomic insights into stress responses of oilseed crops. *Physiologia Plantarum*. 2024. Vol. 176(6). <https://doi.org/10.1111/ppl.14596>
25. Klatt B. K., de La Vega B., Smith H. G. Winter conditions and oilseed rape yield. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2021. Vol. 5. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100160>

Дата першого надходження статті до видання: 25.06.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 633.34:631.53.027:631.811.98 (477.7)

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.25>

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ІНОКУЛЯЦІЇ СОРТІВ СОЇ В УМОВАХ ПІВДЕННОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ

Угрін О.М. – аспірант,

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0009-0002-0710-5852

Біднина І.О. – к.с.-г.н.,

старший науковий співробітник,

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0000-0001-8351-2519

В умовах сучасних кліматичних змін одним із ключових напрямів підвищення ефективності виробництва сої є впровадження біологічних технологій, спрямованих на активізацію природних процесів азотфіксації, покращення живлення рослин та підвищення їх адаптивності до абіотичних стресів. Передпосівна інокуляція насіння комплексними мікробними препаратами є екологічно безпечним і економічно доцільним агротехнологічним заходом, який сприяє формуванню високоефективного симбіотичного апарату, оптимізації мікробіологічних процесів у ризосфері та забезпечує стабільне підвищення врожайності культури. Водночас оцінка ефективності таких препаратів має базуватися не лише на показниках продуктивності, а й на комплексному аналізі їх агробіологічної та економічної доцільності. Метою дослідження було провести комплексну оцінку агробіологічної, продукційної та економічної ефективності передпосівної інокуляції сортів сої Софія і Монарх. Польові дослідження виконували у Херсонській області протягом 2023–2025 рр. У досліді порівнювали контрольний варіант, застосування препарату РизобінК та його композицій із *Bacillus velezensis* IMB B-8134, *Pseudomonas* sp. 6 і *Bacillus megaterium* УКМ B-5724. Економічну ефективність визначали на основі фактичних виробничих витрат, розрахованих відповідно до технологічних карт вирощування культури, з подальшою оцінкою рівня беззбитковості, рентабельності та розрахунком інтегрального економічного індексу.

Встановлено, що використання мікробних композицій супроводжувалося незначним збільшенням виробничих витрат – лише на 2,77–3,16 %, що свідчить про високу економічну доступність запропонованого агрозаходу. Найвищі показники ефективності забезпечила композиція РизобінК + *Bacillus velezensis* IMB B-8134, за використання якої урожайність зерна досягла 3,73 т/га у сорту Софія та 2,50 т/га у сорту Монарх. За цих умов умовно чистий прибуток становив відповідно 37,31 та 16,40 тис. грн/га, рівень рентабельності – 143,0 і 62,8 %, а окупність додаткових витрат – 13,83 та 9,57 грн на 1 грн додаткових вкладень. Композиція РизобінК + *Bacillus velezensis* IMB B-8134 мала найвищий інтегральний економічний індекс в обох сортів та забезпечувала найбільшу прибутковість за прогнозованої ціни реалізації зерна сої 16–18 тис. грн/т. Отримані результати свідчать, що саме ця композиція є найбільш перспективною для широкого виробничого впровадження, оскільки забезпечує оптимальне поєднання агробіологічної, продукційної та економічної ефективності, сприяючи підвищенню конкурентоспроможності технології вирощування сої в умовах кліматичних змін.

Ключові слова: соя, Софія, Монарх, інокуляція, урожайність, економічна ефективність, інтегральний індекс.



© Угрін О.М., Біднина І.О., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

Uhrin O.M., Bidhyna I.O. Comprehensive assessment of pre-sowing seed inoculation efficiency in modern soybean varieties under the conditions of the Southern region of Ukraine

In the conditions of modern climate change, one of the key areas for increasing the efficiency of soybean production is the introduction of biological technologies aimed at activating the natural processes of nitrogen fixation, improving plant nutrition and increasing their adaptability to abiotic stresses. Pre-sowing inoculation of seeds with complex microbial preparations is an environmentally safe and economically feasible agrotechnological measure that contributes to the formation of a highly productive symbiotic apparatus, optimization of microbiological processes in the rhizosphere and ensures a stable increase in crop yield. At the same time, the assessment of the effectiveness of such preparations should be based not only on productivity indicators, but also on a comprehensive analysis of their agrobiological and economic feasibility. The aim of this study was to comprehensively evaluate the biological, productive, and economic efficiency of pre-sowing seed inoculation of the soybean cultivars Sofia and Monarch. Field experiments were conducted in the Kherson region of Ukraine during 2023–2025. The control treatment, RyzobinK, and its combinations with *Bacillus velezensis* IMV B-8134, *Pseudomonas* sp. 6, and *Bacillus megaterium* UCM B-5724 were compared. Economic efficiency was evaluated based on production costs, cost of production, conventional net profit, profitability, return on additional investment, and break-even indicators. An integrated economic index was also developed. The total cost of inoculation increased production costs by only 2.77–3.16%. The RyzobinK + *B. velezensis* treatment produced the best results, achieving grain yields of 3.73 t ha⁻¹ for the cultivar Sofia and 2.50 t ha⁻¹ for Monarch, conventional net profits of 37.31 and 16.40 thousand UAH ha⁻¹, profitability levels of 143.0% and 62.8%, and returns on additional investment of 13.83 and 9.57 UAH per UAH invested, respectively. This treatment ranked first according to the integrated economic index for both cultivars and maintained its economic advantage at soybean market prices of 16–18 thousand UAH t⁻¹. The RyzobinK + *Bacillus velezensis* IMV B-8134 combination is recommended as the preferred option for commercial soybean production because it provides the most balanced combination of biological, productive, and economic efficiency.

Key words: soybean, Sofia, Monarch, RyzobinK, *Bacillus velezensis*, *Pseudomonas*, *Bacillus megaterium*, yield, production cost, profit, profitability, integrated index.

Постановка проблеми. Підвищення ефективності вирощування сої в Південному регіоні України потребує технологічних рішень, які забезпечують стабільну реалізацію потенціалу сортів за високих температур, нерівномірного зволоження та зростання вартості матеріально-технічних ресурсів. Передпосівна інокуляція насіння є одним із найбільш доступних засобів біологізації технології, проте її виробничу доцільність не можна обґрунтувати лише окремим показником. Для науково обґрунтованого вибору оптимального інокуляційного варіанта необхідне комплексне оцінювання розвитку симбіотичного апарату, реакції ризосферної мікробіоти, показників урожайності та якості насіння, а також економічної доцільності застосування біопрепаратів. У сучасних дослідженнях дедалі більшої уваги приділяють застосуванню композицій мікробних інокулянтів, у яких *Bradyrhizobium* забезпечує специфічний симбіоз і біологічну фіксацію азоту, а бактерії родів *Bacillus*, *Priestia* та *Pseudomonas* забезпечують стимулювання розвитку кореневої системи, мобілізацію фосфору, регуляцію гормонального балансу, підвищують стійкість до стресових чинників і продуктивність рослин [2–8]. Водночас результативність таких мікробних композицій є штам-, сорто- та середовищно-специфічною, тому їх виробниче впровадження потребує регіональної перевірки конкретних комбінацій за системою біологічних, продукційних та економічних критеріїв. Актуальність роботи зумовлена необхідністю науково обґрунтованого добору мікробних інокулянтів для сучасних сортів сої, вирощуваних за високих температур, нерівномірного зволоження у Південному регіоні України на фоні зростання вартості матеріально-технічних ресурсів. Практична цінність інокуляційної комбінації визначається не лише здатністю посилювати бобово-ризобіальний симбіоз, а й стабільністю трансформації біологічного ефекту

взаємодії в приріст урожайності, поліпшення якості насіння та підвищення економічної ефективності технології. Тому комплексне порівняння РизобінуК і його композицій із *Bacillus velezensis* IMB B-8134, *Pseudomonas sp. 6* та *Bacillus megaterium* УКМ B-5724 за узгодженою системою біологічних, продукційних і економічних показників є необхідною передумовою розроблення обґрунтованих рекомендацій для регіонального виробництва сої.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз польових досліджень і масштабна виробнича валідація підтвердили, що сумісне застосування ризобіальних і асоціативних рістстимулювальних бактерій здатне підвищувати врожайність сої, однак амплітуда реакції рослин істотно залежить від генотипу, ґрунтових умов, погодних чинників і способу застосування препаратів [4, 5]. Дослідження взаємодії *Bradyrhizobium* із *Pseudomonas* засвідчили можливість одночасного посилення симбіотичної ефективності, мінерального живлення та насіннєвої продуктивності [6]. Для представників *Bacillus* і *Priestia* доведено здатність стимулювати бульбочкоутворення, підвищувати доступність фосфору та поліпшувати окремі елементи продуктивності сої [7, 8, 12]. Економічна доцільність застосування інокуляції визначається співвідношенням між додатковими витратами та вартістю приросту товарної продукції. Встановлено, що композиція РизобінК + *Bacillus velezensis* IMB B-8134 забезпечувала найкраще поєднання собівартості, умовно чистого прибутку й рентабельності. У вітчизняних роботах ефективність інокуляції переважно оцінюють за урожайністю, собівартістю та рентабельністю [1]. Значно рідше поєднують агробіологічні, продукційні та економічні індикатори в єдиній системі ранжування. Тому виникає необхідність встановити, чи зберігається перевага окремої мікробної композиції за різних критеріїв, сортів і сценаріїв ціни реалізації, а також визначити запас фінансової стійкості технології.

Формулювання цілей статті. Провести комплексну оцінку агробіологічної, продукційної та економічної ефективності передпосівної інокуляції сортів сої Софія і Монарх препаратом РизобіномК та його композиціями з *Bacillus velezensis* IMB B-8134, *Pseudomonas sp. 6* і *Bacillus megaterium* УКМ B-5724 в умовах Південного регіону України.

Виклад основного матеріалу. Польові дослідження проводили впродовж 2023–2025 рр. у Херсонській області на дослідних полях Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН на темно-каштановому ґрунті. Дослід закладали за двофакторною схемою: фактор А – сорти сої (ранньостиглий Софія, скоростиглий Монарх); фактор В – передпосівна інокуляція насіння (контроль без обробки; РизобінК; РизобінК + *Bacillus velezensis* IMB B-8134; РизобінК + *Pseudomonas sp. 6*; РизобінК + *Bacillus megaterium* УКМ B-5724).

Агробіологічний блок досліджень охоплював визначення кількості і маси бульбочок у фазах гілкування та утворення бобів, а також чисельності целюлозоруйнівних мікроорганізмів у шарах ґрунту 0–20 і 20–40 см. Продукційний блок показників включав урожайність, вміст і збір білка та жиру. Первинні методики польових, лабораторних і статистичних визначень відповідали методиці польового досліджу [9].

Економічні розрахунки виконано на основі технологічних карт за цінами станом на 01.01.2026 р. Базові виробничі витрати контрольного варіанта визначені на рівні 25,30 тис. грн/га. Додаткові витрати на застосування РизобінуК становили 0,700 тис. грн/га; для композицій препаратів їх визначали шляхом обліку фактичних витрат, які складали 0,799 тис. грн/га для РизобінК + *B. velezensis*, 0,729 тис. грн/га для РизобінК + *Pseudomonas sp. 6* і 0,748 тис. грн/га для

РизобінК + *B. megaterium*. Розрахункову ціну реалізації насіння сої прийнято на рівні 17,0 тис. грн/т. Додатково проведено аналіз чутливості за цін 16,0 і 18,0 тис. грн/т.

Інтегральну економічну оцінку досліджуваних варіантів здійснювали за п'ятьма критеріями з урахуванням їх вагових коефіцієнтів: умовно чистий прибуток (0,30), рівень рентабельності (0,25), собівартість продукції (0,20), окупність додаткових витрат (0,15) та запас фінансової стійкості (0,10). Показники нормували методом min-тах окремо в межах кожного сорту. Для стимуляторів застосовували пряме нормування, для собівартості – зворотне. Інтегральний економічний індекс подано у шкалі 0–100 балів.

Комплексний аналіз показав, що агробіологічна й господарська результативність інокуляції не завжди збігалася за окремими показниками. Композиція з *Pseudomonas sp.* 6 забезпечувала найвиразніше поліпшення окремих елементів структури врожаю, а *B. megaterium* – високі значення окремих мікробіологічних і симбіотичних характеристик. Водночас композиція з *B. velezensis* IMB B-8134 найстабільніше поєднувала максимальний розвиток бульбочкового апарату з найвищою фактичною урожайністю та збором білка й жиру в обох сортах. Для кількісного обґрунтування економічної віддачі передпосівної інокуляції насамперед проаналізовано структуру виробничих витрат, що наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Розрахункові виробничі витрати на вирощування сучасних сортів сої залежно від передпосівної інокуляції насіння, середнє за 2023–2025 рр.

Варіант інокуляції	Базові виробничі витрати, тис. грн/га	Додаткові витрати на інокуляцію, тис. грн/га	Сукупні виробничі витрати, тис. грн/га	Приріст до контролю, %
Контроль, без обробки	25,300	–	25,300	–
РизобінК	25,300	0,700	26,000	2,77
РизобінК + <i>B. velezensis</i> IMB B-8134	25,300	0,799	26,099	3,16
РизобінК + <i>Pseudomonas sp.</i> 6	25,300	0,729	26,029	2,88
РизобінК + <i>B. megaterium</i> УКМ B-5724	25,300	0,748	26,048	2,96

Як свідчать дані табл. 1, різниця між композиційними варіантами за сукупними виробничими витратами не перевищувала 0,070 тис. грн/га, а збільшення витрат порівняно з контролем становило 2,77–3,16 %. Отже, економічна результативність технології визначалася передусім не абсолютною вартістю мікробного компонента, а його здатністю забезпечити достатній приріст урожайності. Найбільш витратна композиція з *B. velezensis* потребувала лише на 0,099 тис. грн/га більше, ніж моноінокуляція РизобіномК.

Комплекс основних показників економічної ефективності вирощування сортів сої Софія і Монарх узагальнено в таблиці 2.

Дані таблиці 2 свідчать, що вирощування сої сорту Софія було прибутковим за всіх варіантів, а найвищий умовно чистий прибуток – 37,3 тис. грн/га було одержано за застосування РизобінК + *B. velezensis*. Порівняно з контролем цей показник зростав на 10,3 тис. грн/га, собівартість 1 т насіння знижувалася на 1,2 тис. грн, а рівень рентабельності підвищувався на 36,0 відсоткового пункту.

Варіанти з РизобіномК, *Pseudomonas* sp. 6 і *B. megaterium* формували близькі значення умовно чистого прибутку – 33,9–33,3 тис. грн/га, що відображає подібний рівень їх урожайності.

Таблиця 2

**Економічна ефективність вирощування сортів сої
залежно від передпосівної інокуляції насіння, середнє за 2023–2025 рр.**

Варіант	Урожай- ність, т/га	Вартість валової продукції, тис. грн/га	Виробничі витрати, тис. грн/га	Собівар- тість 1 т насіння, тис. грн	Умовно чистий прибуток, тис. грн/га	Рівень рента- бель- ності, %
Сорт Софія						
Контроль	3,08	52,4	25,3	8,21	27,1	107
РизобінК	3,47	59,0	26,0	7,49	32,9	127
РизобінК + <i>B. velezensis</i>	3,73	63,4	26,1	7,00	37,3	143
РизобінК + <i>Pseudomonas</i> sp. 6	3,47	59,0	26,0	7,50	33,0	127
РизобінК + <i>B. megaterium</i>	3,49	59,3	26,0	7,46	33,2	128
Сорт Монарх						
Контроль	2,05	34,9	25,3	12,3	9,6	37,7
РизобінК	2,19	37,2	26,0	11,9	11,2	43,2
РизобінК + <i>B. velezensis</i>	2,50	42,5	26,1	10,4	16,4	62,8
РизобінК + <i>Pseudomonas</i> sp. 6	2,27	38,6	26,0	11,5	12,6	48,3
РизобінК + <i>B. megaterium</i>	2,24	38,1	26,1	11,6	120,0	46,2

За вирощування сої сорту Монарх абсолютні економічні показники були нижчими через меншу урожайність. Водночас, відповідно до таблиці 2, композиція з *B. velezensis* збільшувала умовно чистий прибуток із 9,55 до 16,40 тис. грн/га, знижувала собівартість із 12,34 до 10,44 тис. грн/т і підвищувала рівень рентабельності з 37,7 до 62,8 %. Отже, перевага цієї композиції зберігалася незалежно від продуктивного потенціалу сорту. Для відокремлення ефекту саме заходу інокуляції від загальної прибутковості технології розраховано додаткову економічну віддачу відносно контролю (табл. 3).

Як видно з табл. 3, окупність додаткових виробничих витрат була позитивною в усіх варіантах з інокуляцією насіння сої. У сорту Софія вона становила 9,09–13,83 грн додаткової вартості валової продукції на 1 грн додаткових витрат, у сорту Монарх – 3,40–9,57 грн/грн. Максимальне значення в обох сортів забезпечила композиція з *B. velezensis*. Її перевага формувалася не за рахунок зменшення витрат, а внаслідок найбільшого приросту урожайності – 0,65 т/га у сорту Софія та 0,45 т/га у – Монарха.

Стійкість одержаного економічного результату за зміни ціни реалізації оцінено за трьома сценаріями (табл. 4).

Таблиця 3

**Додатковий економічний ефект застосування мікробних інокулянтів,
середнє за 2023–2025 рр.**

Варіант	Приріст урожай- ності, т/га	Додаткові			Окупність додаткових виробничих витрат, грн/грн
		вартість валової продукції, тис. грн/га	виробничі витрати, тис. грн/га	умовно чистий прибуток, тис. грн/га	
Сорт Софія					
РизобінК	0,39	6,630	0,700	5,930	9,47
РизобінК + B. velezensis	0,65	11,050	0,799	10,251	13,83
РизобінК + Pseudomonas sp. 6	0,39	6,630	0,729	5,901	9,09
РизобінК + B. megaterium	0,41	6,970	0,748	6,222	9,32
Сорт Монарх					
РизобінК	0,14	2,380	0,700	1,680	3,40
РизобінК + B. velezensis	0,45	7,650	0,799	6,851	9,57
РизобінК + Pseudomonas sp. 6	0,22	3,740	0,729	3,011	5,13
РизобінК + B. megaterium	0,19	3,230	0,748	2,482	4,32

Таблиця 4

**Чутливість умовно чистого прибутку до зміни ціни реалізації насіння сої,
середнє за 2023–2025 рр.**

Варіант	Умовно чистий прибуток (тис. грн/га) за ціни		
	16,0 тис. грн/т	17,0 тис. грн/т	18,0 тис. грн/т
Сорт Софія			
Контроль	23,98	27,06	30,14
РизобінК	29,52	32,99	36,46
РизобінК + <i>B. velezensis</i>	33,58	37,31	41,04
РизобінК + <i>Pseudomonas sp. 6</i>	29,49	32,96	36,43
РизобінК + <i>B. megaterium</i>	29,79	33,28	36,77
Сорт Монарх			
Контроль	7,50	9,55	11,60
РизобінК	9,04	11,23	13,42
РизобінК + <i>B. velezensis</i>	13,90	16,40	18,90
РизобінК + <i>Pseudomonas sp. 6</i>	10,29	12,56	14,83
Монарх – РизобінК + <i>B. megaterium</i>	9,79	12,03	14,27

Результати сценарного аналізу засвідчили, що всі варіанти залишалися прибутковими за ціни 16,0–18,0 тис. грн/т. Ранжування технологій не змінювалося: композиція з *B. velezensis* забезпечувала максимальний умовно чистий прибуток

у кожному сценарії. За мінімальної ціни її перевага над контролем становила 9,60 тис. грн/га у сорту Софія та 6,40 тис. грн/га – у Монарха, що підтверджує стійкість висновку до зміни ринкової кон'юнктури.

Для оцінювання меж економічної безпеки технології визначено показники беззбитковості (табл. 5).

Таблиця 5

**Граничні показники беззбитковості вирощування сортів сої
залежно від передпосівної інокуляції насіння**

Варіант	Ціна беззбитковості, тис. грн/т	Урожайність беззбитковості, т/га	Запас урожайності, т/га	Запас фінансової стійкості, %
Сорт Софія				
Контроль	8,21	1,49	1,59	51,7
РизобінК	7,49	1,53	1,94	55,9
РизобінК + <i>B. velezensis</i>	7,00	1,54	2,19	58,8
РизобінК + <i>Pseudomonas</i> sp. 6	7,50	1,53	1,94	55,9
РизобінК + <i>B. megaterium</i>	7,46	1,53	1,96	56,1
Сорт Монарх				
Контроль	12,34	1,49	0,56	27,4
РизобінК	11,87	1,53	0,66	30,2
РизобінК + <i>B. velezensis</i>	10,44	1,54	0,96	38,6
РизобінК + <i>Pseudomonas</i> sp. 6	11,47	1,53	0,74	32,6
РизобінК + <i>B. megaterium</i>	11,63	1,53	0,71	31,6

За результатами розрахунків, найнижчу ціну беззбитковості та найбільший запас фінансової стійкості за вирощування обох сортів встановлено за композиції РизобінК + *B. velezensis*. Для сорту Софія ціна беззбитковості становила 7,00 тис. грн/т, а запас фінансової стійкості – 58,8 %; для Монарха – відповідно 10,44 тис. грн/т і 38,6 %. Отже, цей варіант не лише максимізував умовно чистий прибуток, а й знижував ризик збитковості за несприятливого зменшення ціни реалізації або урожайності.

Сукупну дію економічних критеріїв узагальнено за допомогою інтегрального індексу (табл. 6).

Інтегральна оцінка економічної ефективності дала змогу усунути однобічність ранжування за окремим показником. За вирощування сої сорту Софія друге місце посіла композиція з *B. megaterium*, тоді як у Монарха – композиція з *Pseudomonas* sp. 6. Це відображає сортоспецифічність реакції та підтверджує, що вибір альтернативного інокулянта залежить від генотипу. Водночас РизобінК + *B. velezensis* отримав 100 балів у двох сортів, оскільки одночасно забезпечував максимальні значення умовно чистого прибутку, рентабельності, окупності та фінансової стійкості за найнижчої собівартості.

Нами було узагальнено сортові індекси і практичну інтерпретацію рейтингу досліджуваних варіантів (табл. 7).

Рейтингування підтвердило, що композиція РизобінК + *B. velezensis* IMB В-8134 була єдиним варіантом, який посідав перше місце незалежно від сорту сої та групи критеріїв. Її перевага мала системний характер: максимальні показники бульбачкового апарату поєднувалися з найвищою урожайністю сої, збором білка й жиру та найкращими економічними показниками. Композиція з *Pseudomonas*

sp. 6 посіла друге місце завдяки виразнішій реакції на неї сорту Монарх, тоді як *B. megaterium* був дещо ефективнішим за обробки насіння сорту Софія.

Таблиця 6

**Інтегральна оцінка економічної ефективності варіантів
передпосівної інокуляції насіння сортів сої**

Сорт, варіант	Умовно чистий прибуток, тис. грн/га	Рівень рентабе- льності, %	Собівар- тість 1 т насіння, тис. грн	Окупність додаг- кових витрат, грн/грн	Запас фінан- сової стійкості, %	Інтегра- льний індекс, балів	Місце
Софія – контроль	27,06	107,0	8,21	0,00	51,7	0,0	5
Софія – РизобінК	32,99	126,9	7,49	9,47	55,9	59,2	3
Софія – РизобінК + <i>B. velezensis</i>	37,31	143,0	7,00	13,83	58,8	100,0	1
Софія – РизобінК + <i>Pseudomonas</i> sp. 6	32,96	126,6	7,50	9,09	55,9	58,4	4
Софія – РизобінК + <i>B. megaterium</i>	33,28	127,8	7,46	9,32	56,1	61,3	2
Монарх – контроль	9,55	37,7	12,34	0,00	27,4	0,0	5
Монарх – РизобінК	11,23	43,2	11,87	3,40	30,2	25,6	4
Монарх – РизобінК + <i>B. velezensis</i>	16,40	62,8	10,44	9,57	38,6	100,0	1
Монарх – РизобінК + <i>Pseudomonas</i> sp. 6	12,56	48,3	11,47	5,13	32,6	45,6	2
Монарх – РизобінК + <i>B. megaterium</i>	12,03	46,2	11,63	4,32	31,6	37,3	3

Таблиця 7

**Узагальнений рейтинг економічної ефективності варіантів
передпосівної інокуляції за двома сортами сої**

Варіант інокуляції	Економіч- ний індекс сорт Софія, балів	Економіч- ний індекс сорт Монарх, балів	Середній індекс, балів	Місце	Рекомендо- ваний напрям викорис- тання
Варіант інокуляції	Економічний індекс, балів			Місце	Рекомендований напрям використання
	сорт Софія	сорт Монарх	середнє		
РизобінК + <i>B. velezensis</i> IMB B-8134	100,0	100,0	100,0	1	Універсальний пріоритетний варіант
РизобінК + <i>Pseudomonas</i> sp. 6	58,4	45,6	52,0	2	Доцільний для посилення генеративної продуктивності
РизобінК + <i>B. megaterium</i> УКМ B-5724	61,3	37,3	49,3	3	Стабільний біологізований варіант
РизобінК	59,2	25,6	42,4	4	Базова ризобіальна інокуляція
Контроль	0,0	0,0	0,0	5	Відсутність додаткового біологічного впливу

При вирощуванні сої з метою максимізації урожайності, умовно чистого прибутку та стійкості економічного результату, пріоритетним є застосування РизобінК + *B. velezensis* IMB B-8134. За прийнятої ціни 17,0 тис. грн/т ця композиція забезпечувала додатковий умовно чистий прибуток 10,25 тис. грн/га за вирощування сорту Софія та 6,85 тис. грн/га – сорту Монарх, тоді як додаткові виробничі витрати становили лише 0,799 тис. грн/га. Встановлено, що використання РизобінК без додаткового бактеріального компонента залишається економічно доцільним базовим варіантом, особливо за обмеженого доступу до комплексних препаратів. Проте його перевага над контролем була істотно меншою, насамперед у сорту Монарх. Композицію з *Pseudomonas sp.* 6 доцільно розглядати як сорто-специфічний варіант для посилення генеративної продуктивності, а *B. megaterium* УКМ B-5724 – як перспективний компонент біологізованих систем, спрямованих на підтримання активності ризосферної мікробіоти й стабільної продуктивності.

Висновки. Комплексний аналіз агробіологічних, продукційних та економічних показників засвідчив, що ефективність передпосівної інокуляції насіння сучасних сортів сої визначається не окремими параметрами, а сукупною взаємодією розвитку симбіотичного апарату, продуктивності рослин та економічної віддачі технології. Загальні виробничі витрати за інокуляційних варіантів збільшувалися порівняно з контролем лише на 2,77–3,16 %, тоді як приріст урожайності сої досягав 0,65 т/га у сорту Софія та 0,45 т/га – у Монарха. Найвищу економічну результативність забезпечила композиція РизобінК + *Bacillus velezensis* IMB B-8134. У сорту Софія умовно чистий прибуток становив 37,31 тис. грн/га, рівень рентабельності – 143,0 %, собівартість – 7,00 тис. грн/т; у сорту Монарх – відповідно 16,40 тис. грн/га, 62,8 % і 10,44 тис. грн/т. Окупність додаткових виробничих витрат на композицію з *B. velezensis* становила 13,83 грн/грн у сорту Софія та 9,57 грн/грн – у Монарха. Додатковий умовно чистий прибуток відносно контролю досягав відповідно 10,25 і 6,85 тис. грн/га. Перевага композиції з *B. velezensis* зберігалася за сценаріїв ціни реалізації 16,0–18,0 тис. грн/т. Вона забезпечувала найнижчу ціну беззбитковості та найбільший запас фінансової стійкості в обох сортах. За інтегральним економічним індексом РизобінК + *B. velezensis* отримав 100 балів у сортів Софія і Монарх. Друге місце в узагальненому рейтингу посіла композиція з *Pseudomonas sp.* 6, третє – з *B. megaterium* УКМ B-5724, що відображає сортоспецифічність їх дії. Для умов Південного регіону України композицію РизобінК + *Bacillus velezensis* IMB B-8134 доцільно рекомендувати як пріоритетний варіант передпосівної інокуляції насіння сортів Софія і Монарх, який забезпечує найкраще поєднання біологічної, продукційної та економічної ефективності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Голобородько С. П., Дубинська О. Д., Іутинська Г. О., Титова Л. В., Шевчук Н. В. Наукові основи підвищення ефективності бобово-ризобіального симбіозу рослинами сої на зрошуваних землях Південного Степу України : монографія. Одеса : ОЛДІ ПЛЮС, 2025. 162 с.
2. Szczerba A., Płazek A., Kopeć P., Wójcik-Jagła M. et al. Effect of different Bradyrhizobium japonicum inoculants on physiological and agronomic traits of soybean associated with different expression of nodulation genes. *BMC Plant Biology*. 2024. Vol. 24. Art. 1201. DOI: 10.1186/s12870-024-05911-x.
3. Omari R. A., Yuan K., Anh K. T., Reckling M., Halwani M., Egamberdieva D., Ohkama-Ohtsu N., Bellingrath-Kimura S. D. Enhanced Soybean Productivity by Inoculation With Indigenous Bradyrhizobium Strains in Agroecological Conditions of Northeast Germany. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 12. Art. 707080. DOI: 10.3389/fpls.2021.707080.

4. Barbosa J. Z., Hungria M., Sena J. V. S. et al. Meta-analysis reveals benefits of co-inoculation of soybean with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* spp. in Brazil. *Applied Soil Ecology*. 2021. Vol. 163. Art. 103913. DOI: 10.1016/j.apsoil.2021.103913.
5. Prando A. M., Barbosa J. Z., Oliveira A. B. de, Nogueira M. A., Possamai E. J., Hungria M. Benefits of soybean co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: Large-scale validation with farmers in Brazil. *European Journal of Agronomy*. 2024. Vol. 155. Art. 127112. DOI: 10.1016/j.eja.2024.127112.
6. Kumawat K. C., Singh I., Nagpal S., Sharma P., Gupta R. K., Sirari A. Co-inoculation of indigenous *Pseudomonas oryzae* and *Bradyrhizobium* sp. modulates the growth, symbiotic efficacy, nutrient acquisition, and grain yield of soybean. *Pedosphere*. 2022. Vol. 32, No. 3. P. 438–451. DOI: 10.1016/S1002-0160(21)60085-1.
7. Sibponkrung S., Kondo T., Tanaka K., Tittabutr P., Boonkerd N., Yoshida K., Teamroong N. Co-Inoculation of *Bacillus velezensis* Strain S141 and *Bradyrhizobium* Strains Promotes Nodule Growth and Nitrogen Fixation. *Microorganisms*. 2020. Vol. 8, No. 5. Art. 678. DOI: 10.3390/microorganisms8050678.
8. Marchão R. L., Silva G. C. da, Andrade S. R. M. de et al. Improving Soybean Development and Grain Yield by Complementary Inoculation with Growth-Promoting Bacteria *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Priestia*, and *Bacillus*. *Plants*. 2025. Vol. 14, No. 3. Art. 402. DOI: 10.3390/plants14030402.
9. Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Методика польового дослідження (зрошуване землеробство) : навчальний посібник. Херсон : Грін Д. С., 2014. 448 с.
10. Вожегова Р. А., Боровик В. О., Рубцов Д. К., Біднина І. О., Клубук В. В. Сучасні аспекти вирішення проблеми економії азотних добрив при вирощуванні сої в умовах зрошення. *Аграрні інновації*. 2020. № 1. С. 11–16. DOI: 10.32848/agraar.innov.2020.1.2.
11. Książak J., Bojarszczuk J. The Effect of Mineral N Fertilization and *Bradyrhizobium japonicum* Seed Inoculation on Productivity of Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agriculture*. 2022. Vol. 12, No. 1. Art. 110. DOI: 10.3390/agriculture12010110.
12. Silvestrini G. R., Rosa E. J. da, Corrêa H. C. et al. Potential Use of Phosphate-Solubilizing Bacteria in Soybean Culture. *AgriEngineering*. 2023. Vol. 5, No. 3. P. 1544–1554. DOI: 10.3390/agriengineering5030095.

Дата першого надходження статті до видання: 15.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 632.1;632.3

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.26>

ФУНГІЦИДНА РЕГУЛЯЦІЯ ЗБУДНИКІВ ХВОРОБ ЛИСТКОВОГО АПАРАТУ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ ЗА АБІОТИЧНОГО СТРЕСУ

Шендрик К.М. – к.б.н.,

доцент відділу здоров'я рослин,

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків

Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0009-0009-6044-9057

Запольська Н.М. – к.с.-г.н.,

старший науковий співробітник відділу здоров'я рослин,

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків

Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0000-0001-8356-3228

Сторожик Л.І. – д.с.-г.н.,

професорка відділу селекції і насінництва сільськогосподарських культур,

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків

Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0000-0003-1587-1477

Завгородня С.В. – д.філос.,

старший викладач кафедри рослинництва,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

orcid.org/0000-0001-9192-8821

Посуховий стрес, інтенсивність якого зростає внаслідок сучасних кліматичних змін, стає одним із ключових чинників, що обмежують продуктивність і довготривалість стабільності агрофітоценозів буряків цукрових. У відповідь на дефіцит вологи рослини активують комплекс взаємопов'язаних фізіологічних і біохімічних механізмів адаптації, спрямованих на підтримання ростових процесів та мінімізацію втрат урожаю. За ураження борошнистою росою на 14 добу показники виділення O_2 становили 16, а поглинання CO_2 – 25,2 мг/100 г/год. На 21-у добу інтенсивність виділення O_2 і поглинання CO_2 за ураження церкоспорозом становили відповідно 15,2 та 20,3 мг/100 г/год, а за ураження борошнистою росою – 15,4–20,1 мг/100 г/год відповідно. За застосування фунгіцидів Медісон 263 SC та Пропульс® 250 SE за профілактичного обприскування проти борошнистої роси спорове навантаження зменшилось у 3 рази, проти церкоспорозу у ~1,5 рази. Дворазове обприскування – до появи хвороби та через 3 тижні знизило спорове навантаження борошнистою росою на 15% та всього на 1,6 % церкоспорозом. Кількість конідій борошнистої роси на одиницю площі листової поверхні була найменшою (677 шт./м²) за застосування фунгіциду Медісон 263 SC та 859 шт./м² за застосування Пропульс® 250 SE. Конідій церкоспори відповідно 13804 та 13996 шт./м². Дворазове обприскування: після появи хвороби та через 3 тижні знизило відповідно на 6 та 1,6 %. Суттєвої різниці між дією фунгіцидів не встановлено.

У польових умовах обприскування посівів буряків цукрових фунгіцидами знизило поширеність хвороб: фунгіцид Пропульс® 250 SE, 1,2 л/га забезпечив зниження поширення церкоспорозу до 4,1 %, а розвитку плямистості до 2,3 % порівняно з контролем. Обприскування буряків цукрових фунгіцидом Медісон 263 SC, 0,4 л/га призупинило поширення та розвиток церкоспорозу до 3,8 та 1,8 %. Щодо борошнистої роси, то найбільшого поширення та розвитку встановлено у контрольному варіанті – 88,7 та 47,1 %. За



© Шендрик К.М., Запольська Н.М., Сторожик Л.І., Завгородня С.В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

застосування Пропульс® 250 SE, 1,2 л/га відмічено зниження поширеності хвороби до 6,9 %, порівняно з контролем, а розвиток хвороби знизився до 2,4 %. Застосування препарату Медісон 263 SC, 0,4 л/га призупинило ступінь розвитку борошнистої роси до 5,6 %, а поширення хвороби до 2,7 %. Урожайність коренеплодів становила 45,8 т/га – за застосування Пропульс® 250 SE, 1,2 л/га та 48,9 т/га за застосування Медісон 263 SC, 0,4 л/га, у контрольному варіанті – 35,1 т/га. У посівах, де застосовували фунгіциди, цукристість коренеплодів становила відповідно 18,3–19,1 %, збір цукру у контрольному варіанті 6,23 т/га, за використання для обприскування фунгіцидів відповідно 8,44–9,23 т/га.

Ключові слова: спорове навантаження, хвороби, дихання, фунгіциди, ефективність, урожай.

Shendryk K.M., Zapolska H.M., Storozhyk L.I., Zavgorodnia S.V. Fungicidal regulation of causes of leaf diseases of sugar beet under abiotic stress

Drought stress, the intensity of which is increasing due to modern climate change, is becoming one of the key factors limiting the productivity and long-term stability of sugar beet agrophytocenoses. In response to moisture deficiency, plants activate a complex of interrelated physiological and biochemical adaptation mechanisms aimed at maintaining growth processes and minimizing crop losses. When affected by powdery mildew, on the 14th day, the O₂ release rates were 16, and CO₂ absorption was 25.2 mg/100 g/h. On the 21st day, the intensity of O₂ release and CO₂ absorption when affected by cercosporosis were 15.2 and 20.3 mg/100 g/h, respectively, and when affected by powdery mildew, 15.4–20.1 mg/100 g/h, respectively. When using the fungicides Madison 263 SC and Propuls® 250 SE during preventive spraying against powdery mildew, the spore load decreased by 3 times, against cercosporosis by ~1.5 times. Two-time spraying – before the onset of the disease and after 3 weeks reduced the spore load of powdery mildew by 15% and only by 1.6% for cercosporosis. The number of powdery mildew conidia per unit of leaf surface area was the lowest (677 pcs./m²) when using the fungicide Madison 263 SC and 859 pcs./m² when using Propuls® 250 SE. Cercospora conidia were 13804 and 13996 pcs./m², respectively. Two-time spraying: after the onset of the disease and after 3 weeks reduced by 6 and 1.6%, respectively. No significant difference between the effects of fungicides was found. In field conditions, spraying sugar beet crops with fungicides reduced the prevalence of diseases: fungicide Propuls® 250 SE, 1.2 l/ha reduced the spread of cercospora to 4.1%, and the development of spotting to 2.3% compared to the control. Spraying sugar beet with fungicide Madison 263 SC, 0.4 l/ha stopped the spread and development of cercospora to 3.8 and 1.8%. As for powdery mildew, the highest spread and development was found in the control variant – 88.7 and 47.1%. When using Propuls® 250 SE, 1.2 l/ha, a decrease in the spread of the disease to 6.9% was noted, compared to the control, and the development of the disease decreased to 2.4%. The use of the drug Madison 263 SC, 0.4 l/ha stopped the degree of powdery mildew development to 5.6%, and the spread of the disease to 2.7%. The yield of root crops was 45.8 t/ha – when using Propuls® 250 SE, 1.2 l/ha and 48.9 t/ha when using Madison 263 SC, 0.4 l/ha, in the control variant – 35.1 t/ha. In crops where fungicides were used, the sugar content of root crops was 18.3–19.1%, respectively, the sugar yield in the control variant was 6.23 t/ha, when using fungicides for spraying, respectively 8.44–9.23 t/ha.

Key words: spore load, diseases, respiration, fungicides, efficiency, yield.

Актуальність теми дослідження. Глобальне зростання концентрації вуглекислого газу в атмосфері посилює парниковий ефект, що призводить до частіших та інтенсивніших посух. Сьогодні дефіцит вологи є головним обмежуючим чинником сталого розвитку світового сільського господарства, створюючи суттєві загрози для продовольчої безпеки. Очікується, що через подальше збільшення викидів парникових газів і непередбачуваність кліматичних умов ці виклики лише загострюватимуться [1]. Посуховий стрес порушує низку фізіологічних процесів у рослинах, що призводить до інтенсивного утворення активних форм кисню (АФК), деградації клітинних мембран. Крім того, посуха погіршує метаболізм азоту, активність ферментів, синтез білка та функцію клітинної мембрани, знижує інтенсивність фотосинтезу [2]. Адаптація рослин до несприятливих умов реалізується через складну регуляцію шляхом модуляції фізіологічних процесів та концентрації ключових метаболітів.

Постановка проблеми. Цукрові буряки (*Beta vulgaris* L.) відіграють ключову роль у світовому агропромисловому комплексі як головна сировина для цукрової промисловості в регіонах з помірним кліматом. За оцінками FAO, світовий валовий збір цієї культури перевищує 240 млн тонн, що забезпечує приблизно п'яту частину обсягів виробництва цукру на планеті [3]. Завдяки високому генетичному потенціалу щодо врожайності та цукристості, а також широким можливостям переробки, цукрові буряки мають стратегічне значення для аграрної економіки провідних держав, зокрема України, країн ЄС, США та Китаю [4]. Основними лімітуючими факторами, що визначають урожайність та якість буряків цукрових, виступають температурний режим ґрунту й повітря у ключові періоди вегетації, а також рівень забезпеченості рослин вологою, елементами живлення та елементами технології вирощування культури [5]. Під впливом тривалої посухи в буряках цукрових активуються захисні механізми, спрямовані на виживання, що обмежує їх ростовий потенціал. Висока продуктивність культури та рівень цукристості безпосередньо залежать від функціонального стану листового апарату, який забезпечує синтез цукрози та її подальше транспортування до коренеплідів [6]. Листя складає до 30% маси рослини, тому будь-яка патологія – чи то церкоспороз, чи борошниста роса – здатна зруйнувати продуктивність посівів у найкоротші терміни [7]. Стан листового апарату критично важливий, оскільки за їх відмирання рослина починає витратити накопичений у коренях цукор на відновлення зеленої маси, що завдає відчутних збитків урожайності культури. Дослідження наукової спільноти вказують, що неконтрольований церкоспороз здатний зменшити врожайність до 50%, а цукристість – до 4 % [8]. Слід відзначити, що тенденції кліматичних змін останніх десятиліть зумовили зниження поширеності таких захворювань цукрових буряків, як пероноспороз та іржа. Натомість, внаслідок помірно теплих зим спостерігається інтенсивне виживання та накопичення в ґрунті збудників хвороб, зокрема *Cercospora beticola* Sacc. та *Erysiphe communis* (Vanha) Weltzien та інших [9]. З основних підходів щодо підвищення урожайності в стресових умовах, зокрема посухи, є застосування комплексних препаратів, здатних активізувати метаболічні процеси в рослинах та підвищити їхню стійкість до абіотичних факторів [10]. Дослідження вітчизняних та закордонних науковців демонструють, що фунгіциди можуть зменшувати негативний вплив посухи на цукрові буряки не лише через контроль хвороб, а й завдяки біорегуляторним ефектам, які водночас залежать від класу діючої речовини, фази розвитку рослин та інтенсивності водного дефіциту. Важливо зазначити, що фунгіциди не усувають посуховий стрес, а лише можуть підвищувати толерантність рослин до нього. Таким чином, **метою роботи є** дослідити потенціал та ефективність сучасних фунгіцидів в умовах тривалої посухи у здатності активізувати фізіологічні процеси в рослинах буряків цукрових та підвищити їх стійкість до абіотичних факторів на фоні ураження хворобами.

Методи та матеріали та досліджень. Агроценоз буряків цукрових гібридів іноземної Daria (KWS) був сформований на дослідних полях Іванівської дослідно-селекційної станції (Сумська область, Ахтирський район) Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, яка розташована у зоні недостатнього зволоження Східного Лісостепу України, в умовах комбінованих тривалих посух та нерівномірним розподілом опадів (ГТК – 0,4–0,6). Ґрунти характеризуються найбільш сприятливими для росту й розвитку сільськогосподарських культур фізичними властивостями. Площа облікової ділянки у досліді з прояву хвороб листового апарату буряків цукрових становила 50 м² при 4-х кратній повторності. Фітопатологічні дослідження проводилися відповідно стандарту ДСТУ 6058:2008 [11].

Обліки поширення та розвитку хвороб, закономірності їх прояву проводили при з'явленні перших плям і до кінця вегетації кожні 10–15 діб. Облік розвитку церкоспорозу проводили за методикою [12]. Ефективність застосування препаратів визначали за методикою: «Методики випробування і застосування пестицидів» [13]. Визначення інтенсивності дихання листків цукрових буряків проводили методом П. Бойсен-Йенсена. Застосовували препарати: Препарат Пропульс® 250 SE (Bayer) – системно-трансламінальний фунгіцид. Діючі речовини: Флуопірам (125 г/л) та протіконазол (125 г/л), суспо-емульсія. Має подвійний механізм дії: флуопірам порушує клітинне дихання патогенів, а протіконазол блокує синтез ергостеролу, що запобігає виникненню резистентності (стійкості), що зупиняє розвиток хвороб на ранніх стадіях і захищає посіви тривалий час. Медісон® SC 263 (Bayer) – новий двокомпонентний фунгіцид із системними властивостями, має довготривалу профілактичну та лікувальну дію з фізіологічним ефектом. Тріфлосістробін впливає на дихання клітин грибів, блокуючи передачу електронів у мітохондрії, тоді як протіконазол зупиняє синтез ергостеролу, покращує фотоасиміляцію та оптимізує азотний обмін в рослині.

Результати досліджень. Інтенсивність дихання буряків цукрових за ураження грибковими захворюваннями, значно зростає, так як підвищуються енергетичні затрати на захист. Рослина витрачає велику кількість енергії (АТФ) на синтез фітоалексинів, зміцнення клітинних стінок (лігніфікація) та активацію імунних ферментів. Токсини, що виділяються патогенами (*C. beticola* виділяє церкоспорин), призводить до пошкодження мембран клітин. Для відновлення цілісності мембран клітина активує дихальні шляхи, що призводить до зростання виділення O_2 . Площа листової поверхні за ураження церкоспорозом зменшується через некрози. Це призводить до того, що рослина поглинає менше CO_2 для синтезу цукрів, ніж здорова. Точні показники залежать від ступеня ураження (бальної оцінки), температури та фази розвитку хвороби. Рослина буряків у процесі фотосинтезу поглинає CO_2 і виділяє O_2 , а от за розвитку хвороби (листя не функціонує через плями), баланс зміщується: фотосинтетичне поглинання CO_2 падає, а дихальне виділення O_2 зростає, таким чином рослина виснажується, в результаті цукристість коренеплодів різко знижується, оскільки накопичені раніше запаси цукрів витрачаються на «марне» дихання уражених тканин. За результатами наших досліджень інтенсивність дихання листків буряків цукрових змінювалось не одразу після ураження грибами, а лише через 14 діб, коли міцелій патогенів поширився на 70–75 % рослини (рис. 1).

Величина виділення CO_2 збільшилася на 20 %, а поглинання O_2 – майже на 40 % і становила відповідно 16,5 та 24,2 мг/100 г/год за ураження листків церкоспорозом, що свідчить про інтенсивні зміни фізіологічних та біохімічних реакцій у рослині, викликаних спорами грибів. За ураження борошнистою росою показники виділення CO_2 становили 16, а поглинання – 25,2 мг/100 г/год. За подовження експозиції до 21-ї доби спостерігалася тенденція до зниження цих показників – інтенсивність виділення CO_2 і поглинання O_2 за ураження церкоспорозом становили відповідно 15,2 та 20,3 мг/100 г/год, а за ураження борошнистою росою – 15,4–20,1 мг/100 г/год відповідно. Водний стрес, спричинений посухою, незмінно порушує клітинний гомеостаз, що призводить до надлишкового утворення АФК, що пошкоджує мембрани, білки та ДНК, посилюючи пошкодження від посухи. Спорове навантаження конідій гриба на листках (їх кількість на одиницю площі листової поверхні) буряків цукрових є одним з показників ефективності впливу фунгіцидів на збудників церкоспорозу та борошнистої роси (табл. 1).

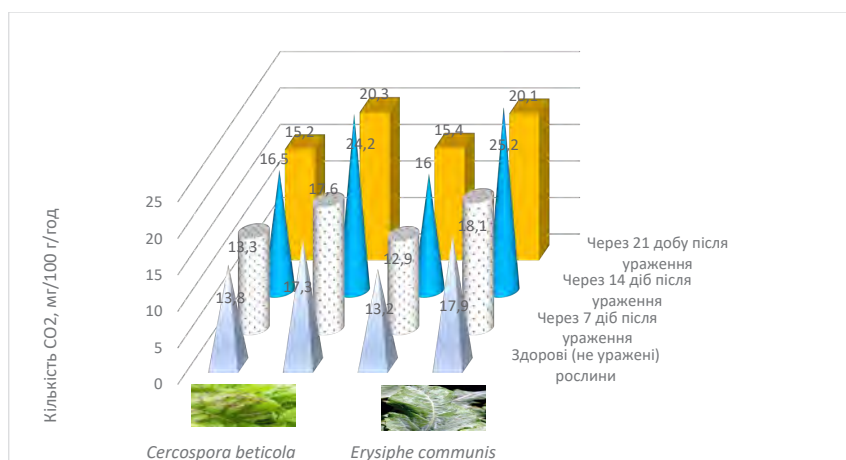


Рис. 1. Інтенсивність дихання буряків цукрових після ураження їх грибами *Erysiphe communis* Grev. f. *Betae* Poteb та *Cercospora beticola* Sacc

Таблиця 1

Проростання спор грибів збудників хвороб листкового апарату буряків цукрових за впливу досліджуваних фунгіцидів (2023–2025 рр.)

Строк і кількість обробок фунгіцидами	Кількість конідій, шт./см ²			
	<i>Cercospora beticola</i>		<i>Erysiphe communis</i>	
	Пропульс® 250 SE	Медісон® 263 SC	Пропульс® 250 SE	Медісон® 263 SC
Профілактичне – до появи хвороби	16902	16661	3765	3524
Терапевтичне – після появи хвороби	18477	18186	5340	5049
Два обприскування: – до появи хвороби та через 3 тижні	13996	13804	859	677
Два обприскування: – після появи хвороби та через 3 тижні	14919	14786	1782	1649
Контроль – обприскування водою	~23000		9863	

За результатами наших досліджень найвищий показник спорового навантаження борошнистою росою та церкоспорозом зафіксовано у контрольних варіантах – 9740 та 23000 шт. конідій / см². Застосування досліджуваних фунгіцидів на інших варіантах експерименту обмежувало їх кількість. Так, за застосування фунгіцидів Медісон 263 SC та Пропульс® 250 SE за профілактичного обприскування

проти борошнистої роси спорове навантаження зменшилось у 3 рази, проти церкоспорозу у ~1,5 рази. Після прояву хвороби відсоток спорового навантаження борошнистої роси на листову поверхню буряків цукрових знизився до 1,9 % та церкоспорозу на 1,3 %. Дворазове обприскування – до появи хвороби та через 3 тижні знизило спорове навантаження борошнистою росою на 15 % та всього на 1,6 % церкоспорозом. Кількість конідій борошнистої роси на одиницю площі листової поверхні була найменшою (677 шт./м²) за застосування фунгіциду Медісон 263 SC та 859 шт./м² за застосування Пропульс® 250 SE. Конідій церкоспори відповідно 13804 та 13996 шт./м². А дворазове обприскування: – після появи хвороби та через 3 тижні знизило відповідно на 6 та 1,6 %. Суттєвої різниці між дією фунгіцидів на встановлено.

За визначення фунгіцидної регуляції збудників хвороб листового апарату буряків цукрових хімічними препаратами Пропульс® 250 SE і Медісон® SC 263 на проростання спор грибів *Cercospora beticola* та *Erysiphe communis* у лабораторних умовах встановлено, що у грибів збудників хвороб відмічена різна чутливість по відношенню до фунгіцидів. Найбільше затримував проростання спор фунгіцид Медісон 263 SC – 15 % пророслих конідій. Дія його прояву м'яка, спрямована на стимуляцію імунітету та фізіологічних процесів самої рослини, власна фунгіцидна активність є профілактичною та стримувальною, яка не здатна повністю локалізувати інфекційне вогнище всередині тканини листка. Фунгіциди Пропульс – це спеціалізований, високотехнологічний хімічний препарат системної та мезостемної дії, який спроможний знищити патогенів, так як містять синергетичні комбінації найсильніших діючих речовин. Він блокує клітинне дихання гриба в мітохондріях, зупиняє синтез ергостеролу (основи клітинних мембран гриба), викорінюючи навіть розвинений міцелій. Конідії церкоспорозу призводять до нагромадження у коренях буряку цукрового шкідливого азоту, який під час цукроваріння збільшує вихід патоки і зменшує вихід цукру. Згідно із попередніми дослідженнями за розвитку хвороби на рівні 45–50 % цукристість коренеплодів зменшується в середньому на 2,6 %. Замість уражених листків, що відмирають, рослина утворює нові листки, втрачаючи на це велику кількість пластичних речовин. А це зумовлює недорозвиненість кореня і зменшує накопичення цукру. Розвиток церкоспорозу посилюється, якщо тривалі періоди вологої погоди змінюються посушливими періодами.

Одночасно проводився моніторинг розвитку плямистостей цукрових буряків на природному інфекційному фоні. Спостереженнями у продовж останніх років кліматичних показників засвідчили сприятливі умови для розвитку плямистостей листового апарату. Поширення церкоспорозу, борошнистої роси на буряках цукрових у зоні недостатнього зволоження становила відповідно 96,1 % та 88,7 % (рис. 2).

У польових умовах Іванівської ДСС обприскування посівів буряків цукрових фунгіцидами Пропульс® 250 SE та Медісон 263 SC забезпечувало високу ефективність контролювання поширеності та розвитку плямистостей листового апарату рослин культури. Так, поширеність хвороб у варіантах з досліджуваними препаратами суттєво знизилась: фунгіцид Пропульс® 250 SE, 1,2 л/га забезпечив зниження поширення церкоспорозу до 4,1 %, а розвитку плямистості до 2,3 % порівняно з контролем (обприскування водою), де показники становили відповідно 96,1 та 48,3 %. Обприскування буряків цукрових фунгіцидом Медісон 263 SC, 0,4 л/га призупинило поширення та розвиток церкоспорозу до 3,8 та 1,8 %. Щодо борошнистої роси, то найбільшого поширення та розвитку встановлено у контрольному варіанті – 88,7 та 47,1 %. За застосування Пропульс® 250 SE,

1,2 л/га відмічено зниження поширеності хвороби у 13 разів (до 6,9 %), порівняно з контролем, а розвиток хвороби знизився у 20 разів (до 2,4 %). Застосування препарату Медісон 263 SC, 0,4 л/га призупинило ступінь розвитку борошнистої роси у 17 разів (до 5,6 %), а поширення хвороби у 15 разів (до 2,7 %). Ефективність застосування фунгіцидів була висока проти комплексу хвороб листового апарату буряків цукрових і коливалась у межах від 95 до 97,3 % (табл. 2).

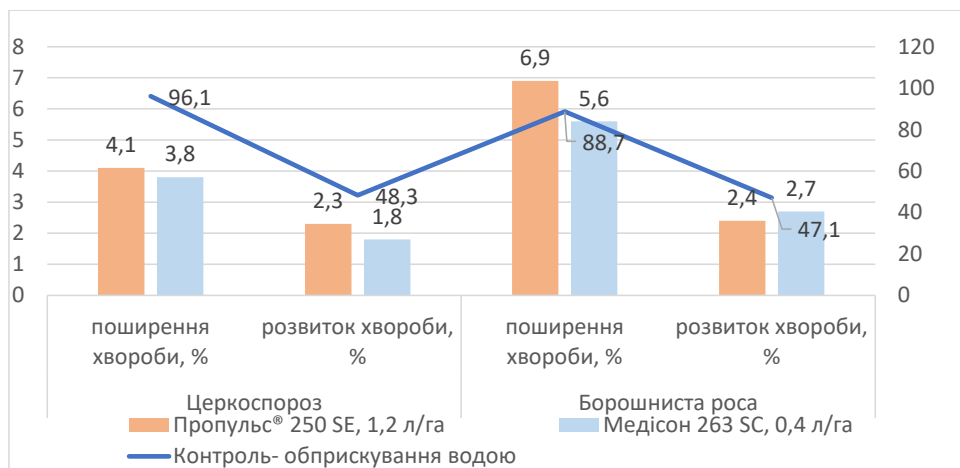


Рис. 2. Прояв та розвиток плямистостей цукрових буряків, середнє за 2023–2025 рр.

Таблиця 2

Ефективність дії препаратів на розвиток плямистостей буряків цукрових та компоненти урожайності культури, Іванівська ДСС, 2023–2025 рр.

Препарати	Хвороби		Урожайність, т/га	Цукристість, %	Збір цукру, т/га
	церкоспоров	борошниста роса			
Контроль- обприскування водою	0	0	35,1	17	6,23
Пропульс® 250 SE, 1,2 л/га	95,1	95	45,8	18,3	8,44
Медісон 263 SC, 0,4 л/га	97	97,3	48,9	19,1	9,23

Так, ефективність фунгіциду Пропульс® 250 SE, 1,2 л/га проти церкоспорозу становила 95,1 %, борошнистої роси – 95 %. Використання фунгіциду Медісон 263 SC, 0,4 л/га у посівах буряків проти плямистостей забезпечило ефективність на рівні 97 %. Буряки, що піддаються посузі, часто мають меншу сиру вагу коренів і знижену врожайність цукру (тонни цукру з гектара), оскільки зменшення вмісту біомаси та води зменшує концентрацію цукру. У наших дослідженнях урожайність коренеплодів становила 45,8 т/га – за застосування Пропульс® 250 SE, 1,2 л/га проти плямистостей листового апарату та 48,9 т/га за застосування Медісон 263 SC, 0,4 л/га, у контрольному варіанті (обприскування водою) урожайність коренеплодів становила 35,1 т/га, що в середньому на 10,7–13,8 т/га менше. Важливим аспектом є час і тривалість посухи. Буряк цукровий має певну посухостійкість

у середині сезону після формування глибокої кореневої системи. Однак тривала посуха знижує життєздатність листя та тривалість фотосинтезу [14].

У листках буряків цукрових посуховий стрес збільшує загальний розчинний цукор і вуглеводи [15, 16]. За умов уповільнення росту рослин і часткового збереження фотосинтетичної активності відбувається накопичення сахарози в листках. Проте абіотичний стрес негативно впливає на надходження цукрів до коренеплоду, оскільки одночасно знижується інтенсивність фотосинтезу, що підтверджується результатами наших досліджень: цукристість коренеплодів у контрольному варіанті становила 17 % (обприскування водою забезпечило незначну нейтралізацію стресу та надходження цукрів до кореня). У посівах, де застосовували фунгіциди, цукристість коренеплодів становила відповідно 18,3–19,1 %. Буряк цукровий спроможний адаптуватися до стресу, накопичуючи сахарозу в стрижневому корені та Na^+ у тканинах листя, які разом допомагають підтримувати клітинний водний баланс [17]. Зважаючи на вище викладене, збір цукру у наших дослідках становив у контрольному варіанті 6,23 т/га, за використання для обприскування фунгіцидів відповідно 8,44–9,23 т/га. Таким чином, після посухи цукри знову мобілізуються для росту. З іншого боку, короткі періодичні посухи з періодами відновлення (регідратації, обприскування) можуть бути частково компенсовані, оскільки листя цукрових буряків може відновити тургор, коли вода знову стане доступною.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Посуховий стрес, стає одним із ключових чинників, що обмежують продуктивність і довготривалу стабільність агрофітоценозів буряків цукрових. У відповідь на дефіцит вологи рослини активують комплекс взаємопов'язаних фізіологічних і біохімічних механізмів адаптації, спрямованих на підтримання ростових процесів та мінімізацію втрат урожаю. За поширення міцелію патогенів на 70–75 % площі листків рослини змінюється процеси поглинання CO_2 та виділення O_2 .

За застосування фунгіцидів Медісон 263 SC та Пропульс® 250 SE за профілактичного обприскування проти борошнистої роси спорове навантаження зменшилось у 3 рази, проти церкоспорозу у ~1,5 рази. Дворазове обприскування – до появи хвороби та через 3 тижні знизило спорове навантаження борошнистою росю на 15 % та всього на 1,6 % церкоспорозом. Кількість конідій борошнистої роси на одиницю площі листової поверхні була найменшою (677 шт./м²) за застосування фунгіциду Медісон 263 SC та 859 шт./м² за застосування Пропульс® 250 SE.

У польових умовах обприскування посівів буряків цукрових фунгіцидами препарат Пропульс® 250 SE, 1,2 л/га забезпечив зниження поширення церкоспорозу до 4,1 %, борошнистої роси до 6,9 %, а розвитку плямистості в середньому до 2,3 %. Обприскування буряків цукрових фунгіцидом Медісон 263 SC, 0,4 л/га призупинило поширення та розвиток церкоспорозу до 3,8 та 1,8 %, борошнистої роси до 5,6 %, а поширення хвороби до 2,7 %. Урожайність коренеплодів становила 45,8 т/га – за застосування Пропульс® 250 SE, 1,2 л/га та 48,9 т/га за застосування Медісон 263 SC, 0,4 л/га, цукристість коренеплодів становила відповідно 18,3–19,1 %, збір цукру відповідно 8,44–9,23 т/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ma, Q., Wang, R., He, F. et al. Response of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) to various-duration of drought: physiology, transcriptome, and weighted gene co-expression network analysis. BMC Plant Biology, 2026. V. 26, 488 p. <https://doi.org/10.1186/s12870-026-08297-0>

2. Saneoka H., Moghaieb Reda E.A^a, Premachandra S. Gnanasiri, Kounosuke Fujita. Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* Huds. *Environmental and Experimental Botany*. 2004. V. 52. P. 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.01.011>
3. Присяжнюк О.І., Шульга С.С. Формування продуктивності та технологічної якості буряків цукрових в умовах континентального клімату. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*, 2022, Випуск 30. С. 79-95. DOI: <https://doi.org/10.47414/np.30.2022.269736>
4. Kenter C. & Hoffmann C. Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield and quality data at different harvest dates from a multi-environmental study in Germany. *Open Data Journal for Agricultural Research*. 2025. V.11, P. 6-8. 10.18174/odjar.v11i0.18784
5. Rychcik B. & Zawislak K. Yield and Root Technological Quality of Sugar Beet Grown in Crop Rotation and Long-Term Monoculture. *Plant, Soil and Environment*. 2011. V.48, Iss.10. P.458–462. doi:10.17221/4395-PSE
6. Barratt G.E., Murchie E.H., & Sparkes D.L. Water use efficiency responses to fluctuating soil water availability in contrasting commercial sugar beet varieties. *Front Plant Sci*. 2023. V. 14:1119321. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1119321>
7. Pidgeon J.D., Jaggard K.W., Lister D.H., Richter G.M. & Jones P.D. Climatic impact on the productivity of sugarbeet in Europe. *Zuckerindustrie*. 2004.129(1):20–4. [https://doi.org/10.1016/s0168-1923\(01\)00254-4](https://doi.org/10.1016/s0168-1923(01)00254-4)
8. Shrestha N., Geerts S., Raes D., Horemans S., Soentjens S., Maupas F., et al. Yield response of sugar beets to water stress under Western European conditions. *Agric Water Manag.* 2010. V.97(2):346–50. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.10.005>
9. Gaoua O. Integrating physiological, biochemical, and molecular mechanisms reveals insights into drought tolerance in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Discov. Plants*. 2025. V. 2, 325 <https://doi.org/10.1007/s44372-025-00416-9>
10. Запольська Н.М. Особливості розвитку плямистостей. *Цукрові буряки*, 2003. №4. С. 13.
11. ДСТУ 6058:2008. Буряки цукрові. Методи визначення ураженості хворобами: [Чинний від 2010-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 6 с. (Національні стандарти України).
12. Саблук В.Т., Шендрик Р.Я. & Запольська Н.М. Шкідники і хвороби цукрових буряків. Київ: Колообіг, 2005. 448 с.
13. Трибель С. О., Сігарьова Д. Д., Секун М. П. & Іващенко О. О. Методи випробування і застосування пестицидів. За ред. Трибеля С. О. Київ: Світ, 2001. 448 с.
14. Misra V., Mall A.K., Pandey H., Srivastava S. & Sharma A. Advancements and prospects of CRISPR/Cas9 technologies for abiotic and biotic stresses in sugar beet. *Front Genet*. 2023. V.14:1235855. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1235855>
15. Islam M.J., Kim J.W., Begum M.K., Sohel M.A.T. & Lim Y-S. Physiological and biochemical changes in sugar beet seedlings to confer stress adaptability under drought condition. *Plants*. 2020. V. 9(11):1511. <https://doi.org/10.3390/plants9111511>
16. Hasanuzzaman M., Fujita M., Oku H. & Islam M.T. Plant tolerance to environmental stress: role of phytoprotectants. CRC; 2019. <https://doi.org/10.1201/9780203705315>
17. Wu G.-Q., Feng R.-J. & Shui Q.-Z. Effect of osmotic stress on growth and osmolytes accumulation in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants. *Plant Soil Environ*. 2016. V.62(4):189–94. <https://doi.org/10.17221/101/2016-pse>

Дата першого надходження статті до видання: 15.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

ТВАРИННИЦТВО, КОРМОВИРОБНИЦТВО, ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ПЕРЕРОБКА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

ANIMAL HUSBANDRY, FEED PRODUCTION,
STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

УДК 636.2.082 / 57.087.01

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.27>

ВІКОВА МІНЛИВІСТЬ МОЛОЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ КОРІВ ЗА УТРИМАННЯ В КОРІВНИКАХ З РІЗНОЮ СИСТЕМОЮ ВЕНТИЛЯЦІЇ

Голосний Б.С. – аспірант,

Миколаївський національний аграрний університет

orcid.org/0009-0000-8007-7814

Підпала Т.В. – д.с.-г.н., професорка,

професорка кафедри переробки продукції тваринництва та харчових технологій,

Миколаївський національний аграрний університет

orcid.org/0000-0002-4072-7576

Крамаренко О.С. – к.с.-г.н., доцент,

доцент кафедри біотехнології та біоінженерії,

Миколаївський національний аграрний університет

orcid.org/0000-0002-2635-526X

Крамаренко С.С. – д.б.н., професор,

професор кафедри біотехнології та біоінженерії,

Миколаївський національний аграрний університет

orcid.org/0000-0001-5658-1244

Умови утримання молочної худоби є одним із ключових чинників, що визначають її добробут, стан здоров'я та рівень продуктивності – тому їх оптимізація має важливе значення для ефективного розвитку молочного скотарства. Головною метою цієї роботи була оцінка прояву вікової мінливості молочної продуктивності корів дійного стада за умов утримання в корівниках із різними системами вентиляції.

У дослідженні використано матеріали первинного зоотехнічного обліку щодо 600 корів голштинської породи, які утримувалися в умовах СТОВ «Промінь» (Миколаївська область). Тварин було розподілено на дві групи по 300 голів у кожній. Перша група утримувалася протягом перших трьох лактацій у традиційному корівнику павільйонного



© Голосний Б.С., Підпала Т.В., Крамаренко О.С., Крамаренко С.С., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

типу з проточною системою вентиляції, а у той час друга – у корівнику з крос-вентиляцією (LPCV-корівнику).

Проведеним аналізом встановлено, що показники молочної продуктивності голштинських корів закономірно змінювалися залежно як від номера лактації, так і від технології утримання, зокрема від типу системи вентиляції. Незалежно від типу корівника, зі збільшенням номера лактації зростали тривалість лактації та рівень молочної продуктивності, що відповідає фізіологічним особливостям розвитку високопродуктивних молочних корів і узгоджується з даними сучасної наукової літератури.

Умови утримання вірогідно впливали насамперед на кількісні показники молочної продуктивності. Корови, які утримувалися в LPCV-корівнику, характеризувалися вірогідно вищими надоями як за повну лактацію, так і за стандартизовані 305 днів лактації. При цьому перевага за надосом за 305 днів свідчить про те, що вища продуктивність була зумовлена не лише відмінностями у тривалості лактації, а насамперед більшою інтенсивністю молокоутворення протягом стандартного лактаційного періоду. Отримані результати узгоджуються із сучасними уявленнями про позитивний вплив контрольованого мікроклімату на реалізацію генетично зумовленого продуктивного потенціалу високопродуктивних голштинських корів.

Встановлено також, що в традиційному корівнику тривалість лактації була децю більшою. Найімовірніше, це пов'язано з особливостями відтворення стада, оскільки більш раннє настання вагітності за умов оптимальнішого мікроклімату закономірно призводить до скорочення тривалості поточної лактації. Водночас сама по собі більша тривалість лактації не може розглядатися як безумовна перевага або недолік певної технології утримання без комплексної оцінки показників відтворної здатності та економічної ефективності виробництва.

Якісний склад молока виявився менш чутливим до умов утримання. Зі збільшенням номера лактації спостерігалось закономірне підвищення вмісту жиру та незначне зниження концентрації білка, що відповідає віковим особливостям фізіології лактації. Децю нижчий вміст жиру в молоці корів, які утримувалися в LPCV-корівнику, ймовірно, був пов'язаний із їхньою вищою молочною продуктивністю, у той час як відсутність вірогідних відмінностей за вмістом білка підтверджує відносно високу стабільність цього показника та його меншу залежність від технологічних чинників.

Отже, отримані результати свідчать, що використання LPCV-корівника забезпечує більш повну реалізацію продуктивного потенціалу голштинських корів насамперед завдяки підвищенню інтенсивності молокоутворення протягом лактації. Разом із тим, для комплексної оцінки ефективності цієї технології доцільно додатково враховувати показники відтворної здатності, стану здоров'я тварин, конверсії корму, довічної продуктивності та економічної ефективності виробництва.

Ключові слова: голштинська порода, молочна продуктивність, LPCV-корівник, номер лактації, молочне скотарство.

Holosnyi B.S., Pidpala T.V., Kramarenko O.S., Kramarenko S.S. Age-related variability of dairy productivity of cows under different barn ventilation systems

Housing conditions are among the key factors determining the welfare, health status, and productivity of dairy cattle. Therefore, optimizing these conditions is essential for the efficient development of dairy farming. The aim of this study was to evaluate the age-related variability of milk production traits in dairy cows housed in barns equipped with different ventilation systems.

The study was based on primary zootechnical records of 600 Holstein dairy cows raised at Promin LLC (Mykolaiv Region, Ukraine). The animals were divided into two groups of 300 cows each. The first group was housed during the first three lactations in a conventional naturally ventilated free-stall barn with a through-flow ventilation system, whereas the second group was housed in a low-profile cross-ventilated barn (LPCV-barn).

The analysis demonstrated that milk production traits of Holstein cows varied consistently depending on both lactation number and housing technology, particularly the type of ventilation system. Regardless of barn type, increasing lactation number was accompanied by longer lactation length and higher milk yield, which is consistent with the physiological characteristics of highly productive dairy cows and agrees with findings reported in the contemporary scientific literature.

Housing conditions significantly affected primarily the quantitative indicators of milk production. Cows housed in the LPCV-barn produced significantly higher milk yields both

per complete lactation and during the standardized 305-day lactation period. The superiority in 305-day milk yield indicates that the higher productivity resulted not only from differences in lactation length but primarily from a higher rate of milk synthesis throughout the standard lactation period. These findings are consistent with current concepts regarding the positive effect of a controlled microclimate on the expression of the genetically determined productive potential of high-producing Holstein cows.

It was also established that lactation length was slightly longer in the conventional barn. This is most likely associated with differences in reproductive performance, since earlier conception under more favorable microclimatic conditions naturally results in a shorter ongoing lactation. At the same time, a longer lactation period cannot by itself be regarded as either an advantage or a disadvantage of a particular housing technology without a comprehensive evaluation of reproductive performance and production economics.

Milk composition proved to be less sensitive to housing conditions. As lactation number increased, milkfat concentration showed a consistent increase, whereas milk protein concentration declined slightly, reflecting age-related physiological changes during lactation. The somewhat lower milk fat content observed in cows housed in the LPCV-barn was probably associated with their higher milk production, whereas the absence of significant differences in milk protein concentration confirms the relatively high stability of this trait and its lower dependence on housing-related technological factors.

In conclusion, the results indicate that the use of an LPCV-barn provides a more complete realization of the productive potential of Holstein cows, primarily by increasing the intensity of milk synthesis throughout lactation. Nevertheless, a comprehensive evaluation of the effectiveness of this housing technology should also include reproductive performance, animal health status, feed conversion efficiency, lifetime productivity, and the economic efficiency of milk production.

Key words: *Holstein breed, milk production, LPCV-barn, parity, dairy farming.*

Постановка проблеми. Умови утримання молочної худоби є одним із ключових чинників, що визначають її добробут, здоров'я та продуктивність – тому їх оптимізація важлива для розвитку молочного скотарства [22]. Під час проектування сучасних молочних ферм особлива увага приділяється створенню такого середовища, яке що забезпечує комфорт тварин, мінімізує дію стресових факторів та сприяє реалізації їхнього продуктивного потенціалу.

Для оцінювання добробуту корів широко використовують комплекс поведінкових і клінічних показників, зокрема споживання корму і тривалість лежання, частоту дихання, вгодованість, чистоту тіла, стан скакальних суглобів та кульгавість [23]. Одним із характерних індикаторів добробуту молочних корів є кульгавість, яка що призводить до зниження молочної продуктивності, погіршення відтворної здатності та значних економічних втрат [10]. Вгодованість (*Body Condition Score*) є важливим показником енергетичного статусу тварин [11], у той час як чистота тіла пов'язана з ризиком бактеріального забруднення вимені та виникнення маститів [21]. Поряд з цим, тепловий стрес змінює поведінку корів, знижує споживання корму, молочну продуктивність і відтворну здатність [9; 24].

Одним із сучасних напрямів удосконалення технології утримання молочної худоби є використання низькопрофільних корівників із поперечною вентиляцією (*Low-profile cross-ventilated, LPCV*). Такі системи набули широкого поширення насамперед у США, де їх застосовували для ефективного контролю мікроклімату в регіонах із жарким літом. Принципова відмінність між системами поперечної та тунельної вентиляції полягає у напрямку руху повітря. У тунельних корівниках повітря переміщується вздовж будівлі від припливних отворів до витяжних вентиляторів, а у той час як у LPCV-корівниках – поперек приміщення, від однієї довгої стіни до іншої. Завдяки меншій довжині шляху руху повітря забезпечується більш рівномірний розподіл температури, швидкості повітряного потоку та інших параметрів мікроклімату по всій ширині приміщення, що є однією з головних переваг

ції технології [12]. Разом із тим LPCV-системи потребують більш герметичної конструкції будівлі та автоматизованого керування вентиляційним обладнанням, що забезпечує підтримання необхідного від'ємного тиску й ефективну роботу всієї системи повітрообміну.

Постановка завдання. Останніми роками значна увага приділяється оцінці ефективності низькопрофільних корівників із поперечною вентиляцією (LPCV-корівник) як альтернативи традиційним корівникам із природною вентиляцією. Дослідження свідчать, що використання механічної поперечної вентиляції сприяє створенню більш стабільного мікроклімату, підвищенню комфорту тварин і покращенню окремих показників продуктивності. Одним із перших комплексних досліджень, у якому порівнювали корівники з поперечною вентиляцією та традиційні корівники з природною вентиляцією, була робота [13]. Автори встановили, що серед безприв'язних систем саме LPCV-корівники характеризувалися вищими показниками комфорту корів порівняно з традиційними корівниками. Індекс комфорту корів (*Cow Comfort Index*) становив 85,9 % у LPCV-системах проти 81,4 % у традиційних корівниках, і використання стійл також було кращим. При цьому середньодобова продуктивність досягала 37,5 кг молока, скоригованого за вмістом жиру (FCM), проти 37,1 кг у традиційних корівниках, а прогнозований надій за 305 днів лактації (305ME) становив 11536 і 11236 кг, відповідно.

Подальші дослідження цих авторів були присвячені оцінці мікроклімату та санітарного стану різних систем утримання [14]. Ними було встановлено, що в LPCV-корівниках підтримувалася більш стабільна температура повітря та вища, рівномірніша швидкість його руху. Незважаючи на дещо вищу концентрацію аміаку порівняно з природно вентильованими приміщеннями, його рівень залишався значно нижчим за ГДК для людей і тварин, а концентрація сірководню також не перевищувала безпечних меж. Істотних відмінностей у бактеріальному забрудненні підстилки та бактеріальному обсіменінні молока між різними системами утримання не виявлено. Отже, правильно спроектовані LPCV-корівники забезпечують сприятливий мікроклімат без негативного впливу на санітарну якість молока.

Переваги LPCV-систем особливо проявляються в умовах теплового стресу. В оглядовій роботі [17] зазначено, що тепловий стрес суттєво погіршує відтворну здатність молочних корів, знижуючи прояв еструсу, порушуючи розвиток фолікулів, підвищуючи рівень ранньої ембріональної смертності та зменшуючи частоту запліднення на 20...30 %. Як один із найефективніших способів мінімізації цих негативних наслідків автори розглядають використання LPCV-корівників. За результатами узагальнення декількох польових досліджень було зроблено висновок, що такі системи забезпечують стабільнішу температуру тіла корів, забезпечують більш тривале споживання корму, а також менше сезонне зниження надоїв і кращі показники відтворення порівняно з традиційними корівниками з природною вентиляцією.

Сучасні дослідження підтверджують позитивний вплив поперечної вентиляції на поведінкові показники комфорту тварин. Так, у роботі [20] було показано, що LPCV-корівники забезпечували більш рівномірну швидкість руху повітря, що асоціювалося зі збільшенням тривалості лежання корів – одним із ключових поведінкових індикаторів добробуту молочної худоби.

Подібні результати отримано й щодо теплового стану тварин. У дослідженні [12] встановлено, що використання LPCV-корівників забезпечувало істотно триваліше перебування корів у зоні теплового комфорту і значно скорочувало період

дії теплового стресу порівняно із зовнішнім середовищем. Автори дійшли висновку, що такі системи є перспективними для утримання високопродуктивних молочних корів у регіонах із жарким і вологим кліматом.

Отже, результати сучасних досліджень свідчать, що низькопрофільні корівники з поперечною вентиляцією (LPCV-системи) забезпечували більш стабільний мікроклімат, покращували комфорт утримання та окремі показники продуктивності молочних корів, особливо в умовах високих температур навколишнього середовища. Водночас їхній вплив на окремі показники здоров'я, зокрема кулягавість, мастити і санітарну якість молока, зумовлено не лише типом вентиляції, а й конструктивними особливостями приміщення, технологією утримання та рівнем менеджменту ферми.

Отже, *головною метою* даної роботи була оцінка прояву вікової мінливості молочної продуктивності корів дійного стада за утримання в корівниках з різною системою вентиляції.

Матеріали і методи досліджень. В дослідженні було використано матеріали первинного зоотехнічного обліку для 600 корів голштинської породи, які утримувалися в умовах СТОВ «Промінь» (Миколаївська область) і вперше отелилися в 2021 році. Тварин було розподілено на дві групи по 300 голів. Перша група (CON) утримувалася протягом перших трьох лактацій в традиційному корівнику павільйонного типу з проточним типом вентиляції, а друга (EXP) – в корівнику з крос-вентиляцією (LPCV-корівник). Більш детальну інформацію щодо тварин та їх умов утримання наведено в наших попередніх роботах [2; 18].

Для кожної тварини за перші три лактації було оцінено наступні ознаки: тривалість лактації (DIM), загальний надій за лактацію (ТМУ), вміст жиру в молоці (FP), вміст білка в молоці (PP) та надій за 305 днів лактації (305MY).

Для визначення наявності та ступеня впливу головних факторів «тип корівника» і «номер лактації», а також їх сумісної дії, нами було використано алгоритм двофакторного дисперсійного аналізу. Але, оскільки вихідні дані представляли оцінки, отримані для кожної особини за три перші лактації, було використано варіант двофакторного дисперсійного аналізу з повторюваними вимірюваннями (*Two-way repeated measures ANOVA*).

Крім того, було проведено статистичне порівняння між тваринами контрольної (CON) і дослідної (EXP) груп для кожної ознаки за 1-у, 2-у та 3-ю лактації.

Всі розрахунки було проведено за допомогою програмного забезпечення STATISTICA v. 7.0 (StatSoft Inc.) на підставі алгоритмів, що наведено в посібнику [1].

Виклад основного матеріалу дослідження. Отримані результати свідчать про те, що характер мінливості кількісних та якісних ознак молочної продуктивності корів голштинської породи вірогідно залежав як від режиму вентиляції у корівнику, так і від віку корів (у лактаціях). Виключення стосувалося лише вмісту білка в молоці, що не залежав від типу корівника (таблиця 1).

Більш того, для всіх досліджених ознак (за винятком вмісту білка в молоці) було відмічено вірогідний сумісний вплив обох головних факторів. Тобто, динаміка вікової мінливості ознак зі збільшенням віку корів від 1-ї до 3-ї лактації по різному проявлялася залежно від системи вентиляції корівника.

В розрізі 1–3-ї лактацій середня оцінка тривалості лактації корів голштинської породи зростала, не залежно від типу корівника. При цьому, як для корів-первісток, так і для повновікових корів тривалість лактації була вірогідно (у обох випадках: $P < 0,01 \dots 0,001$) вищою у тварин, які утримувалися в традиційному корівнику, ніж в LPCV-корівнику – 335,3 та 329,7 днів (за 1-у лактацію) і 372,9 та 369,8 днів (за 3-ю лактацію), відповідно (рис. 1).

Таблиця 1

**Результати двофакторного дисперсійного аналізу
(з повторюваними вимірюваннями) впливу факторів «тип корівника» (А),
«номер лактації» (В) та їх сумісного впливу (А × В) на ознаки молочної
продуктивності корів голштинської породи**

Ознака	А		В		А × В	
	($df_1 = 1; df_2 = 598$)		($df_1 = 2; df_2 = 1196$)		($df_1 = 2; df_2 = 1196$)	
	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
DIM	13,08	< 0,001	1436,60	< 0,001	12,88	< 0,001
ТМУ	86,62	< 0,001	19888,14	< 0,001	407,07	< 0,001
FP	8,74	< 0,001	156,35	< 0,001	3,62	0,027
PP	2,99	NS	86,53	< 0,001	1,04	NS
305MY	97,87	< 0,001	3558,49	< 0,001	155,20	< 0,001

Примітки. Тут і далі: NS – $P > 0,05$. Позначення ознак наведено в «Матеріали і методи досліджень».

Збільшення тривалості лактації зі зростанням її номера відповідає біологічним особливостям високопродуктивної голштинської породи. Під час 1-ї лактації корови ще не завершили власний ріст, а тому поживні речовини використовуються одночасно для синтезу молока і розвитку організму, що зумовлює нижчий рівень продуктивності та меншу сталість лактації порівняно з повновіковими тваринами [3]. Починаючи з 3-ї лактації, коли функціональний розвиток молочної залози практично завершується, корови характеризуються вищою сталістю лактаційної кривої, що забезпечує економічну доцільність триваліших лактацій за умови збереження достатнього рівня продуктивності [19].

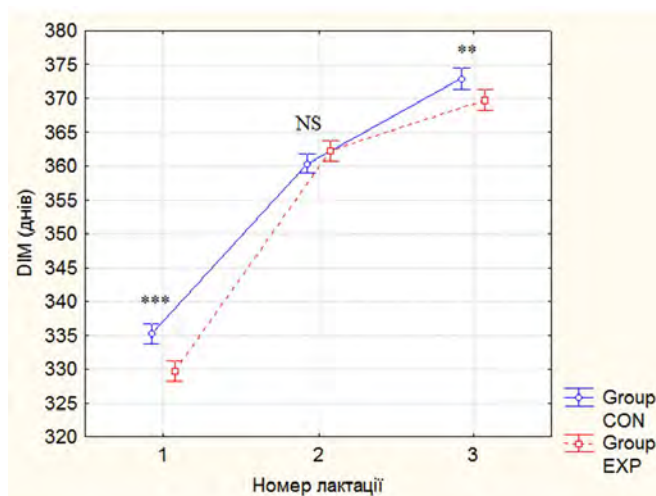


Рис. 1. Оцінки середніх арифметичних ($\pm 95\%$ ДІ) тривалості лактації корів голштинської породи залежно від типу корівника та номеру лактації

Тенденція до зростання тривалості лактації корів в умовах традиційних корівників може бути пов'язана з особливостями відтворення даного стада. Відомо, що ефективні системи вентиляції та охолодження зменшують тепловий стрес,

покрощують прояв еструсу, якість ооцитів та виживаність ембріонів, унаслідок чого скорочується інтервал від отелення до наступного запліднення [24].

Оскільки запуск корів зазвичай проводять за 45...60 діб до очікуваного отелення, швидше настання вагітності закономірно скорочує тривалість поточної лактації. Натомість подовження сервіс-періоду призводить до збільшення кількості днів лактації, оскільки високопродуктивні голштинські корови здатні підтримувати економічно вигідний рівень молочної продуктивності навіть після 305 днів лактації [4]. Тому, більша тривалість лактації не завжди є перевагою або недоліком технології, а повинна оцінюватися комплексно з урахуванням показників відтворення, продуктивності та прийнятої системи менеджменту стада.

Отримані оцінки надою за всю лактацію, як і можна було очікувати, поступово зростали від 1-ї до 3-ї лактації серед тварин обох груп, хоча для корів експериментальної групи, які утримувалися в LPCV-корівнику, темп цього зростання з віком був більш вираженим, особливо між 2-ю та 3-ю лактаціями. У всіх вікових періодах тварини експериментальної групи вірогідно (у всіх випадках: $P < 0,001$) переважали особин контрольної групи (рис. 2).

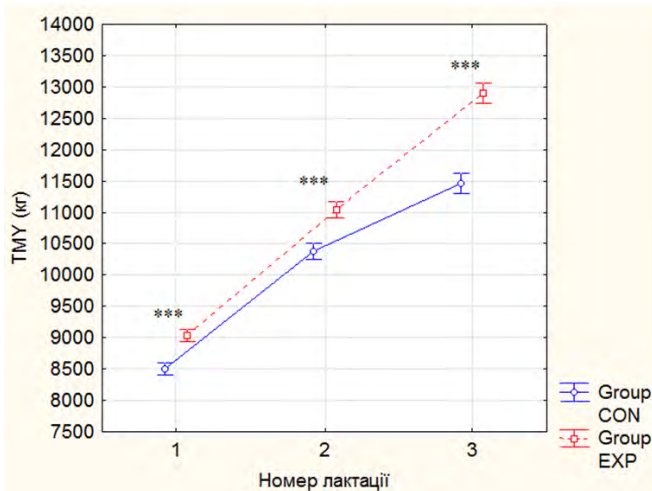


Рис. 2. Оцінки середніх арифметичних ($\pm 95\%$ ДІ) надою за всю лактацію корів голштинської породи залежно від типу корівника та номеру лактації

Зростання молочної продуктивності зі збільшенням номера лактації є загальновідомою біологічною закономірністю для молочної худоби. Найвищі надої у голштинських корів зазвичай досягаються на 3–4-й лактаціях, що пов'язано із завершенням росту організму, подальшим розвитком молочної залози, збільшенням кількості секреторної тканини та підвищенням здатності тварин споживати суху речовину корму [8].

Високий рівень статистичної значущості виявлених відмінностей ($P < 0,001$) свідчить про те, що вони з великою ймовірністю зумовлені умовами утримання. Однією з головних переваг LPCV-корівників є підтримання більш стабільного мікроклімату, що дозволяє зменшити негативний вплив теплового стресу. Відомо, що голштинська порода є високочутливою до підвищеної температури навколишнього середовища, а тепловий стрес супроводжується зниженням споживання корму, погіршенням фізіологічного стану та зменшенням молочної продуктивності [9].

Крім того, стабільні умови мікроклімату сприяють підтриманню вищої сталості лактації, тобто, більш повільному зниженню добових надоїв після досягнення піку лактації [19]. Важливе значення має також комфорт утримання. За даними численних досліджень, збільшення тривалості відпочинку корів позитивно впливає на їхній добробут, стан здоров'я і рівень молочної продуктивності.

Більш виражене зростання надоїв між другою та третьою лактаціями у корів, які утримувалися в LPCV-корівнику, може свідчити про сприятливіший вплив контрольованого мікроклімату на реалізацію вікового потенціалу продуктивності. Імовірно, зменшення впливу теплового стресу та інших несприятливих факторів середовища сприяє кращому збереженню функціонального стану організму протягом попередніх лактацій, що дозволяє повніше реалізувати генетичний потенціал у період максимальної фізіологічної зрілості. Однак це припущення потребує подальшого підтвердження в дослідженнях, що одночасно враховують показники здоров'я, довголіття та вибракування тварин.

Водночас корови дослідної групи, незважаючи на дещо коротшу тривалість лактації, продукували значно більше молока, ніж тварини з традиційного корівника. Це свідчить про вищу інтенсивність молокоутворення протягом лактації та узгоджується з результатами досліджень, що демонструють позитивний вплив ефективного контролю мікроклімату на рівень надою високопродуктивних молочних корів [9; 24]. Разом із тим, для остаточної оцінки економічної ефективності LPCV-системи доцільно додатково враховувати показники споживання кормів, конверсії корму, відтворної здатності та тривалості господарського використання корів.

Що стосується характеру мінливості вмісту жиру в молоці, то знову ж мало місце поступове зростання відповідних оцінок від 1-ї до 3-ї лактації серед корів голштинської породи, незалежно від типу корівника (рис. 3). Але при цьому, вірогідні (у обох випадках: $P < 0,05 \dots 0,01$) відмінності між тваринами контрольної та експериментальної груп було відмічено для корів-первісток (3,75 та 3,71 %, відповідно) і повновікових корів (3,94 та 3,90 %, відповідно). Отже, у відношенні жирномолочності корови, які утримувалися у традиційному корівнику павільйонного типу з проточним типом вентиляції, переважали своїх ровесниць, яких утримували у в LPCV-корівнику.

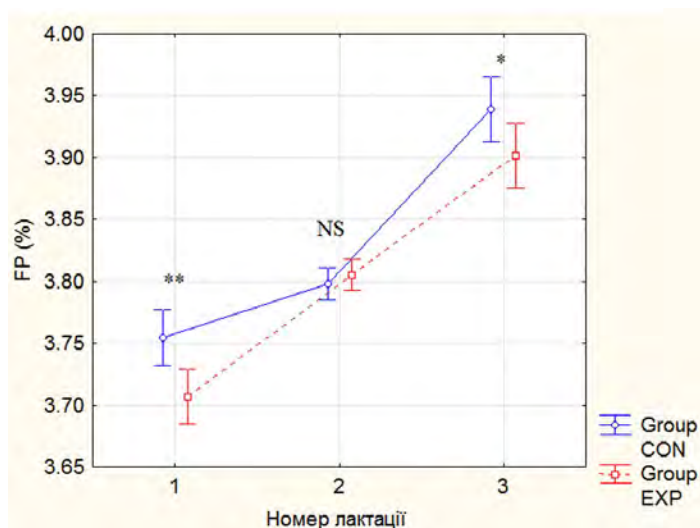


Рис. 3. Оцінки середніх арифметичних ($\pm 95\%$ ДІ) вмісту жиру в молоці корів голштинської породи залежно від типу корівника та номеру лактації

Поступове збільшення вмісту жиру в молоці від 1-ї до 3-ї лактації узгоджується з віковими особливостями фізіології високопродуктивних молочних корів. Після завершення росту організму більша частина поживних речовин використовується для синтезу компонентів молока, у той час як у первісток значна їх частина ще спрямовується на власний ріст і розвиток. Крім того, зі збільшенням віку стабілізуються процеси споживання корму та рубцевого травлення, що сприяє ефективнішому використанню поживних речовин для молокоутворення. Відомо, що ацетат та бутират, що утворюються під час ферментації структурних вуглеводів у рубці, є основними попередниками синтезу жирних кислот молочного жиру [5].

Дещо нижчий вміст жиру в молоці корів, які утримувалися в LPCV-корівнику, ймовірно, пов'язаний із їхньою вищою молочною продуктивністю. У високопродуктивних корів часто спостерігається так званий «ефект розведення» (*dilution effect*), коли зі збільшенням загального об'єму синтезованого молока концентрація окремих його компонентів, зокрема жиру, може незначно знижуватися без істотного зменшення абсолютного виходу молочного жиру [6].

Для вмісту білка в молоці закономірності мали принципово інший характер. По-перше, оцінки вмісту білка в молоці, навпаки, знижувалися у повновікових корів. По-друге, впливу типу корівнику на цю ознаку не було виявлено ні для якої групи тварин і не залежно від їх віку (рис. 4).

Вміст білка в молоці належить до найбільш генетично детермінованих селекційних ознак молочної худоби і, порівняно з жирністю молока, характеризується меншою мінливістю під впливом факторів середовища [7; 15]. Незначне зниження концентрації білка від 1-ї до 3-ї лактації, встановлене в даному дослідженні, узгоджується зі збільшенням молочної продуктивності повновікових корів. Відомо, що зі зростанням добового надою концентрація окремих компонентів молока може дещо зменшуватися внаслідок «ефекту розведення», хоча абсолютний вихід молочного білка при цьому продовжує зростати [5; 19].

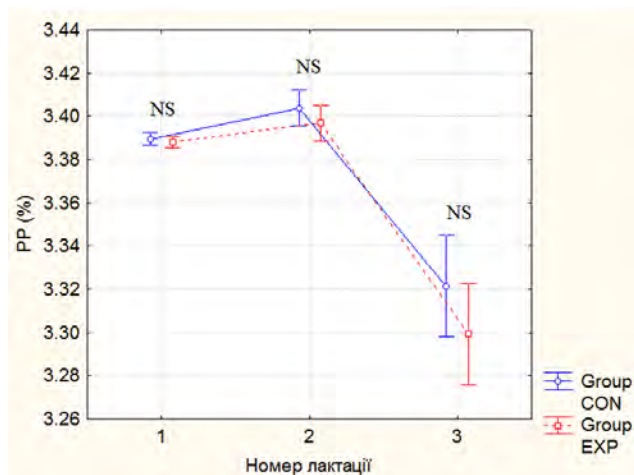


Рис. 4. Оцінки середніх арифметичних ($\pm 95\%$ ДІ) вмісту білка в молоці корів голштинської породи залежно від типу корівника та номеру лактації

Відсутність статистично значущих відмінностей між традиційним і LPCV-корівниками свідчить про те, що умови утримання не мали істотного впливу на цей

показник. Такий результат узгоджується з даними літератури, відповідно до яких вміст білка в молоці значною мірою визначається генетичними особливостями тварин і меншою мірою реагує на зміни мікроклімату або технології утримання, ніж молочна продуктивність чи вміст жиру [15].

Водночас рівень білка залежить від забезпеченості корів енергією та метаболічним протеїном, необхідними для ефективного синтезу мікробіального білка в рубці та молочного білка в молочній залозі [16]. За умов використання збалансованих раціонів в обох системах утримання вплив цього чинника, імовірно, був мінімальним, що могло сприяти формуванню подібного вмісту білка в молоці. Таким чином, отримані результати підтверджують, що концентрація білка є значно стабільнішою ознакою, ніж жирність молока, і менш чутливою до змін технологічних умов утримання.

Отримані оцінки надою за 305 днів лактації, як і для надою за всю лактацію, також поступово зростали від 1-ї до 3-ї лактації серед тварин обох груп. Але, знову ж, для корів експериментальної групи, які утримувалися в LPCV-корівнику, темп цього зростання з віком був більш вираженим, особливо між 2-ю та 3-ю лактаціями. Відповідно, у всі вікові періоди тварини експериментальної групи вірогідно (у всіх випадках: $P < 0,001$) переважали особин контрольної групи (рис. 5).

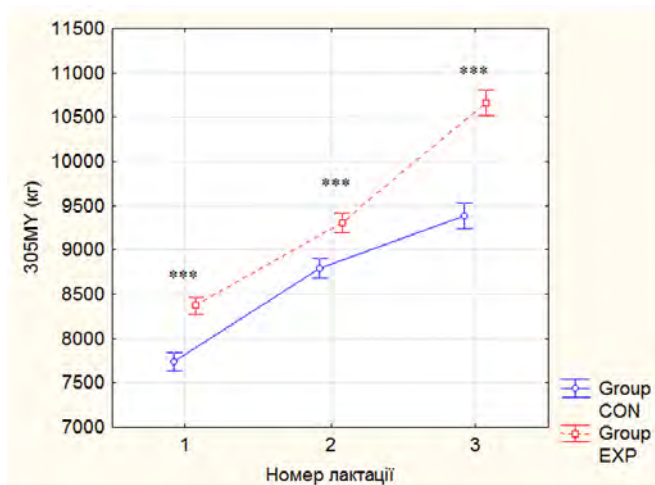


Рис. 5. Оцінки середніх арифметичних ($\pm 95\%$ ДІ) надою за 305 днів лактації корів голштинської породи залежно від типу корівника та номеру лактації

Отримані результати свідчать про перевагу LPCV-корівника щодо реалізації молочної продуктивності корів голштинської породи. Особливе значення має аналіз надою за стандартизовани 305 днів лактації, що є міжнародно визнаним показником для оцінювання продуктивності молочної худоби та дозволяє порівнювати корів незалежно від фактичної тривалості лактації. На відміну від загального надою за лактацію, величина надою за 305 днів практично не залежить від подовження сервіс-періоду або збільшення тривалості лактації. Оскільки в традиційному корівнику середня тривалість лактації була більшою (335...372 дні), використання цього показника дозволило виключити вплив різної кількості днів доїння. Навіть за таких умов корови, які утримувалися в LPCV-корівнику, характеризувалися вірогідно

вищою молочною продуктивністю ($P < 0,001$), що свідчить про вищу інтенсивність молокоутворення протягом стандартного лактаційного періоду.

Більш виражене зростання надою за 305 днів між 2-ю та 3-ю лактаціями у корів дослідної групи може бути пов'язане з кращою реалізацією продуктивного потенціалу повновікових тварин за умов контрольованого мікроклімату. Підтримання стабільної температури, ефективного повітрообміну та комфортних умов утримання в LPCV-корівнику, ймовірно, сприяло кращому збереженню сталості лактаційної кривої та вищій реалізації продуктивного потенціалу корів у період максимальної фізіологічної зрілості [19].

Отже, результати дослідження свідчать, що перевага LPCV-системи проявлялася не лише у збільшенні загального надою, а й у підвищенні продуктивності протягом стандартизованих 305 днів лактації. Це вказує на більш ефективну реалізацію продуктивного потенціалу корів голштинської породи за умов контрольованого мікроклімату. Водночас для остаточного підтвердження економічної ефективності такої технології доцільно додатково враховувати показники витрат на утримання, споживання кормів, відтворення та довічної продуктивності тварин.

Висновки.

1. Проведений аналіз показав, що показники молочної продуктивності голштинських корів закономірно змінювалися залежно як від номера лактації, так і від технології утримання (системи вентиляції). Незалежно від типу корівника, зі збільшенням номера лактації зростали тривалість лактації та молочна продуктивність, що відповідає фізіологічним особливостям розвитку високопродуктивних молочних корів і узгоджується з даними сучасної наукової літератури.

2. Умови утримання вірогідно впливали, насамперед, на кількісні показники молочної продуктивності. Корови, які утримувалися в LPCV-корівнику, характеризувалися вірогідно вищими надоями як за повну лактацію, так і за стандартизовані 305 днів лактації. При цьому перевага за надоєм за 305 днів свідчить, що більш висока продуктивність була зумовлена не лише відмінностями у тривалості лактації, а, насамперед, більшою інтенсивністю молокоутворення протягом стандартного лактаційного періоду. Отримані результати узгоджуються з сучасними уявленнями про позитивний вплив контрольованого мікроклімату на реалізацію продуктивного потенціалу високопродуктивних голштинських корів.

3. Встановлено також, що у традиційному корівнику лактація була дещо тривалішою. Найімовірніше, це пов'язано з особливостями відтворення стада, оскільки більш раннє настання вагітності в умовах кращого мікроклімату закономірно призводить до скорочення поточної лактації. Водночас сама по собі більша тривалість лактації не може розглядатися як безумовна перевага або недолік технології без комплексної оцінки показників відтворення та економічної ефективності.

4. Якісний склад молока виявився менш чутливим до умов утримання. Зі збільшенням номера лактації спостерігалось закономірне підвищення вмісту жиру та незначне зниження концентрації білка, що відповідає віковим особливостям фізіології лактації. Дещо нижчий вміст жиру в молоці корів LPCV-корівника, ймовірно, був пов'язаний із їхньою вищою молочною продуктивністю, у той час як відсутність вірогідних відмінностей за вмістом білка підтверджує відносно високу стабільність цього показника та його меншу залежність від технологічних факторів.

5. Отже, отримані результати свідчать, що використання LPCV-корівника забезпечує більш повну реалізацію продуктивного потенціалу голштинських корів, насамперед, за рахунок підвищення інтенсивності молокоутворення протягом лактації. Разом із тим, для комплексної оцінки ефективності цієї технології доцільно

додатково враховувати показники відтворної здатності, здоров'я тварин, конверсії корму, довічної продуктивності та економічної ефективності виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Аналіз біометричних даних у розведенні та селекції тварин : навчальний посібник / С. С. Крамаренко, С. І. Луговий, А. В. Лихач, О. С. Крамаренко. Миколаїв : МНАУ, 2019. 211 с.
2. Підпала Т. В., Голосний Б. С. Технологічне середовище і прояв господарських корисних ознак корів голштинської породи. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 140. С. 472–480.
3. Akers R. M. A 100-Year Review: Mammary development and lactation. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100(12). P. 10332–10352.
4. Arbel R., Bigun Y., Ezra E., Sturman H., Hojman D. The effect of extended calving intervals in high lactating cows on milk production and profitability. *Journal of Dairy Science*. 2001. Vol. 84(3). P. 600–608.
5. Bauman D. E., Griinar, J. M. Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annual Review of Nutrition*. 2003. Vol. 23(1). P. 203–227.
6. Berry D. P., Buckley F., Dillon P., Evans R. D., Rath M., Veerkamp R. F. Genetic relationships among body condition score, body weight, milk yield, and fertility in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2003. Vol. 86(6). P. 2193–2204.
7. Berry D. P., Wall E., Pryce J. E. Genetics and genomics of reproductive performance in dairy and beef cattle. *Animal*. 2014. Vol. 8(s1). P. 105–121.
8. Capuco A. V., Akers R. M., Smith J. J. Mammary growth in Holstein cows during the dry period: Quantification of nucleic acids and histology. *Journal of Dairy Science*. 1997. Vol. 80(3). P. 477–487.
9. Collier R. J., Dahl G. E., VanBaale M. J. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2006. Vol. 89(4). P. 1244–1253.
10. Cook N. B. Prevalence of lameness among dairy cattle in Wisconsin as a function of housing type and stall surface. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2003. Vol. 223(9). P. 1324–1328.
11. Edmonson A. J., Lean I. J., Weaver L. D., Farver T., Webster G. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 1989. Vol. 72(1). P. 68–78.
12. Garcia P. R., Silveira R. M. F., Lensink J., da Silva I. J. O. Thermal performance of a low-profile cross-ventilated freestall dairy barn with evaporative cooling pads in a hot and humid climate. *International Journal of Biometeorology*. 2023. Vol. 67(10). P. 1651–1658.
13. Lobeck K. M., Endres M. I., Shane E. M., Godden S. M., Fetrow J. Animal welfare in cross-ventilated, compost-bedded pack, and naturally ventilated dairy barns in the upper Midwest. *Journal of Dairy Science*. 2011. Vol. 94(11). P. 5469–5479.
14. Lobeck K. M., Endres M. I., Janni K. A., Godden S. M., Fetrow J. Environmental characteristics and bacterial counts in bedding and milk bulk tank of low profile cross-ventilated, naturally ventilated, and compost bedded pack dairy barns. *Applied Engineering in Agriculture*. 2012. Vol. 28(1). P. 117–128.
15. Miglior F., Muir B. L., Van Doormaal B. J. Selection indices in Holstein cattle of various countries. *Journal of Dairy Science*. 2005. Vol. 88(3). P. 1255–1263.
16. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*: Eighth Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press, 2021. 502 p.
17. Negrón-Pérez V. M., Fausnacht D. W., Rhoads M. L. Invited review: Management strategies capable of improving the reproductive performance of heat-stressed dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102(12). P. 10695–10710.

18. Pidpala T., Holosnyi B. Technological environment and feeding of dairy cows under conditions of keeping in a cross-barn. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2025. Vol. 29(4). P. 38–48.
19. Pollott G. E. Do Holstein lactations of varied lengths have different characteristics? *Journal of Dairy Science*. 2011. Vol. 94(12). P. 6173–6180.
20. Reuscher K. J., Cook N. B., Halbach C. E., Mondaca M. R., Van Os J. M. Consistent stall air speeds in commercial dairy farms are associated with less variability in cow lying times. *Frontiers in Animal Science*. 2024. Vol. 5. #1422937.
21. Schreiner D. A., Ruegg P. L. Relationship between udder and leg hygiene scores and subclinical mastitis. *Journal of Dairy Science*. 2003. Vol. 86(11). P. 3460–3465.
22. Von Keyserlingk M. A. G., Rushen J., de Passillé A. M., Weary D. M. Invited review: The welfare of dairy cattle – Key concepts and the role of science. *Journal of Dairy Science*. 2009. Vol. 92(9). P. 4101–4111.
23. Welfare Quality®. *Welfare Quality® Assessment Protocol for Cattle*. Lelystad, Netherlands: Welfare Quality® Consortium. 2009. 142 p.
24. West J. W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2003. Vol. 86(6). P. 2131–2144.

Дата першого надходження статті до видання: 13.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 636.4.082.4:636.082

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.28>

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ВІДТВОРЮВАЛЬНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ СВИНОМАТОК ЗАЛЕЖНО ВІД НОМЕРА ОПОРОСУ

Калітаєв К.К. – аспірант кафедри прикладної біології, розведення та генетики тварин,

Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0009-0009-1045-2119

Лихач А.В. – д.с.-г.н.,

професор кафедри прикладної біології, розведення та генетики тварин,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0002-0472-6162

Підвищення ефективності відтворення маточного поголів'я є одним із ключових напрямів розвитку сучасного промислового свинарства, оскільки саме відтворювальні ознаки свиноматок визначають інтенсивність виробництва, рівень реалізації генетичного потенціалу тварин та економічну ефективність галузі. Одним із найважливіших факторів, що впливає на багатоплідність і заплідненість свиноматок, є номер опоросу, проте закономірності зміни відтворювальної продуктивності протягом усього періоду господарського використання потребують подальшого уточнення в умовах сучасних високотехнологічних свинокомплексів.

Метою дослідження було встановити закономірності зміни відтворювальної продуктивності свиноматок залежно від номера опоросу, визначити оптимальний період їх продуктивного використання та оцінити кумулятивне виробництво живонароджених поросят упродовж репродуктивного життя. Дослідження проведено протягом 2024–2026 років в умовах СВК Агрофірма «Міг-Сервіс-Агро» (Миколаївська область). Об'єктом дослідження були 215 помісних свиноматок порід Велика Біла × Ландрас, яких розподілили за десятьма послідовними паритетами. Оцінювали кількість живонароджених поросят (багатоплідність), рівень заплідненості, структуру маточного стада за номерами опоросів, довічну кумулятивну продуктивність, а також застосовували квадратичне регресійне моделювання для визначення оптимального номера опоросу.

Установлено, що відтворювальна продуктивність свиноматок має виражений нелінійний характер змін залежно від номера опоросу. Максимальна кількість живонароджених поросят ($13,26 \pm 0,25$ та $13,16 \pm 0,28$ гол./свиноматку) і найвищий рівень заплідненості (95,83 та 95,00 %) зареєстровані у свиноматок четвертого-п'ятого опоросів. Починаючи із сьомого опоросу, спостерігалось поступове зниження відтворювальної продуктивності, а до десятого опоросу кількість живонароджених поросят зменшилася до $10,00 \pm 0,55$ гол./свиноматку, тоді як заплідненість становила лише 62,50 %. Квадратична регресійна модель характеризувалася високим коефіцієнтом детермінації ($R^2 = 0,986$) та визначила прогнозований максимум багатоплідності на рівні 4,43 опоросу, що практично збігалося з експериментальними результатами.

Водночас встановлено, що кумулятивне виробництво живонароджених поросят закономерно збільшувалося зі зростанням тривалості продуктивного використання свиноматок і після десятого опоросу досягало 121,19 живонародженого поросля на свиноматку. Це свідчить, що оцінювання ефективності використання маточного поголів'я повинно ґрунтуватися не лише на показниках окремого опоросу, а й на довічній продуктивності тварин.

Наукова новизна дослідження полягає у комплексному встановленні закономірностей зміни багатоплідності, заплідненості та довічної репродуктивної продуктивності свиноматок залежно від номера опоросу в умовах сучасного промислового свинарства із



© Калітаєв К.К., Лихач А.В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

застосуванням регресійного моделювання. Практичне значення одержаних результатів полягає в обґрунтуванні оптимальної вікової структури маточного стада, удосконаленні підходів до ремонту та вибракування свиноматок, а також використанні кумулятивної продуктивності як додаткового критерію прийняття управлінських рішень щодо ефективності довічного використання тварин.

Ключові слова: багатоплідність, заплідненість, кумулятивна продуктивність, паритет, продуктивне довголіття, промислове свинарство, регресійний аналіз, свині, технологія.

Kalitaev K.K., Lykhach A.V. Patterns of changes in the reproductive performance of sows depending on parity number

Improving the reproductive efficiency of breeding herds is one of the key priorities in modern industrial pig production, as the reproductive performance of sows directly determines production intensity, the realization of animals' genetic potential and the overall economic efficiency of the industry. Among the numerous factors affecting sow fertility and reproductive performance, parity number plays a pivotal role. The patterns of reproductive performance changes throughout the entire productive lifespan of sows under modern high-intensity commercial production systems remain insufficiently investigated.

The aim of this study was to determine the patterns of changes in sow reproductive performance depending on parity number, identify the optimal period of productive use and evaluate the cumulative lifetime production of live-born piglets. The study was conducted during 2024–2026 at the agricultural production cooperative "Mig-Service-Agro" (Mykolaiv Region, Ukraine). The experimental population consisted of 215 crossbred Large White × Landrace sows, which were classified into ten consecutive parity groups. The evaluated parameters included the number of live-born piglets, farrowing rate, parity structure of the breeding herd, cumulative lifetime productivity and quadratic regression analysis to determine the biologically optimal parity.

The results demonstrated that sow reproductive performance exhibited a pronounced nonlinear relationship with parity number. The highest litter size (13.26 ± 0.25 and 13.16 ± 0.28 live-born piglets per sow) and the greatest farrowing rate (95.83% and 95.00%) were recorded in the fourth and fifth parities, indicating the maximum realization of the reproductive potential during this period. Beginning with the seventh parity, reproductive performance gradually declined. By the tenth parity, litter size decreased to 10.00 ± 0.55 live-born piglets per sow, whereas the farrowing rate declined to 62.50%. The quadratic regression model showed an excellent goodness of fit ($R^2 = 0.986$) and predicted the maximum reproductive performance at 4.43 parity, which closely corresponded to the observed experimental data.

The cumulative lifetime production of live-born piglets consistently increased with prolonged productive use of sows and reached 121.19 live-born piglets per sow after the tenth parity. These findings indicate that the assessment of sow productive efficiency should not rely solely on reproductive performance within individual parities but should also consider lifetime productivity as a comprehensive indicator of breeding value.

The scientific novelty of this study lies in the comprehensive evaluation of the relationships between parity number, litter size, farrowing rate and lifetime reproductive productivity of sows under modern industrial production conditions using regression modeling. The practical significance of the obtained results consists in providing a scientific basis for optimizing the age structure of commercial breeding herds, improving replacement and culling strategies, and applying cumulative lifetime productivity as an additional criterion for decision-making regarding the economically efficient productive lifespan of breeding sows.

Key words: litter size, farrowing rate, cumulative lifetime productivity, parity, productive longevity, industrial pig production, regression analysis, pigs, reproduction technology.

Актуальність теми дослідження. Сучасне промислове свинарство орієнтоване на максимальне використання генетичного потенціалу високопродуктивних свиноматок, що вимагає постійного вдосконалення системи управління відтворенням маточного поголів'я [3, 8–10]. Одним із ключових факторів, що визначають економічну ефективність виробництва свинини, є рівень відтворювальних ознак свиноматок, котрі характеризуються багатоплідністю, заплідненістю, кількістю життєздатних поросят та тривалістю продуктивного використання тварин [14, 21].

Відомо, що відтворювальні ознаки свиноматок істотно змінюються залежно від номера опоросу [19, 21]. У перші опороси організм тварин ще не повністю реалізує свій біологічний потенціал, тоді як у середньому репродуктивному віці досягаються максимальні показники відтворювальної продуктивності. Подальше збільшення кількості опоросів супроводжується віковими фізіологічними змінами, які можуть призводити до зниження заплідненості, багатоплідності та життєздатності приплоду. Водночас оптимальний термін продуктивного використання свиноматок залишається предметом наукових дискусій, оскільки він залежить від генотипу тварин, технології утримання, рівня годівлі, ветеринарного забезпечення та інтенсивності експлуатації маточного стада [28].

Особливої актуальності набуває визначення оптимального репродуктивного віку свиноматок у сучасних високотехнологічних господарствах, де інтенсивність використання маточного поголів'я значно вища, ніж у традиційних системах виробництва. Науково обґрунтована оцінка впливу номера опоросу на відтворювальні ознаки дозволяє оптимізувати вікову структуру стада, підвищити ефективність ремонтного молодняку, зменшити втрати від передчасного вибракування тварин та збільшити економічну результативність виробництва свинини [25].

У зв'язку з цим, дослідження закономірностей зміни багатоплідності та заплідненості свиноматок залежно від номера опоросу є актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки його результати можуть бути використані для вдосконалення технології відтворення і обґрунтування оптимальної стратегії використання маточного поголів'я в умовах промислового свинарства. Особливої актуальності набуває застосування сучасних методів статистичного аналізу та математичного моделювання для кількісної оцінки впливу номера опоросу на відтворну продуктивність свиноматок. Використання регресійних моделей дозволяє не лише встановити характер змін репродуктивних показників, а й визначити оптимальний паритет, за якого досягається максимальна реалізація репродуктивного потенціалу маточного поголів'я, що є важливим для прийняття ефективних технологічних рішень у промисловому свинарстві.

Постановка проблеми. Підвищення ефективності відтворення маточного поголів'я є одним із пріоритетних напрямів розвитку сучасного промислового свинарства, оскільки саме відтворювальні ознаки свиноматок визначають економічну ефективність виробництва свинини, інтенсивність оновлення стада та рівень реалізації генетичного потенціалу тварин [27]. В умовах використання сучасних високопродуктивних генотипів особливої актуальності набуває оптимізація вікової структури маточного стада, яка безпосередньо залежить від продуктивного довголіття та номера опоросу свиноматок [14].

За результатами сучасних досліджень встановлено, що номер опоросу (паритет) є одним із найважливіших факторів, які визначають багатоплідність, заплідненість, тривалість опоросу, життєздатність новонароджених поросят та їх подальший ріст [28]. У свиноматок перших паритетів репродуктивна система ще не досягає максимальної функціональної зрілості, тоді як у тварин третього-п'ятого опоросів спостерігається найповніша реалізація генетично зумовленого репродуктивного потенціалу. Після шостого-сьомого опоросів відзначають поступове зниження відтворної продуктивності, що пов'язують із віковими фізіологічними змінами організму та тривалим виробничим використанням свиноматок [10, 17].

Разом із тим, результати різних авторів свідчать, що оптимальний термін господарського використання свиноматок залишається дискусійним, оскільки залежить від генотипу тварин, технології утримання, рівня годівлі, ветеринарного

забезпечення та інтенсивності експлуатації маточного стада [13]. У сучасних високопродуктивних стадах збільшення багатоплідності нерідко супроводжується підвищенням неоднорідності маси поросят при народженні, подовженням тривалості опоросу та збільшенням ризику передвідлучних втрат, що потребує науково обґрунтованого управління віковою структурою маточного поголів'я [12].

Останніми роками особливу увагу приділяють використанню математичних моделей для прогнозування репродуктивної продуктивності свиноматок. Регресійний аналіз дозволяє не лише кількісно оцінити вплив номера опоросу на багатоплідність, але й визначити оптимальний репродуктивний вік тварин, що має важливе практичне значення для формування високопродуктивного маточного стада та підвищення економічної ефективності промислового свиначарства [29].

Таким чином, дослідження закономірностей зміни відтворювальних ознак свиноматок залежно від номера опоросу є актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки дозволяє обґрунтувати оптимальну структуру маточного стада та підвищити ефективність його використання в умовах сучасних промислових технологій.

Незважаючи на значну кількість сучасних досліджень, присвячених відтворювальній продуктивності свиноматок, впливу опоросу, умов годівлі, утримання та технологічних факторів на перебіг опоросу і життєздатність приплоду [11, 18, 20, 22], питання оптимального використання свиноматок різних номерів опоросу в умовах інтенсивного промислового виробництва залишається недостатньо вирішеним. Установлено, що свиноматки середніх паритетів переважно характеризуються вищою продуктивністю, тоді як надмірна частка молодих або старших тварин може негативно позначатися на загальній ефективності стада [14, 26]. Водночас продуктивне довголіття свиноматок і доцільність їх подальшого використання визначаються складною взаємодією генетичних, фізіологічних, технологічних та управлінських чинників [13, 25–28].

Більшість опублікованих робіт зосереджена на дослідженні окремих складових відтворного процесу: впливу паритету на показники гнізда та якості приплоду [13–14, 27], годівлі свиноматок у період поросності [20], конструкції станків, сезону та умов утримання [18–19, 21], генетичних аспектів багатоплідності й вирівняності поросят за масою при народженні [17, 21]. Значно менше уваги приділено комплексному аналізу одночасної зміни багатоплідності та заплідненості свиноматок упродовж послідовних опоросів, особливо із застосуванням регресійного моделювання для кількісного визначення оптимального репродуктивного періоду.

Недостатньо обґрунтованими також залишаються практичні критерії формування оптимальної вікової структури маточного стада, оскільки результати, отримані в окремих господарствах, залежать від генотипу тварин, інтенсивності їх використання, рівня годівлі, ветеринарного забезпечення, системи вибракування та технології виробництва. Тому актуальним є встановлення закономірностей зміни основних відтворювальних ознак свиноматок залежно від номера опоросу в конкретних виробничих умовах, математичне визначення точки максимальної реалізації їх репродуктивного потенціалу та обґрунтування практикоорієнтованих підходів до управління віковою структурою маточного поголів'я. Дослідження вікової структури комерційних стад підтверджують, що розподіл свиноматок за паритетами безпосередньо пов'язаний із продуктивністю й економічною ефективністю підприємств.

У зв'язку з цим, метою дослідження було встановити закономірності зміни відтворювальної продуктивності свиноматок залежно від номера опоросу, визначити

оптимальний період їх продуктивного використання та оцінити кумулятивне виробництво живонароджених поросят упродовж репродуктивного життя в умовах промислового свиначства.

Методика досліджень. Експериментальні дослідження проведено упродовж 2024–2026 років в умовах сільськогосподарського виробничого кооперативу Агрофірма «Миг-Сервіс-Агро» (Миколаївська область, Україна), який спеціалізується на промисловому виробництві свинини за потоковою технологією із замкнутим циклом виробництва [10]. Господарство використовує сучасну систему утримання тварин із контрольованими параметрами мікроклімату, що відповідали ВНТП-АПК-02.05 «Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми)» [4], автоматизованою роздачею кормів, механізованим видаленням гною та штучним осіменінням свиноматок.

Об'єктом дослідження були 215 помісних свиноматок порід Велика Біла × Ландрас (ВБ×Л), які використовувалися у виробничому процесі відповідно до технологічного регламенту підприємства. Формування вибірки здійснювали методом аналогів із урахуванням вікової структури маточного стада [5–6]. До дослідження включали клінічно здорових свиноматок без ознак захворювань репродуктивної системи, які перебували в однакових умовах утримання, годівлі та ветеринарного обслуговування [6].

Розподіл тварин проводили залежно від порядкового номера опоросу. До аналізу було включено свиноматок від першого до десятого опоросу, що дозволило оцінити закономірності зміни відтворювальної продуктивності протягом усього періоду продуктивного використання. Кількість свиноматок за окремими опоросами становила: 1 – 44, 2 – 35, 3 – 29, 4 – 24, 5 – 20, 6 – 15, 7 – 14, 8 – 14, 9 – 12 та 10 – 8 голів.

Свиноматок утримували відповідно до прийнятої у господарстві потокової технології. У період поросності тварини перебували як у індивідуальних, так і групових станках із вільним доступом до води через автоматичні напувалки, а за 5–7 дів до очікуваної дати опоросу їх переводили до цеху опоросу. Після народження поросят свиноматок утримували разом із приплодом до відлучення згідно з технологічним циклом підприємства [10].

Годівлю здійснювали повнораціонними комбікормами промислового виробництва, збалансованими за вмістом обмінної енергії, сирого протеїну, незамінних амінокислот, макро- та мікроелементів, а також вітамінів відповідно до фізіологічного стану тварин та сучасних норм годівлі свиней [24]. Раціони для холостих, порослих і лактуючих свиноматок відрізнялися за поживністю відповідно до їхніх фізіологічних потреб. Доступ до питної води був необмеженим протягом усього періоду продуктивного використання.

Відтворення стада здійснювали методом штучного осіменіння із використанням доз сперми кнурів компанії PIC, допущених до відтворення відповідно до внутрішніх вимог господарства [5].

Заплідненість визначали як відношення кількості свиноматок, що завершили поросність фізіологічним опоросом, до загальної кількості осіменених свиноматок відповідної групи та виражали у відсотках [5, 10]. Факт поросності підтверджували за результатами ультразвукової діагностики на 28–35-ту добу після осіменіння та остаточно за результатами опоросу.

У кожної свиноматки реєстрували такі показники: кількість осіменених свиноматок; кількість свиноматок, що опоросилися; рівень заплідненості (%); загальну кількість живонароджених поросят (багатоплідність); номер опоросу.

Для оцінки довічної відтворної продуктивності додатково визначали кумулятивне виробництво живонароджених поросят, яке розраховували як суму середньої кількості живонароджених поросят, отриманих за всі послідовні опороси до відповідного опоросу включно [10].

Для підвищення статистичної надійності аналізу свиноматок також об'єднували у три репродуктивні групи: молоді (1–2-й опороси), оптимального репродуктивного віку (3–5-й опороси) та старшого репродуктивного віку (6–10-й опороси).

Статистичну обробку результатів проводили із застосуванням методів біометричного аналізу [1]. Для оцінки характеру зміни багатоплідності залежно від номера опоросу використовували квадратичний регресійний аналіз, що дозволив описати нелінійну залежність між досліджуваними показниками. Якість апроксимації оцінювали за коефіцієнтом детермінації (R^2), а координати вершини параболи використовували для визначення прогнозованого оптимального номера опоросу, за якого досягається максимальна реалізація репродуктивного потенціалу свиноматок [1, 23].

Усі виробничі процедури виконували відповідно до чинної технології господарства без додаткового експериментального втручання. Утримання, годівля, ветеринарне обслуговування та поводження з тваринами відповідали чинним вимогам законодавства України щодо благополуччя сільськогосподарських тварин [7] та рекомендаціям WOAH [30] і Європейського Союзу [15–16] щодо гуманного поводження із продуктивними тваринами [2].

Результати досліджень. Аналіз структури маточного поголів'я за номерами опоросів є важливим етапом оцінки відтворювальної продуктивності свиноматок, оскільки віковий склад стада значною мірою визначає рівень реалізації їх репродуктивного потенціалу, ефективність відтворення та економічні показники виробництва свинини. Саме тому на початковому етапі дослідження було проаналізовано розподіл свиноматок за кількістю опоросів (рис. 1).

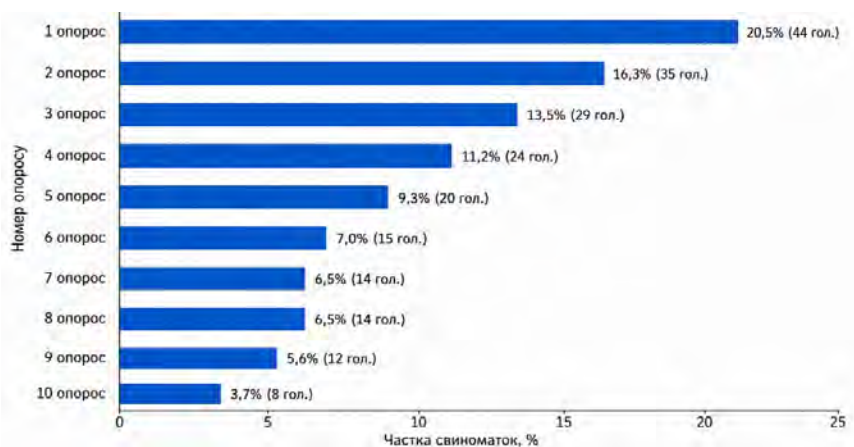


Рис. 1. Вікова структура маточного поголів'я за номерами опоросів

Примітка: n = 215 свиноматок.

Джерело: авторська розробка.

Результати дослідження свідчать, що до аналізу було включено 215 свиноматок, які представляли десять послідовних опоросів. Найбільшу частку дослідного поголів'я становили свиноматки першого опоросу – 44 голови (20,5 %). Частка

свиноматок другого і третього опоросів була дещо меншою і становила відповідно 35 (16,3 %) та 29 голів (13,5 %). Загалом тварини першого-третього опоросів склали 108 голів, або 50,2 % від загальної чисельності маточного стада, що свідчить про переважання молодих свиноматок у виробничій структурі господарства.

У міру збільшення номера опоросу чисельність свиноматок поступово зменшувалася. До групи свиноматок четвертого-шостого опоросів належало 59 тварин (27,5 %), тоді як свиноматки сьомого-десятого опоросів були представлені 48 головами (22,3 %). При цьому частка свиноматок сьомого та восьмого опоросів була однаковою і становила по 14 голів (6,5 %), дев'ятого – 12 голів (5,6 %), а десятого – 8 голів (3,7 %).

Отриманий розподіл характеризує збалансовану структуру маточного стада, у якій переважають свиноматки першого і другого паритету та матки середнього репродуктивного віку. Така структура відповідає сучасним принципам організації промислового свинарства, відповідно до яких основна частина маточного поголів'я має припадати на тварин із найвищою репродуктивною ефективністю, тоді як частка старших паритетів обмежується внаслідок планового ремонту стада та вибракування свиноматок зі зниженим продуктивним потенціалом.

Водночас привертає увагу достатньо висока частка свиноматок сьомого-десятого опоросів (22,3 %), що свідчить про тривале продуктивне використання частини маточного поголів'я в умовах досліджуваного господарства. Це створює належні передумови для об'єктивної оцінки впливу номера опоросу на показники багатоплідності та заплідненості, а також дозволяє визначити оптимальний репродуктивний період використання свиноматок у виробничих умовах.

Таким чином, сформована вибірка охоплює весь період продуктивного використання свиноматок: від першого до десятого опоросу, що забезпечує достатню репрезентативність дослідження та створює надійну основу для подальшого аналізу закономірностей зміни відтворювальної продуктивності залежно від номера опоросу.

Результати оцінки відтворювальної продуктивності свиноматок залежно від номера опоросу наведено у табл. 1.

Таблиця 1

**Показники відтворювальної продуктивності свиноматок
залежно від номера опоросу (n = 215 гол.)**

Номер опоросу	Кількість свиноматок (гол.), що		Кількість живонароджених поросят, гол. ($\bar{X} \pm Sx$)	Заплідненість, %
	осіменилося	опоросилося		
1	44	38	11,82 $\pm$ 0,19	86,36
2	35	32	12,41 $\pm$ 0,24	91,43
3	29	27	12,96 $\pm$ 0,22	93,10
4	24	23	13,26 $\pm$ 0,25	95,83
5	20	19	13,16 $\pm$ 0,28	95,00
6	15	14	12,79 $\pm$ 0,43	93,33
7	14	11	12,18 $\pm$ 0,40	78,57
8	14	10	11,70 $\pm$ 0,42	71,43
9	12	8	11,00 $\pm$ 0,46	66,67
10	8	5	10,00 $\pm$ 0,55	62,50

Аналіз отриманих даних свідчить про наявність чіткої закономірності зміни основних відтворювальних ознак упродовж продуктивного використання свиноматок.

Встановлено, що середня кількість живонароджених поросят на одну свиноматку мала виражений нелінійний характер змін залежно від номера опоросу. У свиноматок першого опоросу багатоплідність становила $11,82 \pm 0,19$ поросят, що є закономірним, оскільки у молодих тварин репродуктивна система ще не досягла максимальної функціональної зрілості. Починаючи з другого опоросу, спостерігалось поступове збільшення цього показника до $12,41 \pm 0,24$ та $12,96 \pm 0,22$ поросят відповідно.

Максимальну реалізацію репродуктивного потенціалу відмічено у свиноматок четвертого опоросу, де середня багатоплідність досягла $13,26 \pm 0,25$ живонароджених поросят, що на 1,44 поросят (12,2 %) більше порівняно зі свиноматками першого опоросу. Високий рівень багатоплідності зберігався також у тварин п'ятого ($13,16 \pm 0,28$) та шостого ($12,79 \pm 0,43$) опоросів, що свідчить про максимальну реалізацію їх фізіологічного та генетичного потенціалу саме в середньому репродуктивному віці.

Починаючи із сьомого опоросу, відмічено поступове зниження багатоплідності. Так, у свиноматок сьомого та восьмого опоросів цей показник становив відповідно $12,18 \pm 0,40$ та $11,70 \pm 0,42$ поросят, тоді як у дев'ятому й десятому опоросах він зменшився до $11,00 \pm 0,46$ та $10,00 \pm 0,55$ поросят. Порівняно з максимальним значенням, встановленим у четвертому опоросі, зниження багатоплідності у свиноматок десятого опоросу становило 3,26 живонародженого поросят, або 24,6 %, що вказує на істотне вікове погіршення репродуктивної функції.

Подібна закономірність простежувалася і щодо заплідненості свиноматок. Якщо у першому опоросі цей показник становив 86,36 %, то вже у другому та третьому він зріс до 91,43 та 93,10 %, відповідно. Найвищу заплідненість зареєстровано у свиноматок четвертого (95,83 %) та п'ятого (95,00 %) опоросів. Отримані результати свідчать про найвищу ефективність процесів овуляції, запліднення та імплантації ембріонів саме у тварин середнього репродуктивного віку.

Після шостого опоросу рівень заплідненості почав поступово знижуватися. Так, у свиноматок сьомого опоросу він становив 78,57 %, восьмого – 71,43 %, дев'ятого – 66,67 %, а десятого – лише 62,50 %. Загалом між четвертим та десятим опоросами заплідненість зменшилася на 33,33 відсоткового пункту, або майже на 35 % від максимального значення, що свідчить про суттєве зниження відтворної здатності старших свиноматок.

Слід відзначити, що достатня представленість свиноматок сьомого-десятого опоросів, дозволили більш об'єктивно оцінити репродуктивну продуктивність старших вікових груп, а отримані результати відображають стійку біологічну закономірність вікового зниження відтворювальної функції, а не випадкові коливання окремих показників.

Таким чином, результати дослідження переконливо свідчать, що найбільш ефективне використання свиноматок у виробничих умовах припадає на четвертий-п'ятий опороси, коли одночасно досягаються максимальні показники багатоплідності та заплідненості. Подальше збільшення номера опоросу супроводжується поступовим зниженням відтворювальної продуктивності, що обґрунтовує доцільність використання номера опоросу як одного з ключових критеріїв під час формування оптимальної вікової структури маточного стада.

Отримані числові дані більш наочно відображаються на рис. 2, який демонструє одночасну зміну багатоплідності та заплідненості свиноматок залежно від номера опоросу.

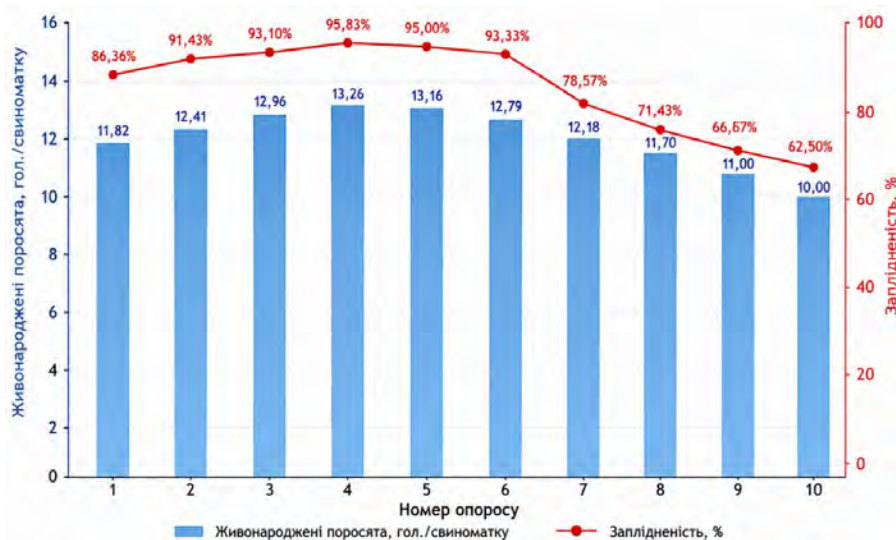


Рис. 2. Відтворювальні ознаки свиноматок залежно від опоросу

Джерело: авторська розробка.

Графічне представлення результатів дозволяє чітко простежити характер взаємозв'язку між досліджуваними показниками та визначити період максимальної реалізації репродуктивного потенціалу свиноматок. Так, обидва показники характеризуються подібною тенденцією змін. У перші три опороси відмічається поступове підвищення як багатоплідності, так і заплідненості, що пов'язано із завершенням фізіологічного розвитку організму свиноматок та досягненням максимальної функціональної активності їх репродуктивної системи. Найвищі значення обох показників спостерігалися у свиноматок четвертого-п'ятого опоросів, коли багатоплідність становила 13,24–13,15 живонароджених поросят на свиноматку, а рівень заплідненості досягав 95,83–95,00 %, відповідно.

Починаючи із шостого опоросу, графік демонструє поступове зниження відтворювальних ознак, яке особливо виражене після сьомого опоросу. Якщо зменшення багатоплідності відбувається відносно плавно, то заплідненість характеризується значно стрімкішим спадом. Так, у свиноматок десятого опоросу багатоплідність знизилася до 10,00 живонароджених поросят, тоді як заплідненість становила лише 62,50 %, що свідчить про істотне погіршення репродуктивної функції тварин старшого віку.

Графічний аналіз підтверджує, що номер опоросу є одним із визначальних факторів формування відтворювальної продуктивності свиноматок. Синхронний характер зміни досліджуваних показників свідчить про їх тісний біологічний взаємозв'язок та дозволяє припустити існування математично описуваної залежності між репродуктивним віком свиноматок і рівнем їх багатоплідності. Саме тому наступним етапом дослідження стало застосування регресійного аналізу для кількісної оцінки характеру цієї залежності та визначення прогнозованого оптимуму репродуктивної продуктивності свиноматок.

Для математичного підтвердження встановленої закономірності та визначення оптимального номера опоросу, за якого досягається максимальна багатоплідність

свиноматок, проведено квадратичний регресійний аналіз (рис. 3). Побудована модель дозволила кількісно оцінити характер зміни багатоплідності залежно від номера опоросу, визначити прогнозовану точку максимуму та оцінити ступінь відповідності моделі фактичним експериментальним даним.

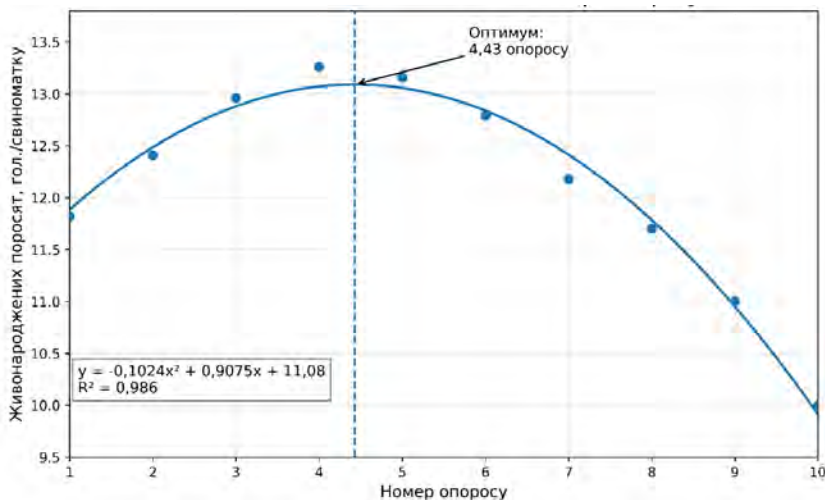


Рис. 3. Регресійна модель залежності багатоплідності свиноматок від номера опоросу

Примітки: ● – фактичні дані; суцільна лінія (—) – регресійна модель; пунктирна вертикальна лінія (---) – розрахункова точка оптимального номера опоросу.

Джерело: авторська розробка.

Побудована модель характеризувалася високим коефіцієнтом детермінації ($R^2 = 0,986$), що свідчить про те, що 98,6 % варіації багатоплідності пояснюється зміною номера опоросу. Такий рівень апроксимації підтверджує адекватність використання квадратичної регресії для опису вікової динаміки відтворювальної продуктивності свиноматок.

Регресійна крива демонструє поступове підвищення багатоплідності від першого до четвертого-п'ятого опоросів, після чого відбувається її закономірне зниження. Розрахована вершина параболі відповідає 4,43 опоросу, що практично збігається з фактичними результатами дослідження, згідно з якими максимальну кількість живонароджених поросят (13,26–13,16 гол./свиноматку) отримано від свиноматок четвертого і п'ятого опоросів.

Збіг прогнозованої точки максимуму з експериментальними даними підтверджує високу прогностичну цінність побудованої моделі та свідчить про існування біологічно обґрунтованого оптимального репродуктивного періоду використання свиноматок. Після досягнення цього максимуму відмічається поступове зниження багатоплідності, що, ймовірно, пов'язано з віковими фізіологічними змінами репродуктивної системи, зменшенням оваріального резерву, погіршенням ембріональної виживаності та загальним зниженням функціональних резервів організму.

Таким чином, результати регресійного аналізу підтверджують, що найбільш ефективне використання свиноматок у промисловому свиноводстві доцільно здійснювати в межах четвертого-п'ятого опоросів, коли забезпечується максимальна реалізація їх генетичного та фізіологічного потенціалу.

З метою підвищення статистичної надійності оцінки впливу репродуктивного віку на відтворювальну продуктивність свиноматок проведено додаткове групування тварин за трьома віковими категоріями: молоді (1–2-й опороси), оптимального репродуктивного віку (3–5-й опороси) та старшого репродуктивного віку (6–10-й опороси) (табл. 2). Такий підхід дозволив мінімізувати вплив малочисельних груп окремих старших паритетів, підвищити статистичну надійність отриманих результатів та більш об'єктивно оцінити закономірності зміни відтворювальної продуктивності свиноматок упродовж їх господарського використання. Аналіз узагальнених показників показав, що найвищий рівень відтворювальної продуктивності характерний для свиноматок третього-п'ятого опоросів, які формують групу оптимального репродуктивного віку. Середня багатоплідність у цій категорії становила 13,12 живонароджених поросят на одну свиноматку, що перевищувало аналогічний показник молодих свиноматок на 1,04 поросяти, або 8,6 %, а тварин старшого репродуктивного віку – на 1,23 поросяти, або 10,3 %.

Таблиця 2

**Показники відтворювальної продуктивності свиноматок
різного репродуктивного віку**

Показник	Репродуктивний вік		
	молодий	оптимальний	старший
Номер опоросу	1-2	3-5	6-10
Осіменили, гол.	79	73	63
Запліднилося, гол.	70	69	48
Заплідненість, %	88,61	94,52	76,19
Кількість живонароджених поросят, гол. ($\bar{X} \pm S_x$)	12,08 $\pm$ 0,16	13,12 $\pm$ 0,14	11,89 $\pm$ 0,21

Отримані результати свідчать про максимальну реалізацію фізіологічного та генетичного потенціалу свиноматок саме у середньому репродуктивному віці, коли повністю сформована репродуктивна система забезпечує найвищу інтенсивність овуляції, оптимальні умови ембріонального розвитку та максимальну життєздатність приплоду.

Подібна закономірність встановлена і щодо рівня заплідненості. У свиноматок оптимального репродуктивного віку вона становила 94,52 %, що на 5,91 відсоткового пункту перевищувало показник молодих свиноматок (88,61 %) та на 18,33 відсоткового пункту – тварин старшого репродуктивного віку (76,19 %). Таким чином, саме у свиноматок третього-п'ятого опоросів спостерігається найбільш ефективне поєднання високої багатоплідності та заплідненості, що є визначальним критерієм ефективного використання маточного поголів'я у промисловому свинарстві.

Порівняння молодих і старших свиноматок показало суттєві відмінності у характері реалізації їх репродуктивного потенціалу. Нижча багатоплідність молодих тварин, імовірно, пов'язана з незавершеним фізіологічним розвитком організму та ще неповною реалізацією їх генетичного потенціалу. Натомість зниження відтворювальної продуктивності у свиноматок старших паритетів обумовлене віковими інволюційними змінами репродуктивної системи, зменшенням функціональних резервів організму, погіршенням якості ооцитів і зниженням ембріональної виживаності, що в кінцевому підсумку призводить до зменшення як багатоплідності, так і рівня заплідненості. Отримані результати повністю узгоджуються

з побудованою квадратичною регресійною моделлю (див. рис. 3), що встановила максимум багатоплідності на 4,43-го опоросу. Збіг прогнозованої точки максимуму з фактичними результатами дослідження свідчить про високу адекватність математичної моделі та підтверджує існування оптимального періоду продуктивного використання свиноматок.

Таким чином, результати проведених досліджень переконливо доводять, що найефективніше використання маточного поголів'я доцільно здійснювати в межах третього-п'ятого опоросів, коли забезпечується найповніша реалізація генетичного потенціалу тварин, досягаються максимальні показники багатоплідності та заплідненості, а також створюються передумови для підвищення економічної ефективності промислового виробництва свинини.

Для оцінки довічної відтворювальної продуктивності свиноматок розраховано кумулятивне виробництво живонароджених поросят залежно від тривалості їх продуктивного використання. Аналіз (рис. 4) показав стаке зростання сумарної кількості отриманих живонароджених поросят із кожним наступним опоросом. Уже після другого опоросу кумулятивний показник досягав 24,22 гол./свиноматку, після четвертого – 50,41 гол., після шостого – 76,36 гол., а після восьмого перевищував 100 голів (100,19 гол./свиноматку). Максимальна довічна продуктивність за досліджуваний період була досягнута після десятого опоросу і становила 121,19 живонародженого поросеня на свиноматку. Незважаючи на поступове зниження багатоплідності після п'ятого-шостого опоросів, сумарне виробництво продовжувало закономірно збільшуватися завдяки накопиченню продукції за весь період використання тварин.

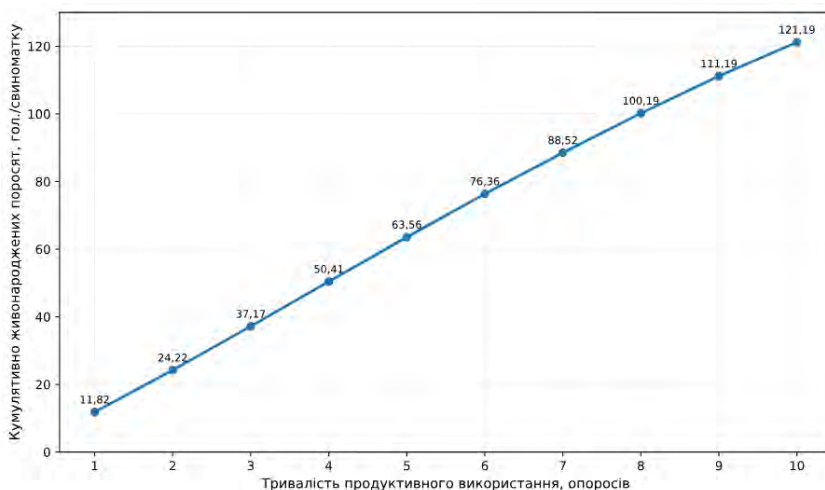


Рис. 4. Кумулятивне виробництво живонароджених поросят залежно від тривалості продуктивного використання свиноматок

Джерело: авторська розробка.

Характер кривої свідчить, що, навіть, після проходження піку багатоплідності, який у досліджуваній вибірці припадав на четвертий-п'ятий опороси, кожний наступний репродуктивний цикл забезпечував подальше збільшення сумарного виходу поросят. Водночас поступове зменшення приросту кумулятивного

показника у свиноматок старших опоросів було пов'язане зі зниженням середньої кількості живонароджених поросят з 13,24–13,15 голови у четвертому-п'ятому опоросах до 11,00 та 10,00 голів у дев'ятому і десятому опоросах, відповідно.

Практичне значення кумулятивного показника полягає у можливості оцінити внесок продуктивного довголіття свиноматок у загальний вихід поросят. На відміну від багатоплідності за окремий опорос, він відображає накопичений результат за весь період репродуктивного використання тварини. Це дає змогу обґрунтованіше приймати рішення щодо вибракування або подальшого утримання свиноматок, оскільки незначне зниження багатоплідності у старших опоросах не завжди означає економічну недоцільність їх подальшого використання.

Графічне відображення кумулятивної продуктивності може застосовуватися для визначення виробничих орієнтирів стада, порівняння свиноматок різних генотипів, технологій утримання та годівлі, а також для оцінювання ефективності програм ремонту маточного поголів'я. Збереження клінічно здорових свиноматок із задовільними відтворювальними показниками до старших опоросів може сприяти збільшенню довічного виходу поросят, зменшенню потреби у ремонтних свинках і більш повній компенсації витрат на вирощування та введення молодих тварин до основного стада.

Отже, кумулятивна продуктивність є інформативним додатковим показником оцінювання репродуктивного довголіття свиноматок. Проте рішення про тривалість їх використання необхідно приймати комплексно, з урахуванням багатоплідності, заплідненості, збереженості поросят, тривалості непродуктивних днів, стану здоров'я, кондиції тіла та економічних витрат на утримання тварини.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Встановлено, що номер опоросу є одним із визначальних факторів формування відтворювальної продуктивності свиноматок. Відтворювальні ознаки характеризуються вираженою нелінійною залежністю від репродуктивного віку: у перші опороси спостерігається їх поступове підвищення, максимальні значення досягаються у середньому репродуктивному віці, після чого відмічається закономірне вікове зниження.

Найвищі показники відтворювальної продуктивності зареєстровано у свиноматок четвертого-п'ятого опоросів, що свідчить про найбільш повну реалізацію фізіологічного та генетичного потенціалу тварин у цей період.

Починаючи із сьомого опоросу, відбувається істотне зниження відтворювальної функції. До десятого опоросу багатоплідність зменшилася до $10,00 \pm 0,55$ живонароджених поросят, а заплідненість – до 62,50 %, що вказує на зниження ефективності подальшого виробничого використання свиноматок старших паритетів.

Квадратична регресійна модель адекватно описує залежність багатоплідності від номера опоросу ($R^2 = 0,986$) та визначає прогнозований максимум продуктивності на рівні 4,43 опоросу, що практично збігається з експериментальними даними, що підтверджує можливість використання математичного моделювання для прогнозування репродуктивної продуктивності та оптимізації вікової структури маточного стада.

Кумулятивне виробництво живонароджених поросят (багатоплідність) закономірно збільшувалося зі зростанням тривалості продуктивного використання свиноматок і після десятого опоросу досягало 121,19 живонародженого поросля на свиноматку. Це свідчить, що оцінка лише показників окремого опоросу не повною мірою характеризує господарську цінність тварини, тоді як кумулятивна продуктивність є інформативним критерієм ефективності довічного використання свиноматок.

Практичні результати дослідження обґрунтовують доцільність формування структури маточного стада з переважанням свиноматок третього-п'ятого опоросів, які забезпечують найвищу відтворювальну ефективність, а рішення щодо вибракування старших тварин доцільно приймати комплексно, враховуючи не лише поточну багатоплідність, а й накопичену довічну продуктивність.

Номер опоросу варто розглядати як інтегральний біологічний маркер репродуктивного потенціалу свиноматок, який може бути використаний при формуванні вікової структури стада, прогнозуванні довічної продуктивності та прийнятті управлінських рішень щодо ремонту й вибракування маточного поголів'я.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з експериментальним обґрунтуванням оптимальної технології штучного осіменіння свиноматок у найбільш продуктивний період їх використання (четвертий-п'ятий паритети). Отримані результати дозволять науково обґрунтувати найбільш ефективні технологічні підходи до відтворення маточного поголів'я в умовах сучасного промислового свинарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Аналіз біометричних даних у розведенні та селекції тварин : навчальний посібник / С. С. Крамаренко та ін. Миколаїв: МНАУ, 2019. 211 с.
2. Біоетика, біобезпека і благополуччя у тваринництві : навч. посіб. / Р. А. Санжара та ін. Миколаїв : Ліон, 2026. 205 с.
3. Вашенко Є., Лихач А. Синергія сезонних і технологічних факторів у забезпеченні відтворювальної ефективності свиноматок. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2026. Вип. 119. С. 291–309. <https://doi.org/10.37000/abbsl.2026.119.21>
4. Відомчі норми технологічного проектування Свинарські підприємства (комплекс, ферми, малі ферми), ВНТП-АПК – 02.05. Київ : Мінагрополітики України, 2005. 98 с.
5. Ладика В. І., Хмельничий Л. М., Повод, М. Г. Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва: підручник для аспірантів. Одеса : Олді+, 2023. 244 с.
6. Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві / за ред. І. І. Ібатуліна і О. М. Жукорського : посібник. Київ, 2017. 328 с.
7. Наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України № 224 від 08.02.2021 «Про затвердження вимог до благополуччя сільськогосподарських тварин під час їх утримання». Зареєстрований від 18.02.2021 Міністерством Юстиції України № 206/35828.
8. Підвищення продуктивності свиней за використання сучасного генофонду та інноваційних технологічних рішень : монографія / В. Я. Лихач та ін. Миколаїв : Ліон, 2022. 275 с.
9. Технологічні інновації у свинарстві : монографія / В. Я. Лихач, А. В. Лихач. Київ : ФОП Ямчинський О.В., 2020. 290 с.
10. Технологія виробництва продукції свинарства : навчальний посібник. М. Повод та ін.; за ред. М. Г. Повода. Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2021. 360 с.
11. Boonkum W., Permthongchoochai S., Chankitisakul V., Duangjinda M. Genetic strategies for enhancing litter size and birth weight uniformity in piglets. *Frontiers in Veterinary Science*. 2025. Vol. 12. Article 1512701. <https://doi.org/10.3389/fvets>
12. Bortolozzo F. P., Mellagi A. P. G., Bernardi M. L., Wentz I. Managing reproduction in hyperprolific sow herds. *Animals*. 2023. Vol. 13, No. 11. Article 1757. <https://doi.org/10.3390/ani13111842>
13. Buthelezi N. L., Mtileni B., Nephawe K. A., Idowu P. A., Modiba M. C., Mpedi H., Mpfu T. J. The impact of parity, litter size and birth weight variations within a litter on piglet pre-weaning performance. *Czech Journal of Animal Science*. 2024. Vol. 69(7). P. 255–268. <https://doi.org/10.17221/36/2024-CJAS>
14. Corrales-Hernández A. A., Roldán-Santiago P., Bonilla-Jaime H., De la Cruz-Cruz L. A., Limón-Morales O., Orozco-Gregorio H., Pineda-Reyes R. A review: influence of the sow's parity on farrowing and neonate performance. *Frontiers in Animal Science*. 2025. Vol. 6. Article 1568955. <https://doi.org/10.3389/fanim.2025.1568955>

15. Council Directive 2008/120/EC of 18 December 2008 laying down minimum standards for the protection of pigs (Codified version). *Official Journal of the European Union*. L 47. 18.2.2009. P. 5-13.
16. Council Directive 2010/63/EC of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes. *Official Journal of the European Union*. L 276/33. 22.09.2010. P. 15-47.
17. Klimas R., Klimienė A., Sobotka W., Kozera W., Matusevičius P. Effect of parity on reproductive performance sows of different breeds. *South African Journal of Animal Science*. 2020. Vol. 50. P. 434–441. <https://doi.org/10.4314/sajas.v50i3.10>
18. Knap P. W., Holl J. W., Lewis C. R. G. Sow longevity: phenotypic time trends, the effect of litter size, and economic values. *Frontiers in Animal Science*. 2026. Vol. 7. Article 1732267. <https://doi.org/10.3389/fanim.2026.1732267>
19. Koketsu Y., Sasaki Y., Iida R. Sow reproductive performance, lifetime performance, their risk factors, predictors and farm-level factors in farm data analysis. *Japanese Journal of Swine Science*. 2022. Vol. 59, No. 1. P. 1–17. <https://doi.org/10.5938/youton.59.1>
20. Kongpanna P., Doerr J. A., Jamikorn U., Nilubol D. Impact of maternal parity and direct-fed microbial supplementation on reproductive performance, digestibility, and milk quality from early gestation to lactation in sows. *Animals*. 2025. Vol. 15. No. 9. Article 1191. <https://doi.org/10.3390/ani15091191>
21. Kramarenko S. S., Lugovoy S. I., Lykhach A. V., Kramarenko A. S., Lykhach V. Y., Slobodanyk A. A. Effect of genetic and non-genetic factors on the reproduction traits in Ukrainian Meat sows. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series «Agricultural Sciences»*. 2019. Vol. 21 (90). P. 3–8. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a9001>
22. Madeiro P.V., Brown-Brandl T.M., Rohrer G.A., Vieira de Sousa R., Silva Martello L. Impacts of farrowing pen design, season, and sow parity on litter performance and piglet mortality. *Animals*. 2024. Vol. 14. No. 2. Article 325. <https://doi.org/10.3390/ani14020325>
23. Motulsky H. *Intuitive Biostatistics. A Nonmathematical Guide to Statistical Thinking*. 2th ed. Oxford University Press, 2010. 447 p.
24. National Research Council. *Nutrient Requirements of Swine*. 11th revised ed. Washington, DC : National Academies Press, 2012. 400 p.
25. Sanz-Fernández Díaz-Gaona C., Simões J., Casas-Rosal J. C., Alòs N., Tusell L., Quintanilla R., Rodríguez-Estévez V. The impact of herd age structure on the performance of commercial sow-breeding farms. *Porcine Health Management*. 2024. Vol. 10. Article 56. <https://doi.org/10.1186/s40813-024-00406-5>
26. Sanz-Fernández S., Díaz-Gaona C., Simões J., Casas-Rosal J. C., Alòs N., Tusell L., Quintanilla R., Rodríguez-Estévez V. Temporal evolution of Sow herd age structure and its impact on the performance of Spanish commercial farms. *Porcine Health Management*. 2025. Vol. 11. Article 35. <https://doi.org/10.1186/s40813-025-00451-8>
27. Segura-Correa J. C., Ek-Mex J. E., Muñoz-Osorio G. A., Santos-Ricalde R. H., Sarmiento-Franco L., Calderón-Díaz J. A. Associations between first parity wean-to-service interval and sow lifetime productivity traits. *Tropical and Subtropical Agroecosystem*. 2023. Vol. 26. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4678>
28. Thiengpimol P., Koonawootrittriron S., Suwanasopee T. Assessing reproductive performance and predictive models for litter size in Landrace sows under tropical conditions. *Animal Bioscience*. 2024. Vol. 37. No. 8. P. 1333–1344. <https://doi.org/10.5713/ab.23.0406>
29. Trost L.-S., Zeidler S., Appel A. K., Henne H., Rosengart S., Wendt M., Visscher Ch., Tetens J., Traulsen I. Data-based and welfare-oriented reproductive performance assessment for application in commercial pig farms. *Livestock Science*. 2024. Vol. 281. Article 105424. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2024.105424>
30. World Organisation for Animal Health (WOAH). *Terrestrial Animal Health Code*. Chapter 7.13. Animal Welfare and Pig Production Systems. Paris : WOAH, 2024.

Дата першого надходження статті до видання: 14.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 663.423:663:41:633.791

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.29>

МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ УКРАЇНСЬКИХ ХМЕЛЕПРОДУКТІВ

Кошицька Н.А. – к.с.-г.н., ст. досл.,

провідний науковий співробітник відділу біохімії хмелю та пива і біотехнології,

Інститут сільського господарства Полісся

Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0000-0002-5432-1630

Проценко Л.В. – к.т.н., с.н.с.,

завідувачка відділу біохімії хмелю та пива і біотехнології,

Інститут сільського господарства Полісся

Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0000-0002-7746-0270

У даній статті наведено моніторинг якості українських хмелепродуктів. На основі біохімічної оцінки та ідентифікації встановлено якість гранул хмелю типу 90 тонкоароматичних і ароматичних (Клон 18, Злато Полісся, Слов'янка, Національний, Заграва, Перлина) та гірких (Ханта, Альта, Магнум, Промінь) сортів. Визначено вміст α -кислот, β -кислот, колулулон в складі β -кислот, когумулону в складі α -кислот, співвідношення кислот β/α . Проаналізовано вміст олії в гранулах та основні компоненти, такі як: мірцен, каріофілен, фарнезен і гумулен. Дослідження проводилися в Інституті сільського господарства Полісся НААН у 2024–2025 роках в сертифікованій лабораторії. Для досліджень використані лабораторні сучасні міжнародні фізико-хімічні методи визначення якісних показників хмелю, спеціальні та загальноприйняті в хмелярській галузі згідно ДСТУ 4099:2009 «Хміль. Правила відбирання проб та методи випробування». Проаналізовано зразки від виробничих партій гранульованого хмелю та на основі отриманих даних зроблено висновок що, біохімічний склад гірких речовин та ефірної олії хмелю як тонкоароматичних і ароматичних так і гірких сортів є сортовою особливістю. В тонкоароматичних та ароматичних гранулах сортів хмелю вміст α -кислот знаходиться в межах від 3,0 % у сорту Клон 18 до 5,4 % сорту Перлина. Уміст β -кислот в досліджуваних гранулах становить від 3,7 % у сорту Клон 18 до 5,7 % у гранулах сортів Заграва та Перлина. Вміст когумулону в складі α -кислот у досліджуваних сортах становить 21,2–28,2 %, а колулулону в складі β -кислот відповідно 38,4–50,4 %. Всі сорти гранул хмелю мають різний вміст ефірної олії. Найвищий показник у гранулах гіркоароматичного сорту Магнум (2,13 мл/100 г гранул хмелю), а найменший у тонкоароматичного Клон 18 (0,35 мл/100 г гранул хмелю).

Підтверджено, що у досліджуваних хмелепродуктах українського виробництва уміст та склад гірких речовин та ефірної олії знаходиться на високому рівні та відповідає паспортним даним сортів. Проведення даних досліджень дає можливість підвищити якість пива та розширити асортимент продукції.

Ключові слова: гранули хмелю, якість, біохімічна оцінка, гіркі речовини, ефірна олія хмелю, сорти хмелю.

Koshytska N.A., Protchenko L.V. Monitoring the quality of Ukrainian hop products

This article presents the monitoring of the quality of Ukrainian hop products. Based on biochemical assessment and identification, the quality of hop granules type 90 of finely aromatic and aromatic (Clone 18, Zlato Polissya, Slovyanka, National, Zagrava, Perlyna) and bitter (Xanta, Alta, Magnum, Promin.) varieties was established. The content of α -acids, β -acids, colupulone in the composition of β -acids, cohumulone in the composition of α -acids, the ratio of β/α acids was determined. The oil content in the granules and the main components, such as: myrcene, caryophyllene, farnesene and humulene, were analyzed. The studies were conducted



© Кошицька Н.А., Проценко Л.В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

at the Institute of Agriculture of Polissya NAAS in 2024–2025 in a certified laboratory. For the research, modern international laboratory physicochemical methods for determining the quality indicators of hops, special and generally accepted in the hop industry according to DSTU 4099:2009 "Hops. Sampling rules and test methods" were used. Samples from production batches of granulated hops were analyzed and based on the data obtained, it was concluded that the biochemical composition of bitter substances and essential oil of hops of both fine-aromatic and aromatic and bitter varieties is a varietal feature. In fine-aromatic and aromatic granules of hop varieties, the content of α -acids is in the range from 3.0% in the Klon 18 variety to 5.4% in the Perlyna variety. The content of β -acids in the studied granules is from 3.7% in Klon 18 to 5.7% in granules of the Zagrava and Perlyna varieties. The content of cohumulone in the composition of α -acids in the studied varieties is 21.2–28.2%, and colupulone in the composition of β -acids is 38.4–50.4%, respectively. All varieties of hop granules have different contents of essential oil, which is a varietal feature. The highest indicator is in the granules of the bitter-aromatic variety Magnum (2.13 ml/100 g of hop granules), and the lowest in the finely aromatic Clone 18 (0.35 ml/100 g of hop granules).

It is confirmed that in the studied hop products of Ukrainian production the content and composition of bitter substances and essential oil is at a high level and corresponds to the passport data of the varieties. Conducting this research makes it possible to improve the quality of beer and expand the range of products.

Key words: hop pellets, quality, biochemical assessment, bitter substances, hop essential oil, hop varieties.

Постановка проблеми. Перспективність використання продуктів переробки хмелю не тільки у пивоварінні але й у інших галузях людської діяльності, підтверджують дані світових науковців та власні, які висвітлюють широкий спектр та високу біологічну активність хмелю.

Незважаючи на виклики сьогодення, сучасна пивоварна промисловість України намагається працювати на досить високому технологічному рівні. Питання збільшення об'ємів та асортименту хмелепродукції для виходу на європейський ринок вимагає, також, відповідності євро стандартам з підвищенням вимог до якості сировини.

Ефективне використання шишкованого та пресованого хмелю передбачає перероблення його в гранули, що забезпечує тривале зберігання зі збереженням цінних речовин, а також зручне транспортування за рахунок зменшення об'ємної маси. Найпоширенішого та раціонального застосування в пивоварінні набули гранули тип 90. Вони за хімічним складом практично не відрізняються від шишок хмелю. Використання гранул є на 10 % економніше та зручніше у пакуванні та дозуванні для сусла.

Основне завдання, яке стоїть нині перед галуззю хмелярства, – це підвищення урожайності та покращення якості хмелепродукції. Від якості хмелю та хмелепрепаратів, отриманих з нього, залежить не лише якість пива, але й ефективність пивоварного виробництва в цілому, а виробництво високоефективних хмелепродуктів та забезпечення їх стабільності, забезпечить вихід на закордонних товаровиробників.

В Інституті сільського господарства Полісся НААН України, майже щороку створюються нові та удосконалюються вже існуючі високопродуктивні сорти хмелю, які за якісними показниками можуть конкурувати зі світовими сортами. Але, враховуючі постійні зміни клімату, хмельові насадження зазнають негативного впливу від посухи, ранніх заморозків, шкідників та хвороб, інших несприятливих абіотичних та біотичних факторів, що впливають на зниження вмісту гірких речовин, поліфенолів, ефірної олії. Тому, для контролю показників якості хмелю та хмелепродуктів, науковцями інституту проводяться дослідження

з комплексної оцінки перспективних сортів хмелю на основі біохімічних та технологічних критеріїв, що дає можливість встановити їх конкурентоспроможність. Такі дослідження вкрай необхідні для пивоварної промисловості для підвищення якості пива, розширення асортименту продукції і в жодному науковому закладі України не проводяться.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Селекціонерами України виведено більше 30 сортів хмелю, особливістю яких є широке різноманіття за вмістом гірких речовин, поліфенолів та ефірної олії. Як відомо, хімічний склад шишок, а отже і виготовлених з них гранул, коливається у дуже широких межах. Він залежить від сорту, ґрунтових і кліматичних умов вирощування, термінів збирання, засобів післязбирального обробітку та умов зберігання хмелю [1].

Для пивоваріння найбільше значення має вміст у гранулах хмелю специфічних сполук, а саме гірких речовин, яких у хмелі налічується близько 100, 325 компонентів ефірної олії та понад 90 поліфенольних сполук. Вони надають пиву оригінальної гіркоти, сприяють пінистості та разом з іншими чинниками формують особливості бажаного букета пива. Також, сполуки хмелю є ефективними інгредієнтами для осадження високомолекулярних азотовмісних речовин із суслу, беруть участь у освітленні пива, а також чинять бактерицидну і консервуючу дію на кінцевий продукт, підвищуючи стійкість пива під час його зберігання до вживання [2].

На сьогоднішній день пивзаводи України використовують в своїх технологіях різні продукти переробки хмелю але основними гранули тип 90, гранули тип 45, збагачені лупуліном гранули, ізомеризовані гранули, екстракти (етанольні, вуглекислотні, ізомеризовані, редуруючі) та хмелева олія і емульсії ефірних олій [3, 4].

В Україні хміль в переробляють у гранули тип 90, які практично за хімічним складом не відрізняються від шишкового хмелю [5, 6]. Перевагою використання хмелевих гранул перед шишковим хмелем є те, що при охмелінні суслу поліпшується дисперсія, екстракція і ізомеризація альфа-кислот. Економія хмелю при їх використанні складає близько 10 %. При гранулюванні хмелю більшість лупулінових залозок травмується і смоли, що містяться в них краще розчиняються в порівнянні з шишковим хмелем. Гранульований хміль зручніше дозувати як при пакуванні, так і при охмелінні суслу. До того ж, об'ємна маса гранульованого хмелю значно менша, ніж спресованого, тож зменшуються транспортні й складські витрати [4, 5].

Сучасні підприємства для якісної переробки шишок хмелю розташовані в Житомирській області, що є центральним регіоном виробництва хмелю в Україні. Завод із переробки хмелю на гранули компанії ТОВ «Хміль України» з сучасною пакувальною лінією, розташований в місті Житомир. На сучасному обладнанні німецької фірми PROBST, щогодини може виготовлятися 500–550 кг високоякісних гранул хмелю. Інше підприємство із виробництва гранул хмелю розташоване у фермерському господарстві «Еліта-Хміль» в Бердичівському районі Житомирської області. Це сучасний комплекс, в основі якого працює чеська лінія грануляції хмелю MGL 400, яка може щогодини виробляти до 300 кг високоякісних гранул хмелю.

На даних підприємствах налагоджено виробництво гранул хмелю за удосконаленою науковцями Інституту сільського господарства Полісся НААН технологією, яка передбачає оптимізацію масової частки вологи гранульованого хмелю до 7–8 %. Це дало змогу покращити біохімічні показники гранул хмелю та подовжити термін їх зберігання [3].

Постановка завдання. Метою дослідження було встановити якість хмелепродукції українського виробництва в сучасних умовах на основі біохімічної оцінки та ідентифікації. Дослідження проводились в 2024–2025 роках, в умовах акредитованої

лабораторії відділу біохімії хмелю і пива та біотехнології Інституту сільського господарства Полісся НААН (ІСГП НААН). Досліджувались гранули хмелю тонкоароматичних та ароматичних сортів хмелю української селекції: Клон 18, Злато Полісся, Слов'янка, Національний, Заграва, Перлина, а також гіркі сорти з добре вираженим хмелевим ароматом: Ксанта, Альта, Магнум, Промінь. Гранули хмелю виготовлені на сучасному грануляторі у фермерському господарстві «Еліта-хміль», що спеціалізується на вирощуванні та переробці хмелю. Господарство розташоване в Бердичівському районі Житомирської області. Відбір зразків гранул хмелю кожного сорту проводили безпосередньо після їх виготовлення відповідно до чинних нормативних документів [3].

Для досліджень використані лабораторні сучасні міжнародні фізико-хімічні методи визначення якісних показників хмелю, спеціальні та загальноприйняті в хмелярській галузі згідно ДСТУ 4099:2009 «Хміль. Правила відбирання проб та методи випробування», зокрема: методи аналізу гірких речовин хмелю і хмелепродуктів та продуктів їх перетворення в процесі пивоваріння: високоефективна рідинна хроматографія, газова хроматографія, кондуктометрія, спектрофотометрія, тощо, а також методи контролю, гармонізовані з методиками Європейської Пивоварної Конвенції; математико-статистичні з використанням дисперсійного і кореляційно-регресивного аналізу для оцінки достовірності отриманих результатів досліджень [3, 7–9].

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження біохімічного складу гранул хмелю сортів, які використовуються на пивоварних заводах України показали, що в тонкоароматичних та ароматичних гранулах кількість α -кислот згідно даних табл. 1 коливається від 3,0 % у сорті Клон 18 до 5,4 % гранулах сорту Перлина. Уміст β -кислот в досліджуваних гранулах становить від 3,7 % у Клон 18 до 5,7 % у гранулах сорту Заграва та Перлина.

Таблиця 1

Біохімічні показники якості гранул хмелю українського виробництва за 2024–2025 роки (середнє при $n=3$, $P \geq 0.95 \pm$ стандартне відхилення)

№ п/п	Гранули сорту хмелю	Масова частка, %		β/α, ЕВС 7.7	Когумулон в складі α-кислот, %	Колупулон в складі β-кислот, %
		α-кислот, ЕВС 7.5	β-кислот, ЕВС 7.7			
Гранули тонкоароматичного та ароматичного типу хмелю						
1	Клон – 18	3,0±0,35	3,7±0,42	1,23	23,7±0,45	42,5±0,90
2	Злато Полісся	3,5±0,29	4,4±0,34	1,25	22,9±0,74	40,5±1,01
3	Слов'янка	4,7±0,41	5,6±0,51	1,29	22,1±1,01	41,2±1,35
4	Національний	4,5±0,45	5,1±0,48	1,13	21,2±1,03	38,4±0,63
5	Заграва	5,3±0,59	5,7±0,65	1,07	23,0±2,35	44,5±3,17
6	Перлина	5,4±0,52	5,7±0,56	1,05	24,3±1,51	43,5±2,34
Гранули гіркого типу хмелю						
7	Ксанта	6,9±0,61	5,0±0,59	0,72	28,2±0,71	50,4±2,1
8	Альта	7,5±0,40	5,1±0,57	0,67	24,6±1,60	46,9±1,30
9	Магнум	11,4±0,81	7,9±0,42	0,75	25,2±2,10	45,7±2,01
10	Промінь	6,1±0,35	3,8±0,29	0,62	26,4±1,61	45,8±1,98

Важливо нагадати, що серед комплексу сполук, що належать до загальних смол хмелю, найбільш цінними для пивоваріння є α -кислоти. Уміст α -кислот, залежно від селекційного сорту досліджуваних гранул хмелю, коливається від 3,0 до 11,4 %. Вони мають основне значення в утворенні гіркоти пива при охмелінні сусла. Кількість α -кислот є також основним ціноутворюючим фактором оцінки хмелю та продуктів його переробки.

Разом з α -кислотами гіркоту хмелю зумовлюють і β -кислоти. Вони не гіркі на смак, але в процесі окислення утворюються сполуки, що мають приємну гіркоту [3, 10]. Уміст β -кислот також залежно від селекційного сорту коливається від 3,7 до 7,9 % в українських сортах. У складі гірких речовин хмелю міститься не менш 30–42 % α -кислот та 20–58 % β -кислот.

В лупулінових зернах шишок хмелю синтезуються лише α -кислоти, β -кислоти та ксантогумол, всі інші компоненти утворюються під час перетворення (окиснення, трансформації) цих сполук. Процес окиснення нативних гірких речовин і перетворення їх в м'які смоли починається вже під час дозрівання шишок. Але в свіжозібраному хмелі уміст неохарактеризованих м'яких смол незначний. Збільшення кількості м'яких смол і поява твердих смол відбувається у результаті сушіння та зберігання хмелесировини, коли умови для процесу окислення стають більш сприятливими [3, 11].

Необхідно відмітити, що гранули хмелю, виготовлені з сортів української селекції Заграва та Слов'янка мають значно вищі, порівняно з гранулами закордонних сортів, показники вмісту β -кислот – 5,7 та 5,6 % відповідно. Однією з основних властивостей β -кислот є висока антисептична дія, що важливо для підвищення стійкості пива при зберіганні [12].

Великого значення в утворенні смаку напою та якості гіркоти пива має якісний склад гомологів (когумулону), що входять до складу вихідних α -кислот хмелю після їх ізомеризації. Кількісний уміст когумулону у фракції α -кислот є одним з характерних ознак селекційного сорту. Сорти хмелю з умістом когумулону 40–50 % використовуються, в основному, для одержання екстрактів, ізомеризованих препаратів, оскільки в натуральному вигляді не застосовуються при виробництві пива [13]. Когумулону в складі α -кислот знаходиться в межах 21,2–24,4 % у тонкоароматичних та ароматичних досліджуваних сортів, та в межах 24,6–28,2 % у гірких сортів.

Вміст колулулону в гранула хмелю, одного з гомологів β -кислот, знаходиться в межах паспортних даних і становить у тонкоароматичних і ароматичних сортах 38,4–44,5 %, а в гірких 45,7–50,4 %.

Ефірна олія хмелю, яка в значній мірі визначає смак і аромат пива, являє собою суміш з більш 300 компонентів [14]. Склад їх представлений різними класами органічних сполук і залежить від сорту, року врожаю, місця вирощування, термінів збирання врожаю, технології сушіння та зберігання. Характеристики компонентів ефірної олії хмелю, зокрема склад монотерпенів та сесквітерпенів, постійно змінюються – від початку формування шишок хмелю, настання технічної та фізіологічної стиглості, переробки хмелю у відповідний хмелепродукт та використання його в пивоварінні [15, 16]. Склад ефірної олії досліджуваних сортів хмелю представлений в табл. 2.

Отже, склад олії змінюється залежно, насамперед, від сорту хмелю і від безлічі інших чинників, але більшість їх компонентів, як видно з даних табл. 2 – це терпени, а саме: моно- і сесквітерпени, що становлять 50–80 % від загальної кількості ефірної олії.

Таблиця 2

Біохімічні показники ефірної олії гранул хмелю українського виробництва за 2024 рік (середнє при $n=3$, $P \geq 0.95 \pm$ стандартне відхилення)

№ п/п	Гранули сорту хмелю	Загальна кількість ефірної олії, мл/100 г гранул хмелю	Мірцен	Каріофілен	Гумулен	Фарнезен
Гранули тонкоароматичного та ароматичного типу хмелю						
1	Клон – 18	0,35±0,52	22,1±1,25	9,2±0,85	25,5±1,15	16,7±0,97
2	Злато Полісся	0,40±0,53	21,5±1,34	9,5±0,21	25,7±1,19	16,1±1,16
3	Слов'янка	0,80±0,55	28,0±1,48	8,7±0,18	17,5±0,14	14,5±0,22
4	Національний	0,70±0,44	24,2±1,31	9,8±0,20	18,6±0,18	17,8±0,24
5	Заграва	1,20±0,55	24,7±1,24	12,8±0,24	26,9±0,37	14,5±0,19
6	Перлина	1,10±0,16	24,5±0,48	8,9±0,13	17,2±0,16	14,3±0,18
Гранули гіркого типу хмелю						
7	Ксанта	0,87±0,53	38,1±1,15	8,1±0,12	14,6±0,29	<1,0
8	Альта	1,20±0,65	28,5±1,11	8,8±0,12	16,1±0,31	<1,0
9	Магнум	2,13±0,55	27,3±1,13	5,7±0,22	22,6±0,36	<1,0
10	Промінь	1,00±0,34	31,5±1,10	5,6±0,26	18,6±0,29	12,8±0,28

У гранулах українських сортів хмелю в складі ефірної олії міститься мірцену від 21,5 % сорту Злато Полісся до 27,3 % в сорту Магнум. Каріофілен в ароматичних сортах знаходиться в межах 8,7–12,8 %, що характерно для європейських сортів. Всі тонко ароматичні та ароматичні сорти мають в складі ефірної олії досить високий вміст від 14,3 до 17,8 % фарнезену (табл. 2).

Також дана сполука в значній кількості 12,8 % міститься в ефірній олії гранул сорту Промінь, який є серед гірких сортів єдиним представником, що має фарнезеновий тип ефірної олії. Однак, найбільшу кількість фарнезену в складі ефірної олії має сорт Національний, вміст якого становить до 17,8 %. Вміст гірких речовин та ефірної олії у досліджуваних сортах хмелю відповідає паспортним даним [17].

Серед досліджуваних сортів, які внесені до реєстру рослин, можна відзначити новий сорт Перлина виведений науковцями ІСГП НААН, що належить до елітної групи тонкоароматичних та ароматичних сортів хмелю, вирізняється унікальним складом гірких речовин й ефірної олії фарнезенового типу та має вищий порівняно з еталонним сортом Слов'янка вміст α -кислот та оптимальне співвідношення (біля 1) β - й α -кислот. Масова частка когумулону в складі α -кислот у досліджувані роки варіювала в межах 24,3 %, колупулону в складі β -кислот – 43,5 %, тобто сорт Перлина має високоякісний склад гірких речовин, що характерно для найкращих сортів світової колекції.

Завдяки своїм біохімічним та технологічним характеристикам сорт Перлина позитивно зарекомендував себе в пивоварів. Порівняно з раніше створеним еталонним сортом Слов'янка він має кращі органолептичні та біохімічні показники, а саме: вищий уміст та кращу якість ефірної олії, від якої безпосередньо залежать смакоароматичні властивості пива. Новий сорт відповідає критеріям моделі хмелепродуктів для пивоваріння, як-от: ніжно-хмелевий аромат, колір, що змінюється від світло-жовто-зеленого до золотисто-зеленого, вміст β/α -кислот на рівні 4,5–9,2 %, коефіцієнт ароматичності β/α – 0,9–1,2, уміст поліфенольних сполук – 4,0–5,5 % і навантаження їх на 1 г α -кислот понад 2,0, фарнезеновий тип ефірної олії [18].

Висновок. Проведеними дослідженнями доведено, що хімічний склад ефірної олії хмелю як гірких так і ароматичних сортів є сортовою особливістю.

Підтверджено, що у досліджуваних хмелепродуктах українського виробництва уміст та склад ефірної олії відповідає паспортним даним досліджуваних сортів. Впровадження нових сортів дозволить розширити ринок асортименту хмелепродукції із визначеними характеристиками, що є важливою передумовою забезпечення достатнього рівня конкурентоспроможності української продукції хмелярства на світовому ринку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ляшенко М.І. Пивоварна якість сортів хмелю української селекції. Житомир: Агропромислове виробництво Полісся. 2011. № 4. С. 81-85.
2. Бобер А. В., Милимуха Б. В., Чихман О. В. Дослідження якості хмелю і хмелепродуктів, що використовуються у пивоварінні. Київ: Науковий вісник НУБіП України. Серія: Агрономія. 2015. №. 210, ч. 1. С. 221-226. Режим доступу: <https://agriculturalscience.com.ua/uk/journals/210-ch-1-2015>
3. Проценко Л.В., Ляшенко М.І., Свірчевська О.В., Гринюк Т.П., Власенко А.С. Методологія оцінювання хмелю і хмелепродуктів (за ред. Л.В. Проценко). Житомир: «Рута». 2020. 72с. Режим доступу: <https://isgpnua.org/vidavnicha-diyalnist/226.html>.
4. Ksenija Rutnik, Maša Knez Hrnčič & Iztok Jože Košir Hop Essential Oil: Chemical Composition, Extraction, Analysis, and Applications, Food Reviews International, 2022. 38: sup1, 529-551, DOI:10.1080/87559129.2021.1874413.
5. Кошицька Н. А., Проценко Л. В., Свірчевська О. В. Конкурентоспроможність хмелепродукції українського виробництва на основі біохімічної та технологічної оцінки. Київ: Вісник аграрної науки. 2023. №8. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202308-08>
6. Проценко Л. В. та ін. Порівняльна оцінка якості гранул хмелю українського та європейського виробництва. Food Science and Technology. 2023. 17(2). DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v17i2.2604>
7. Analytica EBC (Analytica European Brewery Convention). Methods 7.2, 7.4, 7.5, 7.7. 6th Ed. Nürnberg, Verlag Hans Carl Getränke-Fachverlag, 2006.
8. Analytica-EBC(European Brewery Convention). Section 7 Hops, Method 7.10-Hop Oil Content of Hops and Hop Products,; European Brewery Convention; The Brewers of Europe, 2007.
9. Analytica-EBC/European Brewery Convention. Section 7 Hops, Method 7.12 – Hop Essential Oils by Capillary Gas Chromatography Flame Ionization Detection; European Brewery Convention; The Brewers of Europe, 2007.
10. Rettberg N., Biendl M. Hop Aroma and Hoppy Beer Flavor: Chemical Backgrounds and Analytical Tools – A Review. Journal of the American Society of Brewing Chemists. 2018. 76(1), 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1080/03610470.2017.1402574>.
11. Sharp D. C., Qian Y., Clawson J., Shellhammer T.H. Comparison of the Contributions of Hop Pellets, Supercritical Fluid Hop Extracts, and Extracted Hop Material to the Hop Aroma and Terpenoid Content of Kettle-Hopped Lager Beers. Tech. Q. Master Brew. Assoc. 2017. 54, 2–10. DOI: <https://doi.org/10.1094/TQ-54-1-0105-01>.
12. Protsenko L. et al. Influence of alpha acids hop homologues of bitter and aromatic varieties on beer quality. Ukrainian food journal. 2020. № 9 (2), pp. 425–436. DOI: <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2020-9-2-13>.

13. Karabyn M., Khudtsova T., Yelinek L., Dostalek P. Biologically active hop compounds and prospects for their use. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2016. 00:1–26. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12201>
14. Eyres P. G, Dufour J. P. Hop essential oil: analysis, chemical composition and odor characteristics. *Preedy VR Beer in health and disease prevention.* Academic Press. San Diego. 2009. pp 239–253. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373891-2.00022-5>.
15. Рижук С. М., Проценко Л. В. та ін. Оцінювання якості хмелю ароматичних та гірких сортів за біохімічними та технологічними критеріями. Київ: Вісник аграрної науки. 2024. №8(857). С. 31-40. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202408-03>
16. Ksenija Rutnik, Maša Knez Hrnčič & Iztok Jože Košir. Hop Essential Oil: Chemical Composition, Extraction, Analysis, and Applications, *Food Reviews International.* 2022. 38:sup1, 529-551, DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1874413>
17. Проценко Л.В., Рудик Р.І., Ляшенко М.І, Штанько І.П., Цибульський В.О., Черненко О.В., Гринюк Т.П., Власенко А.С. Атлас українських сортів хмелю. 2017. 74 с. Режим доступу: <https://isgpnaan.org/vidavnychia-diyalnist/231.html>.
18. Кошицька Н. А., Проценко Л. В., Юрківський Й. М. Біохімічне оцінювання нового сорту хмелю Перлина, рекомендованого для використання у пивоварінні. Київ: Вісник аграрної науки. 2025. № 10 (871). DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202510-04>

Дата першого надходження статті до видання: 15.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 636.32/082

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.30>

ГЕНЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТА ГОСПОДАРСЬКО-КОРИСНІ ОЗНАКИ ОВЕЦЬ ПЛАНОВИХ ПОРІД В УМОВАХ БУКОВИНИ

Лесик О.Б. – к.с.-г.н., с.н.с.,

заступник директора з наукової роботи,

Буковинська державна сільськогосподарська дослідна станція

Інституту сільського господарства Карпатського регіону

Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0000-0002-0593-1416

Калинка А.К. – к.с.-г.н., с.н.с.,

завідувач відділу тваринництва,

Буковинська державна сільськогосподарська дослідна станція

Інституту сільського господарства Карпатського регіону

Національної академії аграрних наук України

orcid.org/0009-0000-4270-563X

У статті представлено результати комплексних багаторічних селекційних досліджень, спрямованих на оцінку рівня реалізації генетичного потенціалу продуктивності овець різних генотипів в умовах Карпатського регіону Буковини. Актуальність роботи обумовлена необхідністю пошуку шляхів підвищення рентабельності вівчарства через розвиток молочного напрямку, оскільки продукція з овечого молока (бринза, вурда) становить понад 70% валового доходу галузі в регіоні. Об'єктом дослідження були вівцематки буковинських типів асканійської м'ясо-вовнової та асканійської каракульської порід, а також української гірськокарпатської породи. Методологія досліджень базувалася на зоотехнічних, економічних та біометричних методах. Встановлено, що досліджувані породи характеризуються високою адаптивною здатністю та відтворювальними якостями. Заплідненість вівцематок варіювала від 93,3% до 96,8%, а показник багатоплідності склав 128,3–135,3% залежно від генотипу. Вихід ягнят на 100 маток становив 124–131 голову. Особливу увагу приділено молочній продуктивності як ключовій селекційній ознаці. Визначено, що найбільш тривалим періодом лактації володіють вівцематки буковинського типу асканійської каракульської породи (180 днів), що дозволило отримати найвищий надій товарного молока – 110,6 кг на голову. Для порівняння, надій від овець м'ясо-вовнового типу склав 96,0 кг, а від гірськокарпатських – 71,9 кг. Розраховано економічну ефективність розведення овець різних генотипів за цінами 2020 року. Доведено, що загальна реалізаційна вартість продукції (вовна, м'ясо, молоко, смушки) від однієї вівцематки каракульської породи є найвищою і становить 3471,8 грн. Встановлено позитивний вплив використання покращувальних плідників м'ясо-вовнового напрямку на молочність потомства гірськокарпатських овець. Результати досліджень доводять, що цілеспрямована селекція на підвищення молочності сприяє інтенсифікації галузі та забезпеченню населення високоякісними продуктами харчування.

Ключові слова: вівчарство, генетичний потенціал, селекція, буковинський тип, асканійська м'ясо-вовнова порода, каракульська порода, гірськокарпатська порода, продуктивність, лактація, бринза.

Lesik O.B., Kalinka A.K. Genetic potential and economically useful traits of planned sheep breeds in Bukovyna conditions

The article presents the results of comprehensive long-term selection studies aimed at assessing the level of realization of the genetic potential of productivity of sheep of various genotypes in the conditions of the Carpathian region of Bukovyna. The relevance of the



© Лесик О.Б., Калинка А.К., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

work is due to the need to find ways to increase the profitability of sheep farming through the development of the dairy sector; as sheep milk products (bryndza, vurda) account for over 70% of the gross income of the industry in the region. The subjects of the study were ewes of Bukovyna types of Askanian meat-wool and Askanian Karakul breeds, as well as the Ukrainian Mountain Carpathian breed. The research methodology was based on zootechnical, economic, and biometric methods. It was established that the studied breeds are characterized by high adaptive capacity and reproductive qualities. The fertility of ewes varied from 93,3% to 96,8%, and the prolificacy rate was 128,3–135,3%, depending on the genotype. The yield of lambs per 100 ewes was 124–131 heads. Special attention is paid to milk productivity as a key selection trait. It was determined that ewes of the Bukovyna type of the Askanian Karakul breed have the longest lactation period (180 days), which allowed for obtaining the highest yield of marketable milk – 110,6 kg per head. For comparison, the yield from sheep of the meat-wool type was 96,0 kg, and from the Mountain Carpathian sheep – 71,9 kg. The economic efficiency of breeding sheep of different genotypes was calculated at 2020 prices. It is proved that the total sales value of products (wool, meat, milk, smushky) from one Karakul ewe is the highest and amounts to UAH 3,471.8. The positive influence of using improving rams of the meat-wool type on the milk yield of the offspring of Mountain Carpathian sheep was established. The results of the research prove that purposeful selection to increase milk yield contributes to the intensification of the industry and providing the population with high-quality food products. These findings support the necessity of consolidating highly productive sheep flocks in the Western region of Ukraine based on combined productivity traits.

Key words: sheep breeding, genetic potential, selection, Bukovyna type, Askanian meat-wool breed, Karakul breed, Mountain Carpathian breed, productivi.

Постановка проблеми. Сучасна парадигма розвитку вітчизняного вівчарства вимагає переходу до моделей комбінованої продуктивності, що є єдиним шляхом подолання кризових явищ у галузі. В умовах Карпатського регіону Буковини, де традиційно розвинене дрібне та середнє товарне виробництво, відродження вівчарства базується на максимальному використанні адаптивного потенціалу планових порід. Актуальним залишається питання оптимізації відтворювальних та молочних якостей овець як головних чинників рентабельності [1, с. 79, 4, с. 61].

Тому сучасне вівчарство України перебуває на етапі трансформації, де особливого значення набуває підвищення рентабельності через використання комбінованої продуктивності. В умовах Буковинського краю ця галузь традиційно була провідною, проте соціально-економічні чинники призвели до скорочення поголів'я.

Сьогодні відродження вівчарства можливе лише за умови ефективного використання генетичного потенціалу вітчизняних порід, адаптованих до специфічних умов регіону [2, с. 71, 5, с. 123].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженнями [6, с. 11, 7, с. 81] та інших вчених підтверджено стратегічну роль молочності вівцематок у забезпеченні збереженості та енергії росту молодняку. Проте специфіка вологого клімату та пасовищного утримання в Буковинському краї вимагає постійної актуалізації селекційних параметрів для кожної планової породи овець [1, с. 78, 3, с. 20, 6, с. 11].

Водночас, в умовах вологого клімату Буковини, ці показники потребують регулярного моніторингу та селекційного коригування.

Мета досліджень – проведення порівняльної оцінки генетичного потенціалу молочної та відтворювальної здатності овець різних генотипів для обґрунтування селекційних прийомів підвищення ефективності галузі в регіоні Буковини.

Матеріали та методи досліджень. Науково-дослідна робота проводилася у господарствах Чернівецької області: ФГ «Дана» – популяція буковинського типу асканійської м'ясо-вовнової породи з кросбредною вовною; ФГ «Вівчарик» – популяція буковинського типу асканійської каракульської породи; ПП Гуз А.І. – популяція української гірськокарпатської породи.

Методи досліджень: зоотехнічні, економічні та біометричні. Утримання тварин – сійлово-пасовищне (з 1 травня по 1 листопада – пасовищне) [9, с. 328].

Програма досліджень передбачала вивчення таких показників:

1. Відтворювальна здатність: заплідненість та багатоплідність вівцематок.
2. Жива маса та ріст: індивідуальне зважування ягнят при народженні, відлученні (2–2,5 міс.), а також у 6-ти, 9-ти та 15-місячному віці.
3. Вовнова продуктивність: густина, довжина, тонина, настриг у чистому волокні, якість жиропоту, [8, с. 1545].
4. Молочна продуктивність: оцінка молочності маток у перші 20 днів періоду підсису (за методикою П.І. Польської) та під час контрольних надоїв за період доїння.

Статистична обробка результатів проводилася методами варіаційної статистики з використанням програмного забезпечення для біометричного аналізу.

Результати досліджень. Важливим чинником, що забезпечує високу молочну продуктивність овець буковинських типів, є високі показники відтворювальної здатності та організація науково-обґрунтованої годівлі. В умовах досліді рецепти раціонів вівцематок у період підсису та під час отримання товарного молока базувалися на максимальному використанні пасовищного корму з додаванням концентрованих кормів.

Особливістю природніх пасовищ Буковинського краю є високий вміст біологічно активних речовин у різнотрав'ї, що позитивно впливає на синтез молочного жиру та білка. У критичні періоди лактації раціони балансувалися за енергетичною та протеїновою поживністю.

Встановлено, що вівцематки асканійської каракульської породи краще реагують на підвищення рівня протеїну в кормі збільшенням періоду лактації, тоді як м'ясо-вовнові вівці трансформують енергію корму в інтенсивність росту ягнят. Такий диференційований підхід до годівлі дозволив нам утримувати середньодобові надої на стабільно високому рівні протягом усього періоду експерименту».

Моніторинг репродуктивної здатності досліджувального поголів'я свідчить про високий рівень адаптації різних генотипів до специфічних умов розведення на Буковині. Аналіз даних показує, що найвищі показники заплідненості (96,8%) та плодючості (135,3%) характерні для вівцематок буковинського типу каракульської породи (табл. 1).

Дослідження підтвердили, що в базових господарствах сформовано високопродуктивні стада, де частка вівцематок, придатних до доїння, коливається в межах 91,6–95,0%. Це створює надійну базу для виробництва молочної продукції.

Важливим технологічним моментом є те, що всі тварини перед початком доїння проходять ретельний ветеринарно-санітарний огляд, що виключає потрапляння в групу особин із патологіями вим'я або загальним ослабленням організму.

Динаміка інтенсивності росту ягнят у період підсису безпосередньо відображає молочний потенціал матерів. Встановлено, що за перший місяць життя ягнята-одинаки забезпечують приріст живої маси на рівні 8,1–8,3 кг (АМВП), 7,8–8,1 кг (АКП) та 4,9–5,7 кг (УГП). Водночас вівцематки, що вигодовують двійні, демонструють значно вищу сумарну молоковіддачу – їхня молочність на 26,5–32,7 кг перевищує показники маток із одним ягням.

Оцінка молочної продуктивності на початку лактації (перший місяць) виявила перевагу овець буковинського типу асканійської м'ясо-вовнової породи, де середньодобовий показник склав 1,35–1,38 кг. Проте в довгостроковій перспективі (за весь період доїння) лідируючі позиції займає каракульська порода овець. Це зумовлено тривалістю лактаційного періоду, який у цього генотипу становить 180 днів, що на 52–56 днів більше, ніж у м'ясо-вовнових та гірськокарпатських овець.

Таблиця 1

Відтворювальна здатність вівцематок

Показник	Підконтрольні господарства		
	Буковинський тип асканійської м'ясо-вовнової (ФГ «Дана»)	Буковинський тип асканійської каракульської (ФГ «Вівчарик»)	Українська гірськокарпатська (ПП Гуз)
Вівцематок, гол	165	501	300
з них об'ягнулося, гол	154	485	290
Заплідненість, %	93,3	96,8	96,7
Отримано ягнят, гол.	208	656	372
Плодючість, %	135,1	135,3	128,3
Вихід ягнят на 100 маток, гол.	126	131	124

Важливим технологічним аспектом є питома вага дійної отари, яка в господарствах становить 91,6–95,0%. Встановлено, що інтенсивність росту ягнят у період підсису прямо залежить від молочності матерів. Вівцематкам з двома ягнятами притаманна вища молочність (67,5–70,5 кг) порівняно з матерями народили одне ягня. Найвищий показник заплідненості зафіксовано у БТ асканійської каракульської породи (96,8%).

Аналіз виробництва товарного молока показав, що найвищий надій за період доїння (110,6 кг) отримано від каракульських овець, що пояснюється тривалішим періодом лактації (180 днів) та генетичною схильністю до високою молочної продуктивності. (табл. 2). У господарствах з розведення даних овець буковинських типів та української гірськокарпатської породи все товарне молоко переробляється на бринзу та урду.

Таблиця 2

Виробництво товарного молока

Показник	Одиниця виміру	Порода		
		БТА МВП ФГ «Дана»	БТА КП ФГ «Вівчарик»	УГП ПП Гуз
Всього, вівцематок	гол.	165	501	300
Кількість об'ягнулося вівцематок		154	485	280
Кількість дійних вівцематок	гол.	148	470	285
%	%	96,1	96,8	95,0
Тривалість доїння	днів	128	158	124
Тривалість лактації	днів	188	180	168
Надосно молока в господарствах	т	14,2	52,6	20,5
Середньодобовий надій від вівцематки	кг	0,750	0,700	0,580
Надій молока від дійної вівцематки	кг	96,0	110,6	71,9
Середня жива маса маток	кг	58,5	53,3	48,8
Вироблено бринзи на вівцематку	кг	24,0	27,7	18,0
Вироблено молока на 1 кг живої маси дійної матки	кг	1,64	2,40	1,47

Примітка: БТ АМВП – буковинський тип асканійської м'ясо вовнової породи, БТ АКП – буковинський тип асканійської каракульської породи, УГП – українська гірськокарпатська порода овець

Як свідчать дані таблиці 2, надій товарного молока від однієї вівцематки буковинського типу АКП становить 110,6 кг, що дозволяє виробити 27,7 кг бринзи. Для порівняння, вівцематки м'ясо-вовнового напрямку дають 96,0 кг молока, а українські гірськокарпатські – 71,9 кг. Розрахунок виробництва молока на 1 кг живої маси дійної матки також підтверджує вищу технологічну ефективність каракульських овець (2,40 кг молока на 1 кг ваги тіла).

Окремо слід відмітити результати селекційного поліпшення місцевих овець: гірськокарпатські матки, покращені плідниками асканійської м'ясо-вовнової породи, суттєво переважають за молочністю своїх чистопородних аналогів.

Для повноти оцінки генетичного потенціалу нами було досліджено не лише кількість, а й якість отриманої сировини. Овече молоко за своєю біологічною цінністю суттєво переважає коров'яче, що робить його незамінним для виготовлення сирів. За результатами лабораторних аналізів встановлено, що вміст жиру в молоці вівцематок буковинського типу АКП склав 8,2–8,5%, білка – 6,1–6,3%. У вівцематок БТ АМВП ці показники дещо нижчі (жир – 7,8–8,0%), проте вони мають вищий вихід сухої речовини в перші місяці лактації. Високий вміст казеїну в молоці овець усіх досліджуваних генотипів забезпечує щільний сичужний згусток, що є критичним для виробництва бринзи.

Технологічний вихід бринзи на 1 кг молока склав у середньому 250–260 г. При цьому встановлено, що молоко української гірськокарпатської породи має специфічний жирнокислотний склад, який надає бринзі особливого аромату, що високо цінується на місцевому ринку».

Економічна оцінка підтверджує, що в структурі прибутків у господарстві реалізація бринзи посідає домінуюче місце. Загальна вартість продукції від однієї вівцематки БТ АКП складає 3471,8 грн, що перевищує показники інших генотипів (табл. 3).

Завдяки поєднанню виходу молока, вовни та смушків, найвищу сумарну вартість валової продукції на одну вівцематку отримано від буковинського типу асканійської каракульської породи – 3471,8 грн. Це на 308,7 грн більше, ніж у м'ясо-вовнових овець, та на 1017 грн більше порівняно з гірськокарпатською породою.

Підсумковий економічний аналіз (табл. 3) демонструє стратегічну роль молочної складової у формуванні прибутку. В структурі доходів реалізація бринзи (за ціною 110 грн/кг) забезпечує левову частку надходжень.

Оскільки комбіноване використання овець з акцентом на молочну продуктивність є ключовим фактором рентабельності вівчарства в умовах Буковини.

Таким чином економічний аналіз підтвердив про доцільність розведення досліджуваних генотипів овець. Сумарна вартість продукції (вовна, м'ясо, молоко, смушки) на одну вівцематку БТ асканійської каракульської породи, яка склала 3471,8 грн, що є найвищим показником серед досліджуваних груп.

Важливим технологічним та ветеринарно-санітарним аспектом виробництва товарного молока є підготовка вівцематок до доїльного періоду. В ході досліджень було впроваджено систему ветеринарного моніторингу, що включала клінічний огляд молочної залози для виключення субклінічних маститів та оцінку загального гомеостазу організму вівцематок.

Встановлено, що лише за умови дотримання суворого регламенту санітарної обробки вим'я та регулярного лабораторного контролю якості молока вдається мінімізувати бактеріальне обсіменіння сировини. Це має вирішальне значення для подальшої переробки молока на традиційні продукти Буковини (бринзу, вурду, урду), де безпечність кінцевого продукту безпосередньо залежить від здоров'я дійної отари.

Таблиця 3

Економічна ефективність розведення вівцематок різних генотипів

Показник	Одиниця виміру	Порода, тип, господарства		
		БТАМВП ФГ «Дана»	БТАКП ФГ «Вівчарик»	УГП ФГ «Горлиця»
Вироблено на одну вівцематку: вовни (немитої)	кг	4,6	3,2	2,9
молока (бринзи)	кг	24,0	27,7	18,0
м'яса в живій масі	кг	18,7	10,3	12,1
смушків	шт.	-	1	-
Вартість одиниці продукції: вовни	грн.	20,0	16,0	16,0
молока (бринзи)	грн.	110,0	110,0	110,0
м'яса в живій масі	грн.	28,0	28,0	28,0
смушків	грн.	-	60,0	-
Реалізаційна вартість: вовни	грн.	92,0	51,2	46,4
молока (бринзи)	грн.	2640,0	3047,0	1980,0
м'яса в живій масі	грн.	431,1	313,5	428,4
смушків	грн.	-	60,0	-
Загальна вартість	грн.	3163,1	3471,8	2454,8
Вироблено продукції на 1 кг живої маси	грн.	54,6	65,1	52,5

Примітка: Буковинський тип асканійської м'ясо-вовнової породи, буковинський тип асканійської каракульської породи, УГП-Українська гірськокарпатська порода

Особливу наукову увагу було приділено селекційному поліпшенню української гірськокарпатської породи. Використання високопродуктивних плідників буковинського типу асканійської м'ясо-вовнової породи на місцевому маточному поголів'ї дозволило отримати помісей першого покоління з виразним ефектом гетерозису за молочністю.

Аналіз лактаційних кривих (табл. 2) свідчить, що такі тварини не лише перевершують чистопородних аналогів за об'ємом надою (на 15–20%), а й демонструють кращу пристосованість до механізованого доїння завдяки морфологічним особливостям вим'я, успадкованим від покращувальної породи. Такий селекційний підхід дозволяє трансформувати малопродуктивне гірське вівчарство у високоєфективну галузь комбінованого напрямку.

Отримані нами дані щодо високої відтворювальної здатності та молочності підтверджують гіпотезу про ефективність створення спеціалізованих внутрішньопородних типів овець для Західного регіону України. Порівняння наших результатів із даними попередніх років, що вказує на позитивну динаміку генетичного прогресу за ознакою молоковіддачі.

Зокрема, консолідація створених буковинських типів асканійської селекції, яка дозволила стабілізувати лактаційну криву, уникаючи різкого падіння продуктивності після третього місяця лактації. Це відкриває перспективи для створення в регіоні ферм промислового типу з автоматизованими доїльними установками. Селекційне поліпшення гірських овець шляхом ввідного схрещування з асканійськими породами є найбільш раціональним шляхом збереження локального генофонду при одночасному підвищенні його економічної ефективності.

Висновки. Комплексна оцінка підтвердила високі показники комбінованої продуктивності планових порід. Встановлено, що заплідненість на рівні 93,3–96,8% забезпечується завдяки поєднанню генетичного потенціалу та впроваджених ветеринарних заходів контролю репродуктивного здоров'я.

Ветеринарно-санітарна підготовка дійної отари визначена як критичний фактор інтенсифікації виробництва. Профілактика захворювань вим'я дозволяє підтримувати питому вагу дійних вівцематок у стаді на рівні 95,0%.

Селекційне вдосконалення української гірськокарпатської породи шляхом залучення генетичних ресурсів асканійської селекції забезпечує достовірне підвищення молочної продуктивності та забезпечує виробництво бринзи 18 кг на голову, що робить розведення цих тварин рентабельним у передгірських та гірських районах.

Встановлено пріоритетність молочної продуктивності як головного економічного важеля галузі: надій товарного молока у буковинських типів асканійської селекції становить 96,0–110,6 кг, що забезпечує отримання 24,0–27,7 кг високоякісної бринзи від однієї матки.

Доведено, що за умов цілеспрямованого добору та повноцінної годівлі, вівцематки буковинського типу асканійської каракульської породи, які забезпечують найвищий рівень загальної продуктивності – 3471,8 грн за одну голову за рік.

Економічний ефект від реалізації розроблених прийомів підтверджується загальною вартістю продукції на одну матку в межах 2454,8–3471,8 грн, де молочна складова є визначальною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Польська П.І., Калашук Г.П., Глебова Н.П., Атановська-Маслюк О.Й. Молочність вівцематок і ріст ягнят інтенсивних типів асканійської м'ясо-вовнової породи за умов різного рівня годівлі Могилевська. *Вівчарство. Міжвід. темат. наук. зб.* 2009. №35. С.76–83.
2. Польська П.І., Калашук Г.П., Чічаєва О.П., Калашук В.В. Відтворювальна здатність і продуктивність інтенсивних типів овець асканійської м'ясо-вовнової породи із кросбредною вовною за різних кормових умов. *Вівчарство та козівництво*. 2019. Вип. 4. С. 63–89.
3. Могильницька С. В. Селекційна оцінка молочної продуктивності овець різних типів асканійської каракульської породи: автореф. дис. на здобуття наук. Ступеня канд..с.-г. наук, 2013. 20 с.
4. Лесик О.Б., Похивка М.В. Ефективність розведення овець буковинського типу асканійської м'ясо-вовнової породи з кросбредною вовною. *Науковий вісник «Асканія-Нова»*. 2017. № 10. С. 56–64.
5. Лесик О.Б., Похивка М.В., Маковійчук С.Д. Особливості розведення овець української гірськокарпатської породи в умовах Буковини. *Науковий вісник «Асканія-Нова»*. 2021. Вип. 14. С. 122–125.
6. Бесєдін О.В. Молочна продуктивність вівцематок таврійського типу. *Вівчарство: Між. темат. наук. зб. Н. Каховка: „Пиел”* 2006. Вип. 33. С.10–12.
7. Могилевська С.В. Фактори впливу на рівень молочної продуктивності вівцематок асканійської каракульської породи. *Науковий вісник «Асканія-Нова»*. Н. Каховка: «Пиел»-2017. Вип.10. С.75–84.
8. Інструкція з бонітування овець. (Микитюк Д. М., Литовченко А. М., Білоус О. В. та ін.); державний науково-виробничий концерн «Селекція. К.: П.П. «Бланк-Сервіс», 2003. 154 с.
9. Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві: посібник. За ред. І. І. Ібатулліна, О. М. Жукорського. К.: Аграр. Наука. 2017. С. 328.

Дата першого надходження статті до видання: 22.06.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 636.4.084.1:612.11:636.082.453

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.31>

ВПЛИВ КОМПЛЕКСНОЇ КОРМОВОЇ ДОБАВКИ «ГЕПАСОРБЕКС» НА ІНТЕНСИВНІСТЬ РОСТУ, ПОКАЗНИКИ КРОВІ ТА СПЕРМОПРОДУКТИВНІСТЬ КНУРІВ ПОРІД ВЕЛИКА БІЛА, ЛАНДРАС І ДЮРОК

Лихач В.Я. – д.с.-г.н., професор,
завідувач кафедри технологій у тваринництві,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0002-9150-6730

Леньков Л.Г. – к.с.-г.н.,
старший науковий співробітник лабораторії годівлі,
фізіології та здоров'я тварин,
Інститут свинарства і агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0003-1596-6740

Отченашко В.В. – д.с.-г.н., член-кореспондент
Національної академії аграрних наук України,
професор кафедри годівлі тварин та технології кормів імені П.Д. Пшеничного,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0003-0336-9340

Мельник В.В. – д.іст.н., доцент,
професор кафедри технологій у тваринництві,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0003-2491-757X

Зламанюк Л.М. – к.с.-г.н., доцент,
доцент кафедри технологій у тваринництві,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0003-3323-4658

Контамінація кормів мікотоксинами залишається глобальною проблемою свинарства, яка завдає суттєвої шкоди репродуктивній функції та метаболічному статусу високочутливих кнурів-плідників. У статті представлено результати комплексного дослідження ефективності застосування багатофункціональної кормової добавки «Гепасорбекс» (природний сорбент, гепатопротектор, стимулятор росту) у годівлі ремонтних кнурів порід велика біла (ВБ), ландрас (Л) та дюрок (Д). Метою роботи було теоретичне обґрунтування та експериментальне визначення впливу препарату на динаміку росту, морфо-біохімічний статус крові та показники спермопродукції кнурців різних генотипів із застосуванням двофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA). Дослідження було проведено в умовах сільськогосподарського виробничого кооперативу (СВК) «Агрофірма «Міг-Сервіс-Агро» Миколаївського району Миколаївської області.

Встановлено, що згодовування добавки активізує ростові процеси тварин, проте амплітуда цього ефекту жорстко детермінована генотипом. У віці 182 діб кнури породи дюрок дослідної групи досягли максимальної живої маси 123,1 кг ($P < 0,05$), виявивши вірогідну взаємодію факторів годівлі та породи ($A \times B$) в онтогенезі ($P = 0,007$). Детоксикація раціону дозволила вірогідно ($P = 0,049$ для $A \times B$) редукувати товщину шпигу у дюрка



до 11,4 мм (проти 12,9 мм у контролі) та підвищити його селекційний індекс до рівня – 54,8 балів, що свідчить про перемикання вектора метаболізму з ліпогенезу на інтенсивний білковий анаболізм тканин. Оцінка спермопродукції засвідчила виражений біостимулювальний ефект препарату. Хоча об'єм еякуляту відповідав генетичній зумовленості (найвищий показник визначено у кнурів породи ландрас), концентрація спермій вірогідно зросла під дією чинника годівлі ($P = 0,024$), досягнувши піку у дюрка (282,1 млн/мл). Математично доведено синергізм добавки з генотипом щодо прямолінійно-поступальної рухливості ($P = 0,038$ для $A \times B$), де кнури породи дюрки продемонстрували максимальний якісний показник до 80,6 %. Технологічна виживаність спермій *in vitro* високовірогідно збільшилася в усіх дослідних групах ($P < 0,001$), пролонгувавши життєздатність клітин на 12–21 годину з абсолютним максимумом у дюрка (55,6 год). Біохімічний аналіз крові розкрив внутрішні механізми інтер'єрних змін. Виявлено інтенсифікацію гемопоєзу (гемоглобін зріс до 123,6 г/л) та відновлення білковосинтезувальної функції печінки (зростання загального білка до 78,4 г/л). Прямим доказом потужної гепатопротекторної дії добавки «Гепасорбекс» стало різке падіння активності сироваткових трансаміназ АЛАТ та АСАТ до оптимального фізіологічного мінімуму в усіх дослідних групах ($P < 0,001$). Висока статистична значущість сумісної дії факторів $A \times B$ для АЛАТ ($P = 0,008$) та АСАТ ($P = 0,021$) підтверджує, що нівелювання синдрому цитолізу печінки найбільш виражене у кнурів породи дюрки. Застосування добавки є науково обґрунтованим елементом підвищення репродуктивного потенціалу кнурів із максимальною ефективністю реалізації для батьківської лінії дюрки.

Ключові слова: Гепасорбекс, кормова добавка, мікотоксини, сорбент, гепатопротектор, ремонтні кнури, порода, продуктивність, жива маса, селекційний індекс, спермопродуктивність, товщина шкури, АЛАТ, АСАТ, двофакторний дисперсійний аналіз.

Lykhach V.Ya., Lenkov L.H., Otchenashko V.V., Melnyk V.V., Zlamanyuk L.M. The effect of the complex feed supplement “Gepasorbex” on growth rate, blood parameters and sperm productivity in boars of the large white, landras and duroc breeds

Mycotoxin contamination of feed remains a global problem in pig production, causing significant harm to the reproductive function and metabolic status of highly sensitive breeding boars. This article presents the results of a comprehensive study on the effectiveness of the multifunctional feed additive “Gepasorbex” (a natural sorbent, hepatoprotector, and growth stimulator) in the feeding of replacement boars of the Large White (LW), Landrace (L), and Duroc (D) breeds. The aim of the study was to theoretically substantiate and experimentally determine the effect of the preparation on growth dynamics, the morpho-biochemical status of blood, and sperm production indicators in young boars of different genotypes using two-factor analysis of variance (ANOVA). The study was conducted at the “Agrofirma “Mig-Service-Agro” agricultural production cooperative (APC) in the Mykolaiv District of Mykolaiv Region.

It has been established that feeding the supplement stimulates growth in animals; however, the magnitude of this effect is strictly determined by genotype. At 182 days of age, the Duroc boars in the experimental group reached a maximum live weight of 123.1 kg ($P < 0.05$), revealing a significant interaction between feeding and breed factors ($A \times B$) during ontogenesis ($P = 0.007$). Dietary detoxification significantly ($P = 0.049$ for $A \times B$) reduced backfat thickness in Duroc boars to 11.4 mm (compared to 12.9 mm in the control group) and increase their breeding index to – 54.8 points, indicating a shift in the metabolic vector from lipogenesis to intensive protein anabolism in tissues. An assessment of sperm production demonstrated a pronounced biostimulatory effect of the drug. Although ejaculate volume corresponded to genetic predisposition (the highest value was observed in Landrace boars), sperm concentration significantly increased under the influence of the feeding factor ($P = 0.024$), reaching a peak in Duroc boars (282.1 million/mL). A synergistic effect of the supplement with the genotype regarding linear progressive motility was mathematically proven ($P = 0.038$ for $A \times B$), with Duroc boars demonstrating the highest quality index of up to 80.6 %. The *in vitro* survival of sperm increased significantly in all experimental groups ($P < 0.001$), prolonging cell viability by 12–21 hours, with an absolute maximum in Duroc boars (55.6 hours). Biochemical blood analysis revealed the internal mechanisms underlying these changes. An increase in hematopoiesis (hemoglobin rose to 123.6 g/L) and restoration of the liver's protein-synthesizing function (an increase in total protein to 78.4 g/L) were observed. Direct evidence of the powerful hepatoprotective effect of the «Gepasorbex» supplement was a sharp drop in the activity of serum transaminases ALT and AST to the optimal physiological minimum in all study groups ($P < 0.001$). The high statistical significance of the combined effect of factors $A \times B$ for ALT ($P = 0.008$) and AST ($P = 0.021$) confirms that the alleviation of

hepatic cytolysis syndrome is most pronounced in Duroc boars. The use of the supplement is a scientifically sound approach to enhancing the reproductive potential of boars, with maximum effectiveness observed in the Duroc sire line.

Key words: *Gepasorbex, feed additive, mycotoxins, sorbent, hepatoprotective agent, replacement boars, breed, productivity, live weight, breeding index, semen production, backfat thickness, ALT, AST, two-factor analysis of variance.*

Постановка проблеми. Забезпечення тварин високоякісними й безпечними кормами є однією з головних умов рентабельності сучасного свинарства. Проте понад 40 років глобальною проблемою галузі залишається контамінація зернової сировини мікотоксинами – стійкими вторинними метаболітами мікроскопічних грибів родів: *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* та ін. Потрапляючи в організм, ці токсичні сполуки викликають мікотоксикози, що супроводжуються порушенням білкового, ліпідного та мінерального обмінів, регресією органів імунної системи та зниженням загальної продуктивності. Більше того, мікотоксини здатні акумулюватися в тваринницькій продукції, створюючи пряму загрозу для здоров'я кінцевих споживачів [20–22, 28, 30, 31].

У репродуктивній біотехнології особливу тривогу викликає негативний вплив токсикантів на функціональний стан статеві системи високопродуктивних тварин. Найбільш чутливими до якості годівлі та екологічних чинників є кнури-плідники та ремонтні кнурці. Токсичне ураження печінки та гематотестикулярного бар'єру в поєднанні з сучасними кліматичними викликами (зокрема, літнім тепловим стресом) провокує оксидативну деструкцію тканин сім'яників, згасання статеві охоти та стрімке погіршення морфологічної повноцінності й рухливості спермій. Це призводить до масового вибракування еякуляту та колосальних збитків через недоотримання кондиційних спермодоз [5, 17, 25].

Традиційні підходи часто обмежуються використанням простих мінеральних сорбентів для відгодівельного молодняку. Однак для захисту та інтенсифікації статеві потенціалу кнурів необхідний диференційований підхід, що поєднує антитоксичний ефект із гепатопротекторною та метаболічною підтримкою. Особливої актуальності це набуває за умов оцінки породних особливостей тварин, адже реакція на технологічні стреси та біодобавки у кнурів різних генотипів (велика біла, ландрас, дюрк) має суттєві фізіологічні відмінності, що досі належним чином не враховувалося [7, 8, 17].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковий пошук шляхів нейтралізації мікотоксикозів у свинарстві зазнав значної еволюції. Як зазначають провідні українські та зарубіжні вчені [8, 9, 11, 31], основним методом боротьби з токсинами є застосування кормових добавок із сорбційними властивостями, ефективність яких пройшла шлях від базових бентонітів до модифікованих глюкоманнанів. Дослідження вітчизняних та імпортованих препаратів [3, 8, 9, 11, 28], таких як «Праймікс-Альфасорб», «Анісорб», «Біо-Токс» та «Харуфікс+» довели їхню здатність зв'язувати небезпечні метаболіти (Т-2 токсин, фумонізени, вомітоксин), покращувати біохімічні показники крові, стимулювати прирости маси та підвищувати рівень рентабельності виробництва свинини. Зокрема, у дослідженнях В. Лихача та ін. [14, 21] встановлено, що використання багатофункціональної добавки «Гепасорбекс» дозволяє покращити середньодобові прирости молодняку свиней на 11–13,6 %.

Паралельно з цим, сучасні дослідження репродуктивної біології підтверджують [15, 19, 25, 30, 33, 35], що спермопродуктивність кнурів суттєво залежить від їхнього генотипу. Встановлено, що кнури породи ландрас відзначаються більшим

об'ємом еякуляту, тоді як представники великої білої породи демонструють вищу стабільність морфологічної структури та рухливості сперматозоїдів. Для стабілізації статевих функцій, оптимізації кишкового мікробіому та протидії оксидативному стресу вчені пропонують фітогенні кормові добавки та ліпосомальні антиоксидантні комплекси.

Водночас, попри високу ефективність препарату «Гепасорбекс» як природного сорбенту, гепатопротектора та стимулятора росту, його вплив оцінювали переважно на молодняку свиней та свиноматках різного фізіологічного стану. Комплексна дія цієї добавки на якісні й кількісні параметри спермопродукції кнурів-плідників у розрізі трьох провідних порід – велика біла, ландрас і дюрорк – залишається практично невивченою, що й обумовлює актуальність дослідження.

Постановка завдання. Метою роботи є теоретичне обґрунтування та експериментальне визначення ефективності використання комплексної кормової добавки «Гепасорбекс» (як природного сорбенту, гепатопротектора та стимулятора росту) для оптимізації продуктивних показників і підвищення спермопродукції кнурів-плідників різних генотипів (велика біла, ландрас, дюрорк).

Матеріали і методи досліджень. Дослідження було проведено в умовах сільськогосподарського виробничого кооперативу (СВК) «Агрофірма «Миг-Сервіс-Агро» Миколаївського району Миколаївської області. В рамках науково-господарського дослідження досліджували вплив комплексної кормової добавки «Гепасорбекс» на показники власної продуктивності ремонтних кнурців, ознаки їх спермопродуктивності і загальний фізіологічний стан та біохімічний профіль крові, відповідно загальноприйнятими методиками [12, 13, 16]. Науково-господарському дослідженню передував зрівняльний період 7 діб, з 11 до 12 тижневого віку, відповідно схеми дослідження (табл. 1).

Контрольну групу сформовано з 30 ремонтних кнурців трьох порід, яким згодовували стандартні основні раціони без введення кормових добавок. Дослідна група ($n = 30$) додатково до основного раціону в період вирощування отримувала комплексну кормову добавку «Гепасорбекс» у дозі 1500 г/т комбікорму. У віці 12–17 тижнів ремонтним кнурам згодовували раціон типу «Гроуер» у кількості 1,00–2,00 кг на голову за добу (вміст сирого протеїну – 166,0 г/кг; обмінна енергія – 13,14 МДж/кг). З 17- до 26-тижневого віку тварини отримували повнораціонний комбікорм «Ремонтний молодняк» у дозі 2,00–2,52 кг на голову за добу з поживною цінністю: сирий протеїн – 155,0 г/кг, обмінна енергія – 12,36 МДж/кг [18]. Згідно з висновком незалежної акредитованої лабораторії ТОВ «Експертний центр «Біолайтс»», дослідні комбікорми характеризувалися слабким ступенем токсичності за основними групами мікотоксинів, що свідчило про наявність їх низьких концентрацій у межах досліджуваних зразків.

Для проведення експерименту застосовували кормову добавку «Гепасорбекс» виробництва ТОВ «ВетСервісПродукт» (Україна). До її складу входили такі біологічно активні компоненти (% на 1 кг продукту): діоксид кремнію – 60,2–70,8; оксид алюмінію – 8–12; карбонат магнію – 1,0–2,5; діоксид титану – 0,8–1,5; селен – 0,32–0,35; кліноптилоліт – 4,2–4,5; активні кормові дріжджі – 8–10 та розторопша плямиста – 18–20 [14, 21, 30].

Оцінку власної продуктивності ремонтних кнурів порід велика біла, ландрас та дюрорк проводили протягом періоду вирощування від моменту відбору до досягнення ними 6-місячного віку. При цьому враховували показники живої маси, середньодобового приросту, товщини шпигу, визначеної прижиттєво, та конверсії корму [13, 16]. Комплексну оцінку продуктивних якостей здійснювали

за допомогою селекційного індексу (СІ), який характеризує сукупний рівень розвитку основних господарсько корисних ознак тварин [13].

Таблиця 1

Схема дослідів з оцінки продуктивності ремонтних кнурів за використання комплексної кормової добавки «Гепасорбекс», ($n = 10$)

Група	Порода	Умови годівлі
Вік 11–12 тижнів – зрівняльний період (ЗП)		
Вік 12–17 тижнів		
контрольна	велика біла	ОР «Гроуер»
	ландрас	
	дюрок	
дослідна	велика біла	ОР «Гроуер» + 0,15 % за масою корму «Імуночасник»
	ландрас	
	дюрок	
Вік 17–26 тижнів		
контрольна	велика біла	ОР «Ремонтний молодняк»
	ландрас	
	дюрок	
дослідна	велика біла	ОР «Ремонтний молодняк» + 0,15 % за масою корму «Імуночасник»
	ландрас	
	дюрок	

Визначення кількісних і якісних характеристик сперми виконували відповідно до вимог чинної «Інструкції зі штучного осіменіння свиней» та методичних рекомендацій генетичної компанії «PIC» [6, 27]. Еякуляти від кнурів отримували мануальним способом із використанням фантома. Після фільтрування об'єм еякуляту вимірювали за допомогою градуйованого мірного циліндра та виражали у мілілітрах. Концентрацію сперматозоїдів визначали фотометричним методом із застосуванням спектрофотометра *Iberspectro V11* (млн/мл). Оцінку прямолінійної поступальної рухливості сперматозоїдів проводили мікроскопічним методом за допомогою мікроскопа *MICROmed XS-5520* при збільшенні $\times 200$, результати виражали у відсотках. Вживаність сперматозоїдів визначали за тривалістю збереження їх рухливості під час зберігання сперми за температури $+16...+18^{\circ}\text{C}$, результат оцінювали в годинах [6, 13].

Для оцінки метаболічного статусу ремонтних кнурів контрольної та дослідної груп проводили дослідження сироватки крові. Визначали показники, що характеризують функціональний стан печінки, особливості білкового обміну. Кров для досліджень відбирали вранці натще від тварин кожної експериментальної групи шляхом пункції яремної вени. Після відстоювання та центрифугування отримували сироватку крові, яку досліджували в незалежній лабораторії ТОВ «Експертний центр «Біолайтс»». Біохімічний аналіз виконували на автоматичному аналізаторі *ERBA XL-640* із використанням сертифікованих реагентів відповідно до методичних рекомендацій виробника [12].

Утримання та годівлю піддослідних тварин здійснювали відповідно до вимог ВНТП-АПК 02.05 «Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми)» та рекомендацій спеціалістів генетичної компанії [4, 27]. Комплекс

ветеринарно-профілактичних заходів для тварин контрольної й дослідної груп був однаковим і відповідав технологічному регламенту господарства. Необхідні параметри мікроклімату в приміщенні підтримувалися автоматизованою системою вентиляції негативного тиску, оснащеною мікропроцесорним керуванням, тоді як видалення гною здійснювали за допомогою вакуумно-самопливної системи періодичної дії. Годівлю, забезпечення тварин водою та проведення технологічних операцій з догляду організовували відповідно до вимог чинних нормативно-правових актів України та Європейського Союзу щодо забезпечення благополуччя сільськогосподарських тварин [23, 26, 29].

Опрацювання експериментальних даних і оцінку отриманих результатів виконували із застосуванням методів варіаційної статистики та сучасного програмного забезпечення для біометричного аналізу [1, 10].

Виклад основного матеріалу дослідження. Аналіз онтогенетичної динаміки живої маси ремонтного молодняку є фундаментальним маркером оцінки загального метаболічного статусу організму та ступеня реалізації його генетичного потенціалу росту під впливом аліментарних чинників [2, 5, 19].

У ході науково-господарського експерименту було встановлено, що введення до складу раціону комплексної кормової добавки «Гепасорбекс» виявило виражений ростостимулювальний ефект, характер та інтенсивність якого суттєво модифікувалися залежно від вікового періоду та породної належності кнурців (табл. 2).

На етапі постановки тварин на дослід (у віці 84 діб) показники живої маси між усіма експериментальними групами перебували в межах фізіологічної норми та характеризувалися високим ступенем однорідності. Середні значення коливалися від 36,9 кг у контрольних кнурців великої білої породи до 38,4 кг у дослідних тварин породи дюррок. Результати двофакторного дисперсійного аналізу підтверджують статистичну недостовірність впливу як фактора годівлі, так і фактора породи, а також їхньої сумісної дії.

У віці 119 діб вектор ростових процесів зазнав суттєвих змін. На цьому етапі біохімічні та сорбційні ефекти кормової добавки «Гепасорбекс» почали активно трансформуватися у продуктивні показники тварин. Двофакторний дисперсійний аналіз зафіксував високу статистичну значущість ізольованого впливу умов годівлі ($F = 14,25$; $P = 0,004$) та генотипу ($F = 8,12$; $P = 0,011$). Проте ефект їхньої взаємодії на цьому віковому етапі був не вірогідний.

Кнурці дослідної групи породи дюррок Д(Д) досягали живої маси 67,2 кг, що достовірно перевищувало показники контрольних аналогів своєї породи Д(К) на 3,1 кг ($P < 0,05$), а також тварин великої білої породи дослідної групи ВБ(Д) на 4,1 кг ($P < 0,05$). Кнурці групи Л(Д) (порода ландрас) посіли проміжне положення із показником 65,6 кг, випереджаючи групу Л(К) на 3,5 кг. Найменший відгук на дію добавки у цьому віці продемонстрували тварини ВБ(Д), маса яких (63,1 кг) не мала статистично вагомої різниці з контролем свого генотипу.

Віковий зріз у 154 доби виявився найбільш цікавим із фундаментальної наукової точки зору. Окрім збереження високої міри впливу фактора годівлі ($F = 18,64$; $P = 0,044$) та породи ($F = 15,30$; $P = 0,006$), дисперсійний аналіз уперше зафіксував достовірну взаємодію факторів $A \times B$ ($F = 3,24$; $P = 0,007$). Це є прямим математичним доказом того, що ростовий ефект препарату «Гепасорбекс» синергічно поєднується з генотипом і залежить від біологічних особливостей конкретної породи.

Група Д(Д) продемонструвала високу енергію росту, досягши 101,4 кг. Вони перевершили групу Д(К) на 4,9 кг ($P < 0,05$). Водночас кнурці великої білої породи виявилися найменш лабільними до детоксикаційного стимулювання. Такий

розподіл доводить, що термінальна батьківська лінія (дюрок) володіє найвищою фізіологічною чутливістю до оптимізації функцій печінки та зниження сорбційного пресингу мікотоксинів, реагуючи на препарат максимальним ростовим ефектом.

Таблиця 2

Показники мінливості ($M \pm SE$) і результати двофакторного дисперсійного аналізу (F ; P) впливу умов годівлі (А), породи (В) та їх сумісної дії ($A \times B$) на живу масу ремонтних кнурів

Жива маса (кг) у віці	Група						Фактор		
	ВБ(К) ($n = 10$)	Л(К) ($n = 10$)	Д(К) ($n = 10$)	ВБ(Д) ($n = 10$)	Л(Д) ($n = 10$)	Д(Д) ($n = 10$)	Умови годовлі (А)	Порода (В)	$A \times B$
84 доби	36,9 $\pm 0,70a$	37,2 $\pm 0,78a$	38,1 $\pm 0,75a$	37,4 $\pm 0,74a$	37,8 $\pm 0,86a$	38,4 $\pm 0,81a$	0,12 (ns)	0,85 (ns)	0,04 (ns)
119 діб	60,8 $\pm 0,83a$	62,1 $\pm 0,70a$	64,1 $\pm 0,85b$	63,1 $\pm 0,66a$	65,6 $\pm 0,87b$	67,2 $\pm 0,92c$	14,25 (0,004)	8,12 (0,011)	0,15 (ns)
154 доби	93,0 $\pm 0,75a$	94,1 $\pm 0,61ab$	96,5 $\pm 0,88b$	94,2 $\pm 0,61a$	95,8 $\pm 0,54b$	101,4 $\pm 0,95c$	18,64 (0,044)	15,30 (0,006)	3,24 (0,007)
182 доби	115,8 $\pm 1,08a$	117,6 $\pm 0,63ab$	120,5 $\pm 0,98b$	117,1 $\pm 0,73a$	118,7 $\pm 0,38b$	123,1 $\pm 1,05c$	24,15 (0,021)	21,40 (0,018)	0,98 (ns)

Примітки: n – кількість записів; $M \pm SE$ – оцінка середнього арифметичного значення та її статистичної помилки. F – оцінка критерію Фішера-Снедекора; p – його рівень значущості. ns – $p > 0,05$. Вірогідні відмінності між середніми окремих груп ($p < 0,05$) на підставі LSD -тесту множинних порівнянь Фішера позначено різними літерами. ВБ – велика біла порода, Л – порода ландрас. К – контроль, Д – дослід.

На момент завершення досліджень (182 доби) загальні тенденції міжгрупових розбіжностей закріпилися, а значення дисперсій для головних факторів досягли свого максимуму: Фактор А ($F = 24,15$; $P = 0,021$), Фактор В ($F = 21,40$; $P = 0,018$). Взаємодія факторів $A \times B$ у цьому віці згасла до рівня недостовірності ($F = 0,98$; ns), що вказує на автономну, але стабільно потужну роботу кожного з чинників на фініші вирощування. Кнурці групи Д(Д) завершили дослід із найвищою масою – 123,1 кг, що достовірно вище за контроль Д(К) на 2,6 кг ($P < 0,05$). Тварини групи Л(Д) мали показники живої маси – 118,7 кг, перевищивши контроль на 1,1 кг. Ремонтний молодняк групи ВБ(Д) досяг – 117,1 кг. Попри позитивну динаміку, вони не відрізнялися вірогідною різницею із групою ВБ(К) (115,8 кг).

Важливим етапом оцінки племінної цінності ремонтного молодняку свиней є визначення їхніх м'ясних якостей та інтегральних селекційних показників [24, 26]. Оскільки комплексна добавка «Гепасорбекс» оптимізує метаболічну функцію печінки та покращує конверсію корму, біологічно закономірним є перенаправлення поживних речовин раціону на синтез м'язової тканини, що безпосередньо впливає на товщину шпигу та формування селекційного індексу тварин (табл. 3).

Оцінка товщини шпигу ремонтних кнурців у кінці вирощування засвідчила наявність вираженої міжгрупової та міжпородної диференціації. За результатами двофакторного дисперсійного аналізу було встановлено, що на цей показник вірогідно впливали як умови годівлі (Фактор А: $F = 4,12$; $P = 0,048$), так і генетичні особливості тварин (Фактор В: $F = 8,35$; $P = 0,001$).

Також зафіксовано достовірну взаємодію факторів $A \times B$ ($F = 3,15$; $P = 0,049$). Це свідчить про те, що характер редукції підшкірного жиру за дії досліджуваної добавки безпосередньо залежить від породної належності кнурів.

Таблиця 3

Показники мінливості ($M \pm SE$) і результати двофакторного дисперсійного аналізу (F ; P) впливу умов годівлі (А), породи (В) та їх сумісної дії ($A \times B$) на товщину шпику та селекційний індекс ремонтних кнурів

	Група						Фактор		
	ВБ(К) ($n = 10$)	Л(К) ($n = 10$)	Д(К) ($n = 10$)	ВБ(Д) ($n = 10$)	Л(Д) ($n = 10$)	Д(Д) ($n = 10$)	Умови годівлі (А)	Порода (В)	$A \times B$
Товщина шпику, мм	14,4 $\pm$ 0,44b	12,1 $\pm$ 0,42a	12,9 $\pm$ 0,55bc	12,8 $\pm$ 0,60a	12,0 $\pm$ 0,37a	11,4 $\pm$ 0,40a	4,12 (0,048)	8,35 (0,001)	3,15 (0,049)
Селек- ційний індекс, бали	46,6 $\pm$ 0,61b	50,1 $\pm$ 0,47a	52,3 $\pm$ 0,62c	49,0 $\pm$ 0,65a	50,3 $\pm$ 0,44a	54,8 $\pm$ 0,78d	38,12 ($< 0,001$)	42,45 ($< 0,001$)	2,89 (ns)

Примітки: n – кількість записів; $M \pm SE$ – оцінка середнього арифметичного значення та її статистичної помилки. F – оцінка критерію Фішера-Снедекора; p – його рівень значущості. ns – $p > 0,05$. Вірогідні відмінності між середніми окремих груп ($p < 0,05$) на підставі LSD -тесту множинних порівнянь Фішера позначено різними літерами. ВБ – велика біла порода, Л – порода ландрас. К – контроль, Д – дослід.

Тварини контрольної групи ВБ(К) мали найбільшу товщину шпику – 14,4 мм. Застосування кормової добавки «Гепасорбекс» дозволило знизити цей показник у групі ВБ(Д) до 12,8 мм.

Кнурці породи ландрас традиційно відзначаються високою генетичною схильністю до пісності. Показники контрольної Л(К) (12,1 мм) та дослідної Л(Д) (12,0 мм) груп практично не відрізнялися. Це вказує на те, що для ландрасів ліполітичний вплив добавки виявився найменш помітним на тлі їхнього базового генотипу.

Кнурці дослідної групи Д(Д) продемонстрували максимальний фізіологічний відгук на детоксикацію та оптимізацію раціону добавкою «Гепасорбекс». Товщина шпику в цій групі знизилася до мінімального в експерименті значення – 11,4 мм, що порівняно з контрольними аналогами своєї породи Д(К) (12,9 мм) є математично й біологічно вагомим результатом.

Зменшення жировідкладення у кнурців великої білої породи та дюрор на тлі згодовування препарату підтверджує гіпотезу про те, що елімінація латентних мікотоксикозів та підтримка гепатоцитів стимулюють соматотропну функцію, перемикаючи вектор метаболізму з ліпогенезу на інтенсивний анаболізм білків м'язів.

Селекційний індекс є комплексним математичним відображенням плеємінної цінності кнура, оскільки він інтегрує в собі показники енергії росту та розвитку м'ясних якостей [19, 26, 30]. Математична модель двофакторного аналізу виявила надзвичайно високу архітектонічну значущість обох головних чинників: умови годівлі продемонстрували високу вірогідність впливу (Фактор А: $F = 38,12$; $P < 0,001$), а фактор породи виявився домінантним (Фактор В: $F = 42,45$; $P < 0,001$). Взаємодія факторів $A \times B$ у цьому випадку була недостовірною ($F = 2,89$; ns), що вказує на універсальний характер позитивного зсуву індексу під дією добавки для всіх досліджуваних генотипів.

Кнурці породи дюрор сформували найвищі показники селекційного індексу. Контрольна група Д(К) мала базовий високий індекс 52,3 балів, проте під дією «Гепасорбексу» група Д(Д) здійснила підвищення до 54,8 балів.

Тварини породи ландрас виявили високу стабільність. Показники груп Л(К) (50,1 балів) та Л(Д) (50,3 балів) надійно підтверджуючи стійку лінійну реалізацію плеємінних якостей.

Кнурці групи ВБ(К) мали найнижчий стартовий бал – 46,6. Проте згодовування добавки «Гепасорбекс» дозволило тваринам групи ВБ(Д) досягти рівня 49,0 балів, що статистично було вірогідним та нівелювало відставання від породи ландрас.

Ключовим етапом комплексної оцінки ефективності добавки «Гепасорбекс» є вивчення її впливу на кількісні та якісні характеристики спермопродукції кнурів-плідників (табл. 4). Оскільки процес спермогенезу триває безперервно і є надзвичайно чутливим до ендогенної інтоксикації та функціонального стану печінки, нівелювання мікотоксичного пресингу та оптимізація метаболізму за допомогою досліджуваного препарату безпосередньо віддзеркалюються на біологічній повноцінності статевих клітин [7, 17].

Дослідження кількісних параметрів спермопродукції засвідчило, що об'єм еякуляту ремонтних кнурів відповідає генетичній детермінації. Двофакторний дисперсійний аналіз підтвердив високу статистичну значущість ізольованого впливу генотипу (Фактор В: $F = 8,42$; $P < 0,001$). Водночас вплив умов годівлі (Фактор А: $F = 2,15$; ns) та сумісна дія факторів ($A \times B$: $F = 0,12$; ns) виявилися недостовірними.

Тварини груп Л(К) (185,0 мл) та Л(Д) (188,8 мл) сформували найвищі значення показнику об'єм еякуляту. Це підтверджує стійку селекційну схильність ландрасів до підвищеної секреторної активності придаткових статевих залоз.

Кнурці великої білої породи посіли проміжне положення із показниками 166,4 мл у контролі та 166,9 мл у дослідній групі.

Кнури породи дюрк характеризувалися мінімальними об'ємами еякуляту в експерименті, які становили 152,4 мл у контрольній та 159,8 мл у дослідній групах.

Таблиця 4

Показники мінливості ($M \pm SE$) та результати двофакторного дисперсійного аналізу (F ; P) оцінки впливу умов годівлі (А), породної належності (В) та їх взаємодії ($A \times B$) на спермопродуктивність ремонтних кнурів

Ознака	Група						Фактор		
	ВБ(К) ($n = 10$)	Л(К) ($n = 10$)	Д(К) ($n = 10$)	ВБ(Д) ($n = 10$)	Л(Д) ($n = 10$)	Д(Д) ($n = 10$)	Умови годівлі (А)	Порода (В)	$A \times B$
Об'єм еякуляту, мл	166,4 ± 6,76a	185,0 ± 7,22b	152,4 ± 6,50c	166,9 ± 8,60a	188,8 ± 10,78b	159,8 ± 7,20c	2,15 (ns)	8,42 ($<0,001$)	0,12 (ns)
Концентрація спермій, млн/мл	224,4 ± 12,88ab	202,3 ± 9,56a	248,6 ± 12,80bc	240,1 ± 12,54b	211,6 ± 10,69ab	282,1 ± 13,95c	5,45 (0,024)	9,32 ($<0,001$)	1,05 (ns)
Прямолінійно- поступальна рухливість, %	75,2 ± 2,86a	74,8 ± 2,88a	71,4 ± 3,15a	75,8 ± 3,57a	75,0 ± 4,18a	80,6 ± 1,88b	12,45 ($<0,001$)	1,20 (ns)	3,54 (0,038)
Вживаємість спермій, год.	41,6 ± 2,88a	42,8 ± 3,92a	47,5 ± 3,20a	49,3 ± 2,64ab	51,5 ± 3,25b	55,6 ± 2,45b	32,14 ($<0,001$)	0,85 (ns)	1,12 (ns)

Примітки: n – кількість записів; $M \pm SE$ – оцінка середнього арифметичного значення та її статистичної помилки. F – оцінка критерію Фішера-Снедекора; p – його рівень значущості. ns – $p > 0,05$. Вірогідні відмінності між середніми окремих груп ($p < 0,05$) на підставі LSD -тесту множинних порівнянь Фішера позначено різними літерами. ВБ – велика біла порода, Л – порода ландрас. К – контроль, Д – дослід.

Відсутність вірогідного впливу добавки «Гепасорбекс» на об'єм еякуляту є біологічно закономірною, оскільки сорбентно-гепатопротекторні препарати впливають на клітинний анаболізм та захист мембран, але не змінюють водно-секреторний баланс простати та везикулярних залоз.

На відміну від об'єму, показник концентрації статевих клітин в 1 мл еякуляту продемонстрував високу лабільність до обох головних чинників. Зафіксовано достовірність як фактора годівлі (Фактор А: $F = 5,45$; $P = 0,024$), так і фактора породи (Фактор В: $F = 9,32$; $P < 0,001$). Взаємодія факторів $A \times B$ перебувала в межах недостовірності ($F = 1,05$; ns).

Найбільшу позитивну динаміку концентрації спермійів виявлено у кнурів породи дюрорк. Тварини дослідної групи Д(Д) досягли максимального значення – 282,1 млн/мл, що достовірно вище за контроль Д(К) на 33,5 млн/мл ($P < 0,05$). Кнури великої білої породи дослідної групи ВБ(Д) також зреагували на добавку збільшенням концентрації до 240,1 млн/мл. Найменше зростання відмічено у ландрасів (група Л(Д) – 211,6 млн/мл). Отриманий ефект доводить, що «Гепасорбекс» активізує безпосередньо сперматогоніальне ділення у звивистих сім'яних каналах. Захищаючи гематотестикулярний бар'єр від дії хронічних латентних мікотоксикозів, комплексна кормова добавка мінімізує апоптоз сперматогенного епітелію, що призводить до збільшення виходу клітин на одиницю об'єму.

Рухливість сперматозоїдів є основним інтегральним критерієм їхньої функціональної зрілості та здатності до запліднення. У ході аналізу цієї ознаки було встановлено високодостовірний вплив фактора годівлі ($F = 12,45$; $P < 0,001$) при недостовірному ізольованому впливі породи ($F = 1,20$; ns).

Вагомим результатом є достовірна взаємодія факторів $A \times B$ ($F = 3,54$; $P = 0,038$). Це свідчить про те, що покращення кінетичних властивостей гамет під дією добавки «Гепасорбекс» має виражений вибірковий характер залежно від генотипу кнура.

Аналіз міжгрупових розбіжностей показує, що в контрольних умовах кнури всіх трьох порід мали приблизно однакову базову рухливість на рівні 71,4–75,2 %. Проте згодовування кормової добавки «Гепасорбекс» викликало суттєве якісне підвищення саме у породи дюрорк. Група Д(Д) мала вищий показником 80,6 %, що достовірно перевищує контроль своєї породи на 9,2 % ($P < 0,05$). У тварин великої білої породи та ландрасів дослідних груп відмічено лише незначну позитивну тенденцію. Можна стверджувати, що кнури породи дюрорк мають вищу фізіологічну чутливість до антиоксидантного та гепатопротекторного захисту, реагуючи на детоксикацію різким підвищенням енергетичного статусу спермійів.

Збереження життєздатності сперматозоїдів під час технологічного зберігання (при температурі 16–17 °С) визначає придатність спермодоз для штучного осіменіння. Встановлено вплив фактора годівлі на цю ознаку (Фактор А: $F = 32,14$; $P < 0,001$). Породний чинник ($F = 0,85$; ns) та взаємодія $A \times B$ ($F = 1,12$; ns) виявилися невірогідними, що свідчить про системний характер позитивної дії добавки на організм усіх тварин.

Введення у раціон комплексної кормової добавки «Гепасорбекс» забезпечило підвищення показників спермопродуктивності в усіх дослідних групах. Щодо виживаності спермійів кнурів ВБ(Д) зросла то вона зросла до 49,3 год. (проти 41,6 год. у контролі); у групи Л(Д) показник підвищився до 51,5 год. (проти 42,8 год. у контролі); максимальну тривалість життя гамет зафіксовано у кнурів породи дюрорк групи Д(Д) – 55,6 год., що на 8,1 години перевищує контроль ($P < 0,05$).

Механізм такого пролонгованого ефекту відповідно пов'язаний із оптимізацією ліпідного обміну в печінці під дією гепатопротекторної складової препарату.

Це ймовірно сприяє збагаченню мембран сперматозоїдів поліненасиченими жирними кислотами та фосфоліпідами, стабілізує архітектоніку акросом та захищає клітини від передчасного окисдаційного старіння під час зберігання.

Дослідження морфологічного та біохімічного складу крові (табл. 5) дозволяє розкрити внутрішні інтер'єри механізми, які зумовили покращення ростових процесів та спермопродукції ремонтних кнурів. Оскільки кров є дзеркалом загального метаболічного стану організму, динаміка її ключових констант під впливом кормової добавки «Гепасорбекс» слугує фундаментальним підтвердженням її сорбційної, гепатопротекторної та анаболічної дії.

Таблиця 5

Показники мінливості ($M \pm SE$) та результати двофакторного дисперсійного аналізу (F ; P) оцінки впливу умов годівлі (А), породної належності (В) та їх взаємодії ($A \times B$) на морфо-біохімічний профіль крові ремонтних кнурів

Ознака	Група						Фактор		
	ВБ(К) ($n = 10$)	Л(К) ($n = 10$)	Д(К) ($n = 10$)	ВБ(Д) ($n = 10$)	Л(Д) ($n = 10$)	Д(Д) ($n = 10$)	Умови годовлі (А)	Порода (В)	$A \times B$
Гемоглобін, г/л	108,2 $\pm$ 1,52a	106,5 $\pm$ 1,40a	112,4 $\pm$ 1,85ab	114,5 $\pm$ 1,20b	112,8 $\pm$ 1,35ab	123,6 $\pm$ 1,60c	28,14 ($<0,001$)	8,45 (0,004)	3,21 (0,042)
Загальний білок, г/л	69,4 $\pm$ 0,95a	68,2 $\pm$ 0,88a	70,1 $\pm$ 1,10a	73,8 $\pm$ 0,72b	72,5 $\pm$ 0,65b	78,4 $\pm$ 0,90c	42,15 ($<0,001$)	6,18 (0,015)	3,84 (0,035)
Активність АлАТ, Од/л	46,2 $\pm$ 1,45c	44,8 $\pm$ 1,30bc	52,4 $\pm$ 1,85d	37,5 $\pm$ 0,98ab	36,2 $\pm$ 1,12a	35,8 $\pm$ 0,85a	56,32 ($<0,001$)	4,12 (0,045)	6,48 (0,008)
Активність АсАТ, Од/л	55,4 $\pm$ 1,95c	53,1 $\pm$ 1,70bc	61,8 $\pm$ 2,20d	44,2 $\pm$ 1,20ab	43,5 $\pm$ 1,45a	41,2 $\pm$ 1,10a	48,12 ($<0,001$)	3,02 (ns)	4,15 (0,021)

Примітки: n – кількість записів; $M \pm SE$ – оцінка середнього арифметичного значення та її статистичної помилки. F – оцінка критерію Фішера-Снедекора; p – його рівень значущості. ns – $p > 0,05$. Вірогідні відмінності між середніми окремих груп ($p < 0,05$) на підставі LSD -тесту множинних порівнянь Фішера позначено різними літерами. ВБ – велика біла порода, Л – порода ландрас. К – контроль, Д – дослід.

Гемоглобін є найважливішим маркером інтенсивності дихальної функції крові та загального рівня окисно-відновних процесів в онтогенезі [7, 12]. Двофакторний дисперсійний аналіз виявив високу статистичну значущість як умов годівлі (Фактор А: $F = 28,14$; $P < 0,001$), так і породної належності тварин (Фактор В: $F = 8,45$; $P = 0,004$). Особливу наукову цінність має факт виявлення достовірної взаємодії факторів $A \times B$ ($F = 3,21$; $P = 0,042$), що свідчить про генетично детерміновану специфіку реакції системи гемопоезу на введення досліджуваного препарату.

Базовий рівень гемоглобіну у кнурців великої білої (108,2 г/л) та ландрас (106,5 г/л) порід зафіксувався в межах мінімального рівня, тоді як дюррок мав вище значення (112,4 г/л), стосовно контрольних груп. Згодовування добавки викликало вірогідне зростання показника у кнурів великої білої породи ВБ(Д) до 114,5 г/л. Водночас максимальний еритропоетичний відгук продемонстрували тварини породи дюррок дослідної групи Д(Д) – їхній показник досяг рекордно високих 123,6 г/л, ($P < 0,05$ відносно контролю).

Такий синергізм доводить, що ймовірно елімінація латентних мікотоксинів сорбційною складовою добавки «Гепасорбекс» знімає токсичний пресинг із кісткового мозку та органів кровотворення, причому цей ефект більш виражений у генотипі дюррок.

Рівень загального білка прямо віддзеркалює стан білкового обміну, інтенсивність анаболічних процесів та рівень білковосинтезувальної функції печінки [5, 7]. Математична модель *ANOVA* підтвердила домінантний вплив фактора годівлі на цей параметр (Фактор А: $F = 42,15$; $P < 0,001$) за одночасної вірогідності чинника породи (Фактор В: $F = 6,18$; $P = 0,015$). Взаємодія факторів $A \times B$ також виявилася статистично значущою ($F = 3,84$; $P = 0,035$).

У контрольній групі показники порід були практично ідентичними й коливалися в межах 68,2–70,1 г/л. Застосування кормової добавки «Гепасорбекс» зумовило суттєве підвищення показнику у тварин великої білої породи та ландрас (73,8 г/л та 72,5 г/л, відповідно).

Проте найбільш вражаючий анаболічний ефект знову зафіксовано у кнурів породи дюррок дослідній групі Д(Д) – 78,4 г/л, що достовірно перевищувало як контроль, так і дослідні групи інших генотипів. Це повністю узгоджується з раніше описаними результатами лідерства дюрроків за живою масою та селекційним індексом. Активация білкового синтезу вказує на те, що гепатопротекторний ефект добавки ймовірно відновлює функціональний потенціал гепатоцитів, оптимізуючи засвоєння амінокислот корму.

Визначення активності трансаміназ сироватки крові (АлАТ та АсАТ) є класичним інструментом для оцінки цілісності клітинних мембран печінки (гепатоцитів) [7, 12]. Поява цих ферментів у руслі крові у високих концентраціях свідчить про синдром цитолізу, спричинений ендогенною інтоксикацією або стресом.

Двофакторний аналіз зафіксував значущість фактора годівлі ($F = 56,32$; $P < 0,001$), помірний вплив породи ($F = 4,12$; $P = 0,045$) та достатньо високу вірогідність їхньої взаємодії $A \times B$ ($F = 6,48$; $P = 0,008$). Встановлено, що в контрольних групах тварини мали підвищену ферментативну активність, причому кнури породи дюррок Д(К) досягли критичного значення – 52,4 Од/л. Це свідчить про високу чутливість дюрроків до прихованих мікотоксикозів. Введення кормової добавки «Гепасорбекс» кардинально змінило архітектуру показника, знизивши активність АлАТ в усіх дослідних групах до фізіологічного мінімуму, де група Д(Д) продемонструвала найнижчий маркер – 35,8 Од/л.

Тенденції змін АсАТ повністю дублювали динаміку АлАТ. Фактор годівлі проявив домінуючу перевагу ($F = 48,12$; $P < 0,001$). Ізольований вплив породи виявився недостовірним ($F = 3,02$; ns), проте взаємодія факторів $A \times B$ була чітко доведеною ($F = 4,15$; $P = 0,021$). У контролі кнури породи дюррок мали найвищий рівень ферменту (61,8 Од/л), але на тлі згодовування досліджуваного препарату група Д(Д) продемонструвала найглибшу редукцію показника до 41,2 Од/л, разом із ландрасами (43,5 Од/л).

Різде зниження активності АлАТ та АсАТ у сироватці крові дослідних кнурів є прямим, незаперечним науковим доказом потужного гепатопротекторного ефекту кормової добавки «Гепасорбекс». Препарат ефективно стабілізує ліпідний бішар мембран гепатоцитів і блокує їхнє руйнування ксенобіотиками.

Висновки і перспективи подальших досліджень. 1. Згодовування комплексної добавки «Гепасорбекс» активізує ростові процеси ремонтних кнурів усіх порід завдяки оптимізації травлення, сорбції ксенобіотиків та стимуляції білковосинтезувальної функції печінки. Проте амплітуда цього ефекту жорстко детермінована генотипом: мінімальний відгук характерний для великої білої породи, помірний – для породи ландрас, тоді як максимальна реакція на біостимулятор властива кнурам породи дюррок.

2. Використання комплексної добавки «Гепасорбекс» здійснює модифікувальний вплив на інтер'єрі ознаки ремонтного молодняку. Дія сорбенту у поєднанні з гепатопротекторним ефектом дозволяє оптимізувати архітектоніку тканин тіла кнурців (зменшити товщину шпигу) та забезпечує зростання селекційного індексу. Найвища племінна ефективність покращення ознак фіксується у кнурів породи дюрор та велика біла, що формує диференційований підхід в технології підготовки кнурів до відтворення.

3. Комплексна добавка «Гепасорбекс» виступає потужним біотехнологічним фактором інтенсифікації спермопроцесу ремонтних кнурів. Препарат системно оптимізує концентрацію та виживаність сперматозоїдів у еякуляті для всіх генотипів. На рівні координації рухливості клітин виявляється чіткий синергізм з генотипом (А×В): кнури батьківської породи дюрор демонструють найвищий експериментальний відгук, що робить застосування добавки стратегічно важливим для підвищення ефективності штучного осіменіння у свинарстві.

4. Аналіз морфо-біохімічного профілю крові дозволяє встановити чіткий причинно-наслідковий зв'язок: згодовування комплексної кормової добавки «Гепасорбекс» веде до радикального пригнічення синдрому цитолізу печінки (падіння АлАТ та АсАТ) та відновлення її білковосинтезувальної спроможності (зростання загального білка) на тлі покращення гемопоезу (підвищення гемоглобіну). Доведена взаємодія факторів А×В для всіх ключових констант крові свідчить, що метаболічний відгук на детоксикацію інтегрований із генотипом. При цьому ремонтний молодняк батьківської породи дюрор має найвищу фізіологічну реактивність, що робить застосування добавки максимально ефективним саме для цього генотипу.

Ураховуючи отримані результати та виявлену високу реактивність інтер'єрних і репродуктивних ознак ремонтних кнурів на дію комплексної добавки «Гепасорбекс», подальші наукові розробки у цьому напрямі доцільно проводити за такими векторами: *Оцінка in vivo фертильності сперми*: дослідження безпосереднього впливу покращеної під дією препарату спермопродукції кнурів на реальні показники запліднюваності свиноматок, рівень ембріональної смертності, багатоплідність та життєздатність отриманого гнізда поросят; *протидія тепловому стресу*: вивчення адаптаційних та осмопротекторних властивостей «Гепасорбексу» в критичні літні періоди року для розробки схем мінімізації сезонного кумулятивного згасання сперматогенезу (особливо у стрес-чутливих кнурів породи дюрор); *диференціація дозування за генотипами*: оптимізація та індивідуалізація норм введення добавки до раціону кнурів-плідників залежно від їхнього конкретного генотипу, лінійної належності та інтенсивності використання в умовах сучасних комплексів штучного осіменіння; *глибокий молекулярно-генетичний аналіз*: з'ясування тонких механізмів впливу сорбентно-гепатопротекторного комплексу на стан антиоксидантного захисту безпосередньо у тканинах сім'яників та експресію ключових генів, що регулюють етапи мітотичного поділу сперматогоній.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Аналіз біометричних даних у розведенні та селекції тварин : навчальний посібник / С. С. Крамаренко, С. І. Луговий, А. В. Лихач, О. С. Крамаренко. Миколаїв: МНАУ, 2019. 211 с.
2. Бевз Н. Л., Лихач В. Я. Підвищення продуктивних ознак свиноматок за використання кормової добавки «Імуночасник». *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. Вип. 1(46). С. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-1.1>
3. Бегма Н. А., Баутін М. Е. Ефективність використання у складі комбікормів молодняку свиней мінерального сорбента. *Актуальні проблеми підвищення якості та безпеки виробництва й переробки продукції тваринництва* : матеріали міжнар.

наук.-практ. конф. (Дніпро, 4 черв. 2021 р.). Дніпро: Дніпровський ДАЕУ, 2021. С. 17–21. URL: <http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/5077> (дата звернення: 13.07.2026).

4. Відомчі норми технологічного проектування. Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми), ВНТП-АПК – 02.05. Київ: Мінагрополітики України, 2005. 98 с. URL: https://lugdpss.gov.ua/images/bezpechnist_veterynariya/Svynarski-pidpryyemstva-VNTP-APK-02.05.pdf (дата звернення: 24.12.2024).

5. Іванов В. О., Волощук В. М. Біологія свиней : навч. посіб. Київ: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2009. 304 с.

6. Інструкція із штучного осіменіння свиней. Київ: Аграрна наука, 2003. 56 с.

7. Інтер'єр сільськогосподарських тварин : навч. посіб. / Й. З. Сірацький та ін. Київ: Вища освіта, 2009. 280 с.

8. Клікін І., Яновська О. В., Гордієнко Ю. А. Вплив біодобавок на продуктивність свиней на вирощуванні. *Актуальні аспекти біології тварин, ветеринарної медицини та ветеринарно-санітарної експертизи* : матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпро, 20–21 трав. 2025 р.). Дніпро: Дніпровський ДАЕУ, 2025. С. 82–84. URL: <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/14114> (дата звернення: 13.07.2026).

9. Корнієнко О. В., Єфімов В. Г. Вплив гепатопротекторів на продуктивність свиноматок. *Науково-технічний бюлетень Науково-дослідного центру біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК*. 2017. Вип. 5, № 2. С. 9–12.

10. Крамаренко О. С., Луговий С. І., Крамаренко С. С. Сучасні генетико-селекційні методи аналізу відтворювальних якостей свиней та овець : монографія. Миколаїв: МНАУ, 2022. 150 с.

11. Красніков С. В., Решетніченко О. П. Ефективність використання кормових добавок (сорбентів) для підвищення продуктивності свиней та їх дія для боротьби з мікотоксинами. *Актуальні аспекти розвитку науки і освіти* : матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 08–09 грудня 2022 р.). Одеса: Одеський державний аграрний університет, 2022. С. 683–685. URL: https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/2_Zbirnik_II_Mignarodnoi_nauk-prakt_konferencii_8-9.12_2022.pdf#page=683 (дата звернення: 13.07.2026).

12. Лабораторні методи досліджень у біології, тваринництві та ветеринарній медицині : довідник / за ред. В. В. Влізла. Львів: СПОЛІМ, 2012. 764 с.

13. Ладика В. І., Хмельничий Л. М., Повод М. Г. Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва : підручник для аспірантів. Одеса: Олді+, 2023. 244 с.

14. Лихач А. В., Лихач В. Я., Фаустов Р. В., Ленков Л. Г. «Гепасорбекс» – вирішення проблеми мікотоксинів у промисловому свиñarстві. *Таврійський науковий вісник*. 2018. Т. 1, № 100. С. 172–176.

15. Мельник В. О. Різниця репродуктивних показників кнурів-плідників залежно від породи. *Науково-технічний бюлетень Інституту тваринництва НААН*. 2014. № 112. С. 81–85.

16. Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві : посібник / за ред. І. І. Ібатуліна, О. М. Жукорського. Київ, 2017. 328 с.

17. Новицький В. П., Шеремета В. І. Спермопродуктивність кнурів-плідників за використання біологічно активного препарату. *Сучасні технології у тваринництві та їх адаптація до світових вимог* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. *Науково-технічний бюлетень Інституту тваринництва УААН*. Харків, 2009. № 100. С. 375–380.

18. Норми годівлі, раціони і поживність кормів для різних видів сільськогосподарських тварин / Г. В. Проваторов та ін. Суми: ТОВ ВДТ «Університетська книга», 2007. 488 с.

19. Оптимізація технологічних рішень утримання і годівлі свиней в умовах промислової технології : монографія / В. Я. Лихач та ін. Миколаїв: Ліон, 2023. 518 с.

20. Оцінка, прогнозування та виробництво якісної продукції свиñarства : монографія / за ред. В. М. Волощука. Київ: Аграрна наука, 2020. 169 с.

21. Підвищення продуктивності свиней за використання сучасного генофонду та інноваційних технологічних рішень : монографія / В. Я. Лихач та ін. Миколаїв: Іліон, 2022. 275 с. URL: <http://dglb.nubip.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/9332> (дата звернення: 13.07.2026).

22. Попсуй В. Безпечність комбікормів для свиней. *Пропозиція*. URL: <http://propozitsiya.com/ua/bezpechnist-kombikormiv-dlya-sviney> (дата звернення: 20.06.2026).

23. Про затвердження вимог до благополуччя сільськогосподарських тварин під час їх утримання : наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільськогосподарства України від 08 лют. 2021 р. № 224. Зареєстр. в Міністерстві юстиції України 18 лют. 2021 р. за № 206/35828.

24. Сусол Р. Л., Гарматюк К. В., Халак В. І. Оптимізація системи розведення і годівлі свиней м'ясного напрямку продуктивності в умовах півдня України. *Зернові культури*. Дніпро, 2018. Т. 2, № 12. С. 353–359.

25. Тельпіс Г. Ф., Богданова Н. В. Відтворювальна здатність кнурів-плідників різних генотипів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. 2013. № 190. С. 305–309.

26. Технологія виробництва продукції свинарства : навчальний посібник / М. Повод та ін. ; за ред. М. Г. Повода. Київ: Науково-методичний центр ВФПО, 2021. 360 с.

27. PIC – генетична компанія. Методичні рекомендації з вирощування свиней : веб-сайт. URL: <https://pic-ukraine.com.ua> (дата звернення: 18.06.2026).

28. Bryden W. L. Mycotoxin contamination of the feed supply chain: Implication of animal productivity and feed security. *Animal Feed Science and Technology*. 2012. Vol. 173, № 1–2. P. 134–158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.014>

29. Council Directive 2008/120/EC. 2008. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0120-20191214&from=NL> (дата звернення: 26.06.2026).

30. Increasing the Efficiency of Agribusiness: Strategic Gene Pool Management and Technological Innovations : monograph / V. Lykhach et al. Opole-Kyiv, 2025. 260 p.

31. Kępińska-Pacelik J., Biel W. Alimentary Risk of Mycotoxins for Humans and Animals. *Toxins*. 2021. Vol. 13, № 11. P. 822. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins13110822>

32. Li Y., Wang A., Taya K. Declining semen quality and steadying seminal plasma ions in heat-stressed boar model. *Reprod Med Biol*. 2015. Vol. 14. P. 171–177. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12522-015-0205-9>

33. PigUA.info : веб-сайт. URL: <https://www.pigua.info/uk> (дата звернення: 20.06.2026).

34. Sui H., Wang S., Liu G., Meng F., Cao Z., Zhang Y. Effects of Heat Stress on Motion Characteristics and Metabolomic Profiles of Boar Spermatozoa *Genes*. 2022. Vol. 13, № 9. P. 1647. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes13091647>

35. Yurieva K. V., Chernenko O. M., Polishchuk A. A., Verbelchuk T. V., Ilchenko M. O., Kuzmenko M. V., Koberniuk V. V., Marchenko Y. I., Kolot O. V. Sperm productivity of boars of maternal breeds and a paternal line and the effect of genotype on quantitative and qualitative semen traits. *Bulletin of Sumy National Agrarian University*. Series: Livestock. 2026. № 1. P. 174–188. DOI: <https://doi.org/10.32782/bnsau.lvst.2026.1.19>

Дата першого надходження статті до видання: 14.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 636.5.03:631.147

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.32>

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ КУРЕЙ-НЕСУЧОК ЗА ОРГАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВИХ ЯЄЦЬ

Немержицький Д.В. – аспірант кафедри біоресурсів, тваринництва та аквакультури,

Поліський національний університет

orcid.org/0009-0003-3336-2219

Вербельчук С.П. – к.с.-г.н., доцент,

доцент кафедри біоресурсів, тваринництва та аквакультури,

Поліський національний університет

orcid.org/0000-0002-1136-5617

У статті розглянуто актуальні питання удосконалення системи утримання курей-несучок як складової технології органічного виробництва харчових яєць. Встановлено, що забезпечення належних умов утримання птиці є одним із ключових чинників ефективності органічного птахівництва, оскільки безпосередньо впливає на добробут курей-несучок, рівень їх продуктивності, ветеринарно-санітарний стан господарства та якість отриманої продукції. Проведено аналіз чинної нормативно-правової бази України та Європейського Союзу, яка регламентує вимоги до органічного виробництва продукції птахівництва, а також узагальнено результати сучасних вітчизняних і зарубіжних наукових досліджень щодо організації систем утримання курей-несучок.

Метою дослідження було наукове обґрунтування напрямів удосконалення системи утримання курей-несучок за органічного виробництва харчових яєць з урахуванням вимог чинного законодавства та природно-кліматичних особливостей Житомирського Полісся. У процесі дослідження використано методи аналізу, порівняння, узагальнення, систематизації та нормативно-правового аналізу наукової літератури, законодавчих актів і міжнародних нормативних документів.

Установлено, що система утримання курей-несучок є комплексом взаємопов'язаних технологічних елементів, до яких належать мікроклімат виробничих приміщень, організація вигульних майданчиків, якість підстилки, щільність посадки, світловий режим, забезпечення біобезпеки та ветеринарно-санітарного контролю. Доведено, що ефективність органічного виробництва визначається не окремими технологічними рішеннями, а їх комплексною реалізацією з урахуванням біологічних особливостей птиці та регіональних умов ведення господарства.

На основі проведеного аналізу узагальнено основні складові системи утримання курей-несучок, розроблено структурну схему взаємодії її елементів та визначено пріоритетні напрями удосконалення технології органічного виробництва харчових яєць в умовах Житомирського Полісся. Запропоновано адаптацію технологічних рішень шляхом оптимізації параметрів мікроклімату, удосконалення систем вентиляції, підтримання належного санітарного стану підстилки, раціональної організації вигульних територій, посилення заходів біобезпеки та впровадження постійного виробничого моніторингу.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання під час розроблення технологічних регламентів органічного виробництва харчових яєць, удосконалення систем утримання курей-несучок у господарствах різних форм власності та підвищення ефективності функціонування органічних птахівничих підприємств.

Ключові слова: органічне птахівництво, кури-несучки, система утримання, харчові яйця, добробут птиці, органічне виробництво, мікроклімат, біобезпека, вигульне утримання.



© Немержицький Д.В., Вербельчук С.П., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

Nevmerzhytskyi D.V., Verbelchuk S.P. Improvement of the housing system for laying hens in organic table egg production

The article considers current issues of improving the housing system for laying hens as an integral component of organic table egg production technology. It has been established that providing appropriate housing conditions is one of the key factors determining the efficiency of organic poultry farming, as it directly affects the welfare of laying hens, their productivity, the veterinary and sanitary status of poultry farms, and the quality of the products obtained. The current legislative and regulatory framework of Ukraine and the European Union governing the requirements for organic poultry production was analyzed, and the results of recent domestic and foreign scientific studies on the organization of housing systems for laying hens were summarized.

The purpose of the study was to substantiate scientifically the directions for improving the housing system for laying hens under organic table egg production, taking into account the requirements of current legislation and the natural and climatic conditions of the Zhytomyr Polissia region. The research was based on the methods of analysis, comparison, synthesis, systematization and regulatory analysis of scientific publications, legislative acts and international regulatory documents.

It has been established that the housing system for laying hens is a complex of interrelated technological elements, including poultry house microclimate, organization of outdoor ranging areas, litter quality, stocking density, lighting regime, biosecurity and veterinary and sanitary control. It has been proved that the efficiency of organic egg production depends not on individual technological measures but on their integrated implementation, taking into account the biological characteristics of birds and regional production conditions.

Based on the conducted analysis, the main components of the housing system for laying hens were generalized, a structural model of interaction between its elements was developed, and priority directions for improving organic table egg production technology under the conditions of the Zhytomyr Polissia region were identified. Adaptation of technological solutions through optimization of indoor microclimate, improvement of ventilation systems, maintenance of proper litter quality, rational organization of outdoor ranging areas, strengthening of biosecurity measures and implementation of continuous production monitoring was proposed.

The practical significance of the obtained results lies in the possibility of applying them in the development of technological regulations for organic table egg production, improvement of housing systems for laying hens at farms of different ownership forms, and enhancement of the efficiency of organic poultry enterprises.

Key words: organic poultry farming, laying hens, housing system, table eggs, poultry welfare, organic production, microclimate, biosecurity, free-range housing.

Постановка проблеми. Органічне виробництво продукції тваринництва є одним із пріоритетних напрямів розвитку аграрного сектору, що забезпечує поєднання економічної ефективності, екологічної безпеки та високих стандартів якості продукції. В останні роки спостерігається стале зростання попиту на органічні харчові яйця, що обумовлює необхідність удосконалення технологічних рішень на всіх етапах виробництва, зокрема щодо утримання курей-несучок [1, с. 17–20; 8, с. 191–194].

Органічне птахівництво суттєво відрізняється від традиційного промислового виробництва, оскільки ґрунтується на принципах забезпечення природної поведінки птиці, гуманного поводження, використання органічних кормів, обмеження технологічного навантаження та дотримання вимог екологічної безпеки. Законодавство України та нормативно-правова база Європейського Союзу встановлюють комплекс вимог щодо площі утримання, організації вигульних майданчиків, мікроклімату, освітлення, ветеринарного забезпечення та біобезпеки органічних господарств [10; 11; 12; 16].

Разом із тим дотримання нормативних вимог саме по собі не гарантує високої ефективності виробництва. Система утримання повинна враховувати біологічні особливості курей-несучок, виробничі умови конкретного господарства та природно-кліматичні особливості регіону. Для господарств Житомирського Полісся

такими особливостями є підвищена вологість повітря, сезонне перезволоження ґрунтів, значна кількість атмосферних опадів та нестабільність температурного режиму протягом року, що безпосередньо впливає на експлуатацію вигульних територій, санітарний стан підстилки, параметри мікроклімату пташників і, як наслідок, на продуктивність та добробут птиці [4, с. 146–150; 8, с. 196–199].

За таких умов удосконалення системи утримання слід розглядати не як окремий технологічний захід, а як комплекс взаємопов'язаних рішень, спрямованих на забезпечення оптимальних умов утримання птиці, підвищення ефективності використання виробничих ресурсів та одержання органічної продукції стабільно високої якості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам розвитку органічного птахівництва присвячено значну кількість наукових досліджень вітчизняних і зарубіжних учених. У працях Н. О. Аверчевої, П. М. Каркача, М. Д. Кучерука та інших авторів висвітлено сучасний стан органічного виробництва продукції птахівництва, нормативно-правові засади функціонування галузі, ветеринарно-санітарні вимоги та перспективи розвитку органічного сектору в Україні [1, с. 19–24; 3, с. 20–23; 5, с. 30–35].

Значний внесок у дослідження систем утримання курей-несучок зробили зарубіжні науковці. У роботі С. Bonnefous та співавторів узагальнено сучасні підходи до забезпечення добробуту птиці в органічних та вигульних системах виробництва, проаналізовано основні фактори ризику та можливі шляхи їх мінімізації [14, р. 3–9]. Дослідження D. L. M. Campbell підтверджують, що ефективність використання вигульних майданчиків безпосередньо впливає на поведінкові реакції птиці, рівень стресу та продуктивність несучок [15, р. 848–852]. Роботи T. Z. Sibanda та співавторів демонструють взаємозв'язок між інтенсивністю використання вигулу, фізіологічним станом птиці, її збереженістю та окремими показниками продуктивності [20; 21].

У попередніх дослідженнях Невмержицького Д. В., Вербельчука С. П. та Вербельчук Т. В. визначено основні технологічні параметри виробництва органічних харчових яєць у господарствах Житомирського Полісся та обґрунтовано напрями їх оптимізації [8, с. 191–204]. Водночас питання комплексного удосконалення системи утримання курей-несучок як ключового елемента органічної технології залишаються недостатньо розкритими.

Постановка завдання. Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на значну кількість наукових досліджень, присвячених органічному птахівництву, більшість із них стосується окремих елементів технології, зокрема органічної годівлі, ветеринарно-санітарного забезпечення, оцінки якості харчових яєць або нормативно-правового регулювання галузі [5, с. 30–35; 6, с. 18–24]. Водночас питання комплексного удосконалення системи утримання курей-несучок як одного з визначальних чинників ефективності органічного виробництва висвітлені недостатньо. Практично відсутні дослідження, у яких система утримання розглядалася б як сукупність взаємопов'язаних технологічних рішень, що охоплюють конструктивні особливості пташників, організацію вигульних територій, параметри мікроклімату, забезпечення добробуту птиці, біобезпеку та адаптацію технології до природно-кліматичних умов окремих регіонів України. Особливо актуальним це є для Житомирського Полісся, де висока вологість повітря, перезволоження ґрунтів та сезонні зміни погодних умов потребують удосконалення існуючих технологічних рішень [4, с. 150–154; 14, р. 6–9].

Мета дослідження. Метою дослідження є наукове обґрунтування напрямів удосконалення системи утримання курей-несучок за органічного виробництва харчових яєць на основі аналізу чинної нормативно-правової бази, сучасних наукових досліджень та виробничих особливостей органічного птахівництва в умовах Житомирського Полісся.

Матеріали та методика дослідження. Матеріалами дослідження були чинні нормативно-правові акти України та Європейського Союзу, що регламентують органічне виробництво продукції птахівництва, результати сучасних вітчизняних і зарубіжних наукових досліджень, присвячених системам утримання курей-несучок, а також опубліковані матеріали щодо технології виробництва органічних харчових яєць в умовах Житомирського Полісся [8–21].

Дослідження виконано із застосуванням комплексу загальнонаукових методів. Метод аналізу використано для опрацювання наукових публікацій, нормативно-правових документів та технологічних вимог до органічного виробництва харчових яєць. Метод порівняння застосовано для оцінки особливостей традиційної та органічної систем утримання курей-несучок, а також визначення впливу окремих технологічних чинників на ефективність виробництва. За допомогою методу узагальнення систематизовано результати наукових досліджень, визначено основні складові системи утримання курей-несучок і сформовано пріоритетні напрями її удосконалення. Метод системного аналізу використано для обґрунтування взаємозв'язків між окремими технологічними елементами системи утримання та оцінки їх впливу на добробут птиці, продуктивність і якість харчових яєць.

Під час дослідження особливу увагу приділено адаптації технологічних рішень до природно-кліматичних умов Житомирського Полісся. Узагальнення отриманих результатів стало основою для розроблення структурної схеми системи утримання курей-несучок та формування рекомендацій щодо удосконалення технології органічного виробництва харчових яєць.

Виклад основного матеріалу дослідження. Система утримання курей-несучок є одним із базових елементів технології органічного виробництва харчових яєць, оскільки саме вона визначає умови реалізації природної поведінки птиці, впливає на її фізіологічний стан, продуктивність, тривалість господарського використання та якість отриманої продукції. На відміну від інтенсивних технологій, органічне виробництво передбачає створення умов, максимально наближених до природних, що досягається шляхом поєднання раціональної організації внутрішнього простору пташника з обов'язковим використанням вигульних територій, забезпеченням доступу до природного освітлення та дотриманням принципів добробуту птиці [12; 16].

В Україні вимоги до органічного виробництва продукції птахівництва визначаються Законом України «Про основні принципи та вимоги до органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції», а також підзаконними нормативними актами, що регламентують порядок органічного виробництва та сертифікації [10–12]. Водночас національні вимоги гармонізовані з положеннями Регламенту (ЄС) 2018/848, який встановлює єдині принципи органічного виробництва для держав-членів Європейського Союзу та країн, що експортують органічну продукцію на європейський ринок [16].

Однією з головних особливостей органічної технології є обмеження щільності посадки птиці. На відміну від промислового виробництва, де основним критерієм є максимальне використання виробничої площі, органічне птахівництво орієнтоване насамперед на забезпечення фізіологічного комфорту курей-несучок,

можливості реалізації їх природної поведінки та підтримання високого рівня добробуту. Дотримання нормативної площі утримання сприяє зменшенню конкуренції між особинами, покращенню санітарного стану приміщень, зниженню проявів стресу та поведінкових розладів, а також позитивно впливає на продуктивність птиці [14, р. 4–7; 15, р. 849–852].

Аналіз чинної нормативно-правової бази та результатів сучасних наукових досліджень свідчить, що система утримання курей-несучок в органічному птахівництві являє собою комплекс взаємопов'язаних технологічних елементів, кожен із яких безпосередньо впливає на продуктивність, добробут птиці, ветеринарне благополуччя стада та якість отриманої продукції. Узагальнення основних складових системи утримання, їх нормативних вимог, технологічного значення та можливих ризиків при недотриманні наведено в табл. 1.

Проведений аналіз нормативних вимог свідчить, що більшість із них спрямована не лише на забезпечення відповідності органічного виробництва вимогам сертифікації, а й на створення оптимальних умов для реалізації фізіологічних потреб курей-несучок. При цьому окремі технологічні елементи системи утримання взаємопов'язані між собою. Так, ефективність використання вигульних майданчиків значною мірою залежить від стану підстилки у пташнику, рівня вентиляції, щільності посадки та санітарного стану території господарства. Недостатня увага хоча б до одного із зазначених факторів може призвести до погіршення добробуту птиці, зниження продуктивності та збільшення ризику виникнення інфекційних захворювань [5, с. 31–34; 14, р. 6–8].

Разом із тим аналіз наукових публікацій свідчить, що чинні нормативні документи встановлюють лише мінімально допустимі вимоги до системи утримання, тоді як виробнича практика потребує їх адаптації до конкретних природно-кліматичних умов. Для господарств Житомирського Полісся особливого значення набувають заходи щодо підтримання оптимальної вологості підстилки, організації ефективного водовідведення на вигульних майданчиках, удосконалення системи вентиляції та запобігання перезволоженню ґрунтів у періоди інтенсивних опадів. Саме ці фактори доцільно розглядати як пріоритетні напрями удосконалення системи утримання курей-несучок за органічного виробництва харчових яєць.

Серед складових системи утримання курей-несучок найбільший вплив на ефективність органічного виробництва мають параметри мікроклімату, організація вигульних майданчиків, якість підстилки, щільність посадки та рівень біобезпеки.

Ці елементи функціонують не ізольовано, а формують єдину технологічну систему, у якій зміна одного показника призводить до зміни інших. Саме тому оцінка ефективності системи утримання повинна здійснюватися комплексно, з урахуванням взаємозв'язку між окремими технологічними рішеннями [5, с. 31–34; 14, р. 5–8].

Особливого значення в органічному птахівництві набуває підтримання оптимальних параметрів мікроклімату. Відомо, що температура повітря, його відносна вологість, швидкість руху повітря та концентрація шкідливих газів безпосередньо впливають на фізіологічний стан птиці, споживання корму, несучість та збереженість поголів'я. Порушення мікрокліматичних параметрів супроводжується зростанням рівня технологічного стресу, зниженням імунної резистентності організму та погіршенням продуктивності курей-несучок [14, р. 7–9; 15, р. 850–852].

Для господарств Житомирського Полісся проблема підтримання оптимального мікроклімату є особливо актуальною. У регіоні спостерігаються підвищена відносна вологість повітря, значна кількість атмосферних опадів та тривалий осінньо-зимовий період, що ускладнює підтримання нормативної вологості підстилки

й ефективну вентиляцію виробничих приміщень. За таких умов доцільно передбачати використання систем автоматичного контролю температури та вологості, своєчасне видалення надлишкової вологи, оптимізацію повітрообміну та постійний моніторинг концентрації аміаку і діоксиду вуглецю. Застосування зазначених заходів сприяє покращенню санітарного стану пташника та зменшенню ризику розвитку респіраторних захворювань птиці [4, с. 150–154; 14, р. 8–9].

Таблиця 1

**Основні вимоги до системи утримання курей-несучок
за органічного виробництва харчових яєць та їх технологічне значення**

Технологічний елемент	Основні нормативні вимоги	Технологічне значення	Потенційні ризики при недотриманні
Щільність утримання	Кількість птиці повинна відповідати встановленим нормам органічного виробництва та забезпечувати вільне пересування курей у приміщенні	Зниження конкуренції між особинами, покращення санітарного стану приміщення, зменшення проявів стресу та канібалізму	Агресія, розкльовування, канібалізм, зниження продуктивності
Вигульні майданчики	Постійний доступ птиці до відкритих вигульних територій із рослинним покривом за сприятливих погодних умов	Реалізація природної поведінки, підвищення рухової активності, покращення фізіологічного стану птиці	Перезволоження території, накопичення патогенів, обмеження використання вигулу
Підстилка	Використання сухої, чистої підстилки з природних матеріалів із регулярною заміною	Зниження вологості, покращення санітарно-гігієнічного стану, профілактика захворювань кінцівок	Зростання мікробного навантаження, погіршення мікроклімату, захворювання лап
Сідала та гнізда	Наявність достатньої кількості сідал і гнізд відповідно до чисельності поголів'я	Забезпечення природної поведінки птиці, зменшення конфліктності у стаді, покращення якості яєць	Пошкодження яєць, травмування птиці, підвищення стресу
Освітлення	Поєднання природного освітлення зі штучним із дотриманням світлового режиму	Оптимізація несучості, підтримання фізіологічних ритмів організму	Погіршення фізіологічного стану, зниження несучості, збільшення захворюваності
Мікроклімат	Забезпечення належної температури, вологості, вентиляції та концентрації шкідливих газів	Підвищення продуктивності, збереженості птиці та профілактика респіраторних захворювань	Зниження несучості, порушення поведінки, технологічний стрес
Біобезпека	Дотримання ветеринарно-санітарних вимог, профілактика занесення інфекцій, контроль доступу сторонніх осіб	Збереження епізоотичного благополуччя господарства та стабільності виробництва	Виникнення інфекційних захворювань, економічні втрати

Примітка: складено авторами на основі [10–12; 16].

Не менш важливою складовою органічної технології є організація вигульних майданчиків. Доступ птиці до відкритого простору забезпечує реалізацію природних форм поведінки, сприяє підвищенню рухової активності, покращує функціональний стан опорно-рухового апарату та позитивно впливає на загальний рівень добробуту. Разом із тим ефективність використання вигулу залежить не лише від його площі, а й від стану рослинного покриву, рівномірності навантаження на територію, наявності природних або штучних укриттів, джерел води та системи ротації ділянок [15, р. 849–851; 20, р. 6–9].

У природно-кліматичних умовах Житомирського Полісся значну увагу доцільно приділяти облаштуванню дренажної системи вигульних майданчиків. Перезволоження ґрунту призводить до руйнування дернового покриву, накопичення органічних залишків, збільшення мікробного навантаження та погіршення санітарного стану території. Ефективним технологічним рішенням є чергування окремих секторів вигулу, що забезпечує відновлення рослинності, зменшує біологічне навантаження на ґрунт та сприяє підтриманню належного ветеринарно-санітарного стану території господарства [17, р. 7–9; 21, р. 9–12].

Проведений аналіз свідчить, що ефективність органічного виробництва харчових яєць визначається не окремими технологічними заходами, а їх комплексною реалізацією. Водночас специфічні природно-кліматичні умови Житомирського Полісся зумовлюють необхідність адаптації окремих технологічних рішень до особливостей регіону. Насамперед це стосується організації мікроклімату виробничих приміщень, облаштування вигульних майданчиків, контролю вологості підстилки, забезпечення належного рівня біобезпеки та підтримання оптимального світлового режиму.

На відміну від традиційних промислових технологій, органічне виробництво харчових яєць ґрунтується на принципах забезпечення природної поведінки птиці, дотримання високих стандартів добробуту та мінімізації антропогенного впливу на навколишнє середовище. За традиційної системи основна увага приділяється інтенсифікації виробництва та максимальному використанню виробничих потужностей, тоді як органічне птахівництво передбачає збалансоване поєднання продуктивності, екологічної безпеки та ветеринарного благополуччя стада. Саме тому пріоритетними напрямками удосконалення технології є не збільшення інтенсивності виробництва, а оптимізація умов утримання птиці відповідно до її фізіологічних потреб і вимог чинного законодавства [10–12; 14, р. 6–8].

З урахуванням результатів проведеного аналізу було узагальнено пріоритетні напрями удосконалення системи утримання курей-несучок за органічного виробництва харчових яєць в умовах Житомирського Полісся (табл. 2).

Таблиця 2

Узагальнення напрямів удосконалення системи утримання курей-несучок за органічного виробництва харчових яєць в умовах Житомирського Полісся

Технологічний фактор	Особливості умов Полісся	Запропоновані напрями удосконалення	Очікуваний результат
Мікроклімат	Підвищена вологість повітря	Автоматизований контроль температури та вологості, удосконалення вентиляції	Стабілізація мікроклімату, підвищення продуктивності
Підстилка	Повільне висихання	Використання високопоглинальних матеріалів, частіша заміна	Поліпшення санітарного стану, профілактика захворювань

Продовження таблиці 2

Технологічний фактор	Особливості умов Полісся	Запропоновані напрями удосконалення	Очікуваний результат
Вигульні майданчики	Перезволоження ґрунтів	Дренаж, секторна ротація вигулів, підсівання трав	Збереження рослинного покриву, зменшення мікробного навантаження
Біобезпека	Підвищений ризик занесення інфекцій	Зонування території, дезбар'єри, виробничий моніторинг	Підвищення епізоотичного благополуччя
Освітлення	Короткий світловий день у зимовий період	Оптимізація світлового режиму із використанням енергоощадних джерел світла	Підтримання стабільної несучості

Проведений аналіз свідчить, що система утримання курей-несучок в органічному птахівництві є багатокомпонентною та включає взаємопов'язані технологічні, ветеринарно-санітарні й організаційні елементи. Їх комплексна взаємодія забезпечує належний рівень добробуту птиці, підтримання продуктивності та виробництво органічних харчових яєць відповідно до чинних нормативних вимог. Узагальнену структуру системи утримання курей-несучок за органічного виробництва харчових яєць наведено на рис. 1.



Рис. 1. Структурна схема системи утримання курей-несучок за органічного виробництва харчових яєць

Примітка: схема розроблена авторами на основі аналізу вимог законодавства України, нормативно-правових актів Європейського Союзу та сучасних наукових досліджень [10–12; 14–21].

Як видно з рис. 1, система утримання курей-несучок за органічного виробництва харчових яєць являє собою сукупність взаємопов'язаних технологічних елементів, які функціонують як єдина система. Зміна або порушення одного з її компонентів неминуче впливає на ефективність інших, що, у свою чергу, позначається на добробуті птиці, продуктивності стада та якості отриманої продукції. Тому удосконалення технології органічного виробництва повинно передбачати не окремі локальні заходи, а комплексну оптимізацію всіх складових системи утримання [14, р. 7–9; 20, р. 8–10].

Особливу увагу в сучасному органічному птахівництві приділяють забезпеченню добробуту птиці, який сьогодні розглядається не лише як етичний принцип, а й як один із факторів формування продуктивності. Результати численних досліджень свідчать, що за створення комфортних умов утримання кури-несучки демонструють стабільнішу несучість, кращу збереженість поголів'я, меншу схильність до стресових реакцій та поведінкових порушень. Крім того, поліпшуються показники якості яєць, зокрема міцність шкаралупи, маса яйця та його санітарний стан [14, р. 5–8; 15, р. 850–852].

У процесі аналізу літературних джерел та нормативної документації встановлено, що для господарств Житомирського Полісся найбільш суттєвими технологічними ризиками залишаються підвищена вологість повітря, перезволоження вигульних територій, сезонні коливання температури та нерівномірне використання вигулів птицею. За відсутності відповідних профілактичних заходів зазначені фактори можуть спричиняти погіршення санітарного стану підстилки, накопичення патогенної мікрофлори, збільшення концентрації аміаку в приміщенні та зниження загальної резистентності організму птиці [5, с. 32–35; 17, р. 54–56].

Водночас аналіз сучасних виробничих технологій свідчить, що більшість зазначених ризиків можна мінімізувати шляхом впровадження комплексу організаційно-технологічних заходів. До них належать зонування вигульних майданчиків, їх чергове використання, облаштування систем поверхневого водовідведення, застосування високоякісних підстилкових матеріалів, автоматизований контроль параметрів мікроклімату, а також постійний моніторинг ветеринарно-санітарного стану виробничих приміщень. Комплексне застосування зазначених заходів забезпечує не лише відповідність вимогам органічного виробництва, а й сприяє підвищенню технологічної надійності функціонування господарства.

Проведений аналіз свідчить, що окремі елементи системи утримання курей-несучок не мають однакового впливу на ефективність органічного виробництва харчових яєць. Одні з них переважно визначають рівень добробуту птиці, інші безпосередньо впливають на продуктивність або якість отриманої продукції. Разом із тим найбільший ефект досягається за їх комплексної реалізації, коли всі складові технології функціонують як єдина взаємопов'язана система.

Для визначення пріоритетності окремих технологічних елементів системи утримання було проведено їх узагальнену порівняльну оцінку за основними критеріями ефективності органічного виробництва харчових яєць. Результати аналізу наведено в табл. 3.

Проведений аналіз дає підстави стверджувати, що удосконалення системи утримання курей-несучок повинно базуватися на принципі комплексності, оскільки окремі технологічні елементи не можуть забезпечити високої ефективності виробництва за їх ізольованого застосування. Найбільшого результату можна досягти лише за умови одночасної оптимізації параметрів мікроклімату, організації вигульних майданчиків, підтримання належного санітарного стану підстилки, дотримання

нормативної щільності посадки та ефективної системи біобезпеки. Такий підхід сприяє стабілізації фізіологічного стану птиці, зниженню рівня технологічного стресу та підвищенню продуктивності курей-несучок [5, с. 32–35; 14, р. 7–9].

Таблиця 3

**Оцінка впливу окремих елементів системи утримання
на ефективність органічного виробництва харчових яєць**

Елемент системи	Вплив на добробут птиці	Вплив на продуктивність	Вплив на якість яєць	Пріоритет удосконалення
Мікроклімат	Високий	Високий	Високий	першочерговий
Вигульні майданчики	Високий	Середній	Середній	високий
Підстилка	Високий	Середній	Високий	високий
Освітлення	Середній	Високий	Середній	першочерговий
Біобезпека	Високий	Високий	Високий	середній
Щільність посадки	Високий	Високий	Середній	високий

Примітка: узагальнено авторами за результатами аналізу літературних джерел і нормативних вимог [4, с. 145–154; 5, с. 30–35; 14–21].

Особливості природно-кліматичних умов Житомирського Полісся потребують адаптації існуючих технологічних рішень до регіональних особливостей ведення органічного птахівництва. Підвищена вологість повітря, нерівномірний розподіл атмосферних опадів і тривалий холодний період року зумовлюють необхідність посилення контролю за станом підстилки, ефективністю вентиляції та санітарним станом вигульних територій. У таких умовах особливого значення набуває використання сучасних засобів виробничого моніторингу, що дають змогу своєчасно реагувати на зміни технологічних параметрів та запобігати виникненню несприятливих факторів виробничого середовища [4, с. 151–154; 8, с. 198–202].

Запропоновані напрями удосконалення системи утримання не потребують принципової зміни технології органічного виробництва, однак передбачають її адаптацію до місцевих умов господарювання. Їх практична реалізація сприятиме підвищенню рівня добробуту птиці, поліпшенню ветеринарно-санітарного стану господарств, збереженню продуктивності курей-несучок протягом усього циклу експлуатації та виробництву органічних харчових яєць стабільно високої якості.

Висновки і пропозиції. Проведений аналіз сучасних наукових досліджень, нормативно-правових документів України та Європейського Союзу засвідчив, що система утримання курей-несучок є одним із визначальних елементів технології органічного виробництва харчових яєць. Її ефективність формується завдяки комплексній взаємодії технологічних, ветеринарно-санітарних та організаційних чинників, які забезпечують належний рівень добробуту птиці, стабільність продуктивності та отримання продукції, що відповідає вимогам органічних стандартів.

Встановлено, що найбільш вагомий вплив на ефективність органічного виробництва мають параметри мікроклімату, організація вигульних майданчиків, якість підстилки, щільність посадки поголів'я та система біобезпеки. Недотримання оптимальних параметрів хоча б одного із зазначених елементів призводить до погіршення санітарного стану виробничого середовища, підвищення рівня технологічного стресу, зниження продуктивності курей-несучок і якості отриманих харчових яєць.

Обґрунтовано, що для господарств Житомирського Полісся пріоритетними напрямками удосконалення системи утримання є адаптація технології до регіональних природно-кліматичних умов шляхом оптимізації мікроклімату пташників, удосконалення систем вентиляції, підтримання належного санітарного стану підстилки, облаштування дренажу та ротації вигульних майданчиків, а також посилення виробничого моніторингу й заходів біобезпеки.

Узагальнення сучасних наукових підходів дозволило сформувати структурну модель системи утримання курей-несучок та визначити пріоритетні напрями її удосконалення, що можуть бути використані під час розроблення технологічних регламентів органічного виробництва харчових яєць і вдосконалення виробничих процесів у господарствах різних форм власності.

Перспективи подальших досліджень доцільно пов'язати з експериментальною оцінкою впливу окремих елементів системи утримання на продуктивність, показники якості харчових яєць, добробут курей-несучок та економічну ефективність органічного виробництва в умовах Житомирського Полісся.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Аверчева Н. О., Карпенко О. В. Розвиток органічного сектору у яєчному птахівництві. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка*. 2023. Вип. 18. С. 17–28. DOI: <https://doi.org/10.32782/2708-0366/2023.18.2>.
2. ДСТУ 5028:2008. Яйця курячі харчові. Технічні умови. Київ : Держспоживстандарт України, 2008.
3. Каркач П. М. Проблеми та актуальність виробництва органічної продукції птахівництва у присадибних та фермерських господарствах. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Тваринництво»*. 2022. Вип. 1 (48). С. 19–25.
4. Каркач П. М., Машкін Ю. О., Фесенко В. Ф. Екологічні проблеми промислового та органічного птахівництва. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2023. № 1. С. 145–158. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9289-2023-178-1-145-158>.
5. Кучерук М. Д., Галабурда М. А. Потенційні ризики за органічного виробництва продукції птахівництва та способи їх запобігання. *Науковий вісник ветеринарної медицини*. 2020. № 2. С. 28–38. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-4902-2020-160-2-28-38>.
6. Кучерук М. Д., Засєкін Д. А. Органічне птахівництво України: ветеринарно-санітарне забезпечення технології : монографія. Київ : Прінтеко, 2020. 189 с.
7. Кучерук М. Д., Засєкін Д. А. Особливості годівлі курей-несучок за органічного вирощування. *Біологія тварин*. 2020. Т. 22. № 2. С. 58–64.
8. Невмержицький Д. В., Вербельчук С. П., Вербельчук Т. В. Оптимізація технологічних параметрів виробництва органічних харчових яєць в умовах Житомирського Полісся. *Таврійський науковий вісник*. 2025. № 146. Ч. 2. С. 191–204. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.146.2.25>.
9. Органічне птахівництво: основні вимоги. *Сучасне птахівництво*. 2019. № 11–12 (204–205). С. 9–10.
10. Про затвердження Порядку (детальних правил) органічного виробництва та обігу органічної продукції : Постанова Кабінету Міністрів України від 23.10.2019 № 970. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/970-2019-%D0%BF> (дата звернення: 10.05.2026).
11. Про затвердження Порядку сертифікації органічного виробництва та/або обігу органічної продукції та внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України від 23 жовтня 2019 р. № 970 : Постанова Кабінету Міністрів України від 21.10.2020 № 1032. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1032-2020-%D0%BF#Text> (дата звернення: 12.05.2026).

12. Про основні принципи та вимоги до органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції : Закон України від 10.07.2018 № 2496-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2496-19> (дата звернення: 15.05.2026).

13. Стретович О. О. Концепція виробництва органічних продуктів від фермерського господарства «Домашня курочка». *Сучасне птахівництво*. 2023. № 1–2 (242–243). С. 30–32.

14. Bonnefous C., Collin A., Guilloteau L. A., Guesdon V., Filliat C., Réhault-Godbert S., Rodenburg T. B., Tuytens F. A. M., Warin L., Steinfeldt S., Baldinger L., Re M., Ponzio R., Zuliani A., Venezia P., Väre M., Parrott P., Walley K., Niemi J. K., Leterrier C. Welfare issues and potential solutions for laying hens in free range and organic production systems: a review based on literature and interviews. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022. Vol. 9. Article 952922. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.952922>.

15. Campbell D. L. M., Bari M. S., Rault J. L. Free-range egg production: its implications for hen welfare. *Animal Production Science*. 2021. Vol. 61. No. 10. P. 848–855. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN19576>.

16. Commission Implementing Regulation (EU) 2020/464 of 26 March 2020 laying down certain rules for the application of Regulation (EU) 2018/848 as regards the documents needed for the retroactive recognition of periods for the purpose of conversion, the production of organic products and information to be provided by Member States. *Official Journal of the European Union*. 2020. L 98. P. 2–25. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2020/464/oj/eng (дата звернення: 20.05.2026).

17. Council Directive 1999/74/EC of 19 July 1999 laying down minimum standards for the protection of laying hens. *Official Journal of the European Communities*. 1999. L 203. P. 53–57. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1999/74/oj/eng> (дата звернення: 24.05.2026).

18. Hartcher K. M., Jones B. The welfare of layer hens in cage and cage-free housing systems. *World's Poultry Science Journal*. 2017. Vol. 73. No. 4. P. 767–782. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933917000812>.

19. Regulation (EU) 2018/848 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on organic production and labelling of organic products and repealing Council Regulation (EC) No 834/2007. *Official Journal of the European Union*. 2018. L 150. P. 1–92. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/848/oj/eng> (дата звернення: 28.05.2026).

20. Sibanda T. Z., Kolakshyapati M., Welch M., Schneider D., Boshoff J., Ruhnke I. Managing free-range laying hens – Part A: frequent and non-frequent range users differ in laying performance but not egg quality. *Animals*. 2020. Vol. 10. No. 6. Article 991. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10060991>.

21. Sibanda T. Z., Kolakshyapati M., Welch M., Schneider D., Boshoff J., Ruhnke I. Managing free-range laying hens – Part B: early range users have more pathology findings at the end of lay but have a significantly higher chance of survival. *Animals*. 2020. Vol. 10. No. 10. Article 1911. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10101911>.

22. World Organisation for Animal Health. Terrestrial Animal Health Code. Chapter 7.10. Animal welfare and laying hen production systems. URL: <https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/terrestrial-code-online-access/> (дата звернення: 30.06.2026).

Дата першого надходження статті до видання: 01.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 636.2:637.12

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.33>

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕПЛОВОГО СТРЕСУ НА БІОХІМІЧНУ СТАБІЛЬНІСТЬ, ОРГАНОЛЕПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА МЕХАНІЗМИ УТВОРЕННЯ ГІРКОТИ В КОРОВ'ЯЧОМУ МОЛОЦІ

Овчаренко О.О. – аспірант кафедри технології кормів та годівлі тварин,
Сумський національний аграрний університет
orcid.org/0000-0003-3243-7779

Тепловий стрес є однією з найбільш критичних проблем сучасного молочного скотарства, яка посилюється внаслідок глобального потепління та зростання частоти екстремальних погодних явищ. Визначено, що фізіологічна зона теплового комфорту великої рогатої худоби перебуває в межах від -5°C до $+18^{\circ}\text{C}$, а перевищення критичних значень температурно-вологісного індексу (ТНІ) призводить до розвитку системного стресу. Встановлено, що перші ознаки теплового навантаження проявляються вже за ТНІ 68, при ТНІ понад 72 спостерігається зниження споживання корму, погіршення фертильності та молочної продуктивності, а при ТНІ 78–80 виникає важкий тепловий стрес із загрозою розвитку незворотних метаболічних порушень.

Він спричиняє значні економічні втрати через зниження надоїв, погіршення відтворення та збільшення вибракування тварин. Встановлено, що втрати молочної продуктивності можуть становити 10–25 %, а за тривалого перебування тварин в умовах ТНІ понад 72 добовий надій зменшується в середньому на 2.2 кг на голову.

Тепловий стрес негативно впливає не лише на кількість, а й на якість молока, викликаючи зниження вмісту білка, жиру, лактози та антиоксидантного захисту. Визначено, що розвиток теплового стресу пов'язаний із формуванням сенсорних дефектів молока, зокрема появою гіркоти, в'язучого післясмаку, металевих, хімічних і мильних відтінків смаку. Показано, що ці зміни є наслідком складного патофізіологічного механізму, який охоплює порушення функціонування рубця, імунної системи, мікробіому та активацію ендосенних протеолітичних ферментів у молочній залозі.

Мінімізація негативних наслідків теплового стресу потребує комплексного застосування інженерно-технічних і нутрицевтичних стратегій, спрямованих на підтримання здоров'я тварин, збереження молочної продуктивності та покращення якісних показників молока.

Ключові слова: тепловий стрес, молочна продуктивність, біохімічний склад молока, плазмінова система, органолептичні властивості молока.

Ovcharenko O.O. A comprehensive analysis of the effects of heat stress on the biochemical stability, organoleptic properties and mechanisms of bitterness formation in cow's milk

Heat stress is one of the most critical issues facing modern dairy farming, a problem exacerbated by global warming and the increasing frequency of extreme weather events. It has been established that the physiological thermal comfort zone for cattle ranges from -5°C to $+18^{\circ}\text{C}$, and that exceeding critical values of the temperature-humidity index (THI) leads to the development of systemic stress. It has been established that the first signs of heat stress appear as early as a THI of 68; at a THI above 72, a reduction in feed intake, impaired fertility and reduced milk yield are observed; and at a THI of 78–80, severe heat stress occurs, posing a risk of irreversible metabolic disorders.

It causes significant economic losses due to reduced milk yield, impaired reproduction and an increase in the culling of animals. It has been established that losses in milk production can amount to 10–25 per cent, and when animals are exposed to a THI of over 72 for a prolonged period, daily milk yield decreases by an average of 2.2 kg per head.

Heat stress negatively affects not only the quantity but also the quality of milk, leading to a reduction in protein, fat, lactose and antioxidant defence. It has been established that the



© Овчаренко О.О., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

development of heat stress is associated with the formation of sensory defects in milk, in particular the appearance of bitterness, an astringent aftertaste, and metallic, chemical and soapy flavour notes. It has been shown that these changes result from a complex pathophysiological mechanism involving disturbances in the functioning of the rumen, the immune system and the microbiome, as well as the activation of endogenous proteolytic enzymes in the mammary gland.

Minimising the adverse effects of heat stress requires the comprehensive application of engineering, technical and nutraceutical strategies aimed at maintaining animal health, preserving milk yield and improving milk quality.

Key words: *heat stress, milk productivity, biochemical composition of milk, plasmin system, organoleptic properties of milk.*

Постановка проблеми. В умовах невинного глобального потепління та зростання частоти й інтенсивності екстремальних погодних явищ, тепловий стрес у великої рогатої худоби перетворився на одну з найбільш критичних та економічно виснажливих проблем сучасного світового молочного тваринництва [1, с. 6752]. Історично склалося так, що високопродуктивні молочні корови, як гомойотермні тварини, є біологічно адаптованими до відносно прохолодних кліматичних умов. Фізіологічна зона теплового комфорту для більшості порід великої рогатої худоби знаходиться у досить вузькому діапазоні від -5°C до $+18^{\circ}\text{C}$ (або від -4°C до $+18^{\circ}\text{C}$ залежно від рівня продуктивності та віку тварини). У цьому температурному коридорі організм корови здатний підтримувати сталу температуру тіла без залучення додаткових фізіологічних та поведінкових механізмів адаптації, що вимагають значних енергетичних витрат. Однак, коли температурно-вологісний індекс (Temperature Humidity Index, THI), який враховує синергетичний вплив температури навколишнього середовища та відносної вологості повітря, починає перевищувати критичні порогові значення, тварини опиняються у стані глибокого системного стресу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження переконливо свідчать, що ознаки теплового навантаження починають проявлятися значно раніше, ніж прийнято вважати у традиційній ветеринарній практиці. Вже при досягненні показника THI на рівні 68 (що приблизно відповідає температурі 22°C при відносній вологості 45%) корови починають відчувати легкий тепловий стрес, який ініціює перші поведінкові та фізіологічні зміни. При зростанні індексу THI понад 72 ситуація стає загрозливою, призводячи до різкого зниження споживання сухої речовини, порушення фертильності та помітного падіння молочної продуктивності [2, с. 440]. Коли ж показник THI перетинає позначку 78 або 80, тепловий стрес класифікується як важкий, створюючи пряму загрозу не лише для продуктивного потенціалу, але й для життя тварини через ризик розвитку незворотних метаболічних криз.

Економічні наслідки цієї проблеми є колосальними. За підрахунками аналітиків, щороку світова молочна індустрія втрачає мільярди доларів США через зниження надоїв, погіршення відтворення та зростання рівня вибракування тварин. Наприклад, дослідження, проведені в провінції Квебек (Канада), демонструють стійку тенденцію до збільшення кількості теплих і вологих днів, що призводить до того, що корови перебувають під впливом теплового стресу значно довше, ніж у попередні десятиліття. Згідно з прогнозами, якщо сучасні температурні тенденції збережуться, до 2049 року тепловий стрес може коштувати фермерам близько 9 доларів США на кожні 100 літрів виробленого молока, що вдвічі перевищує поточні фінансові втрати. Втрати надоїв лише від прямого впливу спеки можуть становити від 10% до 25%, а в екстремальних випадках добове виробництво

молока знижується на 2.2 кг на голову після 17 годин перебування тварини в умовах ТНІ вище 72.

Однак, фокусування виключно на кількісних показниках надріє приховує не менш серйозну проблему – фундаментальну деградацію якісного складу сирого молока та порушення його органолептичних властивостей. Дослідження показують, що тепловий стрес провокує системний збій у біосинтезі компонентів молока, викликаючи так званий «синдром зниження молочного білка», депресію молочного жиру, падіння концентрації лактози та руйнування антиоксидантного захисту молока. Більше того, тепловий стрес є доведеним каталізатором розвитку серйозних сенсорних вад молока, серед яких найбільш критичною для споживача та переробної промисловості є поява яскраво вираженої гіркоти, в'язучого післясмаку, а також нетипових хімічних, металевих та мильних нот. Ця гіркота не є наслідком простого фізичного нагрівання молока, а виникає як результат надзвичайно складного патофізіологічного каскаду, що розпочинається в рубці та гіпоталамусі корови, а завершується активацією ендогенних протеолітичних ферментів безпосередньо в молочній залозі.

Мета дослідження. Метою дослідження є детально розкрити всі етапи цього біохімічного механізму, проаналізувати зв'язок між спекою, імунітетом, рубцевим мікробіомом та сенсорним профілем молока, а також представити вичерпний арсенал інженерно-технічних та нутрицевтичних стратегій, здатних мінімізувати ці руйнівні наслідки.

Матеріали та методи дослідження. Щоб зрозуміти, чому молоко набуває гіркого присмаку, необхідно спочатку дослідити, як саме організм корови реагує на надмірне теплове навантаження на макроскопічному та клітинному рівнях. Як гомойотермні організми, молочні корови постійно балансують між теплопродукцією (яка є надзвичайно високою через інтенсивні процеси ферментації в рубці та загальний метаболізм, пов'язаний з лактацією) та тепловіддачею. Високопродуктивна корова генерує кількість тепла, еквівалентну роботі шістнадцяти 100-ватних ламп розжарювання. Коли температура навколишнього середовища наближається до температури тіла тварини, градієнт температур зникає, і здатність віддавати тепло шляхом звичайної конвекції чи радіації блокується [3, с. 793].

Гострий або хронічний вплив високих температур діє як потужний екологічний стресор, який миттєво реєструється терморецепторами шкіри та внутрішніх органів. Цей сигнал передається до гіпоталамуса, який у відповідь активує класичну стресову гіпоталамо-гіпофізарно-надниркову вісь (ГТН-вісь). Активація цієї нейроендокринної магістралі призводить до масивного викиду кортизолу та інших глюкокортикоїдів у системний кровотік. Кортизол відіграє роль системного модулятора метаболізму, перенаправляючи ресурси організму від процесів синтезу (таких як утворення молока) до механізмів виживання [4, с. 3210]. Цей гормональний зсув безпосередньо впливає на епітеліальні клітини молочної залози, пригнічуючи транскрипцію генів, відповідальних за синтез молочних білків і лактози, що є першим кроком до зміни фізико-хімічної матриці молока. Крім того, надлишок глюкокортикоїдів має виражений імуносупресивний ефект, роблячи тварину вразливою до інфекцій, зокрема до розвитку маститів, що безпосередньо корелює зі збільшенням кількості соматичних клітин у молоці та подальшим розвитком гіркоти.

Оскільки велика рогата худоба, на відміну від людей або коней, має дуже обмежену кількість ефективних потових залоз, процес потовиділення відіграє порівняно незначну роль у їхній терморегуляції. Основним механізмом скидання

надлишкового тепла стає евапорація (випаровування) рідини з поверхні дихальних шляхів. Корова починає інтенсивно дихати. Якщо в нормальних умовах частота дихання становить близько 20–30 вдихів за хвилину, то під час важкого теплового стресу ($THI \geq 78$) цей показник може перевищувати 80 вдихів за хвилину, переходячи у стадію відкритого дихання із висунутим язиком та рясною слинотечею (panting and drooling).

Поведінково тварини намагаються мінімізувати внутрішнє виробництво тепла. Вони суттєво обмежують свою рухову активність, відмовляються лежати (оскільки в положенні стоячи збільшується площа поверхні тіла для конвекційного обміну з повітрям) і починають скупчуватися навколо напувалок або в зонах найменшого руху повітря, хоча остання поведінка часто виглядає парадоксальною і може пояснюватися інстинктом збивання в стадо при наявності стрес-фактора. Найбільш критичним наслідком теплового стресу є добровільне, різке зниження споживання сухої речовини (DMI). Корова інтуїтивно розуміє, що ферментація корму (особливо структурної клітковини) генерує додаткове тепло в рубці, тому вона відмовляється від їжі. Споживання корму може падати на 10–15% у корів голштинської породи (порівняно зі зниженням на 5–8% у більш адаптованих або-ригенних порід), що створює глибокий дефіцит енергії, необхідної для лактації [5, с. 3451]. Для підтримання базової температури тіла в умовах спеки тварина повинна витратити на 20% більше енергії порівняно з оптимальними умовами. Наприклад, лише інтенсивне дихання збільшує енергетичні витрати на підтримання життєдіяльності на 7–25% (що еквівалентно енергії, необхідної для синтезу від 1 до 3,4 кг молока стандартної жирності). Подвійний удар – підвищення енерговитрат на охолодження та зниження енергонадходження через відмову від корму – заганає корову в стан глибокого негативного енергетичного балансу.

Слідом за нейроендокринними та поведінковими змінами, на клітинному рівні розгортається інший руйнівний процес – окислювальний стрес. Під впливом високих температур в організмі тварини порушується тонкий баланс між утворенням активних форм кисню (АФК), які є побічними продуктами клітинного дихання, та здатністю ендогенної антиоксидантної системи їх нейтралізувати. Тепловий стрес діє як каталізатор масивного вивільнення вільних радикалів, які починають агресивно атакувати ліпіди клітинних мембран, білкові структури та молекули ДНК [6, с. 608].

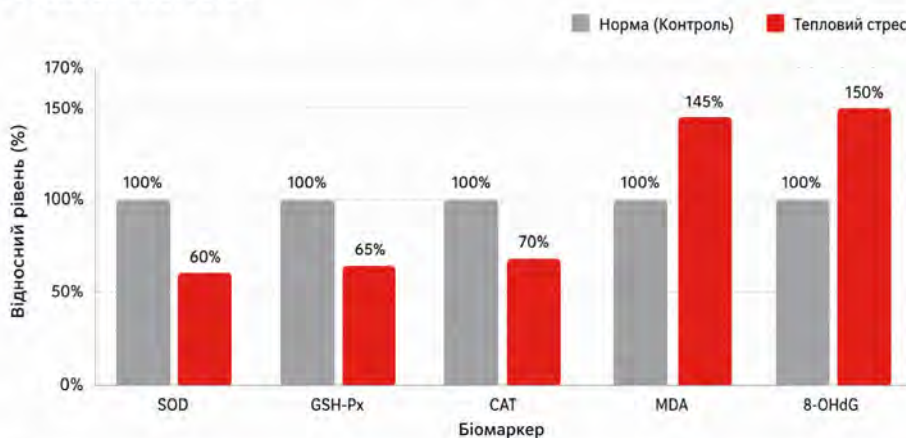
Сире молоко в нормальних умовах містить складну систему антиоксидантного захисту, яка перешкоджає спонтанному окисленню жирів і білків під час зберігання. Ця система базується на активності специфічних ферментів, що секретуються клітинами вимені. Однак, комплексні метаболомічні та біохімічні дослідження демонструють, що тепловий стрес призводить до катастрофічного виснаження цієї системи. У корів, які перебувають в умовах теплового стресу, спостерігається статистично значуще зниження загальної антиоксидантної ємності молока (Т-АОС). Зокрема, рівень активності супероксиддисмутази (SOD), яка є першою лінією захисту проти супероксидних радикалів, падає настільки ж стрімко, як і активність глутатіонпероксидази (GSH-Px) та каталази (CAT). Падіння рівня цих захисних ферментів означає, що молоко втрачає здатність самостійно протистояти окисленню після видоювання, що робить його вкрай вразливим до розвитку хімічних дефектів смаку.

У той час як рівень захисних ферментів падає, концентрація маркерів клітинного пошкодження стрімко зростає. Головним індикатором перекисного окиснення ліпідів є малоновий діальдегід (MDA). В умовах теплового стресу рівень MDA в плазмі крові та безпосередньо в молоці суттєво підвищується, що

є прямим доказом руйнування ліпідних мембран клітин та окислення жиркових глобул молока. Крім того, специфічний маркер окислювального пошкодження ДНК – 8-гідрокси-2'-дезоксигуанозин (8-OHdG) – зростає в організмі на 50%, що свідчить про глибокі порушення на молекулярному рівні, які зачіпають не лише цитоплазму, але й генетичний апарат клітин.

Окислювальний стрес також діє як індуктор апоптозу (запрограмованої клітинної загибелі). Акумуляція вільних радикалів сигналізує епітеліальним клітинам молочної залози про необхідність самознищення. У результаті популяція секреторних клітин у вимені скорочується, а ті, що виживають, значно знижують свою транскрипційну активність. Це пояснює феномен, коли експресія ключових генів синтезу молока, зокрема генів β -лактоглобуліну та α -казеїну, пригнічується на 30–40%.

Окислювальний стрес руйнує антиоксидантний захист молока



Порівняльна динаміка ключових біохімічних маркерів у молоці корів. Рівень супероксиддисмутазу (SOD) та каталази (CAT) різко падає, тоді як концентрація малонового діальдегіду (MDA) значно зростає при тепловому навантаженні.

Деградація антиоксидантного щита безпосередньо корелює з майбутніми сенсорними дефектами. Без захисних ферментів ліпіди молока швидко окислюються, створюючи леткі сполуки (зокрема гексанал), які сприймаються рецепторами людини як «картонний», «металевий» або «згірклий» смак. Тому окислювальний стрес є першою фундаментальною причиною погіршення смакових якостей молока в літній період.

Другим, не менш критичним етапом патогенезу зміни якості молока є глибоке порушення роботи шлунково-кишкового тракту, зокрема складного ферментаційного чана – рубця. У великої рогатої худоби процеси перетравлення корму та синтезу прекурсорів для молока повністю залежать від симбіотичної мікрофлори рубця. Тепловий стрес руйнує цей симбіоз через серію фізіологічних каскадів, що починаються з системи дихання і закінчуються імунологічними збоями.

Як було зазначено раніше, основним методом охолодження для корови є прискорене дихання (поліпноє). Хоча цей механізм дозволяє розсіювати тепло через випаровування вологи зі слизових оболонок, він має серйозний побічний ефект.

Інтенсивна гіпервентиляція легень призводить до надмірного виведення вуглекислого газу (CO_2) з кровотоку. Зниження парціального тиску вуглекислого газу порушує кислотно-лужну рівновагу, спричиняючи падіння рівня вугільної кислоти у крові. Це призводить до патологічного підвищення рівня рН крові понад 7,5, що класифікується як респіраторний (дихальний) алкалоз.

Організм негайно намагається компенсувати цей загрозливий стан і повернути рН крові до норми. Для цього нирки починають активно виводити бікарбонат (HCO_3^-) із сечею. Бікарбонат є ключовою буферною молекулою організму, і його інтенсивне виведення створює системний дефіцит. Наслідки цього компенсаторного механізму є катастрофічними для травної системи. У нормальних умовах слина корови містить величезну кількість бікарбонату, який надходить у рубець під час жування і нейтралізує леткі жирні кислоти (ЛЖК), що утворюються в процесі мікробної ферментації корму. Проте в умовах теплового стресу, через втрату бікарбонату з сечею, слина стає бідною на цей життєво важливий буфер.

Ситуація ускладнюється тим, що корова починає виробляти менше слини в принципі. Через зниження споживання сухої речовини, особливо грубих кормів, що потребують тривалого пережовування, скорочується час румінації (жування жуйки), що є основним стимулом для саливації. Крім того, частина виробленої слини просто втрачається через рясну слинотечу, характерну для тварин у стані теплового стресу. Разом із слиною втрачаються й важливі електроліти, зокрема калій (K) та натрій (Na), що може призвести до вторинного метаболічного ацидозу.

Зниження надходження бікарбонатного буфера у поєднанні зі зміною патернів харчування (наприклад, схильність корів до «запоїв» концентрованими кормами в прохолодніші нічні години) призводить до того, що леткі жирні кислоти швидко накопичуються в рубці. Це викликає стрімке падіння рівня рН рубцевої рідини. Коли показник рН падає нижче критичної позначки 6,0, діагностується стан, відомий як субклінічний ацидоз рубця (SARA).

Ацидоз кардинально змінює екологію рубцевого мікробіому. Кисле середовище є сприятливим для амілолітичних бактерій, що розщеплюють крохмаль і виробляють ще більше молочної кислоти, але воно є згубним для целюлозолітичних бактерій, які перетравлюють клітковину. Дослідження показують, що під час теплового стресу збільшується популяція бактерій типу *Bacteroidetes* та знижується частка *Firmicutes*, що суттєво впливає на розкладання спожитого корму та енергетичне забезпечення корови [7].

Зміна мікробіому під дією SARA має прямий вплив на якісний склад молока, зокрема на його жирність. У нормальних умовах мікрофлора рубця здійснює біогідрогенізацію – процес перетворення токсичних для бактерій ненасичених жирних кислот, що на да входять з кормом, на безпечні насичені. Однак, при низькому рН цей процес порушується, і замість нормальних кінцевих продуктів утворюються специфічні проміжні ізомери. Найбільш вивченим з них є *транс*-10, *цис*-12 кон'югована ліолева кислота (CLA).

Ці токсичні проміжні метаболіти проникають через стінку рубця у системний кровотік і досягають молочної залози. Там вони діють як потужні інгібітори експресії генів, відповідальних за синтез молочного жиру *de novo* (синтез коротко- та середньоланцюгових жирних кислот з ацетату та бутирату). Пригнічення цих генів призводить до явища, відомого як депресія молочного жиру, що пояснює, чому жирність молока різко падає під час літньої спеки (часто на 0,2–0,5%).

Іншим критичним наслідком зниження рН у рубці є масова загибель грамнегативних бактерій, які не витримують кислого середовища. При руйнуванні їхніх

клітинних стінок у рубцеву рідину вивільняється величезна кількість ліпополісахаридів (LPS) – потужних бактеріальних ендотоксинів.

Паралельно з цим тепловий стрес спричиняє ішемію (нестачу кровопостачання) шлунково-кишкового тракту. Організм корови редиректує потік крові від внутрішніх органів до периферичних кровоносних судин шкіри для максимального розсіювання тепла. Нестача кисню та поживних речовин призводить до пошкодження і некрозу епітеліальних клітин кишечника, руйнуючи щільні контакти між ними. Кишковий бар'єр стає проникним (явище «дірявого кишечника»), і ліпополісахариди отримують вільний доступ до системного кровотоку тварини.

Потрапляння LPS у кров викликає сильну системну запальну реакцію та стимулює підшлункову залозу до гіперпродукції інсуліну. Цей стрибок інсуліну має руйнівні наслідки для енергетичного обміну корови. Інсулін пригнічує ліполіз у жирових тканинах, блокуючи мобілізацію неестерифікованих жирних кислот (НЕЖК), які є критично важливим джерелом енергії та будівельним матеріалом для довголанцюгових жирних кислот молока. Крім того, він знижує активність ліпопротеїніпази, перешкоджаючи надходженню субстратів до вимені. Таким чином, корова, яка вже страждає від нестачі енергії через знижене споживання корму, втрачає можливість використовувати власні жирові запаси. Це створює парадоксальну ситуацію системного голодування клітин на тлі наявності резервів, що додатково погіршує параметри синтезу молока.

Деструктивні процеси, що охоплюють організм корови – від нейроендокринних збоїв до рубцевого ацидозу та системного запалення – неминуче відображаються на складі секретованого молока. Тепловий стрес не просто розбавляє молоко або знижує його кількість, він фундаментально переписує його біохімічну матрицю, що є передумовою для розвитку сенсорних дефектів [8, с. 3].

Синтез лактози, головного вуглеводу молока, є основним драйвером осмотичного тиску у вимені, який визначає об'єм секретованої рідини. Ключовим регулятором цього процесу є ферментний комплекс лактозосинтази, обов'язковим коферментом якого є сироватковий білок α -лактальбумін. Дослідження показують, що підвищений рівень кортизолу та розвиток окислювального стресу безпосередньо пригнічують транскрипцію гена α -лактальбуміну в епітеліальних клітинах. Внаслідок цього дефіциту синтез лактози стрімко падає. У станах тривалого експонування екстремальним температурам концентрація лактози в молоці може знижуватися на вражаючі 49%. Оскільки лактоза притягує воду в альвеоли вимені, її дефіцит є головною причиною різкого зменшення загальних надойів. Крім того, зниження рівня цього цукру впливає на сприйняття солодкуватого присмаку свіжого молока, роблячи його більш «плоским» (flat) і відкриваючи шлях для домінування інших, менш приємних смакових нот.

Не менш катастрофічним є вплив теплового стресу на протеїнову фракцію молока. Синдром «зниження молочного білка» проявляється у поступовому зменшенні вмісту загального казеїну, а також специфічних α - та β -казеїнових фракцій. Метаболомічні та протеомічні дослідження (з порівнянням корів без стресу, з легким та помірним тепловим стресом) розкривають глибинні причини цього явища. В умовах помірного теплового стресу постачання вільних амінокислот (AA) з артеріальної крові до молочної залози, а також їх поглинання клітинами вимені, значно знижується. Це означає, що епітеліальні клітини просто не мають достатньої кількості будівельних блоків для синтезу білка. Крім того, спостерігається значне пригнічення експресії рибосомальних білків та білків теплового шоку, які відповідають за процеси трансляції (синтезу) та правильного згортання

(фолдингу) молекул казеїну. Зменшення частки білків не лише знижує харчову та сиропридатну цінність молока, але й робить його білкову матрицю більш вразливою до ферментативної деградації.

Показовим маркером метаболічного дисбалансу є співвідношення жиру до білка в молоці (FPR). У нормальних умовах цей показник є відносно стабільним, проте під дією теплового стресу (особливо при $\text{ТНІ} > 69$ та зниженні лактози нижче 4.5%) він може суттєво зростати, часто перевищуючи поріг 1.5, що є класичним індикатором інтенсивної мобілізації ліпідів та розвитку субклінічного кетозу.

Зміни стосуються не лише загального вмісту жиру, але й його структурної композиції. Тепловий стрес суттєво знижує харчову цінність молока через порушення синтезу складних ліпідів. Дослідження фіксують значне падіння концентрації полярних ліпідів, зокрема фосфатидилетаноламіну, фосфатидилсерину, фосфатидилхоліну, лізофосфатидилхоліну та сфінгомієліну. Ці сполуки є життєво важливими компонентами оболонки жирових глобул молока (MFGM). Потоншення та порушення цілісності цієї захисної мембрани робить внутрішні тригліцериди беззахисними перед дією нативних та бактеріальних ліпаз, що є прямим шляхом до розвитку мильного, згірлого (rancid) присмаку внаслідок вивільнення вільних жирних кислот.

Крім того, метаболомічний аналіз показує, що молоко корів під тепловим стресом має глобально змінений хімічний профіль: виявляються збої в метаболізмі нуклеотидів, амінокислот та енергетичних субстратів. Наприклад, знижується вміст корисних ненасичених жирних кислот та кон'югованої лінолевої кислоти, тоді як збільшується кількість проміжних продуктів окислення. У сукупності всі ці фактори створюють нестабільну біохімічну систему, готову до руйнування та утворення небажаних смакових сполук.

Незважаючи на складність усіх вищеописаних змін, безпосереднім та найпотужнішим молекулярним генератором гіркоти в молоці теплового стресу є надмірна активація специфічної ендогенної протеолітичної системи. Йдеться про систему PA-PG-PL (Plasminogen Activator – Plasminogen – Plasmin), яка в нормальних умовах перебуває у стані суворого контролю, але під час теплового стресу виходить з-під нього, починаючи неконтрольоване розщеплення молочних білків.

Каскад активації плазміну запускається відразу після початку теплового впливу. Як зазначалося, гострий тепловий стрес спричиняє швидке падіння секреції молока (протягом 24 годин). З точки зору фізіології, це розглядається як екстрена відповідь організму, спрямована на запобігання втраті рідини та розвитку смертельного зневоднення. Таке різке припинення секреції призводить до стану локального стазу (застою) молока у вимені.

Застій молока, у поєднанні із системним запаленням, викликаним циркуляцією ліпополісахаридів (LPS) та високим рівнем кортизолу, призводить до порушення цілісності гемато-молочного бар'єру. Щільні контакти (tight junctions) між епітеліальними клітинами альвеол слабшають, стаючи проникними. У відповідь на стрес та потенційну загрозу інфекції, імунна система починає масивно рекрутувати соматичні клітини – переважно макрофаги та поліморфноядерні нейтрофіли – з кровотоку безпосередньо в просвіт альвеол. Таким чином, тепловий стрес завжди корелює зі значним підвищенням кількості соматичних клітин (SCC) у сирому молоці, навіть за відсутності клінічного маститу. Паралельно в молоко проникають сироваткові білки та інші компоненти плазми крові.

Плазміноген (PG) – це неактивний профермент (зимоген), який синтезується в печінці і потрапляє в молоко з кровотоку. Сам по собі він не має протеолітичної

активності. Однак, макрофаги та епітеліальні клітини, які мігрували або знаходяться у вимені, у відповідь на стрес починають секретувати велику кількість специфічних ферментів – активаторів плазміногену (зокрема, урокіназного типу – uPA та тканинного типу – tPA). Ці активатори здійснюють протеолітичне відщеплення невеликого фрагмента від молекули плазміногену, перетворюючи його на активний фермент – плазмін (PL).

У здоровому вимені активність цієї системи стримується специфічними білками – інгібіторами активатора плазміногену (PAI-1, PAI-2) та інгібіторами самого плазміну. Експерименти з індукцією теплового стресу на клітинних експлантах показали парадоксальну картину: хоча рівень експресії інгібітора PAI-1 на рівні білка зростає в умовах спеки, загальна активність активаторів плазміногену в секретах вимені значно перевищує норму. Це означає, що система виходить з-під контролю інгібіторів, що призводить до лавиноподібного накопичення активного плазміну в молоці теплового стресу.

Активация плазміну становить загрозу не лише для свіжого сирого молока, але й є справжньою технологічною катастрофою для індустрії виробництва молока тривалого зберігання (УВТ/УНТ). Особливістю компонентів плазмінової системи є їхня висока термореzистентність. Якщо інгібітори (PAI-1, PAI-2) є термолабільними і повністю інактивуються навіть під час стандартної пастеризації, то сам плазмін, плазміноген та його активатори здатні витримувати вплив екстремально високих температур.

Під час ультрависокотемпературної обробки (наприклад, 135°C або 140°C протягом кількох секунд), яка застосовується для створення комерційного УНТ-молока, значна частина плазміногену та активаторів не руйнується. Оскільки інгібітори були знищені нагріванням, у пакеті УНТ-молока під час його зберігання на полиці супермаркету при кімнатній температурі триває безперервний процес: залишкові активатори повільно перетворюють плазміноген на плазмін, який починає агресивно розщеплювати білки. Оскільки молоко, отримане від корів у стані теплового стресу, вже на старті містило аномально високу кількість цих ферментів, процес гідролізу в УНТ-молоці йде експоненціально швидше. Це призводить до явища, відомого як старіння гелю (age gelation) – молоко втрачає однорідність, коагулює та розшаровується. Паралельно відбувається катастрофічне накопичення гірких пептидів. Таким чином, тепловий стрес корів на фермі безпосередньо транслюється у псування продукції на полицях магазинів через місяці після пакування [9, с. 8133].

Коли активний плазмін починає діяти в молоці, він не руйнує білки хаотично. Цей фермент має високу субстратну специфічність: він переважно розщеплює пептидні зв'язки в молекулах β -казеїну та α_1 -казеїну, тоді як сироваткові білки (наприклад, β -лактоглобулін та α -лактальбумін) залишаються відносно недоторканими. Саме продукти специфічної деградації цих казеїнів є носіями інтенсивного гіркого смаку.

Процес гідролізу β -казеїну має не лише кулінарні, але й глибокі фізіологічні наслідки. Під дією плазміну макромолекула β -казеїну розщеплюється на великі С-кінцеві фрагменти, що отримали назву γ -казеїнів (γ_1 , γ_2 , γ_3), та менші розчинні фрагменти, відомі як протеозопептони. Одним із найперших та найважливіших продуктів цього специфічного розщеплення є N-кінцевий пептидний фрагмент, що складається з 28 амінокислот – β -CN (1-28).

**Механізм утворення гіркоти:
від теплового стресу до деградації білка**

Цей пептид відіграє роль критичного системного регулятора. Дослідження показують, що стрімке зростання концентрації β -CN (1-28) в умовах теплового стресу виконує функцію негативного зворотного зв'язку, спрямованого на примусове зупинення лактації для економії води. Даний пептид фізично зв'язується з калієвими каналами, розташованими на апікальній мембрані епітеліальних клітин молочної залози, блокуючи їхню роботу і тим самим припиняючи клітинну секрецію. Більше того, експерименти виявили унікальний феномен: під час експозиції тварини до високих температур (тепловий стрес) чутливість цих калієвих каналів у вимені до інгібуючої дії пептиду β -CN (1-28) значно зростає порівняно з нормальними умовами. Отже, протеоліз казеїнів починається ще в живому організмі як захисний фізіологічний механізм, побічним наслідком якого є насичення молока гіркими фрагментами.

Відчуття гіркоти у молочних продуктах, з біохімічної точки зору, обумовлене присутністю пептидів, що характеризуються високим вмістом специфічних гідрофобних амінокислот. До таких амінокислот належать пролін, лейцин, валін, фенілаланін, тирозин, ізолейцин та триптофан. Структурно гіркі пептиди зазвичай є відносно короткими ланцюгами (переважно до 16 амінокислотних залишків), молекулярна маса яких варіюється від 400 до 2000 Дальтон. Іншим важливим предиктором гіркового смаку є параметр гідрофобності Q , розроблений Неєм (Neu). Дослідження підтверджують, що пептиди, які генеруються при протеолізі в тепловому стресі, мають високі значення параметра Q , що значно перевищують поріг у 5,86 кДж/моль, що ідентифікує їх як речовини з інтенсивним гірким профілем.

Потрапляючи до ротової порожнини людини, ці гідрофобні пептиди виступають у ролі лігандів для спеціалізованих G-білокспряжених рецепторів гіркового

смаку 2-го типу (TAS2R), розташованих на смакових сосочках язика. Доведено, що казеїнові фрагменти здатні потужно активувати цілу низку таких рецепторів, серед яких найактивніше реагують TAS2R1, TAS2R4, TAS2R14, TAS2R39 та TAS2R46. Взаємодія пептиду з рецептором ініціює внутрішньоклітинний каскад сигналізації, що передається у вигляді нервового імпульсу до головного мозку, де безпомилково інтерпретується як виражена гіркота.

Науковці за допомогою методів рідинної хроматографії та мас-спектрометрії (LC-MS/MS) точно ідентифікували послідовності амінокислот, що утворюються в результаті дії плазміну та несуть найбільшу відповідальність за гіркоту. Основні гіркі пептиди, пов'язані з тепловим стресом та зберіганням молока, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Білкове джерело	Назва фрагмента / Позиція	Амінокислотна послідовність	Біохімічний профіль та значення
\beta-казеїн	\beta-CN (1-28)	RELEELNVPGEI-VESLSSEESITRINK	Великий N-кінцевий фрагмент. Блокатор калієвих каналів, зупиняє секрецію лактації. Вважається базовим прекурсором для дрібніших гірких пептидів
\beta-казеїн	\beta-CN (193-209)	LLYQEPVLGPVRGPFPIIV	Один з найвідоміших продуктів плазмінового гідролізу з інтенсивним гірким профілем. Має високу гідрофобність (високий показник Q)
\beta-казеїн	Внутрішній фрагмент	RGPFPIIV	Октапептид, відщеплений від C-кінця \beta-казеїну. Демонструє надзвичайно низький поріг відчуття інтенсивної гіркоти (близько 0,004 mM)
\alpha_{s1}-казеїн	Внутрішні фрагменти	YFYPEL, YYVPLGTQ	Короткі гідрофобні пептиди. Вивільняються при тривалому зберіганні молока (особливо UHT) внаслідок постійної дії залишкового плазміну
\alpha_{s1}-казеїн	\alpha_{s1}-CN (1-23)	RPKHPIKHQGLPQE-VLNENLLRF	N-кінцевий фрагмент, що генерується протеазами. Доведено його здатність ефективно зв'язуватися та активувати рецептори TAS2R
\alpha_{s1}-казеїн	Внутрішній фрагмент	VAPFPEVF	Пептид з вираженою активністю, що акумулюється в сироватці молока паралельно з розвитком гіркоти

Наявність цих пептидів у молоці теплового стресу є незворотною. Жодні стандартні методи термічної обробки на молокозаводі (пастеризація чи стерилізація) не здатні знищити ці короткі пептидні ланцюги, тому молоко, зіпсоване

ендогенним протеолізом, відбраковується як непридатне для виробництва питного молока високої якості.

Органолептична деградація молока корів, що постраждали від теплового стресу, не обмежується лише пептидною гіркотою. Синергетично з протеолізом розвиваються інші хімічні реакції, що змінюють баланс летких органічних сполук (VOCs), створюючи складний букет сторонніх (off-flavor) присмаків та запахів. Нормальний свіжий аромат молока, що забезпечується ніжним балансом солодких естерів, нівелюється на фоні накопичення агресивних метаболітів.

Як зазначалося в розділі про окислювальний стрес, виснаження антиоксидантної системи (SOD, CAT) робить молочний жир беззахисним. Атака вільних радикалів на ненасичені жирні кислоти (процес автоокислення) призводить до утворення цілої серії летких альдегідів та кетонів. Найбільш показовим індикатором цього процесу є стрімке зростання концентрації гексаналу в молоці. Гексанал та супутні йому кетони сприймаються людськими рецепторами як різкий «металевий», «картонний» або «фарбовий» (paint-like) присмак. Ці сполуки мають дуже низький поріг чутливості, тому навіть мікроскопічні їх концентрації здатні повністю зіпсувати товарний вигляд молока.

Тепловий стрес сприяє посиленому ліполізу – ферментативному розщепленню молекул тригліцеридів молочного жиру. Цьому процесу сприяють два фактори: по-перше, витончення фосфоліпідної мембрани жирових глобул (MFGM), про що свідчить падіння рівня полярних ліпідів; по-друге, збільшення кількості соматичних клітин, які виділяють агресивні ліпази. Крім того, негативний енергетичний баланс корови також стимулює вивільнення ліполітичних ферментів. Внаслідок ліполізу в молоко потрапляє велика кількість вільних коротко- та середньоланцюгових жирних кислот (наприклад, масляна, капронова, каприлова), які надають молоку вираженого мильного, сирного (схожого на блакитні сири) або класичного згірлого (rancid) присмаку. Цей присмак часто доповнює протеолітичну гіркоту, створюючи складний неістівний профіль.

Іншим несподіваним наслідком теплового стресу є збільшення в молоці летких сполук сірки (VSCs), таких як сірководень (H_2S) та сірковуглець (CS_2). Ці сполуки утворюються внаслідок денатурації сироваткових білків (які містять сульфгідрильні групи). Інструментальні дослідження за допомогою технології «електронного носа» (E-nose) та газової хроматографії підтвердили, що тепловий стрес підвищує їх рівень, що інтерпретується сенсорними панелями як «сірчанний», «яєчний» або інтенсивний «варений» (cooked/burnt) присмак.

Якщо молоко, отримане в період спеки, використовується для виробництва УВТ-молока, до гіркоти пептидів додається ще один негативний фактор. Вільні амінокислоти (особливо лізин), що масово вивільняються при неконтрольованому протеолізі плазміном, легко вступають у взаємодію з молекулами лактози під час ультрависокотемпературного нагрівання. Цей процес відомий як реакція Майяра (неферментативне померкнення). В результаті цієї реакції під час подальшого зберігання молока інтенсивно накопичуються фурфурол та оцтова кислота. Фурфурол не лише надає молоку карамельно-палених нот та спричиняє його потемніння, але й, у поєднанні з оцтовою кислотою та пептидами, різко підсилює загальне відчуття в'язкості (astringency) та гіркоти, роблячи продукт абсолютно неприйнятним для споживача [10, с. 3394].

Розуміючи весь масштаб біохімічної катастрофи, що розгортається в організмі тварини, стає очевидним, що єдиним надійним способом запобігання гіркоті молока є проактивний захист корови від перегріву [11, с. 3153]. Ефективна

стратегія менеджменту починається зі створення штучного мікроклімату, який мінімізує вплив сонячної радіації та стимулює тепловіддачу.

Першим рубежем захисту є встановлення систем примусової вентиляції у кожному технологічному приміщенні ферми (корівниках, накопичувачах, доїльних залах). Експерти наголошують, що вентилятори повинні не просто створювати протяг, а працювати цілеспрямовано на обдування тіл тварин. Дослідження та практичний досвід, наприклад, американських університетів, дають чіткі інженерні рекомендації [12, с. 1557]:

Вентилятори діаметром 36 дюймів (91,4 см) повинні встановлюватися на відстані не більше 30 футів (близько 9 метрів) один від одного. Більш потужні вентилятори діаметром 48 дюймів (121,9 см) можна розмішувати з кроком 40 футів (близько 12 метрів). Для забезпечення максимального обдування зон відпочинку та кормового столу, вентилятори монтуються на висоті близько 3,7 метра та обов'язково нахилиються вниз під кутом 20°. Управління системою має бути автоматизованим. Датчики мікроклімату повинні подавати сигнал на включення вентиляторів щоразу, коли індекс ТНІ досягає порогового значення 68 (приблизно 22°C і 45% вологості) [13, с. 494].

Оскільки здатність корови до потовиділення є мізерною, використання вентиляторів без води в спекотному середовищі може бути подібним до роботи фена – воно лише ганяє гаряче повітря. Для ефективного відведення тепла (євапоративного охолодження) необхідно штучно змочувати шкіру тварин. У практиці передових господарств (наприклад, українського ТОВ «Молоко Вітчизни») успішно застосовуються системи зрошення типу «туман» або «дрібна крапля», які синхронізовані з роботою вентиляторів. Форсунки цих систем зазвичай налаштовуються на подачу води об'ємом близько 2 літрів на хвилину під високим тиском (до 70 бар). Система працює циклічно: наприклад, розпилення триває 1–3 хвилини для зволоження шерсті тварин, після чого настає 15-хвилинна пауза, під час якої постійно працюючі вентилятори випаровують цю вологу, забираючи величезну кількість прихованої теплоти від тіла корови. Зі зростанням температури середовища інтервали між циклами розпилення пропорційно скорочуються. Такі системи дозволяють стабільно знижувати температуру в зоні знаходження тварин на 3–4°C, що є критично достатнім для підтримання нормальної лактації та попередження запуску гіпоталамо-гіпофізарно-надниркової осі.

Особливої уваги потребують зони накопичувачів перед доїльними залами. У цих обмежених просторах тварини скупчуються щільно, що призводить до геометричної прогресії зростання локальної температури. Наявність потужних вентиляторів та інтенсивних систем розпилення води в накопичувачах є безальтернативною вимогою для запобігання гострому тепловому удару безпосередньо перед видоюванням. Також критично важливим фактором є надання необмеженого доступу до питної води. В умовах спеки, коли температура зростає з 18 до 30°C, споживання води коровою збільшується на понад 29%, оскільки значна частина рідини втрачається через дихання та слинотечу [14, с. 801]. Доведено, що охолодження питної води до температури 10°C (50°F) здатне самостійно знизити частоту дихання та ректальну температуру тварини, стимулювати скорочення рубця та підтримати нормальне споживання сухої речовини. Фронт напування (довжина напувалок) повинен бути збільшений, щоб гарантувати безперешкодний доступ для всіх тварин, мінімізуючи соціальний стрес. Утримання корів у затінку з достатнім простором (близько 3,5–4,5 м² площі під навісом на голову) є ще однією фундаментальною вимогою.

Технологічного охолодження не завжди достатньо для подолання наслідків теплового стресу, особливо у періоди екстремальних хвиль спеки. Тоді на допомогу приходить тонке налаштування раціону. Оскільки споживання корму падає, нутриціоністи змушені створювати раціони високої енергетичної щільності, які одночасно повинні захищати рубець від ацидозу, компенсувати втрату електролітів та знижувати рівень системного запалення.

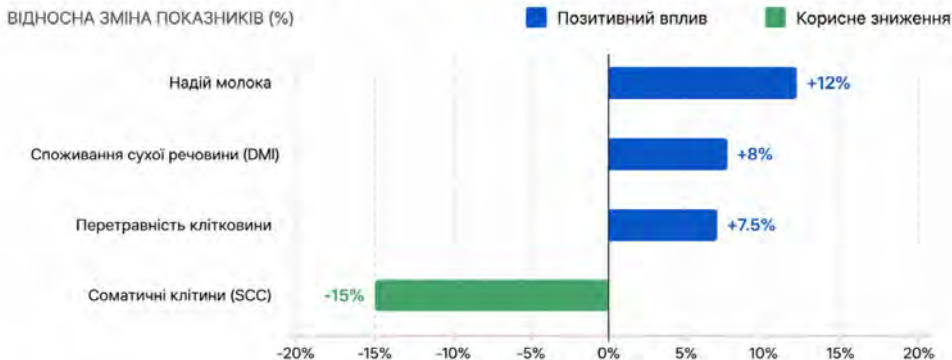
З фізіологічної точки зору, найважливішим нутритивним кроком є компенсація респіраторного алкалозу та метаболічного ацидозу через коригування мінерального профілю. Корова втрачає колосальні обсяги калію та натрію через слинотечу, піт та сечу. Для підтримання кислотно-лужної рівноваги крові в раціон лактуючих корів необхідно вводити значну кількість позитивно заряджених іонів (катіонів), формуючи позитивний дієтичний катіонно-аніонний баланс (DCAD).

Рекомендується збільшувати вміст калію (K) в сухій речовині (CP) раціону до 1,4–1,6%, використовуючи джерела на кшталт карбонату калію, що дозволяє уникнути надлишку шкідливих хлоридів. Вміст натрію (Na), який додається переважно у формі солі або бікарбонату натрію (харчової соди), слід підвищити до рівня 0,45–0,6% CP. Бікарбонат натрію слугує не лише джерелом натрію, але й виконує функцію потужного екзогенного буфера, компенсуючи нестачу природної слини та запобігаючи падінню pH у рубці.

Однак, підвищення концентрації калію та натрію має побічний ефект: вони виступають антагоністами і суттєво погіршують всмоктування магнію в рубці. Тому паралельно необхідно обов'язково збільшувати частку легкозасвоюваного магнію (Mg) до показника 0,35–0,4% у сухій речовині [15, с. 28].

Дослідження підтверджують високу ефективність цієї стратегії. Доведення показника DCAD до рівня +300 мЕкв/кг CP і вище (до 500 мЕкв/кг) у період спеки здатне збільшити споживання сухої речовини на 8%, покращити перетравність клітковини (NDF) на 7,5% та підвищити надої на 12%. Найбільш знаковим є той факт, що збалансований DCAD призводить до статистично достовірного зниження кількості соматичних клітин (SCC) у молоці на 15% та зменшення популяції імунних клітин у крові. Зниження рівня SCC означає пряме скорочення джерела ферментів-активаторів плазміногену. Таким чином, мінеральний баланс безпосередньо запобігає масивній активації плазміну і, як наслідок, блокує процес утворення гірких пептидів.

Оптимізація раціону (DCAD) рятує якість молока в спеку



Покращення фізіологічних показників завдяки підвищенню катіонно-аніонного балансу ($DCAD > +300$ мЕкв/кг СР) під час теплового стресу. Забезпечення правильного рівня калію, натрію та магнію сприяє зростанню надоїв і перетравності, одночасно зменшуючи ризик розвитку гіркоти завдяки зниженню кількості соматичних клітин (SCC).

Зменшувати частку структурної клітковини у раціоні вкрай небезпечно, оскільки це прискорить розвиток ацидозу (SARA). Водночас, надлишок неструктурних вуглеводів (крохмалю) призведе до аналогічного результату. Тому рівень нейтрально-детергентної клітковини (NDF) повинен залишатися в межах 28–30% від загального раціону, але необхідно використовувати джерела з максимальною перетравністю, наприклад, кукурудзяний силос або цукрове сорго. Збільшити енергетичну щільність без шкоди для рубця дозволяє застосування «захищених» (bypass) жирів та протеїнів. Захищені (інертні в рубці) жири у вигляді кальцієвих солей або мікрокапсул дозволяють довести загальний вміст жиру в раціоні до 5–7%. Перетравлення таких жирів відбувається у тонкому кишечнику, воно не супроводжується активною теплопродукцією і, найголовніше, не призводить до утворення токсичних проміжних метаболітів біогідрогенізації (транс-10, цис-12 CLA), які інгібують синтез молочного жиру. Так само вкрай важливим є введення до раціону захищених від розпаду в рубці білків (UDP/bypass protein).

Звичайний сирий протеїн під впливом мікрофлори рубця швидко перетворюється на аміак. Якщо бактерії не встигають утилізувати цей аміак, він всмоктується в кров і перетворюється на сечовину в печінці. Цей цикл є дуже енергозатратним і генерує багато додаткового внутрішнього тепла, що обтяжує стан корови. Захищені білки проходять рубець транзитом і розщеплюються ферментами безпосередньо в сичузі та кишечнику, забезпечуючи молочну залозу необхідними амінокислотами для підтримки синтезу казеїну, тим самим запобігаючи синдрому "зниження білка" та втраті якості молока [16].

Для боротьби з наслідками запалення та збереження цілісності рубця активно застосовуються спеціалізовані добавки. Препарати на основі живих культур дріжджів (*Saccharomyces cerevisiae*) та ферментативних екстрактів грибів (наприклад, *Aspergillus oryzae*) довели свою здатність стимулювати ріст целюлозолітичних бактерій та бактерій, що утилізують молочну кислоту. Їх додавання нормалізує рівень pH у рубці, збільшує конверсію корму на 7% та може підвищити надої на 4–8%. Запобігаючи ацидозу, дріжджі блокують масову загибель грамнегативної флори і, відповідно, зменшують утворення ендотоксинів (LPS), що спричиняють запалення та депресію жиру.

Окрім дріжджів, важливим кроком є застосування вітамінів і метаболітів. Вітаміни Е та С діють як потужні антиоксиданти, які допомагають нейтралізувати активні форми кисню та запобігти перекисному окисненню ліпідів (зниженню MDA) в клітинах вимені та безпосередньо у виробленому молоці. Додавання ніацину (вітаміну В3) в дозі близько 6 грамів на добу допомагає покращити периферичний кровообіг, посилюючи розсіювання тепла через шкіру, що також призводить до підвищення надоїв [17].

Нарешті, боротьба з гіркотою молока неможлива без глибокої стабілізації імунної системи та метаболізму корови. Сучасні інноваційні рішення, такі як препарат ADT MuyoGuard Axis, працюють як повнофункціональна вісь захисту між кишечником, печінкою та метаболізмом [18]. На відміну від класичних рішень, цей імуномодуючий комплекс поєднує безпечні неорганічні сорбенти (HSCAS та бентоніт), розширений дріжджовий пул (β -глюкани, манани та ферментована

культура), а також потужні терморегулюючі агенти – ніацин, органічний хром, біотин та силімарин. Практика показує, що синергія цих компонентів дозволяє не лише підтримати цілісність епітелію кишечника та зупинити проникнення ендотоксинів (LPS) у кров, але й завдяки ніацину та хрому ефективно розширити капіляри, достовірно знизити ректальну температуру і завести глюкозу безпосередньо в клітини вимені в умовах теплового стресу [19]. Таке комплексне пригнічення системного запального відгуку значно зменшує кількість соматичних клітин та безпосередньо блокує міграцію макрофагів у вим'я, залишаючи ферментну систему активації плазміногену у стані спокою. Відтак, молоко не гіркне, зберігаючи свій природний солодкуватий смак і високу стабільність.

Більше того, безперервне згодовування добавки, зокрема у період сухостою, гарантує постійний захист печінки і дозволяє повністю нівелювати відкладені наслідки кліматичних криз на продуктивність та якість молока у наступній лактації [20]. Стратегія годівлі також має бути адаптованою: до 80% добової норми корму слід роздавати в прохолодніші нічні та ранкові години (або щонайменше 70% через 2–4 години після денного піку температури), щоб уникнути накладання теплопродукції ферментації на пікові показники зовнішньої спеки. Поєднання частого роздавання невеликими порціями з додаванням інгібіторів псування корму (наприклад, пропіонової кислоти) дозволяє зберегти його поживність і стимулювати апетит у виснажених тварин.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Ґрунтовний аналіз біохімічних, фізіологічних та ветеринарних досліджень дозволяє дати однозначну відповідь: тепловий стрес є доведеним і надзвичайно потужним каталізатором розвитку гіркоти та інших сторонніх присмаків у коров'ячому молоці. Виникнення цього сенсорного дефекту не є тривіальним наслідком підвищення температури молока, а є результатом глибокого та багаторівневого патофізіологічного зламу, що охоплює весь організм тварини.

Початком цього каскаду є нейроендокринна відповідь (викид кортизолу) та спроба тварини охолодитися через гіпервентиляцію. Втрата вуглекислого газу та подальше виведення бікарбонату через нирки залишають рубець без природного буфера. Розвиток субклінічного ацидозу рубця (SARA) провокує масову загибель грамнегативних бактерій та вивільнення токсичних ліпополісахаридів (LPS). Проникнення цих ендотоксинів через пошкоджений спекою кишковий бар'єр у системний кровотік викликає масштабне системне запалення та імуносупресію.

Ці процеси, на тлі глибокого дефіциту енергії, поширюються на молочну залозу. Зниження лактації супроводжується послабленням гемато-молочного бар'єру та масивною міграцією соматичних клітин (макрофагів та нейтрофілів) у молоко. Імунні клітини виділяють потужні активатори плазміногену (uPA та tPA), які конвертують неактивний плазміноген у руйнівний фермент – плазмін. Саме плазмін починає високоспецифічне розщеплення молекул β -казеїну та α -казеїну. В результаті цього протеолізу утворюються короткі (до 16 амінокислот), надзвичайно гідрофобні пептидні фрагменти (такі як β -CN 193-209 LLYQEPVLGPVRGPFPIIV, RGPFPPIV, YFYPEL, YYVPLGTQ), які безпомилково розпізнаються рецепторами TAS2R на язичі людини як інтенсивна гіркота. Ця ситуація багаторазово погіршується в процесі тривалого зберігання ультрапастеризованого (УНТ) молока, оскільки плазмін витримує екстремальні температури і продовжує гідролізувати білки, перетворюючи молоко на гіркий гель, паралельно стимулюючи реакцію Майяра з утворенням в'язучого фурфуролу.

Окрім пептидної гіркоти, загальний смаковий профіль руйнується через виснаження антиоксидантної системи (падіння SOD, CAT) та перекисне окиснення ліпідів (зростання MDA). Окислення призводить до утворення гексаналю (металевий присмак), ліполіз вивільняє вільні жирні кислоти (згірклий/мильний присмак), а денатурація сироваткових білків насичує молоко сірчаними нотами.

Управління та запобігання цій проблемі вимагають безпечного та негайного впровадження комплексних протоколів. Мікрокліматичні модифікації (вентилятори, системи дрібнодисперсного зрошення) є критичною необхідністю і мають автоматично запускатися відразу при досягненні THI рівня 68. Нутритивна стратегія повинна концентруватися не лише на підвищенні енергетичної щільності раціону за рахунок захищених жирів і білків (bypass), але й на жорсткому контролі запалення та кислотно-лужної рівноваги. Формування позитивного катіонно-аніонного балансу (DCAD) шляхом збільшення вмісту калію, натрію та магнію достовірно знижує кількість соматичних клітин і покращує надої. Синергетичне застосування живих дріжджів, антиоксидантів та спеціалізованих імуномодуляторів дозволяє зберегти цілісність рубця, зупинити міграцію макрофагів і, відповідно, заблокувати активацію плазміну. Тільки повна інтеграція інженерних та фізіологічних підходів дозволить фермам зберегти як кількісні, так і якісні параметри виробленого молока, надійно захистивши споживача від небажаної гіркоти в умовах кліматичних змін.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Becker C. A., Collier R. J., Stone A. E. Invited review: Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103, № 8. P. 6751-6770. DOI: 10.3168/jds.2019-17929
2. Tao S., Orellana-Rivas R. M., Marins T. N., Chen Y. C., Gao J., Bernard J. K. Impact of heat stress on lactational performance of dairy cows. *Theriogenology*. 2020. Vol. 150. P. 437-444. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2020.02.048. PMID: 32173067.
3. Sammad A., Wang Y. J., Umer S., Lirong H., Khan I., Khan A., Ahmad B., Wang Y. Nutritional physiology and biochemistry of dairy cattle under the influence of heat stress: consequences and opportunities. *Animals (Basel)*. 2020. Vol. 10, № 5. P. 793. DOI: 10.3390/ani10050793. PMID: 32375261. PMCID: PMC7278580.
4. Chen L., Thorup V. M., Kudahl A. B., Østergaard S. Effects of heat stress on feed intake, milk yield, milk composition, and feed efficiency in dairy cows: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*. 2024. Vol. 107, № 5. P. 3207-3218. DOI: 10.3168/jds.2023-24059.
5. Giannone C., Bovo M., Ceccarelli M., Torreggiani D., Tassinari P. Review of the heat stress-induced responses in dairy cattle. *Animals (Basel)*. 2023. Vol. 13, № 22. P. 3451. DOI: 10.3390/ani13223451. PMID: 38003069. PMCID: PMC10668733.
6. Džermeikaitė K., Krištolaitytė J., Malašauskienė D., Arlauskaitė S., Girdauskaitė A., Antanaitis R. The impact of heat stress on dairy cattle: effects on milk quality, rumination behaviour, and reticulorumen pH response using machine learning models. *Biosensors (Basel)*. 2025. Vol. 15, № 9. P. 608. DOI: 10.3390/bios15090608. PMID: 41002348. PMCID: PMC12467986.
7. Zhang Q., Yang L., Li Y., Gu P., Si R., Zhu L., Zhang W. Heat stress affects dairy cow performance via oxidative stress, hypothalamic-pituitary-adrenal axis, gut microbiota, and multi-dimensional mitigation. *Frontiers in Veterinary Science*. 2025. Vol. 12. Art. 1686241. DOI: 10.3389/fvets.2025.1686241.
8. Li N., Yang Z., Yuan Z., Zhen Z., Xie X., Zhu D., Lu G., Zhao F., Qu B., Qi B., Jiang Y., Zhao Q., Man C. Influence of heat- and cold-stressed raw milk on the stability of UHT milk. *Foods*. 2024. Vol. 14, № 1. P. 3. DOI: 10.3390/foods14010003. PMID: 39796293. PMCID: PMC11720201.

9. Kaufman J. D., Kassube K. R., Rius A. G. Lowering rumen-degradable protein maintained energy-corrected milk yield and improved nitrogen-use efficiency in multiparous lactating dairy cows exposed to heat stress. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100, № 10. P. 8132-8145. DOI: 10.3168/jds.2017-13026. PMID: 28755937.
10. Medeiros I., Fernandez-Novo A., Astiz S., Simões J. Production and health management from grazing to confinement systems of largest dairy bovine farms in Azores: a farmers' perspective. *Animals (Basel)*. 2021. Vol. 11, № 12. P. 3394. DOI: 10.3390/ani11123394. PMID: 34944171.
11. Fu L., Zhang L., Liu L., Yang H., Zhou P., Song F., Dong G., Chen J., Wang G., Dong X. Effect of heat stress on bovine mammary cellular metabolites and gene transcription related to amino acid metabolism, amino acid transportation and mammalian target of rapamycin (mTOR) signaling. *Animals (Basel)*. 2021. Vol. 11, № 11. P. 3153. DOI: 10.3390/ani11113153. PMID: 34827885.
12. Messeri A., Mancini M., Bozzi R., Parrini S., Sirtori F., Morabito M., Crisci A., Messeri G., Ortolani A., Gozzini B., Orlandini S., Fibbi L., Cristofori S., Grifoni D. Temperature-humidity index monitoring during two summer seasons in dairy cow sheds in Mugello (Tuscany). *International Journal of Biometeorology*. 2023. Vol. 67, № 10. P. 1555-1567. DOI: 10.1007/s00484-023-02510-7. PMID: 37526764.
13. Priyadarshini P., Rani A., Gopal G., Sabyasachi M., Lalremruati P. C., Vikas V., Raja T. V. Genetic analysis of novel resilience indicators for heat stress-induced milk loss in Indian Sahiwal cattle. *Tropical Animal Health and Production*. 2025. Vol. 57, № 9. P. 494. DOI: 10.1007/s11250-025-04720-0. PMID: 41252048.
14. Daniels K. M., Ellett M. D., Parsons C. L. M., Corl B. A. Detecting heat stress: examination of temperature-humidity index thresholds for respiration rate and body temperature in barn- and pasture-housed periparturient dairy heifers. *JDS Communications*. 2025. Vol. 6, № 6. P. 797-802. DOI: 10.3168/jdsc.2025-0790.
15. Zeng J., Wang D., Sun H., Liu H., Zhao F. Q., Liu J. Potential mechanism of the effect of heat stress on milk protein synthesis revealed by integrated metabolomic and proteomic analyses. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2026. Vol. 17, № 1. P. 28. DOI: 10.1186/s40104-025-01338-y. PMID: 41673879. PMCID: PMC12896087.
16. Lemal P., Grelet C., Dehareng F., Soyeurt H., Schroyen M., Gengler N. Prediction of heat stress response in dairy cows using milk mid-infrared spectra. *Scientific Reports*. 2026. Vol. 16. Art. 14258. DOI: 10.1038/s41598-026-39287-9
17. Qi Y., Zhan C., You C. Predictive microbiology and transcriptomic analysis of heat-resistant and spoilage-associated traits in *Microbacterium* species isolated from dairy products. *International Journal of Food Microbiology*. 2026. Vol. 459. Art. 111906. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2026.111906.
18. Bittante G., Martínez-Marín G. J., Toledo-Alvarado H., Amalfitano N., Cecchinato A., Schiavon S., Gallo L. Assessing climatic effects on milk yield traits using sinusoidal modelling in dairy cows. *Animal*. 2026. Vol. 20, № 6. Art. 101856. DOI: 10.1016/j.animal.2026.101856.
19. Cabbia A., Braidot M., Florit E., Corazzin M., Romanzin A. Perturbations in dairy cows: impact of heat stress, lameness, and mastitis on milk yield and feeding behavior. *Animals (Basel)*. 2026. Vol. 16, № 7. P. 1111. DOI: 10.3390/ani16071111.
20. Zhao Y., Wang F., Wang Y., Tan J., Niu H., Guo G., Fang L., Jiang L. Heat stress compromises nutritional quality and flavor of bovine raw milk: evidence from multi-omics analyses. *Food Chemistry: X*. 2025. Vol. 32. Art. 103361. DOI: 10.1016/j.fochx.2025.103361.

Дата першого надходження статті до видання: 29.06.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 638.1:636.084:579.8

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.34>

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ОСІННЬОЇ ПІДГОДІВЛІ БДЖІЛ З ПРОБІОТИКОМ У ПЕРІОД ПІДГОТОВКИ БДЖОЛИНИХ СІМЕЙ ЗИМІВЛІ

Чорний Д.О. – аспірант кафедри технології виробництва
та переробки продукції тваринництва,

Вінницький національний аграрний університет

orcid.org/0009-0002-1035-071X

Разанова О.П. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри технології виробництва та переробки продукції тваринництва,

Вінницький національний аграрний університет

orcid.org/0000-0001-5552-9356

Успішна зимівля бджолиних сімей є ключовим фактором їхнього стабільного весняного розвитку та майбутньої продуктивності у наступний рік. Зростання епізоотичного тиску та несприятливі екологічні зміни вимагають впровадження у практику бджільництва безпечних біологічно активних добавок. У статті наведено результати дослідження впливу пробіотичного препарату «ЕМ-АГРО» у складі осінньої стимулювальної підгодовілі на фізіологічний стан та зимостійкість робочих бджіл української степової породи у зимовий період. Дослідження проведено на двох групах бджолиних сімей. Дослідній групі згодовували цукровий сироп із додаванням пробіотика з розрахунку 2 г/л. Проведено моніторинг динаміки маси робочої бджоли, маси ректуму, відсотка калових мас, вмісту сухої речовини наприкінці зимівлі, а також показників сили сімей та витрат корму. Встановлено, що застосування пробіотика оптимізує процеси травлення, достовірно зменшуючи калове навантаження на кишківник. Наприкінці зимівлі маса ректуму бджіл дослідної групи була на 13,6 % меншою порівняно з контролем, а вміст становив 40,3 % проти 44,2 %. Відзначено меншу загальну живу масу бджіл дослідної групи (110,4 мг проти 121,8 мг у контролі) за оптимального збереження частки сухої речовини (33,7 %), що підтверджує відсутність критичного перепоєнення задньої кишки екскрементами. Незважаючи на децю вищі витрати зимових кормових запасів (59,7 % проти 55,6 % у контролі), сім'ї дослідної групи інтенсивніше відновили весняне нарощування сили та виробили більшу кількість розплоду (8,8 проти 8,6 квадратів). Отже, збагачення осінньої підгодовельної суміші пробіотиком «ЕМ-АГРО» запобігає виснаженню бджіл та створює фізіологічне підґрунтя для інтенсивного весняного розвитку бджолиних сімей.

Ключові слова: бджоли, зимівля, осіння підгодовля, пробіотик, ЕМ-технологія, фізіологічний стан, маса ректуму, розвиток бджолиних сімей.

Chornyi D.O., Razhanova O.P. Effectiveness of the application of autumn feeding of bees with probiotics during the preparation of bee families for winter

Successful wintering of bee colonies is a key factor in their stable spring development and future productivity in the following year. The growth of epizootic pressure and adverse environmental changes require the introduction of safe biologically active additives into beekeeping practice. The article presents the results of a study of the effect of the probiotic preparation "EM-AGRO" as part of the autumn stimulating top dressing on the physiological state and winter hardiness of worker bees of the Ukrainian steppe breed in the winter period. The study was conducted on two groups of bee colonies. The experimental group was fed sugar syrup with the addition of probiotic at the rate of 2 g/l. The dynamics of the mass of the worker bee, the mass of the rectum, the percentage of fecal masses, the content of dry matter at the end of wintering, as well as indicators of colony strength and feed consumption were monitored. It was found that the use of



© Чорний Д.О., Разанова О.П., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

the probiotic optimizes digestion processes, significantly reducing the fecal load on the intestine. At the end of wintering, the mass of the rectum of the bees of the experimental group was 13.6% less compared to the control, and the content was 40.3% versus 44.2%. A lower total live mass of the bees of the experimental group was noted (110.4 mg versus 121.8 mg in the control) with optimal preservation of the proportion of dry matter (33.7%), which confirms the absence of critical overflow of the hindgut with excrement. Despite the somewhat higher consumption of winter feed reserves (59.7% versus 55.6% in the control), the colonies of the experimental group more intensively resumed the spring increase in strength and grew a larger number of brood (8.8 versus 8.6 squares). Thus, enrichment of the autumn feeding mixture with the probiotic "EM-AGRO" prevents bee exhaustion and creates a physiological basis for intensive spring development of bee colonies.

Key words: bees, wintering, autumn feeding, probiotic, EM-technology, physiological state, rectum mass, colony development.

Актуальність теми дослідження. На сучасному етапі розвитку бджільництва спостерігається погіршення екологічної та епізоотичної ситуації, що супроводжується масовою загибеллю популяцій медоносної бджоли [13]. Для боротьби з бактеріальними інфекціями розплоду у минулому використовувалися антибіотики широкого спектра дії. Суворі законодавчі обмеження щодо вмісту залишків антибіотиків у продукції бджільництва, введені в країнах Європейського Союзу, зумовлюють необхідність пошуку екологічно безпечних альтернатив [15].

Пробіотики здійснюють комплексний вплив на організм бджіл. Використання комплексів на основі ефективних мікроорганізмів демонструє високу біологічну ефективність у боротьбі з європейським гнильцем та нозематозом, а також сприяє загальному зміцненню імунітету бджіл. Окрім вираженого лікувально-профілактичного ефекту, цілеспрямоване збагачення кишкової мікрофлори безпосередньо покращує господарські показники. Таким чином, використання адаптованих вітчизняних пробіотиків може розглядатися як перспективний підхід для збереження здоров'я бджіл та підтримки стабільної продуктивності промислових пасік.

Включення пробіотиків до складу стимулюючих підгодівель для бджіл практикується у бджільництві, оскільки важливою їхньою властивістю є здатність підвищувати протиінфекційну стійкість організму та активізувати функціональні можливості бджолиних сімей.

Згідно досліджень [13], зимовий безоблітний період у річному циклі життєдіяльності бджолиної сім'ї є одним із критичних, оскільки його результати безпосередньо впливають на подальший весняно-літній розвиток сімей та їхню загальну продуктивність. Включення пробіотиків до складу стимулюючих підгодівель для бджіл практикується у бджільництві, оскільки важливою їхньою властивістю є здатність підвищувати протиінфекційну стійкість організму та активізувати функціональні можливості бджолиних сімей.

Перспективним напрямом вирішення цієї проблеми є застосування ЕМ-технології (технології ефективних мікроорганізмів) та використання спеціалізованих пробіотичних і пребіотичних комплексів. Початково ЕМ-технологія була розроблена для агрономічних потреб: відновлення гумусу, фіксації атмосферного азоту, пригнічення фітопатогенної мікрофлори та поліпшення структури ґрунтів. До складу типових ЕМ-препаратів входять молочнокислі бактерії, дріжджі, фотосинтезуючі бактерії та актиноміцети. Доведено, що ці мікроорганізми, розщеплюючи органічні матеріали та синтезуючи ферменти і гормони, здатні формувати потужний симбіотичний бар'єр у травному тракті комах та на їхніх хітинових покривах [19]. Цей мікробіологічний симбіоз продукує життєво важливі для росту комах амінокислоти та вітамінні комплекси [5].

В Україні для потреб бджільництва застосовують універсальні пробіотики широкого спектра дії, такі як «Байкал ЕМ-1У», і вузькоспеціалізовані продукти для галузі бджільництва, серед яких «Ентеронормін» та «ЕМ® ПРОБІОТИК для БДЖІЛ». Вітчизняні дослідники [1] наголошують на доцільності превентивного використання ЕМ-засобів з метою стимуляції імунної системи бджіл. Результати садкових дослідів свідчать, що «ЕМ® ПРОБІОТИК для БДЖІЛ» подовжує тривалість життя бджіл зимової генерації. Лабораторні тести зафіксували найвищі показники виживання за умови додавання до раціону від 1,25 % (тривалість життя 18 діб) до 5 % (16 діб) препарату, розведеного в цукровому сиропі.

У дослідженні О. П. Разанової [11] встановлено вплив пробіотичного препарату «Субтіформ» на фізіологічні та господарсько-корисні показники бджіл української степової породи. За результатами згодовування препарату в концентраціях 0,5, 1,5 та 2,0 г/л у складі цукрового сиропу доведено, що оптимальним є дозування 1,5 г/л. За таких умов фіксується максимальний приріст кількості закритого розплоду (на 11,3 %) та загальної сили сім'ї перед медозбором (на 20,3 %) порівняно з контролем, тоді як доза 2,0 г/л спричиняє зниження ефективності. Обсяги заготівлі товарного меду зросли на 17,5 %, перги – на 66,6 %, секретії воску – на 50,0 %, а відбудови стільників – на 37,9 %.

У дослідженні Р. Шумкової та Р. Балканської [27] доведено стимулювальний вплив мікробіологічного препарату «Байкал ЕМ-1У» на продуктивні показники сімей *Apis mellifera* L. за умов весняного та осіннього підгодовування. Згодовування препарату у складі цукрового сиропу (5 мл на 0,5 л навесні та 20 мл на 10 л восени) забезпечило збільшення сили бджолиних сімей та обсягів закритого розплоду порівняно з контрольною групою. Найвища ефективність мікробіологічної добавки зафіксована під час підготовки до зимівлі: перед настанням зимового періоду дослідні сім'ї демонстрували мали вищу загальну масу бджіл та кількість розплоду. Водночас екзогенне введення мікроорганізмів не спричинило достовірних змін у макрохімічному складі тіла імаго (вміст води, протеїнів, ліпідів та мінеральних речовин залишився на рівні показників контролю), що свідчить про реалізацію біологічного ефекту препарату переважно через інтенсифікацію репродуктивного потенціалу матки та оптимізацію трофічних процесів у сім'ї.

У польовому експерименті [12] на базі пасіки НУБіП України доведено ефективність комплексного застосування пробіотика «Про ЕМбіотик», симбіотика «Ентеронормін з Йодіс+SE» та мінерального препарату «Апіплазма». Триразове згодовування цих добавок із цукровим сиропом під час весняно-літнього нарощування покращило імунітет бджіл, яйценосність маток і загальну площу розплоду. Покращення фізіологічного стану бджолиних сімей та зниження їхньої смертності забезпечили суттєвий приріст виробництва товарного меду, обніжжя та воску. Висока економічна ефективність застосування препаратів перевищила обґрунтовує доцільність їх застосування у бджільництві.

Польськими вченими [21] досліджено фруктофільні молочнокислі бактерії (FLAB), зокрема *Fructobacillus fructosus* (штами V5 та VIII1) і *A. kunkeei* CH1. Встановлено, що зазначені мікроорганізми характеризуються високим пробіотичним потенціалом і здатні формувати біоплівки, необхідні для успішної колонізації кишківника. Збагачення цукрового сиропу штамами FLAB збільшило тривалість життя бджіл. Додатковою перевагою є поліпшення засвоєння цукрів, що зменшує енергетичне виснаження бджіл, особливо на тлі ураження *Nosema ceranae*.

У дослідженнях хорватських науковців [22] проаналізовано вплив ферментованих добавок лінійки ЕМ® на перебіг інфекційних процесів. Дослідники виявили,

що пробіотична терапія пригнічує розвиток збудників *Nosema spp.* та позитивно трансформує кишковий мікробіом. Доведено, що регулярне згодовування ЕМ-добавок сприяє зростанню популяції *Snodgrassella alvi*. Оскільки ця бактерія є ключовим компонентом нормальної мікрофлори травної системи бджоли, то підвищення її рівня може слугувати маркером фізіологічного благополуччя бджолиної сім'ї.

Ефективність застосування мікробіологічних компонентів проти бактеріальних інфекцій підтверджено результатами польових випробувань [24] в Італії (провінція Вітербо). Протягом весняно-літнього сезону 2014 року було обстежено 979 бджолосімей на 22 пасіках. Бджолам додавали у цукровий сироп специфічний штам *Lactobacillus plantarum*, виділений на півночі країни. У дослідних групах рівень захворюваності бджіл на європейський гнилець (збудник *Melissococcus plutonius*) достовірно знизився і становив 2,5 %, тоді як у контрольних він сягав 4,5 %. Крім того, дія *L. plantarum* зберігалася до 35 діб після закінчення курсу підгодівлі.

У польовому дослідженні [25] доведено, що ефективність пробіотичного препарату LX3 проти кліща *Varroa destructor* залежить від способу його застосування. Достовірне зниження кількості паразитів спостерігалось лише за умови згодовування пробіотика у складі білкової паст, тоді як розпилення у формі спрею виявилось неефективним через швидке висихання бактерій. Дослідники виявили важливу закономірність: згодовування бджолам звичайних білкових паст без додавання бактерій спровокувало максимальне розмноження кліщів, особливо в місцевостях із багатим природним медозбором. Це свідчить про те, що надлишок неферментованого білка діє як каталізатор для розвитку паразитів. Натомість додавання пробіотиків допомагає бджолам повноцінно засвоювати протеїн, зміцнює їхній імунітет та опосередковано створює несприятливі умови для розмноження кліщів.

Постановка проблеми. Аналіз наукової літератури свідчить, що застосування пробіотиків у бджільництві стало ефективним заходом. Пробіотики здійснюють комплексний вплив на організм бджіл». Використання комплексів на основі ефективних мікроорганізмів демонструє високу біологічну ефективність у боротьбі з європейським гнильцем та нозематозом, а також сприяє загальному зміцненню імунітету бджіл. Окрім вираженого лікувально-профілактичного ефекту, цілеспрямоване збагачення кишкової мікрофлори безпосередньо покращує господарські показники. Таким чином, використання адаптованих вітчизняних пробіотиків може розглядатися як перспективний підхід для збереження здоров'я бджіл та підвищення стабільної продуктивності промислових пасік.

Мета дослідження полягала у визначенні впливу пробіотика «ЕМ-АГРО» на фізіологічний стан робочих бджіл під час зимівлі.

Методика досліджень. Науково-господарський дослід було проведено на бджолиних сім'ях української степової породи відповідно до загальноприйнятих методик у бджільництві [1]. Для цього було сформовано дві групи бджолиних сімей за принципом груп-аналогів по 5 сімей у кожній. При формуванні порівнюваних груп використовували метод аналогів з урахуванням сили сімей, кількості корму та загального стану. Умови утримання бджолиних сімей у контрольній та дослідній групах були ідентичними, за винятком складу осінньої стимулюючої підгодівлі у дослідній групі.

Осіною підгодівлю бджіл проводили у серпні-вересні шляхом згодовування цукрового сиропу (60 % концентрації), який готувався з води і цукру у співвідношенні 1:1,5. Підгодівлю здійснювали порційно по 1,5 л готової суміші на одну сім'ю 5 разів за осінній період з інтервалом у 3 дні. Контрольна група отримувала

чистий цукровий сироп без добавок. Дослідна група отримувала цукровий сироп з додаванням пробіотика «ЕМ-АГРО» з розрахунку 2 г препарату на 1 л сиропу.

Доцільність використання добавки у підгодівельній суміші визначали за показниками зимостійкості бджіл та весняного розвитку бджолиних сімей. Оцінку фізіологічного стану бджіл під час зимівлі здійснювали шляхом щомісячного відбору проб бджіл. У відібраних зразках визначали масу робочих бджіл (зважування по 10 особин у кожній пробі), масу ректуму для визначення калового навантаження під час зимівлі, відсоток вмісту екскрементів від загальної живої маси бджоли. Для визначення вмісту ректуму у бджіл вичленювали кишечник за допомогою пінцета, відділяли задню кишку і зважували на електронних вагах Axis HD 500. Наприкінці зимівлі додатково визначали масу бджіл для розрахунку відсотка сухої речовини. Для цього з кожної сім'ї відбирали по 10 бджіл і висушували у термостаті ТС-80 за температури 55°C.

Силу бджолиних сімей оцінювали за кількістю вуличок у бджолиному гнізді. Оцінку стану сімей проводили восени під час підготовки до зимівлі та навесні після очисного обльоту бджіл. При цьому визначали кількість корму, розплоду і наявність підмору після зимівлі.

Статистичну обробку одержаних цифрових даних проводили з використанням загальноприйнятих біометричних методів за допомогою програми MS Excel. Оцінку вірогідності різниці між середніми значеннями досліджуваних показників проводили за t-критерієм Стюдента. Результати середніх значень вважали статистично значущими за $p < 0,05$.

Результати досліджень. Оцінка результатів зимівлі базувалася на дослідженні фізіологічного стану робочих бджіл, зокрема динаміки зміни маси та калового навантаження ректуму (задньої кишки). Оскільки взимку бджоли знаходяться у стані анабіозу у щільному клубі і споживають вуглеводний корм, тому неперетравні рештки накопичуються в кишківнику, що призводить до збільшення загальної маси комах. За результатами досліджень, осіння підгодівля бджіл цукровим сиропом із додаванням пробіотика «ЕМ-АГРО» позитивно вплинула на хід зимівлі та процеси травлення (табл. 1).

Таблиця 1

**Динаміка зміни фізіологічних показників робочих бджіл
у змовий період залежно від складу підгодівлі**

Показник	Дата обліку		
	23.12.2025	23.01.2026	23.02.2026
Контрольна група			
Середня маса робочої бджоли, мг	116,0 ± 1,22	122,8 ± 1,16	123,0 ± 0,71
Маса ректуму, мг	43,4 ± 1,08	48,2 ± 0,58	54,4 ± 0,68
Вміст калових мас від маси бджоли, %	37,4 ± 1,04	39,3 ± 0,72	44,2 ± 0,48
Дослідна група ЕМ-АГРО			
Середня маса робочої бджоли, мг	113,6 ± 0,93	116,2 ± 0,86**	116,6 ± 1,03***
Маса ректуму, мг	38,0 ± 0,71**	41,2 ± 1,16***	47,0 ± 1,3***
Вміст калових мас від маси бджоли, %	33,5 ± 0,71*	35,4 ± 1,21*	40,3 ± 0,99**

Аналіз динаміки фізіологічних показників свідчить, що згодовування пробіотика «ЕМ-АГРО» позитивно вплинуло на стримування калового навантаження.

Протягом періоду спостережень маса робочої бджоли у контрольній групі зросла з $116,0 \pm 1,22$ мг до $123,0 \pm 0,71$ мг, тобто збільшення на 6,03 %. У дослідній групі, яка отримувала восени у складі стимулюючої підгодовлі пробіотик, це зростання було достовірно менш інтенсивним. У цій групі маса бджоли збільшилася лише на 3,87 % (з $113,6 \pm 0,93$ мг до $118,0 \pm 0,95$ мг).

Найбільш інформативними є динамічні зміни маси ректуму (відділ товстої кишки) у часовому аспекті. У контрольній групі за два зимові місяці маса ректуму збільшилася на 25,3 % (з $43,4 \pm 1,08$ мг у грудні до $54,4 \pm 0,68$ мг у лютому). Водночас у дослідній групі навантаження на кишківник зросло на 23,7 % (з $38,0 \pm 0,71$ мг до $47,0 \pm 1,30$ мг). Різниця між групами у першу дату обліку становила 12,4 %, другу дату – 14,5 % і на кінець зимівлі перед очисним обльотом – 13,6 % на користь дослідної групи.

У бджіл дослідної групи, яким згодовували пробіотик «ЕМ-АГРО», показники маси ректуму та відсотку вмісту калових мас від маси бджоли були достовірно меншими протягом усього періоду обліку. Менше навантаження на травну систему пояснюється покращенням засвоєння поживних речовин з вуглеводного корму завдяки дії пробіотичної мікрофлори.

Таблиця 2

Вплив пробіотика ЕМ-АГРО на масу та вміст сухої речовини робочих бджіл на кінець зимівлі

Показник	Група	
	контрольна	дослідна (пробіотик ЕМ-АГРО)
Середня маса робочої бджоли, мг	$121,8 \pm 2,64$	$110,4 \pm 3,66^*$
Маса висушеної бджоли, мг	$42,2 \pm 1,34$	$37,2 \pm 2,14$
Вміст сухої маси до ваги бджіл, %	$34,6 \pm 1,03$	$33,7 \pm 1,01$

Додатковим критерієм оцінки фізіологічного стану бджолиних сімей було визначення морфологічних показників робочих бджіл (маса, суха речовина) на кінець зимівлі. Встановлено, що жива маса бджіл контрольної групи перед очисним обльотом становила $121,8 \pm 2,64$ мг, тоді як у дослідній – $110,4 \pm 3,66$ мг, з достовірною різницею на 10,3 % ($p < 0,005$). Вміст сухої речовини в обох групах коливався в межах 33,7–34,6 %, проте менша жива маса бджіл дослідної групи підтверджує факт меншого об'єму накопичених екскрементів, що знижує ризик виникнення нозематозу та опроношення гнізд.

Аналіз динаміки сили бджолиних сімей та витрат корму демонструє особливості життєдіяльності піддослідних груп протягом осінньо-весняного циклу. Перед постановкою на зимівлю групи бджолиних сімей були вирівняними: їхня середня сила становила $5,6 \pm 0,24$ вуличок у контролі та $5,6 \pm 0,40$ вуличок у дослідній групі. За період зимівлі відбулося природний відхід бджіл осінньої генерації, що призвело до незначного зменшення сили сімей в обох групах. Навесні сила контрольної групи сімей знизилася до $4,6 \pm 0,40$ вуличок з втратою 17,8 % маси бджіл за зиму. У дослідній групі цей показник зменшився до $5,0 \pm 0,32$ вуличок, що відповідає втраті сили на 10,7 %, тобто маємо також зниження підмору у дослідній групі.

Таблиця 3

Результати зимівлі бджолиних сімей

Показник	Група	
	контрольна	дослідна (пробіотик ЕМ-АГРО)
Сила сім'ї восени, вуличок	5,6 ± 0,24	5,6 ± 0,4
Сила сім'ї навесні, вуличок	4,6 ± 0,4	5,0 ± 0,32
Кормові запаси восени, кг	12,6 ± 0,68	12,4 ± 0,51
Кормові запаси навесні, кг	5,6 ± 0,24	5,0 ± 0,55
Кількість розплоду навесні, квадратів	8,6 ± 0,4	8,8 ± 0,37
Кількість підмору, г	249 ± 12,4	149 ± 11,2*

Оцінка динаміки використання кормових запасів показала наступне: контрольна група бджолиних сімей восени у гнізді мала 12,6 ± 0,68 кг корму, а весною залишилося 5,6 ± 0,24 кг. Тобто, бджоли спожили 7,0 кг, або 55,6 % від початкових осінніх запасів. Дослідна група мала 12,4 ± 0,51 кг кормових запасів восени і навесні 5,0 ± 0,55 кг. Тобто бджолині сім'ї дослідної групи з'їли 7,4 кг корму (витрати склали 59,7 % від осіннього обсягу), що ймовірно пов'язане з вищою життєздатністю та активністю бджіл. Незважаючи на дещо більше (на 4,12 %) використання кормових запасів, бджоли дослідної групи вийшли із зимівлі з фізіологічно кращим станом травної системи (значно нижчим каловим навантаженням). У дослідній групі виявлено інтенсивніше відновлення розвитку бджолиних сімей після зимівлі за використання пробіотика (8,8 проти 8,6 квадратів).

Висновки та перспективи подальших досліджень. Застосування пробіотика «ЕМ-АГРО» із розрахунку 2 г/л на 1 л цукрового сиропу у складі осінньої стимулювальної підгодівлі забезпечує безпечніше проходження зимівлі бджолиними сім'ями. Препарат впливає на зменшення калового навантаження на ректум бджіл на 13,6 % ($p < 0,001$). Бджолині сім'ї дослідної групи економніше витрачали зимові кормові запаси, вийшли із зимівлі з більшою силою та інтенсивніше відновили ранньовесняне нарощування сили. Подальші наукові розвідки доцільно спрямувати на детальне вивчення впливу пробіотика «ЕМ-АГРО» на імунологічні та біохімічні показники гемолимфи бджіл, а також на проведення молекулярно-генетичного аналізу змін видового складу мікробіому їхнього кишківника під дією препарату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Броварський В. Д., Бриндза Я., Отченашко В. В. Методика дослідної справи у бджільництві. Київ : Видавничий дім «Вінниченко», 2017. 165 с.
2. Войналович М. В., Лісогурська Д. В., Лісогурська О. В., Фурман С. В. Вплив віку та якості неплідних маток на їх виживання за природних способів заміни у бджолиних сім'ях. Науково-виробничий журнал «Бджільництво України». 2024. Вип. 11. С. 6–10. DOI: 10.46913/beekeepingjournal.2023.11.01.
3. Зотко М. О. Вплив віку і маси бджолиних маток на репродуктивну діяльність та медову продуктивність. Аграрна наука та харчові технології. 2019. Вип. 2(105). С. 86–94.
4. Ібатуллін І. І., Жукорський О. М., Башенко М. І. Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві. Київ : Аграрна наука, 2017. 327 с.
5. Лахман А. Р., Галатюк О. Є., Романишина Т. О. та ін. Вплив «ЕМ® ПРОБІОТИК для БДЖІЛ» на біохімічні параметри гемолимфи бджіл в садковому досліді. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини

та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки. 2021. Т. 24, № 107. С. 125–130. DOI: 10.32718/nvlvet10720.

6. Лахман А. Р., Галатюк О. Є., Романишина Т. О. та ін. Вплив «ЕМ® ПРОБІОТИК для БДЖІЛ» на динаміку тривалості життя бджіл в садковому досліді. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія: Ветеринарні науки. 2022. Т. 23, № 103. С. 27–34. DOI: 10.32718/nvlvet10305.

7. Лісогурська Д. В., Лісогурська О. В., Фурман С. В., Адамчук Л. А. Забезпечення запилення бджолами основних сільськогосподарських ентомофільних культур в Україні. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Тваринництво. 2022. Вип. 4(47). С. 92–98. DOI: 10.32845/bsnau.lvst.2021.4.16.

8. Лісогурська Д., Адамчук Л., Фурман С та ін. Кероване бджолозапилення – важлива передумова розвитку зеленого сільського господарства в Україні. Аграрний вісник Причорномор'я. 2025. Вип. 115. С. 64–73. DOI: 10.37000/abbsl.2025.115.06.

9. Міщенко О. А., Литвиненко О. М., Афара К. Д., Криворучко Д. І. Вплив умов медозбору на продукування бджолами маточного молочка. Вісник аграрної науки. 2021. № 4(817). С. 44–50. DOI: 10.31073/agrovisnyk202104-06.

10. Разанова О. П., Голубенко Т. Л., Скоромна О. І. Шляхи підвищення конкурентоспроможності галузі бджільництва у контексті євроінтеграційних процесів. Вінниця : ТОВ «Друк», 2023. 280 с.

11. Разанова О. П., Шульга Ю. І., Салюк О. О. Продуктивність бджолиних сімей у період підготовки до головного медозбору за впливу пробіотика. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Тваринництво. 2022. Вип. 2(49). С. 61–67. DOI: 10.32845/bsnau.lvst.2022.2.9.

12. Федак Л. Ефективні мікроорганізми в галузі бджільництва. Актуальні задачі сучасних технологій : матеріали XI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів. Тернопіль, 2022. С. 112.

13. Чудак Р. А., Разанова О. П., Огороднічук Г. М., Разанов О. С. Ефективність застосування підгодовлі з комплексною біологічно активною добавкою у період підготовки до весняного розвитку медоносних бджіл. Таврійський науковий вісник. 2025. Вип. 2(143). С. 286–295. DOI: 10.32782/2226-0099.2025.143.2.32.

14. Швець Т. В., Лісогурська Д. В., Тимошук Т. М., Фурман С. В. Вектори розвитку зеленого сільського господарства в Україні. Таврійський науковий вісник. 2024. Вип. 137. С. 556–563. DOI: 10.32782/2226-0099.2024.137.65.

15. Янчук В. Вплив пробіотиків на продуктивність бджолиних сімей. Збірник тез слухачів магістратури Національного університету біоресурсів і природокористування України. Київ : НУБіП України, 2024. С. 138–141.

16. Ясько В. М., Кірович Н. О., Рішко Д. М., Котляр Є. О. Вплив еколого-технологічних аспектів на життєдіяльність та показники продуктивності бджолиних сімей. Актуальні аспекти розвитку науки і освіти : зб. матеріалів конф. Одеса, 2022. С. 276–279.

17. Aurell D., Bruckner S., Wilson M. et al. A national survey of managed honey bee colony losses in the USA: Results from the Bee Informed Partnership for 2020–21 and 2021–22. *Journal of Apicultural Research*. 2024. Vol. 63, № 1. P. 1–14. DOI: 10.1080/00218839.2023.2264601.

18. Bryś M. S., Strachecka A. The Key Role of Amino Acids in Pollen Quality and Honey Bee Physiology – A Review. *Molecules*. 2024. Vol. 29, № 11. P. 2605. DOI: 10.3390/molecules29112605.

19. Damico M. E., Beasley B., Greenstein D., Raymann K. Testing the effectiveness of a commercially sold probiotic on restoring the gut microbiota of honey bees: A field study. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 2025. Vol. 17, № 3. P. 991–1000. DOI: 10.1007/s12602-023-10203-1.

20. Dengiz B., Killer J., Havlík J., Dobeš P., Hyršl P. Selection of probiotics for honey bees: The in vitro inhibition of *Paenibacillus* larvae, *Melissococcus plutonius*, and *Serratia marcescens* strain *Sicaria* by host-specific *Lactobacilli* and *Bifidobacteria*. *Microorganisms*. 2025. Vol. 13, № 5. P. 1159. DOI: 10.3390/microorganisms13051159.
21. Mustar S., Ibrahim N. A sweeter pill to swallow: A review of honey bees and honey as a source of probiotic and prebiotic products. *Foods*. 2022. Vol. 11, № 14. P. 2102. DOI: 10.3390/foods11142102.
22. Pachla A., Ptasińska A. A., Wicha M. et al. Insight into probiotic properties of lactic acid bacterial endosymbionts of *Apis mellifera* L. derived from the Polish apiary. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021. Vol. 28, № 3. P. 1890–1899. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.12.040.
23. Parreño M. A., Werle S., Buydens L. et al. Landscape heterogeneity correlates with bee and pollen diversity while size and specialization degree explain species-specific responses of wild bees to the environment. *Science of the Total Environment*. 2024. Vol. 954. P. 176595. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.176595.
24. Pietropaoli M., Carpana E., Milito M. et al. Formato G. Use of *Lactobacillus plantarum* in preventing clinical cases of American and European foulbrood in Central Italy. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, № 3. P. 1388. DOI: 10.3390/app12031388.
25. Pitek A. P., Daisley B. A., Chmiel J. A. et al. Probiotic effects on ectoparasitic mite infestations in honey bees (*Apis mellifera*) are modulated by environmental conditions and route of administration. *Microbiology Spectrum*. 2025. Vol. 13. P. e02498-24. DOI: 10.1128/spectrum.02498-24.
26. Razanova O., Kucheriavy V., Tsaruk L., Lotka H., Novgorodska N. Productive flight activity of bees in the active period in the conditions of Vinnytsia region. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*. 2021. Vol. 9, № 4. P. 2138. DOI: 10.31893/jabb.21038.
27. Shumkova R., Balkanska R. Influence of Baikal EM1 preparation on the productive parameters of bee colonies (*Apis mellifera* L.) during spring and autumn feeding. *Agricultural Science and Technology*. 2020. Vol. 12. P. 241–246. DOI: 10.15547/ast.2020.03.038.
28. Tang X., He Z., Deng Y., Yuan Y., Zeng K. Reduction in the potential distribution of bee species in low latitudes under different climate change scenarios: Conservation implications. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2025. Vol. 13. P. 1648496. DOI: 10.3389/fevo.2025.1648496.
29. Tlak Gajger I., Nejedli S., Cvetnić L. Influence of probiotic feed supplement on *Nosema* spp. infection level and the gut microbiota of adult honeybees (*Apis mellifera* L.). *Microorganisms*. 2023. Vol. 11, № 3. P. 610. DOI: 10.3390/microorganisms11030610.
30. Yu L., Shi X., He. X. et al. High-quality queens produce high-quality offspring queens. *Insects*. 2022. Vol. 13, № 5. P. 486. DOI: 10.3390/insects13050486.

Дата першого надходження статті до видання: 29.06.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

МЕЛІОРАЦІЯ І РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТІВ

MELIORATION AND SOIL FERTILITY

УДК 631.4:504.61:355.018(477)

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.35>

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ МІЛІТАРНО ДЕГРАДОВАНИХ ЧОРНОЗЕМІВ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Дегтярьов Ю.В. – к.с.-г.н., доцент,
доцент кафедри ґрунтознавства,
Державний біотехнологічний університет
orcid.org/0000-0003-1200-2364

Коньшин Р.В. – аспірант кафедри ґрунтознавства,
Державний біотехнологічний університет
orcid.org/0000-0003-1419-3096

Війна в Україні спричинила масштабну деградацію чорноземів Лівобережного Лісостепу, що проявляється в комплексних фізико-хімічних порушеннях ґрунтового середовища. Механічне ущільнення, пожежі, забруднення паливно-мастильними матеріалами та продукти горіння призводять до змін електропровідності, мінералізації, солоності, катіонного складу та кислотно-лужного балансу. Метою дослідження була оцінка цих показників у чорноземах типових середньогумусованих важкосуглинкових на лесоподібному суглинку Харківської області для визначення характеру деградації та потенціалу відновлення.

Результати показали, що електропровідність є найбільш чутливим індикатором: у природному контролі вона залишалася стабільно низькою, у ріллі підвищувалася внаслідок агрогенного накопичення солей, тоді як у місцях горіння техніки перевищувала контрольні значення в кілька разів. Уміст водорозчинних солей кальцію мав тенденцію до накопичення в нижніх горизонтах, натрію різко зростав у варіантах із техногенним впливом, а калію виявляв найбільшу чутливість до пірогенних процесів, значно підвищуючись у верхніх шарах після пожеж та горіння техніки. Показники рН варіювали від підкислення в ріллі до підлуження в рекультивованих ділянках, що вказувало на різноспрямовані зміни кислотно-лужного балансу.

Кореляційний аналіз підтвердив сильний позитивний зв'язок між електропровідністю та натрієм, тоді як калій мав негативні кореляції з іншими показниками. Це підтверджує, що електропровідність може бути використана як інтегральний показник стану чорноземів, а катіонний склад і рН деталізують характер змін.

Отримані результати створюють наукове підґрунтя для розробки стратегій рекультивації та відновлення родючості чорноземів у післявоєнний період, а також підкреслюють необхідність подальших досліджень із застосуванням сучасних методів моніторингу для комплексної оцінки масштабів деградації.

Ключові слова: чорнозем типовий, мілітарна деградація, електропровідність, кальцій, натрій, калій, рН.



© Дегтярьов Ю.В., Коньшин Р.В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

Dehtiarov Yu.V., Konshin R.V. Physico-chemical indicators of militarily degraded chernozems in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine

The war in Ukraine has caused widespread degradation of the chernozems of the Left-Bank Forest-Steppe, as evidenced by complex physicochemical disturbances in the soil environment. Mechanical compaction, fires, contamination with fuels and lubricants, and combustion products lead to changes in electrical conductivity, mineralization, salinity, cation composition, and acid-base balance. The aim of the study was to assess these indicators in typical medium-humus, heavy loam chernozems on loess-like loam in the Kharkiv region to determine the nature of the degradation and the potential for their restoration.

The results showed that electrical conductivity is the most sensitive indicator: in the natural control plot, it remained stable and low; in the plowed field, it increased due to agronomically induced salt accumulation; whereas in areas where machinery had caught fire, it exceeded the control values by several times. Calcium tended to accumulate in the lower horizons, sodium increased sharply in plots with anthropogenic impact, and potassium showed the greatest sensitivity to pyrogenic processes, rising significantly in the upper layers following fires and equipment fires. pH values ranged from acidification in fallow land to alkalization in reclaimed areas, indicating divergent changes in the acid-base balance.

Correlation analysis confirmed a strong positive relationship between electrical conductivity and sodium, while potassium showed negative correlations with the other parameters. This indicates that electrical conductivity can be used as an integrated indicator of the condition of chernozems, while cation composition and pH provide more detailed information about the nature of the changes.

The results obtained provide a scientific basis for developing strategies for the reclamation and restoration of chernozem fertility in the postwar period, and also underscore the need for further research using modern monitoring methods to comprehensively assess the extent of degradation.

Key words: *typical chernozem, military degradation, electrical conductivity, calcium, sodium, potassium, pH.*

Актуальність теми дослідження. Повномасштабна війна в Україні спричинила безпрецедентний вплив на ґрунтовий покрив, особливо на чорноземи Лівобережного Лісостепу, які є одним із найцінніших ґрунтів світу. Механічні ушкодження від пересування важкої техніки, формування вибухових кратерів, локальне накопичення продуктів горіння та паливно-мастильних матеріалів призводять до комплексної деградації ґрунтів. Масштаби цих процесів уже фіксуються сучасними дослідженнями, які показують значне зростання площ мілітарно деградованих ґрунтів в Україні [1].

Зміни фізико-хімічних властивостей чорноземів проявляються в показниках електропровідності водних суспензій ґрунту, загальної мінералізації та солоності, що виступають інтегральними індикаторами порушення ґрунтового розчину. Важливим доповненням є аналіз водорозчинних солей катіонів кальцію, натрію та калію, які деталізують природу змін, а також визначення рН, що відображає кислотно-лужний баланс для кількісної оцінки масштабів деградації та формування науково обґрунтованих рекомендацій щодо відновлення чорноземів у післявоєнний період [2].

Окрім того, деградація ґрунтів має не лише локальний, а і глобальний вимір. Втрата родючості чорноземів безпосередньо впливає на продовольчу безпеку, екологічну стабільність та соціально-економічний розвиток регіонів. Саме тому дослідження фізико-хімічних показників мілітарно деградованих чорноземів є актуальним завданням сучасної науки, що поєднує фундаментальне ґрунтознавство з практичними потребами відновлення агроландшафтів у післявоєнний період.

Постановка проблеми. Воєнні дії в Україні охопили майже чверть території країни, що призвело до формування нового типу деградації – мілітарної. Чорноземи, які є основою аграрного потенціалу держави, зазнали понад 50 тис. км²

фізичних, механічних, хімічних, фізико-хімічних та біологічних порушень. Серед основних проявів відзначаються ерозія, педотурбація, переущільнення горизонтів, дегуміфікація, засолення та токсичність ґрунтів. Вибухи боєприпасів і рух техніки руйнують морфологічну будову профілю, змінюють гранулометричний склад і погіршують гумусовий стан, тоді як продукти горіння та вибухові речовини зумовлюють підкислення і підлуження [3]. Попри окремі пропозиції щодо відновлення, комплексна стратегія реабілітації чорноземів залишається невирішеною, що підкреслює масштабність проблеми.

Вибухи та піроліз бронетехніки змінюють гранулометричний склад, зокрема збільшують частку піщаної фракції та зменшують глинисту, що погіршує водоутримувальні властивості ґрунтів [4]. Детонація боєприпасів та руйнування військової техніки призводить до вивільнення свинцю, кадмію цинку, міді та інших токсичних елементів, що не піддаються біологічному розкладанню і здатні мігрувати в трофічні ланцюги. Дослідження показали [5] значні перевищення гранично допустимих концентрацій у різних регіонах України, зокрема у Львівській, Запорізькій, Сумській та Харківській областях, де індекс забруднення Немерова перевищив допустимі значення в десятки разів.

Воєнні дії завдали значних пошкоджень природоохоронним територіям та об'єктам природно заповідного фонду України. Зокрема, зафіксовано негативний вплив на 45 об'єктів загальною площею понад 36 тис. га, серед яких частина зазнала активних наземних бойових дій, а інші – авіаційних бомбардувань та артилерійських обстрілів [6]. Основними чинниками деградації стали вибухи боєприпасів, падіння літальних апаратів, пожежі, пересування важкої військової техніки, будівництво укріплень та неконтрольовані вирубування. Пожежі, що виникали внаслідок обстрілів, призводили до втрати рослинності, забруднення ґрунтів токсичними сполуками та порушення екосистемного балансу.

Масштабна деградація чорноземних ґрунтів України стала одним із найсерйозніших наслідків війни, адже саме вони забезпечують продовольчу безпеку країни та значної частини світу. Дослідження [7] показали, що рух важкої військової техніки, вибухи та пожежі призводять до руйнування гумусового горизонту, ущільнення ґрунтів, зміни їхнього складу та зниження родючості. Водночас започатковані програми післявоєнного відновлення родючості, зокрема створення «живої ґрунтової лабораторії», свідчать про актуальність проблеми, але не забезпечують комплексного їх вирішення.

Механічні ушкодження у вигляді воронок, траншей та окопів запускають ерозійні процеси, тоді як забруднення важкими металами, нафтопродуктами та вибуховими речовинами призводить до формування локальних геохімічних аномалій. Пожежі, що виникають унаслідок обстрілів, призводять до втрати гумусу, що посилює ризики водної і вітрової ерозії. Біологічні наслідки проявляються в зниженні чисельності ґрунтових мікроорганізмів, що порушує процеси ґрунтоутворення та колообіг елементів [8].

Ущільнення ґрунтів під дією важкої техніки порушує водний баланс і сприяє розвитку ерозійних процесів, тоді як пожежі змінюють кислотно-лужні умови та збагачують профіль токсичними сполуками, включно з поліароматичними вуглеводнями. Міграція важких металів і продуктів вибухових речовин у ґрунтовому профілі створює ризик забруднення підземних вод, що посилює екологічну небезпеку для прилеглих територій [9]. Вторинні наслідки, такі як підтоплення, засолення та дегуміфікація, формуються в поствоєнний період і ускладнюють використання земель у сільському господарстві.

Сучасні дослідження акцентують на необхідності використання інноваційних методів моніторингу для оцінки воєнної деградації ґрунтів. Через мінну небезпеку та обмежений доступ до територій традиційні польові обстеження залишаються фрагментарними, що зумовлює актуальність дистанційного зондування та геоінформаційних систем. Використання супутникових даних, аерофотозйомки та цифрових моделей рельєфу дозволяє оперативно визначати масштаби руйнувань, прогнозувати міграцію токсикантів і оцінювати ризики для агроландшафтів. Дослідження [10–12] показують, що інтеграція ГІС-технологій із польовими вимірюваннями забезпечує комплексний підхід до аналізу воєнних наслідків і створює основу для розробки стратегій екологічної ремедіації та відновлення родючості чорноземів.

Метою досліджень була комплексна оцінка фізико-хімічних показників чорноземів типових середньогумусованих важкосуглинкових на лесоподібному суглинку Лівобережного Лісостепу України, що зазнали різних типів воєнно-техногенного та агрогенного навантаження.

Методика досліджень. Об'єктом дослідження були чорноземи типові, що знаходяться в межах Харківської області. Для аналізу було використано сім варіантів, що відображають різні типи природного, агрогенного та воєнно-техногенного навантаження.

1. Переліг 68 років – ділянка під покривом трав'яної рослинності протягом 68 років (абсолютний природний контроль). 2. Сільськогосподарське поле (рілля) – орні землі з багаторічним агрогенним використанням понад століття (антропогенний контроль). 3. Переліг 68 років випалений – ділянка перелогу, де відбулося випалення травостану внаслідок пожежі. 4. Місце горіння техніки – ділянка, що зазнала впливу високих температур у результаті згоряння військової техніки. 5. Забруднення паливно-мастильними матеріалами – місце тимчасового перебування військової техніки з локальним забрудненням ґрунту паливно-мастильними речовинами. 6. Колія руху важкої військової техніки – ділянка з інтенсивним ущільненням ґрунту та порушенням водного режиму. 7. Рекультивована ділянка (розорана колія) – ділянка після рекультиваційних заходів, що відображає післядію воєнного впливу.

Відбір ґрунтових зразків здійснювали буром пошарово з глибин 0–10, 10–20, 20–30 та 30–40 см. Кожен варіант аналізували в триразовій повторності для забезпечення статистичної достовірності.

Для визначення електропровідності, загальної мінералізації, солоності та вмісту водорозчинних солей катіонів кальцію, натрію та калію використовували співвідношення ґрунт:вода = 1:1 (водно-ґрунтова паста). Детальна методика вимірювання наведена в роботі Dehtiarov та ін. (2025) [13]. Додатково визначали рН водний у витяжці 1 до 5.

Статистичну обробку результатів проводили з використанням кореляційного аналізу для встановлення взаємозв'язків між досліджуваними показниками. Узагальнення даних здійснювали в середніх значеннях із розрахунком стандартних відхилень, що дозволило оцінити характер змін показників залежно від типу навантаження та визначити потенціал відновлення чорноземів.

Результати досліджень. Електропровідність ґрунтових суспензій чітко диференціювала варіанти за типом навантаження (рис. 1). У ґрунті природного контролю (переліг 68 років) показники залишалися стабільними й низькими – близько 160–180 $\mu\text{S}/\text{cm}$, що відображало природний стан чорнозему без зовнішніх впливів. У контрольному антропогенному варіанті (с.-г. поле, рілля) значення підвищені, сягали 240 $\mu\text{S}/\text{cm}$ у верхніх і нижніх шарах, що було зумовлено багаторічним внесенням добрив та антропогенним накопиченням солей.

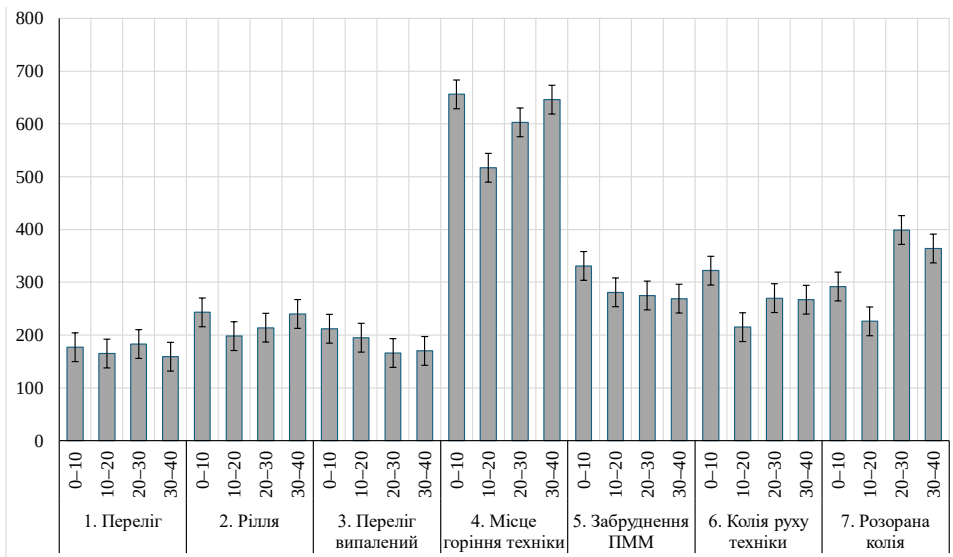


Рис. 1. Електропровідність чорноземів типових в умовах мілітарного впливу, $\mu\text{S}/\text{cm}$

У варіанті переліг випалений електропровідність чорнозему типового у верхньому шарі зростала до $212 \mu\text{S}/\text{cm}$, але з глибиною знижувалася, що вказувало на локальне накопичення солей після пожежі та їх поступове промивання. Найвищі значення зафіксовано у ґрунті варіанту місця горіння техніки – понад $600 \mu\text{S}/\text{cm}$ у всіх горизонтах. Це результат високих температур і продуктів горіння, які різко збагачують ґрунтовий розчин солями. У чорноземі варіанту забруднення паливно-мастильними матеріалами електропровідність становила $331 \mu\text{S}/\text{cm}$ у верхньому шарі й поступово знижувалася до $269 \mu\text{S}/\text{cm}$ на глибині, що відображало проникнення паливно-мастильних речовин у профіль. У ґрунті колії руху важкої техніки показники коливалися від $322 \mu\text{S}/\text{cm}$ у верхньому шарі до $215 \mu\text{S}/\text{cm}$ на глибині 10–20 см, з подальшим підвищенням у нижніх горизонтах. Така нерівномірність пояснювалася ущільненням ґрунту та порушенням водного режиму. У ґрунті рекультивованої ділянки (розорана колія) електропровідність у верхньому шарі була помірна – $292 \mu\text{S}/\text{cm}$, але різко зростала в нижніх шарах до $399 \mu\text{S}/\text{cm}$. Це свідчило про перерозподіл солей після механічного втручання, коли вони переміщуються в глибші шари.

Загальна мінералізація та солоність повторювали тенденції електропровідності, відображаючи функціональну залежність від концентрації водорозчинних солей. Тому детально на їх характеристиці зупинятися не будемо.

У чорноземі типовому природного контролю (переліг 68 років) **вміст водорозчинних солей кальцію** поступово зростав із глибиною від 61 до 96 ppm, що відповідало цілинному розподілу (табл. 1). У ґрунті ріллі значення були стабільно високі – близько 100–110 ppm, що зумовлено багаторічним агрогенним використанням. У чорноземі випаленого перелігу показники подібні до контролю (переліг 68 років), але дещо нижчі у верхньому шарі, що вказувало на вплив піролізу. Найбільші концентрації солей кальцію зафіксовано в чорноземі на місці горіння техніки – від 100 ppm у верхньому шарі до 250 ppm на глибині 30–40 см, що пояснювалося інтенсивним надходженням продуктів горіння. У чорноземі варіантів забруднення паливно-мастильними матеріалами та колією важкої техніки

значення коливалися в межах 100–120 ppm, а в ґрунті рекультивованої ділянки спостерігалось підвищення до 160 ppm у середніх шарах, що могло бути результатом перерозподілу солей після механічного втручання.

У чорноземі природного контролю (переліг 68 років) **вміст водорозчинних солей натрію** був мінімальний – 2–3 ppm (табл. 1). У ґрунті ріллі показники були дещо вищі, зростали до 5 ppm у нижньому шарі. У чорноземі випаленого перелогу вміст солей натрію також низький, не перевищував 3 ppm. Різке збагачення спостерігалось в чорноземі місця горіння техніки – 36 ppm у верхньому шарі з подальшим зниженням до 5 ppm у нижньому шарі, що підтверджувало локальне накопичення і швидке вимивання. У ґрунті варіантів забруднення паливно-мастильними матеріалами та на рекультивованій ділянці вміст солей натрію залишався на рівні 2–4 ppm, тоді як у чорноземі колії руху техніки простежувалося поступове зростання до 7 ppm у нижньому шарі, що пов'язано з порушенням водного режиму.

Таблиця 1

Уміст водорозчинних солей катіонів кальцію, натрію та калію в чорноземах типових під мілітарним впливом, ppm

Глибина, см	Уміст, ppm	Варіанти						
		Переліг 68 років	С.-г. поле (рілля)	Переліг 68 років випалений	Місце горіння техніки	Забруднення паливно-мастильними матеріалами	Колія руху важкої військової техніки	Рекультивована ділянка (розорана колія)
0–10	Ca^{2+}	61	110	68	100	110	120	120
	Na^{+}	2	3	1	36	2	3	3
	K^{+}	19	17	62	76	27	29	14
10–20	Ca^{2+}	87	100	82	130	110	110	140
	Na^{+}	2	3	2	33	3	4	3
	K^{+}	7	7	23	36	12	3	5
20–30	Ca^{2+}	93	110	93	200	120	110	160
	Na^{+}	2	4	3	14	3	6	3
	K^{+}	5	2	9	16	6	1	1
30–40	Ca^{2+}	96	100	96	250	110	100	140
	Na^{+}	3	5	3	5	4	7	4
	K^{+}	1	1	9	11	2	6	2

Примітка: $НІР05\ Ca^{2+} = 35; Na^{+} = 4; K^{+} = 7$

Найбільший **вміст водорозчинних солей калію** був у чорноземі типовому варіанту природного контролю (переліг 68 років) у верхньому шарі (19 ppm) і різко зменшувався до 1 ppm (табл. 1). У ґрунті ріллі спостерігалася подібна тенденція, але з нижчими значеннями у нижній частині досліджуваного шару ґрунту. У чорноземі випаленого перелогу вміст солей калію різко зростав у верхньому шарі до 62 ppm, що пояснювалося вивільненням елементів із рослинних решток після пожежі, і знижувався до 9 ppm у нижніх шарах. У місці горіння техніки його

вміст був ще вищий – 76 ppm у верхньому шарі, з поступовим зменшенням до 11 ppm. У ґрунті варіанту забруднення паливно-мастильними матеріалами вміст солей калію сягав 27 ppm у верхньому шарі, але швидко зменшувався до 2 ppm з глибиною. У чорноземі по колії руху техніки показники були нестабільні: 29 ppm у верхньому шарі, різке падіння до 1 ppm у середній частині і зростання до 6 ppm у нижньому шарі. У чорноземі рекультивованої ділянки вміст калію коливався від 14 ppm у верхньому шарі до 1–2 ppm у нижніх шарах.

У ґрунті варіанту природного перелогу (переліг 68 років) значення **pH водного** варіювали від 7,31 у верхньому шарі до 6,03 у нижньому. Така динаміка була типовою для чорноземів, де верхні шари збагачені органічними рештками, а нижні поступово підкислюються. Антропогенний варіант демонстрував знижені показники, переважно в межах 6,40–6,10. Це могло бути результатом агрогенного використання та накопичення кислих продуктів мінералізації та добрив, що зумовлювало підкислення ґрунтового розчину.

pH водний у чорноземі варіанту випаленого перелогу становив 6,60 у верхньому шарі й поступово знижувався до 6,10 у нижньому. Так, позначався вплив пожежі, яка тимчасово нейтралізувала реакцію ґрунту, але з глибиною показники поверталися до слабокислих значень. У чорноземі місця горіння техніки простежувалася протилежна тенденція, де pH зростав від 6,27 у верхньому шарі до 7,07 у нижньому. Це могло бути спричинено надходженням продуктів горіння, які містять лужні сполуки та сприяють підлуженню профілю. Ґрунт, забруднений паливно-мастильними матеріалами, показував значення pH водного в межах 6,20–6,80, що вказувало на тенденцію до нейтралізації у верхніх шарах. У ґрунті колії руху важкої техніки pH був стабільний – 6,20–6,40, що спричинено ущільненням ґрунту та порушенням водного режиму, які не викликали різких змін ґрунтового середовища. На чорноземі варіанту рекультивованої колії pH підвищений у верхніх шарах (7,47–7,51), що свідчило про ефект рекультивації та перемішування ґрунтової маси. У нижніх шарах показники знижувалися до 6,70.

На основі отриманих даних було сформовано узагальнену **кореляційну матрицю** (табл. 2) між основними фізико-хімічними показниками чорноземів. Вона відображала характерні взаємозв'язки між електропровідністю (Cond), загальною мінералізацією (TDS), солоністю (Salt), вмістом водорозчинних солей катіонів кальцію (Ca^{2+}), натрію (Na^{+}), калію (K^{+}) та pH.

Кореляційний аналіз показав тісний взаємозв'язок між електропровідністю, загальною мінералізацією та солоністю, що підтверджує їх спільну залежність від концентрації водорозчинних солей у ґрунтовому розчині. Найбільш виражений позитивний зв'язок простежувався між електропровідністю та натрієм. Кальцій мав помірну позитивну кореляцію з електропровідністю та pH, що відображало його участь у буферних процесах і підтриманні кислотно-лужної рівноваги. Калій, навпаки, демонстрував негативну кореляцію з електропровідністю та іншими солями, що пояснювалося його активним використанням рослинами та нестабільним розподілом у профілі після пожеж чи техногенного впливу. Показники pH мали слабкі позитивні зв'язки з кальцієм та електропровідністю, але негативний із калієм, що підтверджувало залежність реакції ґрунту від буферних властивостей і характеру катіонного складу. Загалом кореляційна структура демонструвала те, що електропровідність може бути використана як інтегральний індикатор стану чорноземів, тоді як окремі катіони деталізують природу змін і дозволяють пояснити відмінності між природними, агрогенними та воєнно-техногенними варіантами.

Таблиця 2

**Кореляційна матриця залежностей фізико-хімічних показників
чорноземів типових в умовах мілітарного впливу**

Показники	Cond	TDS	Salt	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	pH
Cond	1,00	+0,97	+0,95	+0,68	+0,85	-0,40	+0,32
TDS	+0,97	1,00	+0,96	+0,66	+0,83	-0,42	+0,30
Salt	+0,95	+0,96	1,00	+0,64	+0,87	-0,45	+0,28
Ca ²⁺	+0,68	+0,66	+0,64	1,00	+0,52	-0,48	+0,36
Na ⁺	+0,85	+0,83	+0,87	+0,52	1,00	-1,38	+0,29
K ⁺	-0,40	-0,42	-0,45	-0,48	-0,38	1,00	-0,31
pH	+0,32	+0,30	+0,28	+0,36	+0,29	-0,31	1,00

Висновки та перспективи подальших досліджень. Дослідження підтвердило, що електропровідність може бути інтегральним показником стану чорноземів, який чітко відображає різницю між природними, агрогенними та мілітарно-техногенними варіантами. Найбільші відхилення зафіксовано в місцях горіння техніки, де значення перевищували контрольні в кілька разів, тоді як у природному перелозі вони залишалися стабільними й низькими.

Катіонний склад деталізує характер змін. Кальцій накопичується в нижніх шарах, вміст натрію різко зростає у варіантах із техногенним впливом, а калій найбільш чутливий до пірогенних процесів, демонструючи значне підвищення у верхніх шарах після пожеж та горіння техніки. Показники pH змінюються залежно від варіантів, що вказує на різноспрямовані зміни реакції ґрунту. Кореляційний аналіз підтвердив сильний позитивний зв'язок між електропровідністю та натрієм, а також негативний із калієм, що пояснює його нестабільний розподіл.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні моніторингу на різні регіони мілітарного впливу, визначенні довготривалих тенденцій міграції водорозчинних солей катіонів у профілі та інтеграції даних з електропровідністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Залавський Ю. В., Лебедь В. В. Особливості картографування мілітарно деградованих ґрунтів на національному й регіональному рівнях. *Агрохімія і ґрунтознавство : міжвідом. темат. наук. зб.* Харків : ННЦ «ІА ім. О. Н. Соколовського». 2025. Вип. 99. С. 49–63. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss99-06>
2. He E., Qiu H, Peijnenburg W. J. G. A global imperative to remediate Ukraine's soils. *Science*. 2026. Vol. 387. P. 455–456. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aee83171>
3. Горбань В. А., Коломбар Т. М. Вплив воєнних дій на деградацію чорноземних ґрунтів України: літературний огляд. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивуції земель*. 2025. Т. 54. С. 138–143. DOI: <https://doi.org/10.15421/442514>
4. Solokha M., Demyanyuk O., Symochko L., Mazur S., Vynokurova N., Sementsova K., Mariychuk R. Soil Degradation and Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine. *Land*. 2024. Vol. 13, 1614. DOI: <https://doi.org/10.3390/land13101614>
5. Achasov A. B., Nemoshkalov O. M. Soil contamination of military agrolandscapes. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*. 2026. Vol. 34. P. 136–147. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2026-34-10>
6. Блоховець Ю. В., Лицур І. М., Шеремет І. М., Рак О. О., Партика Н. В. Вплив і наслідки воєнних дій для природоохоронних територій та об'єктів природно-заповідного фонду в межах земель ДП «Ліси України». *Наукові записки*

НаУКМА. Біологія і екологія. 2024. С. 53–61. DOI: <https://doi.org/10.18523/2617-4529.2024.7.53-61>

7. Кучер А. В. Оцінка впливу бойових дій на ґрунти та заходи з відновлення їхньої родючості. *Актуальні проблеми економіки*. 2024. №10 (280). С. 220–233. DOI: <https://doi.org/10.32752/1993-6788-2024-1-280-220-233>

8. Сакун А. О., Кутковий Д. О. Оцінка впливу наслідків військових дій на ґрунти. *Екологічні науки*. 2025. №1 (58). С. 350–353. DOI: <https://doi.org/10.32846-2306-9716/2025.eco.1-58.56>

9. Можарівська І. А., Кравчук-Ободзінська Т. В., Устименко В. І., Ковальова С. П. Вплив бойових дій на стан ґрунтового покриву. *Екологічна безпека та технології захисту довкілля*. 2025. №7. DOI: <https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202507-03>

10. Bonchkovskiy O. S., Ostapenko P. O., Shvaiko V. M., Bonchkovskiy A. S. War-induced soil disturbances in north-eastern Ukraine (Kharkiv region): Physical disturbances, soil contamination and land use change. *Science of the Total Environment*. 2025. Vol. 964. Article 178594. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178594>

11. Solokha M., Melnyk O., Cannon N., Horton M., Datsko O., O'Connor D. Assessment of soil cover chemical pollution using satellite data: A case study of Kharkiv region, Ukraine. *Science of The Total Environment*. 2025. Vol. 995, 180105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180105>

12. Солоха М.О., Коньшин Р.В., Дегтярьов В.В. Ідентифікатори впливу воєнних дій на ґрунтовий покрив за супутниковими даними. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. № 137. 2024. С. 235–244. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.29>

13. Dehtiarov Yu., Havva D., Rieznik S. Electrophysical indicators of typical chernozems under the influence of combat actions and technological loading. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2025. Vol. 29(4). P. 18–28. DOI: <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/4.2025.18>

Дата першого надходження статті до видання: 13.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 332.3:631.6:355.01(477)

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.36>

УДОСКОНАЛЕННЯ ЗЕМЛЕУСТРОЮ ЯК ІНСТРУМЕНТУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕЛІОРАТИВНИХ СИСТЕМ УКРАЇНИ В УМОВАХ СУЧАСНИХ ВИКЛІКІВ

Клімченко Н. О. – асистент кафедри землеустрою, геодезії та кадастру,
Херсонський державний аграрно-економічний університет
orcid.org/0009-0000-0811-1571

У статті досліджено сучасний стан меліорованих земель України та особливості їх функціонування меліоративних систем у контексті організації землекористування. Проаналізовано ключові проблеми, що впливають на ефективність використання земельних і водних ресурсів, зокрема фрагментацію земельних масивів, зношеність гідротехнічної інфраструктури, недосконалість правового регулювання та відсутність інтегрованих систем моніторингу. Особливу увагу приділено впливу воєнних дій на стан меліоративних систем, зокрема наслідкам руйнування Каховської ГЕС, що призвело до втрати значних площ зрошуваних земель і порушення водного балансу територій.

Обґрунтовано необхідність удосконалення землеустрою як інструменту просторового планування та управління меліорованими територіями. Запропоновано комплекс організаційно-технічних і цифрових заходів, спрямованих на оптимізацію структури землекористування, впровадження геоінформаційних систем, дистанційного зондування Землі та автоматизованого управління водними ресурсами.

Наукова новизна дослідження полягає у комплексному обґрунтуванні ролі землеустрою як інтегруючого механізму управління меліорованими територіями в умовах сучасних викликів, а також у визначенні напрямів цифровізації управління земельними та водними ресурсами. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання при розробленні проєктів землеустрою, стратегій розвитку меліоративних систем, а також у процесі прийняття управлінських рішень на рівні територіальних громад і держави.

Доведено, що інтеграція сучасних технологій та удосконалення інституційних механізмів сприятимуть підвищенню ефективності функціонування меліоративних систем, раціональному використанню ресурсів і забезпеченню сталого розвитку аграрного сектору України.

Ключові слова: землеустрій, меліорація, зрошення, землекористування, ГІС, цифровізація, водні ресурси, дистанційне зондування Землі, меліоративні системи, сільське господарство, Каховська гідроелектростанція.

Klimchenko N.O. Improvement of Land Management as a Tool for Ensuring the Effective Functioning of Land Reclamation Systems in Ukraine under Modern Challenges

The article examines the current state of reclaimed lands in Ukraine and the peculiarities of the functioning of land reclamation systems in the context of land use organization. The key problems affecting the efficiency of land and water resource use are analyzed, including fragmentation of land plots, deterioration of hydraulic infrastructure, imperfect legal regulation, and the lack of integrated monitoring systems. Particular attention is paid to the impact of military actions on the condition of reclamation systems, especially the consequences of the destruction of the Kakhovka Hydroelectric Power Plant, which resulted in the loss of significant irrigated areas and disruption of the water balance of territories.

The necessity of improving land management as a tool for spatial planning and management of reclaimed areas is substantiated. A set of organizational, technical, and digital measures aimed at optimizing land use structure, implementing geographic information systems (GIS), remote sensing technologies, and automated water resource management is proposed.



© Клімченко Н.О., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

The scientific novelty of the study lies in the comprehensive substantiation of land management as an integrative mechanism for managing reclaimed territories under modern challenges, as well as in identifying directions for digital transformation of land and water resource management. The practical significance of the results consists in their applicability in land management project development, irrigation system planning, and decision-making processes at both local and national levels.

It is proven that the integration of modern technologies and the improvement of institutional mechanisms will enhance the efficiency of reclamation systems, ensure rational resource use, and contribute to sustainable development of Ukraine's agricultural sector.

Key words: land management, land reclamation, irrigation, land use, GIS, digitalization, water resources, remote sensing of the Earth, land reclamation systems, agriculture, Kakhovka hydroelectric power station.

Актуальність дослідження. Забезпечення ефективного функціонування меліоративних систем є ключовою передумовою сталого розвитку сільського господарства та продовольчої безпеки, особливо в умовах зростаючої кліматичної мінливості та дефіциту водних ресурсів. За оцінками міжнародних організацій, зрошення залишається одним із найбільш ефективних інструментів стабілізації врожайності в умовах зміни клімату та нерівномірного розподілу опадів [1; 2].

В Україні значення меліоративних систем істотно зростає у зв'язку з переважанням посушливих і напівпосушливих умов у південних регіонах, де продуктивність аграрного виробництва безпосередньо залежить від штучного регулювання водного режиму. Водночас сучасний стан меліорованих земель характеризується системною деградацією, що проявляється у фрагментації землекористування, зношеності гідротехнічної інфраструктури, недостатньому рівні моніторингу та інституційній неузгодженості управління [5].

Ситуація суттєво ускладнилася внаслідок воєнних дій, зокрема руйнування Каховської гідроелектростанції у 2023 році, що призвело до масштабного порушення систем водопостачання та втрати зрошувального потенціалу значних сільськогосподарських територій. Це виявило критичні вразливості у просторовій організації та системі управління земельними і водними ресурсами.

Незважаючи на значну кількість досліджень у сфері меліорації, на сьогодні відсутні комплексні підходи, які б поєднували землеустрій, просторове планування та цифрову трансформацію. Зокрема, недостатньо досліджено роль землеустрою як системного інструменту узгодження структури землекористування з меліоративною інфраструктурою [7, с. 141–147; 8].

Отже, наукова новизна дослідження полягає у розробленні комплексного підходу до удосконалення землеустрою на меліорованих територіях шляхом інтеграції просторової оптимізації, цифрових технологій (ГІС, дистанційне зондування Землі) та інституційних механізмів управління. Такий підхід дозволяє формувати стійкі системи землекористування, здатні адаптуватися до екологічних, економічних і постконфліктних викликів.

Таким чином, удосконалення землеустрою в системі функціонування меліоративних територій є не лише актуальним науковим завданням, а й стратегічним пріоритетом забезпечення сталого використання земельних ресурсів, підвищення ефективності водокористування та довгострокової стійкості аграрного сектору України.

У дослідженні використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів, що забезпечило всебічний аналіз проблеми.

Метод системного аналізу застосовано для визначення взаємозв'язків між станом інфраструктури, структурою землекористування та ефективністю водокористування.

Метод порівняльного аналізу використано для оцінки відмінностей у забезпеченості регіонів України водними ресурсами.

Метод узагальнення наукових джерел дозволив систематизувати існуючі проблеми та визначити основні тенденції розвитку галузі.

Методи геоінформаційного аналізу застосовано для оцінки просторових особливостей водозабезпеченості території України.

Сучасний стан меліорованих земель України формується під впливом комплексу природно-кліматичних, економічних та військово-політичних факторів, що зумовлюють суттєве зниження ефективності їх використання. Меліорація залишається важливим інструментом стабілізації аграрного виробництва, особливо в умовах кліматичних змін і нерівномірного розподілу водних ресурсів, однак її потенціал нині використовується лише частково.



Рис. 1. Структура меліорованих земель України за видами (млн га)

Джерело: сформовано автором на основі узагальнення статистичних даних щодо меліорованих земель України.



Рис. 2. Розподіл зрошуваних земель України за природними зонами (%)

Джерело: сформовано автором на основі узагальнення статистичних даних.

Представлені на рисунках 1–2 дані характеризують потенційну структуру та просторовий розподіл меліорованих і зрошуваних земель України. Водночас наявність меліоративної інфраструктури не забезпечує її повноцінного використання.

Ще до початку повномасштабних воєнних дій фактичне використання зрошувальних систем було суттєво нижчим за їх проєктну потужність. У середньому рівень використання становив у кілька разів менше від наявного потенціалу, що свідчить про низьку ефективність функціонування систем. Зокрема, у Херсонській області із 427 тис. га зрошуваних систем фактично поливалося лише близько 300 тис. га. Це підтверджує наявність значного розриву між технічною спроможністю меліоративних систем і реальним рівнем їх використання, що обумовлено технічними, організаційними та економічними чинниками.

Однак після 2022 року ситуація зазнала різкого погіршення, що зумовило критичне скорочення площ фактичного зрошення. До початку повномасштабної війни в Україні використовувалося приблизно 540–550 тис. га зрошуваних земель, тоді як станом на кінець 2025 року ця площа скоротилася до 40,5–134 тис. га, що свідчить про багатократне зниження ефективності використання меліоративних систем [5]. Це призвело до зниження врожайності сільськогосподарських культур, скорочення посівних площ та зростання ризиків продовольчої нестабільності.

Таке скорочення обумовлене комплексом взаємопов'язаних факторів, серед яких визначальним є руйнування Каховської гідроелектростанції, що призвело до втрати близько 347 тис. га зрошуваних земель у Херсонській, Запорізькій та Дніпропетровській областях. Додатково негативний вплив має знищення меліоративної інфраструктури, зокрема насосних станцій, магістральних каналів і систем поливу, а також ведення бойових дій і тимчасова окупація територій, де зосереджена значна частина зрошуваних земель південного регіону України [5].

Для наочності просторових відмінностей водозабезпеченості регіонів України доцільно розглянути відповідні показники (рис. 3).

Водночас аналіз водозабезпеченості території свідчить про її значну нерівномірність: південні та східні регіони характеризуються критично низьким рівнем водних ресурсів, тоді як у західних областях він є відносно високим.

Загалом близько 70–75% території України перебуває в умовах водного дефіциту, що обумовлює стратегічну необхідність розвитку меліорації та впровадження водозберігаючих технологій [1; 9].



Рис. 3. Забезпеченість регіонів України місцевими водними ресурсами (тис. м³/рік на одну людину)

Джерело: сформовано автором на основі узагальнення статистичних даних.

Організація землеустрою на меліорованих територіях має комплексний характер і передбачає узгодження просторової структури землекористування з інженерною інфраструктурою. Основними принципами такого землеустрою є забезпечення просторової цілісності систем, функціональне зонування територій, правова визначеність земельних ділянок та інтеграція екологічних вимог. Водночас у практиці спостерігається невідповідність між межами земельних ділянок і конфігурацією меліоративних систем, що ускладнює їх експлуатацію та знижує ефективність використання ресурсів.

Ключовою проблемою залишається фрагментація землекористування, що виникла внаслідок паювання земель. Подрібнення меліорованих масивів призвело до порушення їх цілісності, ускладнення управління внутрішньогосподарськими мережами та зростання витрат на експлуатацію. Поряд із цим, значну роль відіграють правові проблеми, зокрема відсутність кадастрової реєстрації земель під гідротехнічними спорудами, неузгодженість форм власності та відсутність сервітутів, що створює перешкоди для доступу до інфраструктури та її обслуговування.

Підтвердженням зазначених проблем є результати офіційних оцінок стану меліоративних систем. Так, Держводагентство зазначає, що результати інвентаризацій меліоративних систем тривалий час не вносилися до Публічної кадастрової карти, оскільки чинне законодавство не передбачає такої обов'язковості. Це призвело до того, що переважна більшість каналів, дамб, насосних станцій та земель під ними не мають оформлених кадастрових ділянок і зареєстрованих прав [5].

Наприклад, у Миколаївській області на кінець 2025 року із 1191 облікованої греблі 981 (82,4%) кваліфіковано як безхазяйну, тобто без зареєстрованих прав власності та, як правило, без належно оформлених земельних ділянок [5].

Технічний стан меліоративної інфраструктури також є незадовільним: значна частина каналів і насосних станцій застаріла та потребує реконструкції, а втрати води під час транспортування досягають 40–50%. Відсутність автоматизованих систем управління та моніторингу додатково знижує ефективність використання водних ресурсів [5; 9].

Важливим аспектом є інституційна неузгодженість управління. Унаслідок децентралізації громади отримали у власність земельні ресурси, однак не забезпечені достатніми інструментами управління меліоративною інфраструктурою, яка часто залишається у державній власності. Це призводить до відсутності єдиного центру координації, ускладнення планування водокористування та зниження інвестиційної привабливості галузі [4].

Таким чином, сучасний стан меліорованих земель України характеризується системною кризою, що проявляється у втраті зрошувального потенціалу, деградації інфраструктури, фрагментації землекористування та недосконалості інституційного забезпечення. Подолання цих проблем потребує комплексного підходу, що передбачає удосконалення землеустрою, інтеграцію цифрових технологій та формування ефективних механізмів управління земельними і водними ресурсами.

Напрями удосконалення землеустрою на меліорованих територіях. З урахуванням виявлених проблем функціонування меліоративних систем, удосконалення землеустрою доцільно здійснювати на основі комплексного підходу, що поєднує просторову оптимізацію землекористування, інженерно-технічні рішення та сучасні цифрові технології управління.

Першочерговим напрямом є *оптимізація структури* землекористування, яка передбачає раціональний розподіл угідь з урахуванням природно-кліматичних умов, рівня зволоження, родючості ґрунтів та господарського використання

території. Важливим аспектом є узгодження меж земельних ділянок із конфігурацією меліоративної інфраструктури, що забезпечує підвищення ефективності водокористування та зниження експлуатаційних витрат. Диференціація землекористування дозволяє забезпечити більш ефективне використання територій різної якості, формування екологічно стійких агроландшафтів і попередження деградаційних процесів [7].

Не менш важливим є *впровадження інженерної оптимізації меліоративних систем*, що передбачає модернізацію зрошувальних і дренажних мереж, удосконалення режимів водоподачі та застосування водозберігаючих технологій. У поєднанні з науково обґрунтованими сівозмінами це сприяє стабілізації водного режиму ґрунтів, підвищенню їх родючості та мінімізації негативних процесів, зокрема засолення і підтоплення [7; 9].

Суттєвого значення набуває *цифровізація землеустрою та управління меліорацією*. Використання геоінформаційних систем, дистанційного зондування Землі, супутникових технологій і безпілотних літальних апаратів забезпечує можливість оперативного моніторингу стану земель і водних ресурсів. Інтеграція цих інструментів у єдині інформаційні системи створює передумови для переходу до точного землеробства та прийняття обґрунтованих управлінських рішень [2; 6].

Паралельно необхідно *розвивати організаційно-управлінські механізми*, зокрема створення ефективної системи моніторингу меліорованих земель, формування електронних реєстрів меліоративних систем та їх інтеграцію до національних геопросторових платформ. Важливою складовою є посилення координації між суб'єктами управління, розвиток організацій водокористувачів та впровадження механізмів публічно-приватного партнерства [3; 4].

Окрему увагу слід приділити *екологічній складовій землеустрою*, яка передбачає впровадження природоохоронних заходів, зокрема формування буферних зон, рекультивацію деградованих земель та збереження природних ландшафтів. Такий підхід забезпечує не лише підвищення ефективності використання ресурсів, а й збереження екологічної рівноваги територій.

Отже, удосконалення землеустрою на меліорованих територіях повинно базуватися на поєднанні просторового, технічного, цифрового та інституційного підходів, що забезпечить підвищення ефективності використання земельних і водних ресурсів та створить передумови для сталого розвитку аграрного сектору України [3; 7; 9].

Проведене дослідження засвідчило, що ефективне функціонування меліоративних систем України на сучасному етапі розвитку є суттєво обмеженим унаслідок дії комплексу взаємопов'язаних природно-кліматичних, технічних, економічних та інституційних чинників. Сучасний стан меліорованих територій характеризується кризовими явищами, що проявляються у втраті частини зрошуваних земель, зношеності інфраструктури, фрагментації землекористування та недостатньому рівні управління.

Установлено, що ключові проблеми функціонування меліоративних систем мають комплексний характер і потребують системного підходу до їх вирішення. У цьому контексті визначальну роль відіграє удосконалення землеустрою як інструменту просторового планування та управління, спрямованого на узгодження структури землекористування з меліоративною інфраструктурою, оптимізацію використання земельних і водних ресурсів та врахування екологічних обмежень.

Обґрунтовано доцільність впровадження сучасних цифрових технологій, зокрема геоінформаційних систем, дистанційного зондування Землі та автоматизованих систем моніторингу, що забезпечують підвищення ефективності

управлінських рішень і контроль за станом меліорованих територій. Водночас важливим напрямом є оптимізація структури землекористування, яка сприяє підвищенню продуктивності земель, зниженню витрат на експлуатацію систем та формуванню екологічно стійких агроландшафтів.

Таким чином, реалізація запропонованих у статті напрямів удосконалення землеустрою забезпечить підвищення ефективності використання земельних і водних ресурсів, сприятиме відновленню меліоративної інфраструктури та створить передумови для сталого розвитку аграрного сектору України в умовах сучасних викликів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point. (SOLAW 2021). Rome: FAO. URL: <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1565470/>. (дата звернення: 02.03.2026).
2. Ukraine: Climate-Smart Agriculture Investment Plan. World Bank. Washington, DC: World Bank, 2022. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099350002072241806/pdf/P1719860a81bb30108b4400add1f906a5e.pdf> (дата звернення: 02.03.2026).
3. Про схвалення Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року : розпорядж. Кабінету Міністрів України від 14.08.2019 № 688-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80#Text> (дата звернення: 26.02.2026).
4. Про схвалення Концепції Державної цільової програми комплексного водозабезпечення територій, які зазнали впливу воєнних дій, на період до 2030 року : постанова Кабінету Міністрів України від 30 лип. 2024 р. № 905. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/905-2024-п#Text> (дата звернення: 26.02.2026).
5. Зрошення, меліорація та іригація – план проведення водної реформи в Україні. *AgroPolit.com* : веб-сайт. URL: <https://agropolit.com/blog/500-zroshennya-melioratsiya-ta-irigatsiya--plan-provedennya-vodnoyi-reformi-v-ukrayini> (дата звернення: 20.12.2025).
6. Офіційні статистичні дані щодо використання земельних ресурсів. *Держгеокадастр України* : веб-сайт. URL: <https://land.gov.ua> (дата звернення: 05.03.2026).
7. Третяк А. М., Третяк В. М., Прядка Т. М., Гунько Л. А., Третяк Н. А. Землепорядкування в Україні: розвиток на засадах новітньої інституціонально-поведінкової теорії : монографія. Біла Церква, 2023. URL: <https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNABU/10230/1/%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D0%B5%D0%B2%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%B4%D0%BA%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%B2%20%D0%A3%D0%BA-%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%96.pdf> (дата звернення: 05.03.2026).
8. Третяк А. М. Сучасний землеустрій в Україні: поняття, сутність, тенденції розвитку. *Землеустрій, кадастр та охорона земель в Україні: сучасний стан, Європейські перспективи* : матеріали Міжнар. конф., присвяч. 20-річчю створення ф-ту землепорядкування, Київ, 2016. С. 43-47. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u31/_рник%20праць.pdf (дата звернення: 02.02.2026).
9. Вожегова Р. А., Коковихін С. В. Зрошуване землеробство – гарант продовольчої безпеки України в умовах змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 11. С. 28–34. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-04>.

Дата першого надходження статті до видання: 20.06.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 630*1:631.618:622.271

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.37>

ЕКОЛОГІЧНІ ФУНКЦІЇ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ ТА КРИТЕРІЇ ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ У БІОЛОГІЧНІЙ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ, ПОРУШЕНИХ ВІДКРИТИМ ВИДОБУВАННЯМ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Нонік Л.Ю. – д.філос.,

доцент кафедри екології, лісівництва та сталого природокористування,

Державний університет «Житомирська політехніка»

orcid.org/0000-0003-4234-8948

Давидова І.В. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри екології, лісівництва та сталого природокористування,

Державний університет «Житомирська політехніка»

orcid.org/0000-0001-6535-3948

Куницька М.С. – д.філос.,

доцент кафедри маркшейдерії,

Державний університет «Житомирська політехніка»

orcid.org/0000-0002-2649-0939

У статті узагальнено сучасні підходи до використання лісових насаджень у біологічній рекультивациі земель, порушених відкритим видобуванням корисних копалин. Показано, що створення деревного покриву є лише початковою умовою відновлення, оскільки екологічний ефект насаджень формується поступово та залежить від властивостей техногенного субстрату, стану кореневмісного шару, водного і поживного режимів, породного складу та тривалості розвитку лісового середовища. Дослідження виконано методом аналітичного огляду із застосуванням порівняльного аналізу, змістового узагальнення та систематизації наукових і практичних джерел.

Виокремлено стабілізаційну, ґрунтоутворю, гідрорегулювальну, біогеохімічну, біотичну, кліматорегулювальну та ландшафтну функції лісових насаджень. Обґрунтовано необхідність розмежування технологічних показників виконання робіт і критеріїв фактичного відновлення екосистемних функцій. Площа заліснення, кількість висаджених рослин, густина культур і початкова приживлюваність характеризують обсяг здійснених заходів, тоді як екологічна результативність має визначатися за стабілізацією субстрату, станом ґрунту, формуванням підстилки, розвитком деревостану й нижніх ярусів, природним поновленням, біорізноманіттям, накопиченням вуглецю та здатністю насаджень до самопідтримання.

Запропоновано функціонально орієнтовану систему оцінювання, що поєднує технологічний, лісівничий та екосистемний рівні. Критерії диференційовано за етапами розвитку насаджень: укорінення і збереження культур, формування стійкого деревного покриву, розвиток лісового середовища та досягнення функціональної зрілості. Часові межі мають орієнтовний характер і повинні уточнюватися відповідно до природно-кліматичних умов, типу субстрату, породного складу та технології рекультивациі. Наукова новизна підходу полягає у поєднанні екологічних функцій насаджень із критеріями їх оцінювання на послідовних етапах розвитку рекультивованої екосистеми. Запропонована система може бути використана для вдосконалення проектування, післяпроектного моніторингу та оцінювання довгострокової ефективності лісової рекультивациі порушених земель.

Ключові слова: лісові насадження, екологічні функції, лісова рекультивация, біологічна рекультивация, відкритий видобуток, техногенні субстрати, критерії екологічної ефективності, післяпроектний моніторинг.



Nonik L.Yu., Davydova I.V., Kunytska M.S. Ecological functions of forest plantations and criteria for their effectiveness in the biological reclamation of land disturbed by open-pit mining

The article summarizes current approaches to the use of forest plantations in the biological reclamation of land disturbed by open-pit mining. It is demonstrated that the establishment of tree cover represents only the initial stage of restoration, since the ecological effects of plantations develop gradually and depend on the properties of the technogenic substrate, the condition of the rooting layer, water and nutrient regimes, species composition, and the duration of forest environment development. The study was conducted as an analytical review using comparative analysis, content-based generalization, and systematization of scientific and practice-oriented sources.

The stabilizing, soil-forming, hydrological, biogeochemical, biotic, climate-regulating, and landscape functions of forest plantations were identified. The need to distinguish between technological indicators of completed reclamation works and criteria reflecting the actual recovery of ecosystem functions was substantiated. Afforested area, the number of planted individuals, stand density, and initial survival rate characterize the scope of implemented measures, whereas ecological effectiveness should be assessed through substrate stabilization, soil condition, forest-floor formation, development of the tree stand and lower vegetation layers, natural regeneration, biodiversity, carbon accumulation, and the capacity of plantations for self-maintenance.

A function-oriented assessment framework combining technological, silvicultural, and ecosystem levels was proposed. The criteria were differentiated according to successive stages of stand development: establishment and survival of forest cultures, formation of stable tree cover, development of the forest environment, and achievement of functional maturity. The proposed time limits are indicative and should be adjusted according to climatic conditions, substrate type, species composition, and reclamation technology. The scientific novelty of the proposed approach lies in integrating the ecological functions of forest plantations with criteria for their assessment at successive stages of reclaimed ecosystem development. The proposed framework can be applied to improve reclamation planning, post-project monitoring, and the assessment of the long-term effectiveness of forest reclamation on disturbed land.

Key words: forest plantations, ecological functions, forest reclamation, biological reclamation, open-pit mining, technogenic substrates, ecological effectiveness criteria, post-project monitoring.

Актуальність теми дослідження. Відкритий видобуток корисних копалин спричиняє глибоку трансформацію ґрунтового і рослинного покриву, рельєфу та водного режиму території. Унаслідок переміщення розкривних порід формуються техногенні субстрати з низьким умістом органічної речовини й доступних елементів живлення, несприятливими водно-фізичними властивостями, підвищеною кислотністю, засоленням або наявністю фітотоксичних компонентів [1, с. 61]. Регіональні польові дослідження рекультивованих ділянок після видобування ільменіту засвідчили переважання піщаних, супіщаних і легкосуглинкових ґрунтів, їх низьку вологоутримувальну здатність та залежність вологості від рельєфу й умісту дрібної фракції [2, с. 172–173; 3, с. 361–363].

Лісгосподарський напрям рекультивації особливо важливий для схилів відвалів, ерозійно небезпечних ділянок і земель, малоприсаєднаних для сільськогосподарського використання [1, с. 11–15; 243–244]. Лісові насадження закріплюють субстрат, зменшують ерозію, регулюють водний і температурний режими, сприяють формуванню підстилки та активізації ґрунтоутворних процесів [1, с. 243–252]. Поряд із лісгосподарським і водогосподарським напрямками для частини відпрацьованих кар'єрів Житомирського Полісся обґрунтовано перспективність рекреаційної рекультивації зі створенням лісопаркових комплексів, водойм і мозаїки зелених зон за умови добору невибагливих видів та поліпшення ґрунтових умов [4, с. 118–119]. Однак формування деревного покриву може випереджати відновлення ґрунтових властивостей: навіть через 10–30 років рекультивовані ґрунти можуть залишатися бідними на гумус і доступні елементи живлення [5, с. 79–92; 118–136].

Актуальність дослідження визначається необхідністю переходу від фіксації створення лісових культур до комплексного оцінювання їхньої ролі у відновленні ґрунтових, гідрологічних, біотичних та інших функцій порушеної екосистеми.

Постановка проблеми. У практиці лісової рекультивації результативність часто визначають за площею заліснення, кількістю висаджених рослин, густотою культур і початковою приживлюваністю [6]. Ці показники характеризують виконання проєктних заходів, але не дають змоги оцінити довгострокове відновлення ґрунту, формування лісового середовища та здатність насаджень до самопідтримання.

Аналіз документації гірничодобувних підприємств свідчить, що післяпроєктний моніторинг зосереджується переважно на контролі окремих компонентів довкілля та виконанні передбачених заходів [7, с. 8, 11–42; 8, с. 8, 11–40]. Розвиток лісових насаджень, формування підстилки, природне поновлення та функціональна стійкість екосистеми при цьому не утворюють самостійного комплексу показників.

Проблема полягає у відсутності цілісної системи, яка поєднувала б технологічний контроль рекультивації з критеріями фактичного відновлення екосистемних функцій на різних етапах розвитку насаджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі рекультивація розглядається як комплексний процес, ефективність якого залежить від технічної підготовки території, властивостей розкривних порід, водного режиму та подальшого біологічного освоєння. Наголошується на необхідності добору деревних порід відповідно до властивостей субстрату й цільового призначення насаджень [1, с. 79–86; 182–198; 243–258]. Регіональні дослідження рекультивованих земель після видобування ільменіту показали, що гранулометричний склад і вологість є базовими індикаторами лісорослинного потенціалу: домінування піщаних і супіщаних фракцій, вимивання дрібнозему та низька вологоутримувальна здатність обмежують приживлюваність і ріст дерев [2, с. 172–173; 3, с. 361–363]. Порівняння ділянок різного віку й породного складу також засвідчило залежність стану насаджень від рельєфу, технології технічного етапу та властивостей кореневмісного шару [3, с. 359–363]. Окремим напрямом є рекреаційна рекультивація, для якої запропоновано поєднувати деревно-чагарникові насадження, відкриті зелені простори й штучні водойми та водночас застосовувати заходи з підвищення продуктивності ґрунту [4, с. 118–119]. Дослідження рекультивованих земель Житомирського Полісся в дисертаційній роботі підтвердили, що відновлення ґрунтових властивостей відбувається нерівномірно та залежить від віку і породного складу лісових культур [5, с. 73–92; 118–136].

Міжнародний підхід Forestry Reclamation Approach передбачає створення придатного кореневмісного шару, мінімізацію ущільнення, використання місцевих деревних видів та узгодження гірничотехнічного і біологічного етапів [9]. Сучасні дослідження підтверджують ефективність розущільнення субстрату, внесення органічних решток і формування різноманітних біотопів [10].

Довготривале формування насаджень супроводжується накопиченням органічної речовини та поступовим розвитком ґрунтового профілю [11]. Природна сукцесія за окремими показниками біорізноманіття і накопичення вуглецю може бути зіставною зі штучним залісненням [12]. Для комплексного оцінювання рекультивації застосовують польові й дистанційні методи, показники ґрунтової родючості, забруднення, стану рослинності та інтегральні індекси якості ґрунту [13–15].

Таким чином, сучасні дослідження переходять від оцінювання приживлюваності дерев до аналізу ґрунтових процесів, біорізноманіття та функціональної

стійкості насаджень, однак єдина система критеріїв їх екологічної ефективності залишається недостатньо сформованою.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Наявні дослідження охоплюють окремі ґрунтові, лісівничі, гідрологічні, біотичні, рекреаційні та інтегральні показники, однак їх результати складно зіставляти через відмінності у властивостях розкритих порід, природних умовах, технологіях рекультивації, цільовому призначенні територій та віці насаджень [1, с. 39–86; 2, с. 172–173; 3, с. 361–363; 4, с. 118–119; 5, с. 73–92; 11–15].

Недостатньо сформованою залишається система, яка пов'язувала б екологічні функції насаджень із вимірюваними критеріями на послідовних етапах відновлення. Тому невирішеним є обґрунтування функціонально й хронологічно диференційованого підходу, адаптованого до умов конкретної рекультивованої території.

Мета дослідження. Узагальнити сучасні підходи до використання лісових насаджень у біологічній рекультивації земель, порушених відкритим видобуванням, та обґрунтувати функціонально орієнтовану систему оцінювання їх екологічної ефективності з урахуванням функцій насаджень і етапів формування лісового середовища.

Методика досліджень. Дослідження виконано шляхом аналітичного узагальнення сучасних підходів до лісової рекультивації земель, порушених відкритим видобуванням. Порівняльний аналіз і систематизацію використано для визначення екологічних функцій насаджень, чинників їх реалізації та критеріїв оцінювання на різних етапах розвитку рекультивованої екосистеми.

Результати досліджень. За результатами проведеного узагальнення запропоновано трактувати екологічну ефективність лісових насаджень як їхню здатність забезпечувати послідовну стабілізацію техногенного субстрату, розвиток ґрунтових і біотичних процесів та формування самопідтримуваної екосистеми. Такий підхід зміщує акцент із факту створення деревного покриву на відновлення сукупності екологічних функцій.

На початковому етапі пріоритетною є стабілізаційна функція. Кореневі системи дерев і чагарників закріплюють нестійкі породи, зменшують рухливість сипких субстратів та обмежують водну і вітрову ерозію. Надземна частина деревостану знижує швидкість вітру, перехоплює частину опадів і пом'якшує температурні коливання поверхні, що особливо важливо на схилах відвалів і ділянках із порушеним стоком [1, с. 243–252].

У міру розвитку насаджень посилюється їх ґрунтоутворний вплив. Накопичення рослинних решток і формування підстилки забезпечують надходження органічної речовини, розвиток кореневої зони, поліпшення структури та водопроникності субстрату. Ці процеси відбуваються повільніше, ніж формування деревного ярусу: навіть через 10–30 років уміст гумусу й доступних елементів живлення може залишатися нижчим, ніж у непорушених ґрунтах. Для ділянок після видобування ільменіту додатковими обмеженнями є переважання піщаних фракцій, вимивання дрібнозему та низька вологоутримувальна здатність [2, с. 172–173; 3, с. 362–363; 5, с. 79–92; 133–136].

Лісове середовище змінює водний режим території. Підстилка та кореневі системи затримують опади, збільшують інфільтрацію і зменшують поверхневий стік. Вираженість цього ефекту визначається густотою, віком і породним складом насаджень, гранулометричним складом субстрату та глибиною залягання підземних вод. На рекультивованих ділянках Житомирського Полісся вологість ґрунту пов'язана також із рельєфом і вмістом дрібної фракції, тому її слід оцінювати разом із гранулометричним складом та станом рослинності [2, с. 173; 3, с. 362; 5, с. 79–92; 11].

Біогеохімічна функція проявляється в накопиченні вуглецю в деревній біомасі, підстилці й ґрунті та включенні поживних елементів у біологічний кругообіг. Стабілізація поверхні й розвиток кореневої зони можуть обмежувати міграцію забруднювальних речовин, однак на субстратах із підвищеним умістом важких металів необхідний контроль їх накопичення у рослинах і можливого включення в трофічні ланцюги [14].

Біотичний результат визначається розвитком усієї структури угруповання, а не лише станом висаджених дерев. Важливими є формування трав'яного і чагарникового ярусів, природне поновлення, заселення ґрунтовими організмами та поява різноманітних оселищ. Спонтанно сформовані деревні угруповання можуть мати високе видове різноманіття і бути зіставними зі штучними насадженнями за запасами вуглецю в біомасі [12]. Для рекреаційно орієнтованих територій до біотичних критеріїв доцільно додавати композиційну різноманітність, естетичну якість і сумісність насаджень із водоймами та іншими елементами лісопаркового ландшафту [4, с. 118–119].

Узагальнення цих процесів за [1, с. 243–258; 2–5; 9–15] дало змогу виділити сім основних екологічних функцій лісових насаджень і відповідні групи показників їх оцінювання (табл. 1).

Таблиця 1

Екологічні функції лісових насаджень та показники їх оцінювання

Екологічна функція	Основні прояви	Рекомендовані показники
Стабілізаційна	Закріплення субстрату, зменшення ерозії та дефляції	проективне покриття, частка еродованої поверхні, промоїни, яри, оголені корені
Ґрунотворна	Формування підстилки, накопичення органічної речовини, структуроутворення	потужність підстилки, уміст гумусу й органічного вуглецю, щільність, пористість, агрегатний склад
Гідрорегульовальна	Затримання опадів, збільшення інфільтрації, зменшення поверхневого стоку	вологість, водопроникність, вологосмість, ознаки дефіциту або надлишку вологи
Біогеохімічна	Кругообіг поживних елементів, накопичення вуглецю, обмеження міграції токсикантів	pH, уміст N, P, K і важких металів, катіонообмінна ємність, запас вуглецю
Біотична	Формування ярусності, природне поновлення, розвиток біорізноманіття	видовий склад, індекси різноманіття, кількість самосіву, стан нижніх ярусів
Клімато-регульовальна	Пом'якшення температурних коливань, зниження швидкості вітру, секвестрація вуглецю	температура поверхні, мікрокліматичні показники, запас деревної біомаси
Ландшафтна	Інтеграція рекультивованої ділянки у навколишній ландшафт	зв'язність насаджень, частка відкритих ділянок, просторове розміщення біотопів

Реалізація виділених функцій визначається станом техногенного субстрату. Надмірне ущільнення зменшує інфільтрацію, погіршує газообмін і обмежує розвиток коріння; дефіцит органічної речовини й поживних елементів уповільнює ріст дерев, а несприятлива кислотність, засолення або токсичність можуть спричиняти

випадання культур. Для рекультивованих територій після видобування ільменіту особливо важливими є гранулометричний склад, уміст дрібної фракції, вологість і рельєф, оскільки їх поєднання безпосередньо впливає на приживлюваність та стан насаджень [2, с. 170, 173; 3, с. 359, 362–363]. Отже, формування придатного кореневмісного шару є базовою умовою довготривалого розвитку насаджень.

Цей принцип покладено в основу Forestry Reclamation Approach, що передбачає використання придатних ґрунтопорід, мінімізацію ущільнення, формування трав'яного покриву без надмірної конкуренції з деревами та добір місцевих видів [9]. Поєднання розуцільнення субстрату, внесення органічних решток і створення різноманітних мікрооселищ сприяє відновленню ширшого спектра екосистемних функцій [10].

Важливим чинником є породний склад. Монокультури можуть швидко забезпечувати зімкнення крон і стабілізацію поверхні, але зазвичай мають простішу структуру. Змішані насадження потенційно формують різноманітнішу підстилку, ефективніше використовують ресурси й краще підтримують біорізноманіття. Регіональні дослідження ділянок із сосною звичайною та змішаними насадженнями сосни й берези підтверджують доцільність урахування породного складу разом із властивостями ґрунту та рельєфом [3, с. 359, 362–363]. Для рекреаційної рекультиватії додатковими вимогами є невибагливість видів до ґрунтових умов, швидкий початковий ріст та естетична привабливість [4, с. 118–119]. Водночас застосування екологічно невідповідних або інвазійних видів створює ризики для природного поновлення і прилеглих екосистем.

Проведений аналіз підтвердив необхідність розмежування технологічних показників і довгострокових екологічних результатів. Площа заліснення, кількість саджанців, густина культур і початкова приживлюваність необхідні для контролю виконання проєкту [6], але мають доповнюватися показниками стану ґрунту, розвитку нижніх ярусів, природного поновлення та здатності насаджень до самопідтримання.

Однаковий набір критеріїв не може застосовуватися до насаджень різного віку. На початковому етапі пріоритетними є приживлюваність, приріст і стабілізація поверхні; надалі – зімкнення крон, формування підстилки, зміни ґрунту та розвиток нижніх ярусів. Для старших насаджень визначальними стають природне поновлення, структурна різноманітність, стійкість і підтримання екосистемних функцій без постійного втручання. Часову диференціацію, систематизовану за результатами досліджень ділянок 10-, 20- і 30-річного віку та сучасними підходами до відновлення, наведено в табл. 2 [2, с. 172–173; 3, с. 361–363; 5, с. 118–136; 10–12].

Таблиця 2

Критерії оцінювання за етапами розвитку лісових насаджень

Орієнтовний період	Основна мета оцінювання	Ключові критерії
0–3 роки	Укорінення культур і стабілізація поверхні	приживлюваність, відпад, приріст, проєктивне покриття, ознаки ерозії
3–10 років	Формування стійкого деревного покриву	зімкнення крон, життєвий стан, інтенсивність росту, початок формування підстилки
10–30 років	Розвиток лісового середовища	потужність підстилки, органічний вуглець, щільність і вологість ґрунту, ярусність, біорізноманіття
Понад 30 років	Функціональна зрілість і самопідтримання	природне поновлення, різновікова структура, розвиток ґрунтового профілю, стійкість і ландшафтна зв'язність

Часові межі є орієнтовними, оскільки швидкість відновлення залежить від природної зони, типу субстрату, водного режиму, породного складу й технології рекультивації. Оцінювання має враховувати не лише абсолютні значення показників, а й спрямованість змін та наближення території до функціонального стану відповідних природних екосистем.

Наукова новизна проведеного узагальнення полягає у поєднанні функціональної класифікації насаджень із часовою диференціацією критеріїв і тривірневим оцінюванням рекультивації. Перший рівень охоплює якість технологічного виконання робіт, другий – стан і розвиток насадження, третій – фактичне відновлення екосистемних функцій. Такий підхід відокремлює формальне завершення посадкових заходів від довготривалої екологічної ефективності.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Лісові насадження у біологічній рекультивації забезпечують не лише формування деревного покриву, а й стабілізацію субстрату, зменшення ерозії, накопичення органічної речовини, регулювання водного режиму та відновлення біорізноманіття.

Ефективність рекультивації залежить від властивостей субстрату, стану кореневмісного шару, водного і поживного режимів, породного складу та технології створення насаджень. Тому площа заліснення, кількість саджанців і початкова приживлюваність мають доповнюватися оцінюванням стану ґрунту, формування підстилки, природного поновлення та здатності насаджень до самопідтримання. Критерії слід диференціювати за віком насаджень: від приживлюваності й стабілізації поверхні до структурної різноманітності та функціональної стійкості.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на довготривалий моніторинг насаджень різного віку й породного складу, порівняння штучного заліснення з природною сукцесією та поєднання польових методів із дистанційним зондуванням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Томашівський З. М., Коник Г. С., Періг Г. Т., Оліфір Ю. М., Панахид Г. Я. Рекультивація порушених земель: монографія. 2-ге вид., допов. Оброшине: Видавництво Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН, 2023. 336 с.
2. Шомко О. М., Давидова І. В. Фізико-механічний склад ґрунтів рекультивованих територій після видобування ільменіту на Житомирському Поліссі. Технічна інженерія. 2022. Вип. 1 (89). С. 166–175. DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2022-1\(89\)-166-175](https://doi.org/10.26642/ten-2022-1(89)-166-175).
3. Шомко О. М., Давидова І. В. Дослідження стану ґрунтів рекультивованих територій після видобування ільменіту на Житомирському Поліссі. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2024. № 1 (331). С. 356–363. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-54>.
4. Давидова І. В., Шомко О. М. Перспективи рекреаційної рекультивації земель, порушених внаслідок видобутку ільменіту. Екологічні науки. 2024. № 1 (52), т. 1. С. 114–119. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.17>.
5. Шомко О. М. Лісорослинний потенціал ґрунту після рекультивації території видобутку ільменіту в Житомирському Поліссі: дис. ... д-ра філософії: 101 Екологія / Державний університет «Житомирська політехніка». Житомир, 2024. 211 с. URL: https://ztu.edu.ua/site/files/1/docs/Наука/Аспірантура%20та%20докторантура/Разові%20ради/2024/diss_Shomko.pdf (дата звернення: 12.07.2026).
6. Екологи ІНГЗК висадили 2,5 тисячі дерев на відвалі. Metinvest Media. 07.12.2021. URL: <https://metinvest.media/ua/page/ekologi-ingoka-vysadili-25-tysyachi-derevev> (дата звернення: 12.07.2026).

7. Звіт за результатами післяпроектного моніторингу щодо впливу на довкілля планованої діяльності «Продовження розробки (експлуатація існуючих кар'єрів з видобування титанових руд та піску будівельного) Юрської ділянки (I черга) Межирічного родовища площею 150,0 га з подальшою рекультивацією порушених земель» у 2024 р. / Філія «Іршанський гірничо-збагачувальний комбінат» АТ «Об'єднана гірничо-хімічна компанія». Іршанськ, 2025. 177 с. URL: <https://www.umcc-titanium.com/екологія/ігзк/> (дата звернення: 12.07.2026).

8. Звіт за результатами післяпроектного моніторингу щодо впливу на довкілля планованої діяльності «Продовження розробки (експлуатація існуючих кар'єрів з видобування титанових руд та піску будівельного) Юрської ділянки (I черга) Межирічного родовища площею 150,0 га з подальшою рекультивацією порушених земель» у 2025 році / Філія «Іршанський гірничо-збагачувальний комбінат» АТ «Об'єднана гірничо-хімічна компанія». Іршанськ, 2026. 172 с. URL: <https://www.umcc-titanium.com/екологія/ігзк/> (дата звернення: 12.07.2026).

9. The Forestry Reclamation Approach: Guide to Successful Reforestation of Mined Lands / ed. M. B. Adams. Newtown Square, PA : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station, 2017. 128 p. (General Technical Report NRS-169). DOI: <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-169>.

10. Sherman L., Barton C. D., Guzy J. C., Davenport R. N., Cox J. J., Larkin J. L., Fearer T., Newman J. C., Price S. J. Wetland Creation and Reforestation of Legacy Surface Mines in the Central Appalachian Region (USA): A Potential Climate-Adaptation Approach for Pond-Breeding Amphibians? *Water*. 2024. Vol. 16, No. 9. Article 1202. DOI: <https://doi.org/10.3390/w16091202>.

11. Spasić M., Vacek O., Vejvodová K., Borůvka L., Tejnecký V., Drábek O. Profile Development and Soil Properties of Three Forest Reclamations of Different Ages in Sokolov Mining Basin, Czech Republic. *Forests*. 2024. Vol. 15, No. 4. Article 650. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15040650>.

12. Woś B., Misebo A. M., Ochał W., Klamerus-Iwan A., Pajak M., Sierka E., Kompała-Bąba A., Bujok M., Bierza W., Józefowska A., Bujak J., Pietrzykowski M. Biodiversity Characteristics and Carbon Sequestration Potential of Successional Woody Plants versus Tree Plantation under Different Reclamation Treatments on Hard-Coal Mine Heaps—A Case Study from Upper Silesia. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, No. 11. Article 4793. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16114793>.

13. Gao C., Min A., Zhang W., Long Y., Zhang D., Wu H., Wu B., Zhang Z., Xiong P. Vegetation Restoration Effectiveness in Mianshan Abandoned Mine, Dongzhi County, China: Considering Habitat Diversity and Critical Drivers. *Forests*. 2024. Vol. 15, No. 12. Article 2213. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15122213>.

14. Popescu G., Popescu C. A., Horablaga A., Crista F., Dragomir L., Mihut C., Berbecea A., Radulov I. Restoration Potential of Vegetation: Soil Nutrient Responses and Heavy Metal Distribution in Coal Mine Tailings. *Land*. 2025. Vol. 14, No. 11. Article 2274. DOI: <https://doi.org/10.3390/land14112274>.

15. Mou Y., Lu B., Wang H., Wang X., Sui X., Di S., Yuan J. Evaluative Potential for Reclaimed Mine Soils Under Four Revegetation Types Using Integrated Soil Quality Index and PLS-SEM. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 13. Article 6130. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17136130>.

Дата першого надходження статті до видання: 13.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 504.53.054:665.6/.7

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.38>

НАУКОВІ ПІДХОДИ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ НАФТОПРОДУКТАМИ

Ткачук О.П. – д.с.-г.н.,професор кафедри екології та охорони навколишнього середовища,
Вінницький національний аграрний університетorcid.org/0000-0002-0647-6662**Гуцол Г.В.** – к.с.-г.н.,доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища,
Вінницький національний аграрний університетorcid.org/0000-0001-6327-6555

Стаття присвячена аналізу та систематизації сучасних наукових підходів до використання фітореємедіації як екологічно безпечного та ефективного методу відновлення ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. Стрімкий розвиток військових бойових дій в Україні та антропогенне навантаження промисловості з транспортом призводять до деградації земель та ґрунтів, що зумовлює потребу в розробці новітніх технологій їх рекультивації для повернення в активний сільськогосподарський обіг.

У роботі узагальнено теоретичні засади та виокремлено чотири ключові біохімічні механізми зниження вмісту вуглеводнів у системі «ґрунт–рослина»: ризодеградацію, фітоволатилізацію, фітостабілізацію та фітотрансформацію. Проведено порівняльний аналіз фітореємедіаційного потенціалу провідних сільськогосподарських культур. Встановлено, що найвищу стійкість до токсичної дії нафтової плівки та очисну здатність виявляють представники родин злакові (Poaceae), бобові (Fabaceae) та капустяні (Brassicaceae). Обґрунтовано морфо-біологічні переваги мичкуватої кореневої системи злакових трав (райграсу пасовищного, тонконогу лучного) у верхньому шарі ґрунту (0–20 см) та стрижневої кореневої системи бобових культур (люцерни посівної, конюшини лучної) у глибших горизонтах. Особливу увагу приділено доведенню синергетичного ефекту використання полікомпонентних агрофітоценозів.

Показано, що бінарні злаково-бобові посіви забезпечують інтенсивну стимуляцію автохтонної нафтоокиснювальної мікрофлори (родів *Pseudomonas*, *Rhodococcus*) у ризосфері, збільшуючи її чисельність у 10–100 разів, а також нівелюють дефіцит азоту, який виникає внаслідок дисбалансу співвідношення вуглецю до азоту (C:N). Визначено перспективи подальших досліджень, що полягають у створенні комплексних біотехнологічних систем із залученням консорціумів мікроорганізмів-деструкторів та органічних сорбентів в умовах кліматичних змін.

Ключові слова: фітореємедіація, нафтопродукти, забруднення ґрунтів, ризосфера, злаково-бобові суміші, біодеградація, відновлення родючості.

Tkachuk O.P., Hutsol G.V. Scientific approaches to phytoremediation of soils contaminated with oil products

The article is devoted to the analysis and systematization of modern scientific approaches to the use of phytoremediation as an environmentally safe and effective method of restoring soils contaminated with petroleum products. The rapid development of military hostilities in Ukraine and the anthropogenic load of industry and transport lead to the degradation of lands and soils, which necessitates the development of new technologies for their reclamation for their return to active agricultural circulation.

The paper summarizes the theoretical foundations and identifies four key biochemical mechanisms for reducing hydrocarbon content in the soil-plant system: rhizodegradation,



© Ткачук О.П., Гуцол Г.В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

phytovolatilization, phytostabilization, and phytotransformation. A comparative analysis of the phytoremediation potential of leading agricultural crops was conducted. It was established that the highest resistance to the toxic effects of oil film and the cleaning ability are exhibited by representatives of the families Poaceae, Fabaceae, and Brassicaceae. The morpho-biological advantages of the fibrous root system of cereal grasses (pasture ryegrass, meadow fescue) in the upper soil layer (0–20 cm) and the taproot system of legumes (alfalfa, meadow clover) in deeper horizons were substantiated. Particular attention was paid to proving the synergistic effect of using multicomponent agrophytocenoses.

It has been shown that binary cereal-legume crops provide intensive stimulation of autochthonous oil-oxidizing microflora (genus Pseudomonas, Rhodococcus) in the rhizosphere, increasing its number by 10–100 times, and also eliminate nitrogen deficiency, which occurs due to the imbalance of the carbon to nitrogen (C:N) ratio. Prospects for further research are identified, which consist in creating complex biotechnological systems involving consortia of destructor microorganisms and organic sorbents under climate change conditions.

Key words: *phytoremediation, petroleum products, soil contamination, rhizosphere, cereal-legume mixtures, biodegradation, fertility restoration.*

Актуальність теми дослідження. У сучасних умовах однією з найгостріших екологічних та агроекологічних загроз в Україні є масштабне забруднення ґрунтового покриву внаслідок ведення воєнних дій. Разом із вибухами від вибухів та уламками, екосистеми зазнають безпрецедентного техногенного навантаження, пов'язаного з розливами пально-мастильних матеріалів, нафти та її похідних. Знищення складів пального, пошкодження інфраструктури, руйнування чи підбиття військової техніки призводять до локальних, проте інтенсивних забруднень ґрунтів токсичними вуглеводнями [1].

Потрапляючи у ґрунт, нафтопродукти порушують його фізико-хімічні властивості, блокують газообмін та гідрологічний режим, а також призводять до загибелі або пригнічення ґрунтової біоти. Такі території фактично виводяться із сільськогосподарського обігу. Враховуючи площі постраждалих земель (що обчислюються тисячами гектарів у зонах бойових дій та на деокупованих територіях), традиційні методи рекультиватії (наприклад, механічне вивезення ґрунту або його хімічна обробка) є економічно надзатратними та нерідко призводять до подальшої деградації родючого шару [2].

У зв'язку з цим, виникає гостра потреба у пошуку та впровадженні екологічно безпечних і економічно доцільних методів відновлення. Пріоритетним напрямом сучасної агроекології є фіторемедіація – використання рослин-гіперакумуляторів та асоційованих із ними мікроорганізмів для очищення, деградації або іммобілізації токсичних сполук [3].

Незважаючи на значний світовий досвід, наукові підходи фіторемедіації ґрунтів, забруднених специфічними нафтопродуктами воєнного походження, в умовах України потребують детального вивчення. Необхідно здійснити наукове обґрунтування вибору видового складу рослин, адаптованих до ґрунтово-кліматичних умов конкретних регіонів, дослідити механізми ризодеградації вуглеводнів і розробити практичні рекомендації для впровадження у відновне землеробство. Саме тому розробка наукових підходів до фіторемедіації нафтозабруднених ґрунтів є надзвичайно актуальною, має високу наукову новизну та практичну значущість для післявоєнної відбудови агропромислового комплексу України [4].

Постановка проблеми. Забруднення ґрунтового покриву нафтопродуктами внаслідок військових дій має низку специфічних особливостей, які відрізняють його від класичних промислових аварій. По-перше, такі розливи часто відбуваються одночасно з механічним руйнуванням профілю ґрунту (вибухові вирви, перемішування генетичних горизонтів важкою технікою). По-друге, нафтопродукти

потрапляють в екосистему разом із залишками ракетного палива, важкими металами та іншими токсикантами, що утворює складні полікомпонентні суміші [5].

Головна проблема полягає в тому, що наявні наукові підходи до фітореMediaції здебільшого розроблені для умов монозабруднення або контрольованих промислових викидів. Натомість агровиробники та екологи в Україні зіткнулися із синергетичним ефектом токсичності, коли нафтові вуглеводні блокують розвиток фітореMediaнтів, а супутні воєнні забруднювачі пригнічують діяльність ризосферної мікрофлори [6].

Крім того, залишається невирішеним ряд ключових питань: критерії підбору біоти – відсутній чіткий реєстр стійких фітореMediaнтів (культурних, дикорослих чи сидеральних рослин), здатних витримувати високі концентрації пально-мастильних матеріалів в умовах конкретних природно-кліматичних зон України; механізми деструкції – недостатньо вивчена динаміка розкладу важких фракцій нафтопродуктів у ризосфері рослин під впливом корневих екссудатів; утилізація біомаси, яка після фітореMediaції воєнних земель може містити залишки токсикантів, тому механізми її безпечного збирання та подальшої утилізації/переробки потребують екологічного обґрунтування [7].

Відтак, існує чітке наукове та практичне протиріччя між гострою потребою у швидкому відновленні родючості земель та відсутністю адаптованих, комплексних технологічних схем фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів, які враховували б специфіку воєнного стану та післявоєнного відновлення агросфери.

Методика досліджень. Методологічну основу роботи становить комплексний системний аналіз, узагальнення та теоретичне моделювання результатів наукових досліджень, присвячених проблематиці фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів, який був доповнений дрібноділянковими дослідями, закладеними на дослідному полі НДГ «Агрономічне» Вінницького національного аграрного університету на посівах райґрасу пасовищного, люцерни посівної та сумішки цих культур. Площа облікової ділянки – 1 м² у чотириразовій повторності. На кожен ділянку у весняний період було внесено 50 г дизельного палива на 1 кг ґрунту, включаючи контрольний варіант – без рослинності.

Спостереження проводили впродовж 90 діб, визначаючи залишок нафтопродуктів через 30, 60 та 90 діб після внесення. Проби ґрунту аналізували у Південно-Західному міжрегіональному центрі ДУ «Інститут охорони ґрунтів України».

Наукові дослідження виконані за рахунок коштів гранту Президента України молодим вченим та докторам наук «Розробка фітомеліоративних заходів відновлення деградованих ґрунтів внаслідок бойових дій в контексті гарантування продовольчої та енергетичної безпеки України» (грантоотримувач Олександр Ткачук), наданого Національним фондом досліджень України.

Результати досліджень. На основі аналізу наукових джерел та експериментальних даних профільних установ встановлено, що для очищення ґрунтів від нафтопродуктів найбільш перспективними є представники трьох ботанічних родин: злакові (*Poaceae*), бобові (*Fabaceae*) та капустяні (*Brassicaceae*). Кожна група має специфічні морфо-біологічні переваги. Серед злакових культур найкращими фітореMediaційними властивостями щодо зниження нафтового забруднення володіють райґрас пасовищний (*Lolium perenne*), тонконіг лучний (*Poa pratensis*) та овес посівний (*Avena sativa*). Особливістю усіх злакових є мичкувата коренева система та висока щільність корінців у верхньому шарі ґрунту (0–20 см). Це дозволяє максимально збільшити площу ризосфери та стимулювати роботу автохтонної нафтоокиснювальної мікрофлори [8].

Серед бобових культур найкращими властивостями щодо зниження нафтового забруднення володіють люцерна посівна (*Medicago sativa*) та конюшина лучна (*Trifolium pratense*). Вони мають стрижневу глибоко проникаючу кореневу систему та проявляють симбіоз із бульбочковими бактеріями. Це сприяє не лише деструкції важких фракцій нафтопродуктів у глибоких горизонтах (до 50–70 см), але й збагаченню ґрунту азотом.

Капустяні культури – гірчиця біла (*Sinapis alba*) та ріпак озимий (*Brassica napus*), проявляють фітореMediaційні властивості щодо знешкодження нафтопродуктів. Ці культури відзначаються швидким нарощуванням біомаси та високою секреторною активністю коренів. Гірчиця та ріпак проявляють ексудацію ензимів, що сприяє прямій фітотрансформації легкокорозивних вуглеводнів.

Порівняння усіх трьох груп рослин показує, що злакові культури є стійкішими до токсичної дії гідрофобної нафтової плівки на ранніх етапах вегетації завдяки високій інтенсивності кушіння та здатності витримувати помірний дефіцит кисню в ґрунті.

Узагальнення теоретичних принципів дозволило структурувати процес фітореMediaції нафтозабруднених ґрунтів за чотирма основними взаємопов'язаними механізмами: ризодеградація – це головний механізм очищення ґрунтів від нафтопродуктів. Кореневі ексудати рослин (цукри, амінокислоти, ферменти) слугують поживним субстратом для ґрунтових мікроорганізмів. Встановлено, що щільність популяцій нафтоокиснювальних бактерій (*Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Acinetobacter*) у ризосфері злакових трав у 10–100 разів вища, ніж у забрудненому ґрунті без рослин. Це забезпечує прискорення біодеградації вуглеводнів на 30–45% [9].

Фітоволатилізація – це поглинання корінням низькомолекулярних, легких фракцій нафти (алканів лінійної структури) з їх наступним транспортуванням по судинах і випаровуванням через продиhi листя у трансформованому, менш токсичному вигляді [10].

Фітостабілізація – коріння бобових та злакових рослин змінює реологічні властивості ґрунту, зв'язуючи гідрофобні компоненти нафти (асфальтени та смоли). Це запобігає міграції забруднювачів у підземні горизонти та суміжні водні об'єкти [11].

Фітотрансформація – пряме поглинання складних органічних сполук рослиною з подальшим їх розщепленням внутрішньоклітинними ферментами (пероксидазами, цитохромами) до простіших метаболітів, які включаються у рослинний обмін речовин [12].

Монокультури мають обмежений радіус дії щодо фітореMediaції ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. Найвищу ефективність детоксикації (до 75–85% за вегетаційний період) демонструють бінарні та полікомпонентні суміші (наприклад, райграс пасовищний + люцерна посівна). Механізм синергізму полягає в тому, що злаковий компонент створює щільну мережу в капілярах ґрунту для розвитку бактерій, а бобовий – ліквідує дефіцит азоту, який виникає через різке підвищення співвідношення C:N внаслідок нафтового забруднення. Це оптимізує трофічні зв'язки у мікробіоценозі та стимулює самоочищення агроєкосистеми (табл. 1).

У проведеному досліді на чистій ділянці без рослинності (контроль) за 90 діб рівень забруднення ґрунту розлитими нафтопродуктами знизився на 21%, на посіві люцерни посівної – на 66,6% від початкового рівня забруднення та на 45,6% – відносно контрольного варіанту. За вирощування райграсу пасовищного концентрація нафтопродуктів від початкового рівня зменшилася на 71,6% та на 50,6% – відносно контролю. Але найбільш ефективним щодо знешкодження нафтового забруднення, був бінарний посів люцерни і райграсу – зменшення становило 83,0%, що було на 62% більше, ніж на контролі.

Таблиця 1

Динаміка вмісту нафтопродуктів у ґрунті за використання різних фіторемедіантів (початковий рівень забруднення – 50 г/кг ґрунту)

Варіант досліджу	Вміст через 30 діб, г/кг	Вміст через 60 діб, г/кг	Вміст через 90 діб, г/кг	Ефективність очищення за 90 діб, %
Контроль (без рослин)	46,2	42,1	39,5	21,0
Райграс пасовищний (<i>L. perenne</i>)	35,4	22,8	14,2	71,6
Люцерна посівна (<i>M. sativa</i>)	38,1	25,3	16,7	66,6
Суміш райграс+люцерна	31,2	17,4	8,5	83,0

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведений порівняльний аналіз фітопотенціалу культурних рослин довів, що найвищу стійкість та очисну здатність нафтового забруднення ґрунту мають представники родин злакові (*Poaceae*), бобові (*Fabaceae*) та капустяні (*Brassicaceae*). Злакові трави завдяки мичкуватій кореневій системі ефективно оптимізують верхній шар ґрунту, тоді як бобові забезпечують детоксикацію глибоких горизонтів та покращують азотний режим екосистеми.

Ключовим біохімічним механізмом очищення є ризодеградація, за якої кореневі екссудати рослин активують автохтонну нафтоокиснювальну мікрофлору, збільшуючи її чисельність у 10–100 разів. Найвищий синергетичний ефект (до 75–85% деструкції вуглеводнів) досягається за використання бінарних злаково-бобових агрофітоценозів, які одночасно вирішують проблему дефіциту азоту (через дисбаланс співвідношення C:N) та створюють максимальну площу ризосфери.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Гуцол Г.В., Мазур О.В. Вирощування олійних культур та інтенсивність накопичення важких металів у ґрунтах за їх мінерального удобрення в умовах Вінниччини. *Сільське господарство та лісівництво*. 2022. № 1 (24). С. 217-226. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-1-16>
2. Мазур О.В. Наукове обґрунтування доцільності використання соняшнику (*Helianthus annuus* L.) для фіторемедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. *Аграрні інновації*. 2026. № 35. С. 182-189. DOI: <https://doi.org/10.32848/agraar.innov.2026.35.27>
3. Дідур І., Ткачук О., Панцирева Г., Волинець Є. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів із використанням бобових багаторічних трав: монографія. Вінниця: ТВОРИ, 2026. 228 с.
4. Разанов С.Ф., Куценко М.І. Фіторемедіація дерново-підзолистого ґрунту за вирощування нектаропилконосних рослин в умовах Полісся. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 11. С. 213-222. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.23>
5. Ткачук О.П., Вергеліс В.І. Наукове обґрунтування механізму зниження вмісту важких металів у ґрунті методом фіторемедіації бобовими багаторічними травами. *Екологічні науки*. 2023. № 4 (49). С. 131-137. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.17>
6. Снітинський В.В., Ткачук О.П., Разанова А.М., Коруняк О.П. Ефективність фіторемедіації забрудненого важкими металами ґрунту за вирощування розторопші плямистої. *Сільське господарство та лісівництво*. 2023. № 28 (1). С. 164-171. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-1-11>

7. Борецька І.Ю., Джура Н.М., Романюк О.І. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів з використанням енергетичних культур. *Екологічні науки*. 2021. № 6. С. 72-76. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.есо.6-39.11>
8. Дацько О.М., Яценко В.В. Сучасні методи ремедіації ґрунтів. Фіторемедіація як ключ до очищення ґрунтів та збереження екосистем. *Аграрні інновації*. 2024. № 25. С. 20-24. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.25.3>
9. Мельниченко В.В. Фіторемедіація в аспекті відновлення ґрунтів, які зазнали впливу воєнно-техногенного навантаження. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Післявоєнне відновлення ґрунтових і рослинних ресурсів та продовольча безпека країни» (м. Київ, 20–21 червня 2024 року), НУБІП України, 2024. 222 с.
10. Самохвалова В.Л., Фатєєв А.І., Зуза С. І., Погромська Я.А., Зуза В.О., Панасенко Є.В., Горпинченко П.Ю. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів. *Агроєкологічний журнал*. 2015. № 1. С. 92-100. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2015.272192>
11. Писаренко П.В., Диченко О.Ю., Цьова Ю.А., Середа М.С. Напрями біоремедіації техногенно забруднених ґрунтів. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 120. С. 282-292. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.35>
12. Цицюра Я.Г., Шкатула Ю.М., Забарна Т.А., Пелех Л.В. Інноваційні підходи до фіторемедіації та фіторекультиваци у сучасних системах землеробства. Монографія. Вінниця: ТОВ «Друк», 2022. 1200 с.

Дата першого надходження статті до видання: 29.06.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

ЛІСОВЕ ТА САДОВО-ПАРКОВЕ ГОСПОДАРСТВО

FORESTRY AND HORTICULTURE MANAGEMENT

УДК 633.852:631.524

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.39>

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВИДІВ РОДУ *HYDRANGEA* L. В ОЗЕЛЕНЕННІ УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА

Осіпов М.Ю. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри садово-паркового господарства,

Уманський національний університет

orcid.org/0000-0001-7004-1164

Поліщук В.В. – д.с.-г.н.,

професор кафедри садово-паркового господарства,

Уманський національний університет

orcid.org/0000-0001-8157-7028

У статті розглянуто сучасні підходи до використання видів і сортів роду *Hydrangea* L. в декоративному садівництві урбанізованих територій. Визначено, що інтенсивні процеси урбанізації та кліматичні зміни зумовлюють необхідність формування стійких, довговічних і декоративно привабливих насаджень, які відповідають принципам сталого розвитку. Проаналізовано біолого-екологічні та декоративні особливості основних видів гортензій, зокрема *Hydrangea arborescens*, *Hydrangea paniculata*, *Hydrangea macrophylla*, *Hydrangea quercifolia* та *Hydrangea petiolaris*. Встановлено, що ключовими критеріями за вибору рослин для декоративного садівництва є морозостійкість, адаптивність до ґрунтово-кліматичних умов, тривалість цвітіння, декоративність суцвіть і листя. Обґрунтовано ефективність використання гортензій у складі змішаних насаджень із хвойними, багаторічними трав'янистими та декоративними злаковими рослинами, які мають подібні вимоги до екологічних умов. Такі композиції забезпечують високий рівень декоративності, підвищують стійкість насаджень і сприяють оптимізації догляду за об'єктами озеленення. Визначено, що композиційна цілісність насаджень значною мірою залежить від підбору рослин, контрастних або подібних за формою листя, висотою, текстурою та фенологічними особливостями, що забезпечує формування багаторічних і динамічних ландшафтних композицій. Узагальнено напрями використання гортензій у різних типах насаджень.

Встановлено, що найбільш декоративно та функціонально ефективними є поєднання гортензій у групових і солітерних насадженнях, живоплотах, міксбордерах та контейнерних композиціях. Аналіз особливостей використання видів і сортів гортензій у декоративних насадженнях свідчить про їх значний потенціал для озеленення різних типів



© Осіпов М.Ю., Поліщук В.В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

ландшафтних об'єктів. Завдяки високій декоративності, екологічній пластичності та широким можливостям композиційного використання гортензії є важливим елементом сучасного сталого ландшафтного проєктування.

Ключові слова: гортензії, насадження, озеленення, інтродукція, акліматизація.

Osipov M.Yu., Polishchuk V.V. Current State and Prospects of the Use of Species of the Genus *Hydrangea* in Urban Green Space Development

This article examines contemporary approaches to the use of species and cultivars of the genus *Hydrangea* L. in ornamental horticulture in urban areas. It has been established that rapid urbanization and climate change necessitate the creation of resilient, long-lasting, and visually attractive plantings that comply with the principles of sustainable development. The biological, ecological, and ornamental characteristics of the main *hydrangea* species, namely *Hydrangea arborescens*, *H. paniculata*, *H. macrophylla*, *H. quercifolia*, and *H. petiolaris*, have been analyzed. The key criteria for selecting plants for ornamental horticulture include frost resistance, adaptability to soil and climatic conditions, flowering duration, and the ornamental value of inflorescences and foliage. The effectiveness of incorporating hydrangeas into mixed plantings with conifers, perennial herbaceous plants, and ornamental grasses that share similar ecological requirements has been substantiated. Such compositions provide a high level of ornamental value, enhance the resilience of plantings, and contribute to more efficient landscape maintenance. It has been determined that the compositional integrity of plantings largely depends on the selection of plants that are contrasting or complementary in leaf shape, height, texture, and phenological characteristics, thereby enabling the creation of multilayered and dynamic landscape compositions. The main applications of hydrangeas in various types of plantings have been summarized. It has been established that hydrangeas achieve the highest ornamental and functional effectiveness when used in group and specimen plantings, hedges, mixed borders, and container compositions. An analysis of the use of *hydrangea* species and cultivars in ornamental plantings demonstrates their considerable potential for landscaping a wide range of landscape settings. Owing to their high ornamental value, ecological plasticity, and broad range of compositional applications, hydrangeas represent an important element of contemporary sustainable landscape design.

Key words: *hydrangea*, plantings, landscaping, introduction, acclimatization.

Постановка проблеми. Одним з ключових завдань ландшафтного проєктування є створення рослинних композицій, які забезпечують естетичну привабливість, комфорт та гармонійне сприйняття простору [1]. Важливу роль у формуванні паркових ландшафтів відіграє раціональне поєднання однорічних і багаторічних трав'янистих рослин, кущів та дерев, які відрізняються за формою крони, текстурою і забарвленням листя та особливостями цвітіння [2]. За добору рослинного асортименту для озеленення необхідно враховувати не лише декоративні якості рослин, а й їх адаптивність до місцевих ґрунтово-кліматичних умов, стійкість до несприятливих факторів середовища та довговічність [3, 4]. Серед перспективних декоративних культур для міського озеленення особливе місце займають гортензії, які поєднують високу декоративність з доброю адаптацією до умов вирощування. Завдяки тривалому та яскравому цвітінню, а також зміні забарвлення квітки упродовж вегетації гортензії мають широкі можливості використання у ландшафтному дизайні [5, 6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливим критерієм підбору гортензій для формування насаджень є їх адаптованість до місцевих кліматичних умов, зокрема здатність витримувати низькі зимові температури [7, 8]. Морозостійкість рослин істотно відрізняється залежно від виду [9], тому при формуванні асортименту рослин доцільно віддавати перевагу найбільш стійким представникам роду, до яких зокрема належать *H. arborescens*, *H. paniculata*, *H. macrophylla*, *H. quercifolia* та *H. petiolaris*.

Hydrangea arborescens L. є однією з найбільш морозостійких видів. Вона має великі, кулясті квіти, зазвичай білого кольору. Рослини цього виду здатні успішно

переносити низькі температури без додаткового укриття, що значно спрощує догляд за насадженнями та підвищує їх господарську цінність. *H. arborescens* L. – це листопадний кущ висотою 1–3 м з округлою, ажурною кроною діаметром до 2 м, децю пониклими пагонами та добре розвинуеною розгалуженою кореневою системою [10]. Листки розміщені на черешках завдовжки 2–6 см, мають яйцеподібну, овальну або еліптичну форму, зверху – зелені, знизу – сизувато-зелені, довжиною 6–20 см. Характерною особливістю виду є відсутність вираженого осіннього забарвлення листків. Декоративність рослини забезпечують великі щиткоподібні суцвіття діаметром до 25 см, що формуються на видовжених пагонах і складаються зі стерильних та фертильних квіток. Під час розпускання квітки мають зеленуватий відтінок, який поступово змінюється на білий або кремово-білий наприкінці періоду цвітіння. Цвітіння рясне та тривале, з червня до вересня-жовтня. Перші суцвіття з'являються зазвичай на 4–5 рік після висаджування рослин [11, 12]. Плід – багатонасінна коробочка діаметром 2,5–3 см з характерними поздовжніми ребрами. Насіння дрібне, безкриле. Плоди дозрівають у жовтні-листопаді [11, 12].

Висока морозостійкість, здатність до швидкого відновлення після суворих зим, інтенсивний ріст та значний відсоток укорінення живців зумовлюють цінність деревовидної гортензії як перспективної культури для озеленення територій різного призначення [12]. Завдяки поєднанню адаптивності та декоративності цей вид широко використовують у групових, солітерних і алейних насадженнях та міксбордерах. *H. arborescens* гармонійно поєднується з багаторічними декоративними рослинами, що розширює можливості її застосування в ландшафтному дизайні та сприяє створенню стійких і довговічних насаджень [13, 14].

Hydrangea paniculata має великі конусоподібні суцвіття-волоті білого, рожевого або пурпурового забарвлення. Вид відзначається високою морозостійкістю та здатністю витримувати зниження температури до -35°C , добре перезимовуючи без значних пошкоджень [5, 15]. Окремі сорти волотистої гортензії мають вищу посухостійкість порівняно з іншими представниками роду. Цвітіння рясне і тривале, з липня до пізньої осені. Суцвіття мають характерну пірамідальну форму [16, 17]. До основних переваг цього виду належать висока стійкість до низьких температур, невибагливість у догляді, а також значне сортове різноманіття із широкою гамою забарвлення суцвіть [15].

Hydrangea macrophylla має великі декоративні суцвіття рожевого, синього або фіолетового кольору, забарвлення яких значною мірою залежить від кислотності ґрунту та вмісту в ньому алюмінію. У кислому середовищі квітки набувають синіх і блакитних відтінків, тоді як на лужних ґрунтах переважають рожеві та світло-бузкові кольори. Порівняно з деревовидною та волотистою гортензіями цей вид має нижчу морозостійкість, проте здатний витримувати зниження температури до -24°C за належних умов вирощування [18, 19]. Великолиста гортензія є одним із найпоширеніших декоративних видів роду завдяки високій декоративності та здатності змінювати забарвлення суцвіть залежно від умов вирощування. Цвітіння триває з червня до кінця серпня [20, 21].

H. macrophylla широко використовується у ландшафтному дизайні, контейнерному озелененні та на зріз. Вона добре поєднується з деревними рослинами, які створюють оптимальні умови освітлення та підсилюють декоративний ефект насаджень. Незважаючи на відносну тіньовитривалість, у період цвітіння надмірна інсоляція може спричиняти пожовтіння та опіки листків, тоді як сильне затінення негативно впливає на фотосинтетичну активність і якість цвітіння. Тому під

час вирощування у відкритому ґрунті рекомендовано висаджувати рослини під розрізаним пологом дерев або вздовж озелених алей, забезпечуючи захист від надмірного сонячного випромінювання [22, 23].

Hydrangea quercifolia відзначається не лише декоративними суцвіттями, але й характерним листям, форма якого подібна до дубового. Листки цієї рослини восени набувають виразного забарвлення – від насичено бордового до яскраво-малинового. Великі конусоподібні суцвіття спочатку мають біле або кремове забарвлення, яке впродовж сезону поступово змінюється на рожеве, а іноді й бордове. Вид характеризується високою морозостійкістю, витримуючи зниження температури до -32°C без суттєвих пошкоджень, а також відносною посухостійкістю [24, 25].

Постановка завдання. Зростання ролі озеленення в умовах урбанізації та кліматичних змін обумовлює необхідність використання декоративних рослин, які поєднують високу естетичну цінність, адаптивність і стійкість до несприятливих факторів середовища. Види та сорти роду *Hydrangea* L. характеризуються значним декоративним потенціалом і широкими можливостями застосування в ландшафтному дизайні, тому узагальнення їх біолого-екологічних і декоративних особливостей та визначення оптимального асортименту супутніх рослин дозволить обґрунтувати напрями ефективного використання гортензій для формування стійких і екологічно збалансованих насаджень в урбанізованому середовищі.

Мета досліджень – дослідження особливостей підбору видів роду *Hydrangea* для формування стійких в умовах урбанізованих територій насаджень.

Об'єкт досліджень – види та сорти роду *Hydrangea* L., які використовують в насадженнях на території України.

Виклад основного матеріалу. Інтенсивна урбанізація, глобальні кліматичні зміни та необхідність адаптації міського середовища до принципів сталого розвитку обумовлюють зростання ролі садово-паркового господарства і ландшафтного дизайну як важливих складових екологічного та просторового розвитку сучасних міст [26, 27]. За таких умов особливого значення набуває синергія ландшафтного дизайну та селекції декоративних рослин, оскільки ефективне озеленення урбанізованих територій потребує не лише раціональних проєктних рішень, а й використання високодекоративного, екологічно пластичного та стійкого до несприятливих факторів середовища рослинного матеріалу. Практичний досвід в Україні свідчить, що інтеграція досягнень селекції декоративних рослин із потребами ландшафтного дизайну сприяє підвищенню якості озеленення, розширенню асортименту декоративних культур та формуванню більш стійких і функціонально ефективних міських ландшафтів [28, 29].

Важливим аспектом сучасного озеленення є науково обґрунтований добір асортименту рослин, здатних формувати стійкі, довговічні та естетично цінні насадження. Особливу увагу при цьому приділяють підбору видів і сортів, що характеризуються високою адаптивністю до умов урбанізованого середовища, стійкістю до абіотичних і біотичних стресових факторів та низькими потребами у догляді [30, 31]. У контексті сталого розвитку перспективним є використання гортензій як домінантних декоративних рослин у поєднанні з іншими деревними та трав'янистими культурами, які мають подібні екологічні вимоги та забезпечують декоративний ефект упродовж вегетаційного періоду.

Гортензії добре зростають на кислих ґрунтах [32], що обумовлює специфіку підбору супутніх рослин, оскільки не всі декоративні культури здатні ефективно рости у таких едафічних умовах. Водночас це не обмежує можливості її використання у композиціях, а лише визначає принципи раціонального поєднання видів.

Найбільш гармонійні рослинні угруповання формуються у поєднанні гортензії з хвойними рослинами, зокрема туями, ялинами, соснами тощо [33], оскільки ці рослини мають подібні екологічні вимоги, віддаючи перевагу кислим ґрунтам, помірному зволоженню та зростанню в умовах напівтіні. Хвойні рослини відіграють важливу роль в ландшафтному дизайні завдяки довговічності, різноманітності габітусу та колористичних форм, а також декоративності упродовж всього року. Поєднання гортензії з багаторічними та хвойними рослинами також ефективно використовується для декоративного оформлення вхідних зон саду та веранд, підсилюючи їх естетичну виразність та композиційну завершеність (рис. 1).



Рис. 1. Поєднання гортензії з рослинами в яких вимоги до росту і розвитку подібні

Вдалим є поєднання гортензій з астильбами, яке забезпечує високий декоративний ефект завдяки контрасту форми та текстури листків у садових насадженнях.

Оптимальні рослини-супутники для гортензій характеризуються подібними екологічними вимогами до освітлення, вологості та ґрунтових умов [34], а також забезпечують композиційний контраст за формою, забарвленням листя, висотою та термінами цвітіння. До таких видів належать хоста, папороті, астильби, самшит, гейзери, японська лісова трава тощо.

Незалежно від того, використовуються гортензії як центральні елементи або як фонове наповнення, ці чагарники додають об'єму, кольору та текстури дизайну саду. З гортензій можна створити моноквітник (рис. 2) або розкішний живопліт (рис. 3).



Рис. 2. Моноквітник з гортензією



Рис. 3. Живопліт Ліановидної гортензії

Вдалим є поєднання гортензій, особливо штамбових, з трояндами. Троянди краще використовувати невисокі – відмінно підійдуть троянди групи флорибунда або ґрунтопокривні види. Забарвлення їх пелюсток може бути будь-яким, але найвитонченішими будуть комбінації зі світло забарвленими трояндами (рис. 4).



Рис. 4. Композиція гортензії з трояндами

Для підвищення декоративної виразності ландшафтних композицій доцільним є поєднання гортензій з міскантусами. Вони створюють ефектний фон для гортензій та підсилюють композиційну цілісність насаджень. Незважаючи на відносно обмежене використання міскантусу в озелененні окремих регіонів України, цей багаторічний злак характеризується високою декоративністю та добре поєднується з гортензіями завдяки подібним вимогам до зволоження ґрунту, що дає змогу висаджувати їх у безпосередній близькості (рис. 5).

Гортензії є універсальними рослинами для ландшафтного дизайну, які можна використовувати як у поодиноких, так і в групових насадженнях, створювати з них живі огорожі, міксбордери або прикрашати тераси та патіо. Завдяки яскравому цвітінню, їх застосовують для декорування альтанок. Розлогі кущі відмінно виглядають на тлі зеленого газону та вигідно підкреслюють розміри ділянки. Квіти гортензії широко використовуються в настільних квіткових композиціях, як декор в сервіруванні. Для японського саду найкраще підходить поєднання гортензії з рододендронами.



Рис. 5. Гортензія з багаторічною злаковою культурою міскантусом

Гортензії застосовують для вертикального озеленення. Висаджування рослин біля стін будівель або стовбурів великих дерев, у місцях захищених від протягів, створює додатковий запас стійкості для рослин у морозні зими. Найбільша декоративність спостерігається у період цвітіння, проте восени увагу привернуть листя різних забарвлень. Для посилення фітомеліоративної ролі вуличних насаджень доцільно висаджувати більше кущів *H. macrophylla* DC. та *H. arborescens* L., особливо у смузі між тротуаром та проїжджою частиною. *H. petiolaris* Siebold входить у групу цінних рослин, які використовують для вертикального озеленення. За допомогою численних повітряних коренів і присосок, ліана може обплести будь-яку опору своїми гнучкими пагонами з красивим і рясним цвітінням [18].

Відповідно до проведеного аналізу біолого-екологічних та декоративних особливостей видів і сортів гортензій, а також специфіки їх використання в озелененні міських просторів, узагальнено основні напрями їх застосування у ландшафтному дизайні. У таблиці 1 наведено типи ландшафтних просторів, їх функціональне призначення, характерні елементи насаджень та рекомендовані види й сорти гортензій, що найбільш ефективно відповідають вимогам конкретних об'єктів озеленення.

Таблиця 1

**Рекомендований асортимент видів і сортів гортензій
для використання у різних типах насаджень**

Тип простору	Елемент насадження	Рекомендовані види та сорти гортензій
Приватні сади, присадибні ділянки	Солітери, декоративні групи, міксбордери	<i>H. macrophylla</i> 'Nikko Blue', 'Forever and Ever', 'Endless Summer', 'Red Baron'; <i>H. arborescens</i> 'Annabelle', 'Incrediball'
Патіо, тераси, зони відпочинку	Контейнерні композиції, ландшафтні групи	<i>H. macrophylla</i> 'Forever and Ever', 'Nikko Blue', 'Endless Summer', 'Twist-n-Shout'
Межі ділянок, огорожі	Живоплоти, бордюри	<i>H. paniculata</i> 'Grandiflora', 'Diamant Rouge', 'Limelight', 'Vanille Fraise'
Парки та сквери	Декоративні групи, солітери	<i>H. paniculata</i> 'Grandiflora', 'Diamant Rouge', 'Limelight', 'Silver Dollar'; <i>H. arborescens</i> 'Annabelle', 'Incrediball'

Продовження таблиці 1

Тип простору	Елемент насадження	Рекомендовані види та сорти гортензій
Бульвари, площі, пішохідні зони	Рабатки, декоративні групи	<i>H. paniculata</i> 'Diamant Rouge', 'Grandiflora'
Території готелів, ресторанів, рекреаційних комплексів	Декоративні групи, квітники, акцентні групи	<i>H. macrophylla</i> 'Nikko Blue', 'Forever and Ever', <i>H. paniculata</i> 'Diamant Rouge', 'Vanille Fraise'
Освітні та медичні заклади	Декоративні групи, терапевтичні сади, декоративні бордюри	<i>H. arborescens</i> 'Annabelle', 'Arborescens', <i>H. paniculata</i> 'Grandiflora', 'Limelight'
Житлові квартали	Міксбордери, групові насадження, композиції біля входу будинків	<i>H. arborescens</i> 'Annabelle', <i>H. paniculata</i> 'Diamant Rouge', <i>H. macrophylla</i> 'Forever and Ever'
Ботанічні сади, дендропарки	Колекційні експозиції, тематичні композиції, демонстраційні групи	<i>H. macrophylla</i> 'Nikko Blue', 'Forever and Ever', <i>H. paniculata</i> 'Grandiflora', <i>H. arborescens</i> 'Annabelle', 'Arborescens', <i>H. quercifolia</i> 'Snow Queen'
Меморіальні та історичні парки	Солітери, пейзажні групи, міксбордери	<i>H. arborescens</i> 'Annabelle', <i>H. paniculata</i> 'Grandiflora', 'Limelight', 'Silver Dollar'

У таблиці 1 узагальнено основні напрями використання видів і сортів гортензій у різних типах ландшафтних просторів. Для кожної функціональної зони визначено найбільш доцільні елементи насаджень та рекомендований асортимент гортензій з урахуванням їх декоративних і біологічних особливостей. Представлені дані можуть бути використані як основа для обґрунтованого підбору рослин при проектуванні об'єктів ландшафтного дизайну різного функціонального призначення.

Висновки. У результаті дослідження встановлено, що види роду *Hydrangea* L. є перспективними для використання в умовах урбанізованих територій завдяки поєднанню високих декоративних якостей і екологічної пластичності. Визначено, що ключовими критеріями їх ефективного застосування в озелененні є морозостійкість, адаптивність до ґрунтово-кліматичних умов, тривалість цвітіння та декоративність суцвіть і листя. Обґрунтовано доцільність використання гортензій у складі рослинних композицій із видами рослин, які характеризуються подібними екологічними вимогами, що сприяє формуванню стійких і функціонально збалансованих ландшафтних насаджень. Визначено, що комплексне застосування гортензій у різних типах насаджень підвищує естетичну виразність міського середовища та забезпечує реалізацію принципів сталого розвитку урбанізованих територій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Коркуленко О. М. Види роду *Hydrangea* L. в озелененні міста Києва. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2008. № 18(12). С. 249–253.
2. Szewczyk-Taranek B., Cioc M.. Perennial and geophyte selections for therapeutic horticulture. In XIV International Symposium on Flower Bulbs and Herbaceous Perennials. 2024. № 1435. P. 285-296. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2025.1435.38>
3. Bugallo V., Facciuto G. Selection process in ornamental plant breeding. *Ornamental Horticulture*. 2023. № 29. P. 68-75. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v29i1.2617>

4. Francini A., Romano D., Toscano S., Ferrante A. The contribution of ornamental plants to urban ecosystem services. *Earth*. 2022. № 3(4). P. 1258-1274. <https://doi.org/10.3390/earth3040071>
5. Гончарова А. В., Музика Г. І., Гончар Н. О., Коджебаш А. П. Оптимізація дендрологічної структури ділянки «Японський сад» шляхом введення представників роду *Hydrangea* L. в парку «Фантазія» дендрологічного парку «Софіївка» НАН України. Матеріали міжнародної наукової конференції: *Глобальні наслідки інтродукції рослин в умовах кліматичних змін*. Київ: Ліра-К, 2021. С. 130–132.
6. Morimoto H., Harada S., Shukuya S., Yamamoto S., Handa T. Distribution, ecology, and adaptation to salinity stress of wild *Hydrangea macrophylla* endemic to Japan. *Plant Ecology*. 2024. № 225(8). С. 775-790. <https://doi.org/10.1007/s11258-024-01433-6>
7. Grossman J. J. Phenological physiology: seasonal patterns of plant stress tolerance in a changing climate. *New Phytologist*. 2023. № 237(5). С. 1508-1524. <https://doi.org/10.1111/nph.18617>Digital Object Identifier (DOI)
8. Oksantyuk V., Koldar L. Зимостійкість та морозостійкість представників роду *Cotinus* Mill. в умовах Правобережного Лісостепу України. *Journal of Native and Alien Plant Studies*. 2021. № 17. С. 164-175. <https://doi.org/10.37555/2707-3114.17.2021.248351>
9. Matusiak M. V. Bioecological features of growing the species and cultivars of the genus *Hydrangea* L. in Vinnytsia area conditions. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 20. С. 127-138. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-10>
10. Brickell C. *Encyclopedia of Plants and Flowers*. London: Dorling Kindersley, 2019. 745 p.
11. Мосула Л., Мосула В. Пошук перспективних рослин серед представників роду *Hydrangea* L. (огляд літератури). *Фітотерапія. Часопис*, 2023. № 3. С. 113–118. <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2023-3-113>
12. Lindstrom J. T., Pelto M. C., Dirr M. A. Molecular assessment of remontant (reblooming) *Hydrangea macrophylla* cultivars. *Journal of Environmental Horticulture*. 2003. № 21(2). P. 57-60. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-21.2.57>
13. Hoadley S. The Wild *Hydrangeas* of Mt. Cuba Center. *Arnoldia*. 2022. № 79(3). P. 20-31.
14. Huang X., Lyu T., Li Z., Lyu Y. *Hydrangea arborescens* ‘Annabelle’ flower formation and flowering in the current year. *Plants*. 2023. № 12(24). P. 4103. <https://doi.org/10.3390/plants12244103>
15. Liu Z. H., Song B., Fu Y. P., Li Y. First report of *Alternaria alternata* causing brown leaf spot disease on Panicle hydrangea (*Hydrangea paniculata*) in China. *Plant Disease*. 2017. № 101(12). P. 2147. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-17-0350-PDN>
16. Осіпов М. Ю., Поліщук В. В. Оцінювання адаптивної здатності видів роду *Hydrangea* L. в умовах Правобережного Лісостепу України. *Український журнал природничих наук*. 2026. № 16. С. 264-271. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.16.2026.23>
17. Cai S., Lin X., Zhou W., Xu S., Huang S. Response and evaluation of polyploidy induction on morphology, physiology and drought tolerance of *Hydrangea paniculata* ‘Pink Diamond’. *Euphytica*. 2025. № 221. P. 190 <https://doi.org/10.1007/s10681-025-03623-3>
18. Гончарова А. В. Декоративні властивості представників роду *Hydrangea* L. у Правобережному Лісостепу України. *Автохтонні та інтродуковані рослини*. № 14. 2018. С. 23–27. <https://doi.org/10.37555/14.2018.173270>
19. Li Q., Ou X., Cai S., Guo L., Zhou X., Gong X., Tang, H. A Study on the Restorative Effects of *Hydrangea* Flower Color and Structure on Human Psychology and Physiology. *Horticulturae*. 2025. № 12(1). P. 34. <https://doi.org/10.3390/horticulturae12010034>
20. Dordevic K., Skokajic D., Nesic M., Bjedov I., Dunisijevic B. D., Maksimovic F. Perspectives of environmental protection in nursery production through the use of environmentally acceptable substrates. *Planska i normativna zastita prostora*

i zivotne sredine-Zbornik radova mladih istrazivaca, (Radovi). 2025. P. 111-118. <https://doi.org/10.5937/PNZPZS2502111S>

21. Wang Q., Lyu T., Lyu Y. Exploring the molecular mechanism of sepal formation in the decorative flowers of hydrangea macrophylla 'endless summer' based on the ABCDE model. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. № 23(22). P. 14112. <https://doi.org/10.3390/ijms232214112>

22. Chen T. Y., Chen C. M. Early-flowering Interspecific Hydrangea Progenies from Crossing *H. chinensis* with *H. macrophylla*. *HortScience*. 2022. № 57(11). P. 1487-1489. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16840-22>

23. Stallknecht E. J., Pounders K. Effects of Colored Shade Materials on the Shoot Growth and Morphology of Hydrangea macrophylla in Virginia. *Hort. Technology*. 2026. № 36(2). P. 167-173. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH05811-25>

24. Sherwood A., Clark M. D., Hokanson S. C. Oakleaf Hydrangea (*Hydrangea quercifolia* Bartr.) Horticulture, Genetics, Breeding, and Conservation. *Horticultural Reviews*. 2022. № 49. P. 1-33. <https://doi.org/10.1002/9781119851981.ch1>

25. Sherwood A., Alexander L. W., Clark M. D., McNamara S., Hokanson S. C. Horticultural characterization of wild Hydrangea quercifolia seedlings collected throughout the species native range. *HortScience*. 2021. № 56(9). P. 1023-1033. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15889-21>

26. Edeigba B. A., Ashinze U. K., Umoh A. A., Bui P. W., Daraojimba A. I., Edeigba B. A., Daraojimba A. I. Urban green spaces and their impact on environmental health: A Global Review. *World J. Adv. Res. Rev.* 2024. № 21(2). P. 917-927. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.2.0518>

27. Pamukcu-Albers P., Ugolini F., La Rosa D., Gradinaru S. R., Azevedo J. C., Wu J. Building green infrastructure to enhance urban resilience to climate change and pandemics. *Landscape ecology*. 2021. № 36(3). P. 665-673. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01212-y>

28. Шокало Н. С., Нагорна С. В., Гапон С. В., Галицька М. А., Диченко О. Ю. Ландшафтний дизайн і селекція рослин: синергія для створення сучасних зелених просторів у садово-парковому господарстві. *З Екологічних наук*. 2026. № 1(64) С. 216-220. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.1-64.30>

29. Ландшафтний фітодизайн з основами біотехнології: підручник. Ч. 1 / А. М. Кабар та ін. Дніпро: ЛІРА, 2021. 196 с.

30. Шушмик М. І., Попіль Н. І. Стратегія добору рослин в умовах урбанізованих екосистем мегаполісу. *Екологічні науки*. 2024. № 3(54). С. 178-187. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.3-54.24>

31. Liu D. Application of modern urban landscape design based on machine learning model to generate plant landscaping. *Scientific Programming*. 2022. № 1. P. 1610427. <https://doi.org/10.1155/2022/1610427>

32. Wang Y., Liang Z., Liu C., Fan Y., Yuan S. Effects of Aluminum Concentration and Application Period on Sepal Bluing and Growth of Hydrangea macrophylla. *Horticulturae*. 2025. № 11(12). P. 1490. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11121490>

33. Emelyanova O., Masalova L., Firsov A. Comprehensive assessment of the degree of landscape compositions' ornamentality. In *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 254. P. 06003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125406003>

34. Moll M. D., Vieregge A. S., Wiesbaum C., Blings M., Vana F., Hillebrand S., Pude R. Dihydroisocoumarin content and phenotyping of Hydrangea macrophylla subsp. serrata cultivars under different shading regimes. *Agronomy*. 2021. № 11(9). P. 1743. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091743>

Дата першого надходження статті до видання: 25.06.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 712.3/.4:635.923(477.4)

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.40>

БІОМОРФОЛОГІЧНА СТРУКТУРА ТА ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ АСОРТИМЕНТУ РОСЛИН КАМ'ЯНИХ САДІВ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Пушка І.М. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри садово-паркового господарства,

Уманський національний університет

orcid.org/0000-0002-3906-4138

Козаченко І.В. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри садово-паркового господарства,

Уманський національний університет

orcid.org/0000-0002-2609-4987

Статтю присвячено комплексному системному ландшафтному та еколого-біологічному аналізу архітекτονіки штучних кам'янистих садів у структурі міських насаджень Правобережного Лісостепу України на прикладі урбанізованих екосистем міст Черкаси, Умань та Сміла за умов глобальних кліматичних змін, прогресуючої аридизації та стрімкої урбанізації. Авторами проведено поглиблений аут- і синекологічний аналіз фітокомпонентів кам'янистих садів із верифікацією таксономічного, біоморфологічного та соціологічного статусів дендрофлори й трав'янистих багаторічників. За результатами проведеної у період 2023–2025 рр. ландшафтної інвентаризації виявлено та детально проаналізовано 85 модельних об'єктів штучних кам'янистих садів загальною площею 2498 м². Встановлено нерівномірну територіальну дистрибуцію: майже половина об'єктів (49,4%) зосереджена в обласному центрі (м. Черкаси), що пояснюється вищим рівнем інвестиційної привабливості комерційного та громадського секторів. У результаті флористичного обліку на модельних об'єктах ідентифіковано 236 таксонів рослин, які належать до 98 родів та 48 родин, з яких 148 видів представлені відділом Magnoliophyta та 88 декоративних культиварів – відділом Pinophyta. Класифікація життєвих форм рослин за К. Раункієм засвідчила домінування хамефітів (42,4%) та гемікриптофітів (31,8%), що доводить високу адаптаційну здатність сформованих фітоценозів до лімітуючих чинників і тривалих літніх посух Правобережного Лісостепу. Визначено чотири провідні родини-домінанти, які формують таксономічне ядро композицій: Crassulaceae (16,1%), Cupressaceae (15,3%), Lamiaceae (11,9%) та Pinaceae (11,4%), що сумарно становить 54,7% усього таксономічного різноманіття. Соціологічний аналіз виявив наявність у складі фітокомпонентів раритетних видів, занесених до Червоної книги України (*Semperivivum tarmoreum* Griseb., *Pulsatilla patens* (L.) Mill. та *Crocus heuffelianus* Herb.). Обґрунтовано перспективи використання штучних кам'янистих садів як резервних мікроосередків для екситу збереження степової та петрофільної флори, а також як інструментів оптимізації міського мікроклімату та впровадження світових концепцій стійкого урбодизайну.

Ключові слова: кам'яні сади, рокарій, біоморфологічна структура, хамефіти, еколого-біологічне обґрунтування, кліматична аридизація, Лісостеп.

Pushka I.M., Kozachenko I.V. Biomorphological structure and ecological-biological substantiation of the plant assortment of rock gardens in Cherkasy region

The article is devoted to a comprehensive systematic landscape, ecological, and biological analysis of the architectonics of artificial rock gardens within the structure of urban plantations in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine, using the example of urbanized ecosystems of Cherkasy, Uman, and Smila under conditions of global climate change, progressive aridization, and rapid urbanization. The authors carried out an in-depth autecological and synecological analysis of



© Пушка І.М., Козаченко І.В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

*the phytocomponents of rock gardens, alongside the verification of taxonomic, biomorphological, and zoological statuses of dendroflora and herbaceous perennials. According to the results of the landscape inventory conducted during the period of 2023–2025, 85 model objects of artificial rock gardens with a total area of 2498 m² were identified and thoroughly analyzed. An uneven spatial distribution was established: almost half of the objects (49.4%) are concentrated in the regional center (Cherkasy city), which is explained by a higher level of investment attractiveness of commercial and public sectors. As a result of the floristic inventory on the model objects, 236 plant taxa belonging to 98 genera and 48 families were identified, of which 148 species are represented by the Magnoliophyta division and 88 decorative cultivars belong to the Pinophyta division. The classification of plant life forms according to C. Raunkiaer demonstrated the dominance of chamaephytes (42.4%) and hemipterophytes (31.8%), which proves the high adaptive capacity of the formed phytocoenoses to the limiting factors and prolonged summer droughts of the Right-Bank Forest-Steppe region. Four leading dominant families forming the taxonomic core of the compositions were identified: Crassulaceae (16.1%), Cupressaceae (15.3%), Lamiaceae (11.9%), and Pinaceae (11.4%), which collectively account for 54.7% of the total taxonomic diversity. Zoological analysis revealed the presence of rare species included in the Red Data Book of Ukraine (*Sempervivum marmoreum* Griseb., *Pulsatilla patens* (L.) Mill., and *Crocus heuffelianus* Herb.) within the phytocomponents. The prospects of using artificial rock gardens as backup micro-centers for the ex situ conservation of steppe and petrophilic flora, as well as tools for optimizing the urban microclimate and implementing global concepts of sustainable urban design, have been substantiated.*

Key words: rock gardens, rockery, biomorphological structure, chamaephytes, ecological-biological substantiation, climate aridization, Forest-Steppe.

Актуальність теми дослідження. Сучасний етап розвитку урбанізованого середовища вимагає впровадження ландшафтно-архітектурних рішень, що орієнтовані на екологічну стійкість, високу тривалість експлуатації та мінімізацію витрат на утримання. В умовах глобальних кліматичних змін та стрімкої урбанізації першочергового значення набувають елементи благоустрою, здатні ефективно функціонувати за дефіциту водних ресурсів та на територіях зі складним геоморфологічним рельєфом [1, 2].

Одним із найбільш прогресивних, раціональних та художньо виразних прийомів є створення штучних кам'янистих садів – рокаріїв та альпінаріїв. Поєднуючи інертні матеріали з різноплановою за еколого-біологічними параметрами флорою, рокарії дозволяють зосередити значне сортове й видову різноманітність на обмежених за площею міських локаціях. Вони забезпечують безперервну декоративність протягом вегетаційного періоду, запобігають ерозії ґрунтів на схилах та виступають головними композиційними акцентами сучасних об'єктів ландшафтно-архітектури. Оптимізація та наукове обґрунтування принципів формування таких садів безпосередньо пов'язані з державними завданнями щодо санації середовища та розширення асортименту стійкої міської дендрофлори [2, 3].

Аналіз сучасних досліджень та публікацій. Розвиток сучасної ландшафтно-архітектури та садово-паркового господарства в умовах глобальної кліматичної нестабільності характеризується переосмисленням ролі та функціонального навантаження штучних кам'янистих садів (рокаріїв, альпінаріїв, гравійних садів) [1]. Якщо наприкінці ХХ ст. такі об'єкти розглядалися переважно як колекційні або виключно акцентні декоративні елементи, то у сучасній вітчизняній та світовій практиці їх дедалі частіше інтерпретують як складні біоінженерні системи, що забезпечують високий рівень адаптації міського середовища до дефіциту зволоження [3–5].

Теоретичні й емпіричні основи проектування та функціонування скельних садово-паркових утворень в Україні ґрунтуються на фундаментальних дослідженнях структури їхньої флори [6]. Проблематику оптимізації таксономічного складу та оцінювання життєвого стану дендрофлори в урбанізованому просторі

грунтовно висвітлювали С.Б. Ковалевський та співавтори, які довели доцільність розширення асортименту хвойних культиварів для забезпечення цілорічної декоративності [3]. Водночас специфіка екологічної стійкості рослинних угруповань в умовах наростаючої аридизації та температурних аномалій Лісостепової зони вимагає нових методологічних підходів. Дослідники акцентують увагу на необхідності жорсткого добору сукулентних та ксерофітних трав'янистих багаторічників для формування сталих фітоценозів, що здатні протистояти деградації за умов мінімального антропогенного догляду [7].

У зарубіжній науковій спільноті домінує концепція сталого урболандшафтного дизайну, орієнтованого на кліматичну стійкість (*climate-resilient design*) та раціональне управління водними ресурсами [8]. Актуальними є питання геометричного планування рельєфу та дренажних систем кам'янистих садів для запобігання застою вологи та визначення інших лімітуючих чинників [4, 5, 7].

Сучасні тенденції, що відображені в оглядах світових практик ландшафтно-їндустриї, вказують на зростання попиту на багатофункціональні й біофільні простори, які нівелюють ефект «міського острова тепла». У контексті адаптації міст до екстремальних хвиль посухи J. Galan, D. Torreggiani, B. Pedrolі пропонують ширше впроваджувати елементи гравійних та кам'янистих садів середземноморського типу, інтегруючи до них посухостійкі злаки та ксерофіти (зокрема роди *Lavandula*, *Rosmarinus*, *Sedum*) [7]. Такий підхід забезпечує не лише мінімізацію витрат на іригацію, а й стимулює відновлення локального біорізноманіття.

Екологічна трансформація міського середовища також розглядається через призму концепції «губчастих міст» (*sponge cities*) та створення стійких дренажних систем. Z. Mohammed Abdulrazzaq, Sh. Ahmed, M. Moubarak, O.F. Abdullah у своїх роботах обґрунтували, що правильне поєднання кам'янистого інертного матеріалу з проникними ґрунтовими субстратами та сукулентною рослинністю дозволяє рокаріям виконувати роль локальних буферів зливових вод, суттєво знижуючи поверхневий стік під час раптових літніх опадів [5]. Системний аналіз просторового розподілу міських зелених насаджень підтверджує, що мікромасштабні кам'янисті структури володіють високим потенціалом терморегуляції приземного шару повітря завдяки високій теплоємності природного каменю [7, 8].

Узагальнення вітчизняного та світового досвіду свідчить, що більшість публікацій фокусується або на суто флористичному аналізі колекцій великих ботанічних садів, або на глобальних інженерних рішеннях для мегаполісів. Проте стилістична диференціація, естетичний потенціал та закономірності просторово-хроматичного моделювання кам'яних садів в умовах урбосередовища середніх міст України (зокрема Правобережного Лісостепу) за умов інтенсивної кліматичної аридизації залишаються фрагментарно вивченими й потребують детального наукового обґрунтування.

Постановка завдання. Метою дослідження є системний ландшафтний та еколого-біологічний аналіз архітекtonіки штучних кам'янистих садів у структурі міських насаджень Правобережного Лісостепу України (на прикладі урбанізованих екосистем міст Умань, Черкаси, Сміла) з подальшим обґрунтуванням теоретико-методологічних засад і розробленням практичних рекомендацій щодо їх просторово-хроматичного моделювання в умовах прогресуючої кліматичної аридизації.

Для реалізації мети було передбачено: здійснити комплексну експедиційно-маршрутну інвентаризацію наявного фонду об'єктів ландшафтно-ї архітектури (рокаріїв, альпінаріїв, гравійних садів) у межах дослідних міських арен, зафіксувавши їх геометричні, геоморфологічні та локаційні параметри; провести

поглиблений аут- і синекологічний аналіз фітокомпонентів кам'янистих садів із верифікацією таксономічного, біоморфологічного та соціологічного статусів дендрофлори й трав'янистих багаторічників.

Об'єктом дослідження є штучні кам'янисті сади (рокарії) як складові елементи архітектурно-ландшафтної організації середовища різного функціонального призначення в урбосистемах Правобережного Лісостепу України (зокрема в містах Черкаси, Умань та Сміла).

Предметом дослідження виступають таксономічна структура, еколого-біологічні властивості, естетико-архітектонічний потенціал, та закономірності просторово-хроматичної організації фітокомпонентів, що інтегровані в структуру штучних кам'янистих садів.

Методика досліджень. Комплексне вивчення штучних кам'янистих садів у межах міських екосистем Правобережного Лісостепу України базувалося на інтеграції класичних маршрутно-експедиційних та сучасних цифрових методів ландшафтно-таксації. Повний цикл натурних обстежень охоплював триетапну схему:

Польова інвентаризація та картографування – здійснювалися за загальними методичними підходами В.П. Кучерявого [9] та Н.О. Олексійченко [10] шляхом суцільного обліку об'єктів у містах Умань, Черкаси та Сміла з фіксацією площ, геоморфологічних характеристик та експозиції схилів.

Таксономічний та біоморфологічний аналіз – ідентифікація видового складу рослинних компонентів проводилася з верифікацією за міжнародною базою *Plants of the World Online (POWO)*. Аналіз життєвих форм рослин виконувався за класичною системою К. Раункієра (С. Raunkiaer) [11] у модифікації Кузнецова С.І., Ю.О. Клименка та ін. [12].

Результати досліджень. За результатами проведеної у період 2023–2025 рр. ландшафтно-інвентаризації в межах трьох дослідних міст було виявлено та детально проаналізовано 85 модельних об'єктів штучних кам'янистих садів загальною площею 2498 м² (табл. 1). Майже половина досліджуваних об'єктів (49,4%) зосереджена в обласному центрі (м. Черкаси), де зафіксовано також найбільшу загальну (1428 м²) та середню (34,0 м²) площу рокаріїв. Це пояснюється вищим рівнем інвестиційної привабливості об'єктів комерційного та громадського призначення, а також розвиненою мережею сучасних рекреаційних локацій (табл. 1). Найменші показники зафіксовано у м. Сміла (питома вага 17,7%, середня площа – 19,0 м²), де створення кам'янистих садів має переважно спорадичний та аматорський характер у секторі приватної забудови.

Таблиця 1

**Просторово-територіальний розподіл штучних кам'янистих садів
у межах дослідних міст**

Місто	Кількість виявлених об'єктів, шт.	Питома вага об'єктів від загальної кількості, %	Загальна площа об'єктів, м ²	Середня площа одного об'єкта, м ²
Черкаси	42	49,4	1428	34,0
Умань	28	32,9	785	28,0
Сміла	15	17,7	285	19,0
Разом	85	100,0	2498	29,4

У результаті флористичного обліку на модельних об'єктах ідентифіковано 236 таксонів рослин, які належать до 98 родів та 48 родин. Структура

фітокомпонентів представлена двома відділами: *Magnoliophyta* – 148 видів та *Pinophyta* – 88 декоративних культиварів. На основі кліматичних викликів регіону (аридизація, тривалі літні посухи) було проведено класифікацію життєвих форм рослин за К. Раункієром [11] (рис. 1). Аналіз біоморфологічного спектра доводить раціональність підбору наявного асортименту. Домінування хамефітів (42,4%) та гемікриптофітів (31,8%) свідчить про високу адаптаційну здатність сформованих фітоценозів до лімітуючих чинників Правобережного Лісостепу. Низькорослі сукуленти, подушковидні багаторічники та сланкі форми хвойних мінімізують транспірацію, ефективно затримують мікродисперсну вологу в міжпідстилковому просторі та демонструють високу тривалість перманентної декоративності.

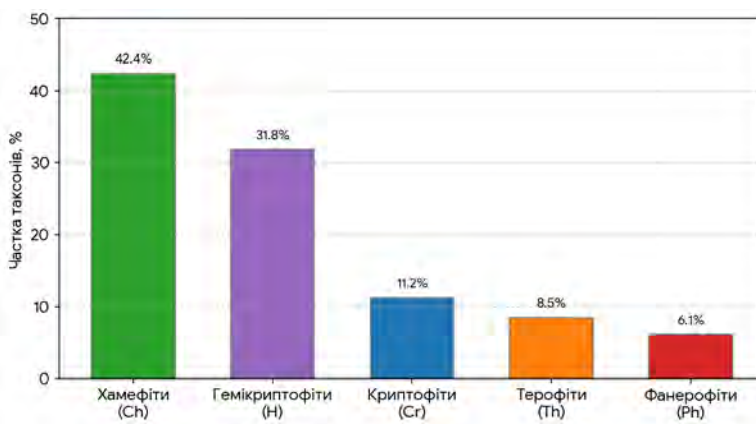


Рис. 1. Біоморфологічний спектр штучних досліджуваних об'єктів за системою К. Раункієра

У межах біоморфологічного аналізу було проведено детальніше внутрішньогрупову диференціацію домінуючих екоморф. Встановлено, що група хамефітів (42,4%) неоднорідна і чітко диференціюється на дві субгрупи: хамефіти сукулентні (24,6%) – представлені видами *Sedum acre* L., *S. Album* L., *S. spurium* M.Bieb., які розповсюджені в найбільш посушливих зонах (вершини та південні схили гірок); хамефіти кущові (17,8%) – представлені вічнозеленими або напіввічнозеленими рослинами (*Thymus serpyllum* L., *Lavandula angustifolia* Mill., *Iberis sempervirens* L., *Cotoneaster horizontalis* Decne).

Серед гемікриптофітів (31,8%) домінують розеткові та подушковидні багаторічники (*Saxifraga x arendsii* Engl., *Armeria maritima* (Mill.) Willd., *Phlox subulata* L., *Festuca glauca* Vill.), які адаптовані до зростання в умовах обмеженого об'єму кореневого субстрату між каменями.

Созологічний аналіз виявив наявність у складі фітокомпонентів рокаріїв (переважно на базі науково-демонстраційних об'єктів м. Умань) раритетних видів, занесених до Червоної книги України, зокрема *Sempervivum marmoreum* Griseb., *Pulsatilla patens* (L.) Mill. та *Crocus heuffelianus* Herb. Їх успішна інтеграція в умови мікроурболандшафтів підтверджує можливість використання штучних кам'янистих садів як резервних мікроосередків для *ex situ* збереження степової та петрофільної флори.

Детальний систематичний аналіз виявленого флористичного комплексу (236 таксонів, що охоплюють 148 видів та 88 сортових культиварів) дозволив

встановити чітку структуру на рівні родин та родів. Весь ідентифікований асортимент розподілений між 48 родинами та 98 родами (табл. 2).

Таблиця 2

**Систематична структура та представництво провідних родин
у фітокомпонентах рокаріїв**

№ з/п	Родина	Кількість родів, шт.	Кількість видів, шт.	Кількість сортів, шт.	Загальна кількість таксонів, шт.	Частка від загального складу флори, %
1	Crassulaceae	4	26	12	38	16,1
2	Cupressaceae	5	8	28	36	15,3
3	Lamiaceae	8	18	10	28	11,9
4	Pinaceae	3	5	22	27	11,4
5	Asteraceae	12	16	4	20	8,5
6	Caryophyllaceae	6	12	2	14	5,9
7	Rosaceae	5	8	4	12	5,1
8	Росаеae	7	9	2	11	4,7
9	Інші (40 родин)	48	46	4	50	21,1
Усього		98	148	88	236	100,0

Домінантами штучних скельних ландшафтів є чотири родини: *Crassulaceae* (16,1%), *Cupressaceae* (15,3%), *Lamiaceae* (11,9%) та *Pinaceae* (11,4%), що становить 54,7% усього таксономічного різноманіття. Така структура є результатом цілеспрямованого антропогенного відбору та кліматично оптимізованого асортименту. Представники родини *Crassulaceae* (переважно роди *Sedum* L., *Sempervivum* L., *Phedimus* Raf.) які відносяться до групи ґрунтопокривних рослин завдяки сукулентному типу метаболізму (СAM-фотосинтез) витримують екстремально високі температури кам'янистих субстратів. Значна кількість представників родин *Cupressaceae* та *Pinaceae* зумовлена виключно сортовим різноманіттям (загалом 50 культиварів). Натурні обстеження в Умані та Черкасах підтвердили домінування карликових та розлогих форм нівальних і скельних екотипів, зокрема: *Juniperus sabina* 'Tamariscifolia', *J. horizontalis* 'Andorra Compact', *J. communis* 'Repanda', *Chamaecyparis pisifera* 'Filifera Nana', *Pinus mugo* 'Mughus' та 'Gnom', *Picea abies* 'Little Gem', *P. glauca* 'Conica'. Ці хвойні інтродуценти формують жорсткий архітектурний каркас рокаріїв, що підтримує стабільну геометрію та колорит композицій у зимовий та ранньовесняний періоди.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Натурне обстеження 85 кам'янистих садів у містах Черкаської області виявило нерівномірну дистрибуцію з концентрацією 49,4% об'єктів у Черкасах, де домінують ксерофітні композиції. Систематичний аналіз флори рокаріїв засвідчив високе таксономічне різноманіття (236 таксонів), екоморфична структура якого з переважанням хамефітів (42,4%) свідчить про адаптацію до аридизації Правобережного Лісостепу. Оцінка архітектонічної якості встановила домінування середнього класу декоративності, при цьому ключовими деструктивними чинниками визначено фітоценотичний дисбаланс та сегетальну експансію.

Перспективи подальших наукових пошуків у цьому напрямі полягають у розгортанні системного довгострокового моніторингу за фітосанітарним станом, біометричними параметрами та метеорологічною стійкістю насаджень штучних кам'янистих садів для верифікації їхньої життєздатності в умовах кліматичної

аридизації регіону. Не менш важливим вектором є науково обґрунтоване формування високої стилістичної культури проектування кам'яних садів в архітектурно-ландшафтному просторі міст, що дозволить гармонійно поєднувати автентичні геоморфологічні особливості місцевих ландшафтів із передовими світовими концепціями стійкого урбодизайну.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Кузнецов С. І., Татарчук Р. Я., Татарчук В. М. Диференційований підхід до використання кам'янистих садів у різних категоріях міських зелених насаджень та на наддніпрянських схилах міста Києва. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2020, т. 30, № 1. С. 14–18. <https://doi.org/10.36930/40300102>
2. Левусь Т. М., Дудин Р. Б. Скельні сади Заходу України : монографія. Львів: видавництво «Новий Світ – 2000», 2020. 192 с.
3. Кам'яністі сади м. Києва: сучасний стан, флористичний склад та перспективи створення : монографія / С. Б. Ковалевський та ін. Київ : ФОП Ямчинський О. В., 2020. 266 с.
4. Mitra A. Rock Gardens-Planning and Visual Perception in Rock Garden Designing : Technical Report № VII/2018. University of Calcutta. 2018. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35030.29761>.
5. Rock gardens planning and designing-theory and application / Z. M. Abdulrazzaq et al. *Indian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 47, № 12. P. 85–91. URL: https://www.researchgate.net/publication/344513182_Rock_Gardens_Planning_and_Designing-Theory_and_Application (дата звернення: 09.07.2026).
6. Кучерявий В. П., Левусь Т. М. Еколого-біологічні проблеми рослинного покриву скельних гірок. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2003. Вип. 13.5. С. 66–68. URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2003/13_5/66_Kuczeriawyj_13_5.pdf (дата звернення: 09.07.2026).
7. Landscape adaptation to climate change: Local networks, social learning and co-creation processes for adaptive planning / J. Galan, D. et al. *Global Environmental Change*. 2023. Vol. 78. Art. 102627. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102627>
8. Міське озеленення в контексті міжнародних екологічних стандартів / О. В. Василенко та ін. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2026. Вип. 147, ч. 1. С. 374–380. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.147.1.44>.
9. Кучерявий В. П. Садово-паркове господарство : підручник. Львів : Світ, 1999. 448 с.
10. Олексійченко Н. О., Мавко М. С. Формування та оцінювання колориту паркових ландшафтів міста Києва. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 25.13. С. 49–54. <https://doi.org/10.15421/411505>
11. Raunkiaer C. *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography*. Oxford: Clarendon Press, 1934. 632 p. URL: <https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.84741>. (дата звернення: 09.07.2026).
12. Кузнецов С. І., Клименко Ю. О., Барановська В. О. Методичні вказівки з інвентаризації, моніторингу та формування стійких насаджень на ландшафтно-архітектурних об'єктах. Київ : НАУ, 2005. 64 с.

Дата першого надходження статті до видання: 10.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

УДК 630*5(477-13)

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.41>

ВІДПОВІДНІСТЬ ПРОДУКТИВНОСТІ МОДАЛЬНИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ПОКАЗНИКАМ ЕТАЛОННИХ ЛІСІВ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ

Сірук Ю.В. – к.с.-г.н., доцент,

завідувач кафедри лісового та садово-паркового господарства,

Поліський національний університет

orcid.org/0000-0002-4077-7485

Сірук І.М. – д.філос. з екології,

старший викладач кафедри лісового та садово-паркового господарства,

Поліський національний університет

orcid.org/0000-0001-9914-8109

Дослідження присвячене оцінюванню відповідності продуктивності модальних деревостанів Українського Полісся показникам еталонних лісів за середнім запасом деревини на 1 га. Актуальність теми зумовлена тим, що фактичний стан лісового фонду регіону сформувався під впливом природного лісовідновлення, штучного лісорозведення, вторинних сукцесій, рубок догляду, санітарних рубок та інших лісogосподарських заходів. Унаслідок цього продуктивність модальних насаджень не завжди відповідає потенційним можливостям типів лісорослинних умов, а регіональні дані щодо еталонних деревостанів Українського Полісся залишаються здебільшого недостовірними. Метою дослідження було встановити частку модальних деревостанів, які за середнім запасом деревини на одиницю площі відповідають або перевищують показники еталонних насаджень відповідного віку та типу лісорослинних умов. Матеріалами для аналізу слугувала база даних ВО «Укрдержліспроект» за 2017 рік, що охоплювала покриті лісом ділянки структурних підрозділів ДП «Ліси України» у межах Українського Полісся. Аналіз здійснювали з використанням ГІС «Лісовпорядник» у розрізі типів лісорослинних умов та класів віку. Результати дослідження засвідчили чітко виражену типологічну та вікову диференціацію відповідності модальних деревостанів еталонним показникам. Найвищі середні частки насаджень, які досягають еталонного рівня запасу, зафіксовано у сирих і вологих борах – відповідно 62,8 і 55,1 %. Досить високі значення також властиві мокрим і сирим суборам, де частка таких деревостанів становить 44,7 та 42,9 %. Натомість у більш потенційно сприятливих для накопичення деревного запасу сугрудах і грудах відповідність еталонним показникам є значно нижчою: у сугрудах середні значення коливаються від 5,1 до 13,8 %, а у грудах – до 19,5 %. Виявлено обернену залежність між потенційною продуктивністю типів лісорослинних умов і фактичною часткою модальних деревостанів, що досягають еталонного запасу. У молодих і середньовікових насадженнях відповідність еталонним показникам здебільшого є вищою, тоді як у старших вікових групах вона істотно знижується або повністю зникає. Отримані результати можуть бути використані для уточнення регіональних параметрів еталонних деревостанів, оцінювання рівня реалізації лісорослинного потенціалу та обґрунтування типологічно диференційованих лісogосподарських заходів у лісах Українського Полісся.

Ключові слова: тип лісорослинних умов, вік, матеріали лісовпорядкування, запас деревини на 1 га, природні деревостани, лісорослинний потенціал.

Siruk Yu.V., Siruk I.M. Correspondence of the Productivity of Modal Forest Stands to the Indicators of Reference Forests of Ukrainian Polissia

The study is devoted to assessing the correspondence of the productivity of modal forest stands of Ukrainian Polissia to the indicators of reference forests based on the average growing



© Сірук Ю.В., Сірук І.М., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

stock per 1 ha. The relevance of the topic is determined by the fact that the actual condition of the forest fund of the region has developed under the influence of natural regeneration, artificial afforestation, secondary successions, tending fellings, sanitary fellings, and other forestry measures. As a result, the productivity of modal stands does not always correspond to the potential capacity of forest site conditions, while regional data on reference stands of Ukrainian Polissia remain largely unreliable. The aim of the study was to determine the share of modal forest stands whose average growing stock per unit area corresponds to or exceeds the indicators of reference stands of the respective age and forest site condition type. The analysis was based on the 2017 database of the Ukrainian State Forest Management Planning Association "Ukrderzhlisproekt", which covered forest-covered areas of structural subdivisions of the State Enterprise "Forests of Ukraine" within Ukrainian Polissia. The analysis was carried out using the GIS "Lisovporyadnyk" by forest site condition types and age classes. The study results revealed a clearly expressed typological and age-related differentiation in the correspondence of modal stands to reference indicators. The highest average shares of stands reaching the reference growing stock level were recorded in wet and moist poor site conditions – 62.8% and 55.1%, respectively. Relatively high values were also characteristic of waterlogged and wet fairly poor site conditions, where the share of such stands was 44.7% and 42.9%, respectively. In contrast, in fairly fertile and fertile site conditions, which are potentially more favorable for growing stock accumulation, correspondence with reference indicators was significantly lower: in fairly fertile site conditions, average values ranged from 5.1% to 13.8%, while in fertile site conditions they reached up to 19.5%. An inverse relationship was identified between the potential productivity of forest site condition types and the actual share of modal stands reaching the reference growing stock. In young and middle-aged stands, correspondence with reference indicators was generally higher; whereas in older age groups it decreased substantially or disappeared completely. The obtained results can be used to refine regional parameters of reference stands, assess the level of forest site potential realization, and substantiate typologically differentiated forestry measures in the forests of Ukrainian Polissia.

Key words: forest site condition type, age, forest inventory materials, growing stock per 1 ha, natural forest stands, forest site potential.

Постановка проблеми. Проблема відповідності продуктивності модальних насаджень показникам еталонних деревостанів Українського Полісся полягає у тому, що традиційні нормативи оцінювання лісорослинного потенціалу переважно спираються на типологічні уявлення про корінні високопродуктивні деревостани, тоді як фактичний лісовий фонд регіону сформований під впливом штучного і природного лісовідновлення, штучного лісорозведення, вторинних сукцесій і тривалого лісогосподарського навантаження. Встановлено, що модальні деревостани України в середньому реалізують лише 50–75 % лісорослинного потенціалу, тому їх зіставлення з еталонними аналогами є необхідним для виявлення резервів підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісів [25]. Для Полісся ця проблема особливо актуальна, оскільки продуктивність соснових, дубових, березових і вільхових насаджень значною мірою визначається типом лісорослинних умов, походженням, повнотою, віковою структурою та відповідністю головної породи природному типу лісу [7, 19, 23]. Дослідження дібров Полісся засвідчують зниження їхньої стійкості й репродуктивної здатності, а для дубових насаджень Східного Полісся характерні дисбаланс вікової структури та дефіцит молодняків, що ускладнює прогноз майбутньої продуктивності [19, 23]. Водночас європейські дослідження доводять, що кліматичні зміни змінюють темпи росту деревостанів, а мішані насадження можуть краще реалізовувати продукційний потенціал завдяки комплементарному використанню ресурсів [4, 9]. Отже, оцінювання відповідності модальних насаджень еталонним показникам є не лише таксаційним порівнянням, а науковою основою для уточнення шкал природної продуктивності, типологічно диференційованого планування рубок догляду й відновних заходів, переходу від одновікових мономініантних деревостанів до стійкіших,

наближених до природних лісів, що відповідає практичним завданням сталого лісокористування, кліматичної адаптації та збереження лісорослинного потенціалу Українського Полісся [2, 17, 25].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні дослідження продуктивності деревостанів дедалі чіткіше зміщують акцент від узагальнених таблиць ходу росту до регіонально-типологічної оцінки, у якій одночасно враховують походження, склад, лісорослинні умови, вікову структуру та кліматичну чутливість насаджень. Для Українського Полісся найбільш безпосереднє значення мають праці, у яких на основі лісовпорядних і ГІС-даних порівняно продуктивність модальних, близьких до корінних і похідних деревостанів, а також уточнено структурні особливості лісового фонду регіону [11, 12]. Доповнюють цей напрям дослідження біопродуктивності соснових деревостанів Полісся, де показано залежність фітомаси, вуглецепоглинання та киснепродуктивності від типу лісорослинних умов, віку й морфометричних параметрів дерев [20, 21]. У суміжних природних зонах України сформовано методичну базу для моделювання модальних соснових насаджень: розроблено таблиці динаміки таксаційних показників, оцінено запаси фітомаси й вуглецю, а також обґрунтовано потребу регіоналізації моделей росту [5, 8, 14, 15, 22]. Закордонні публікації підтверджують необхідність локалізації моделей продуктивності: європейські моделі росту сосни мають регіонально протилежний характер, висотний ріст істотно залежить від природного району, посухи знижують функціонування соснових екосистем, а мішані й рівномірні за видовою участю деревостани часто демонструють вищу продуктивність та вуглецеву ефективність [3, 6, 10, 13, 16].

Постановка завдання. У зв'язку із відсутністю достовірних регіональних даних щодо еталонних насаджень в лісах Українського Полісся існує потреба у визначенні відповідності таксаційних показників, зокрема середнього запасу на одиницю площі, модальних та еталонних деревостанів. Для досягнення даної мети було передбачено виконати наступні завдання: визначити показники середніх запасів модальних деревостанів усіх представлених у регіоні типів лісорослинних умов у відповідному віці для порівняння із показниками еталонів; встановити орієнтовну чисельність насаджень, які за значеннями середнього запасу на 1 га відповідають або перевищують відповідні показники еталонних деревостанів.

Об'єкт дослідження – продуктивність модальних деревостанів Українського Полісся у порівнянні з показниками еталонних лісів відповідних типів лісорослинних умов та вікових груп. *Предмет дослідження* – відповідність середнього запасу деревини на 1 га модальних деревостанів Українського Полісся показникам еталонних лісів відповідного віку та типів лісорослинних умов.

Матеріалами для аналізу слугувала база даних Виробничого Об'єднання (ВО) «Укрдержліспроєкт» 2017 року. При проведенні аналізу були враховані генеральна сукупність покритих лісом ділянок структурних підрозділів Державного підприємства «Ліси України», які територіально відносяться до Українського Полісся згідно комплексного лісгосподарського районування [18], а саме частина території Волинської, Рівненської, Хмельницької, Житомирської, Київської, Чернігівської та Сумської областей. Запит та аналіз проводився із використанням ГІС «Лісовпорядник» [1]. На першому етапі для кожного типу лісорослинних умов шляхом фільтрування лісовпорядних даних визначалася загальна кількість модальних деревостанів у віці 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 і 120 років з метою можливості порівняння середнього запасу на 1 га із табличними значеннями еталонних насаджень такого ж віку. На другому етапі в розрізі кожного типу

лісорослинних умов було визначено відповідність показників середнього запасу на 1 га значенням еталонних деревостанів у віці від 10 до 120 років відповідно до матеріалів і методики УкрНДІЛГА [24]. Варіантом масиву даних є таксаційний виділ. Обсяги вибірки деревостанів у розрізі типів лісорослинних умов наступні: A_1 – 1,9 тис. виділів, A_2 – 10,8 тис., A_3 – 1,6 тис., A_4 – 0,9 тис., A_5 – 0,4 тис., B_1 – 0,2 тис., B_2 – 26,5 тис., B_3 – 33,0 тис., B_4 – 6,1 тис., B_5 – 1,0 тис., C_2 – 8,2 тис., C_3 – 8,8 тис., C_4 – 14,1 тис., C_5 – 0,8 тис., D_2 – 3,3 тис., D_3 – 2,5 тис., D_4 – 0,4 тис., D_5 – менше 0,1 тис.

Виклад основного матеріалу дослідження. У борах Українського Полісся частка кількості модальних деревостанів, які відповідають або перевищують показники запасу на 1 га еталонних деревостанів, істотно залежить від вологості трофотопу та віку насаджень. Найвищі середні значення встановлено у сирих борах – 62,8 %, де частка відповідних еталону деревостанів у більшості вікових груп перевищує 60 %, а максимум зафіксовано у 60-річному віці – 80,0 %. Високими показниками характеризуються також вологі бори, середнє значення яких становить 55,1 %, із найбільшою часткою у 10-річних насадженнях – 75,3 % та 60-річних – 70,4 %. У мокрих борах середній показник є дещо нижчим – 44,0 %, при цьому найвища відповідність еталонним запасам спостерігається у 10-річному віці – 66,7 %, а найнижча – у 70-річному – 29,6 %. Найменша частка модальних деревостанів, що досягають еталонних показників запасу, характерна для свіжих борів – у середньому лише 18,0 %, із критичним зниженням у старших вікових групах: 1,2 % у 90-річному віці та повна відсутність таких насаджень у 100-річному віці. Низькими показниками відзначаються і сухі бори, де середнє значення становить 23,1 %, а після 40 років частка відповідних еталону деревостанів переважно не перевищує 20 % (табл. 1).

Таблиця 1

Частка кількості модальних деревостанів у борах Українського Полісся, які відповідають показникам запасу на 1 га еталонним деревостанам, %

Вік, років	Типи лісорослинних умов				
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
10	46,0	26,8	75,3	47,4	66,7
20	55,3	27,9	61,9	64,2	50,0
30	35,1	27,2	57,9	74,0	40,0
40	15,3	12,6	57,1	62,7	65,4
50	12,7	28,5	64,4	70,7	40,6
60	19,0	27,1	70,4	80,0	32,8
70	15,2	18,7	64,1	75,2	29,6
80	12,0	10,2	57,3	76,3	52,4
90	10,9	1,2	25,4	44,8	32,6
100	10,0	0,0	17,2	32,4	30,3
Середнє	23,1	18,0	55,1	62,8	44,0

Загалом по приблизних підрахунках у борових умовах Українського Полісся наявні близько 40 тис. модальних деревостанів, які за показниками запасу деревини на 1 га відповідають чи перевищують еталони. З них в сухих борах – близько 4 тис., з яких 27 % – деревостани природного походження, у свіжих борах – 22 тис. (в т.ч. 25 % природних), у вологих борах – близько 10 тис. (43 % природних), у сирих борах – 6 тис. (92 % природних), у мокрих борах – 1 тис. (97 % природних).

Порівняно з борами, у суборах Українського Полісся простежується ще більша контрастність між окремими типами лісорослинних умов за часткою модальних деревостанів, запаси яких відповідають еталонному рівню. Найбільшу відповідність показникам еталонів демонструють модальні деревостани у мокрих суборах, де їх частка становить 44,7 %. Найвища частка таких насаджень відмічена у 10-річному віці – 69,0 %. Досить близькими до них є сирі субори із середнім показником 42,9 %, однак для цього типу характерна більш рівномірна вікова динаміка: у 20–80-річному віці частка насаджень, які відповідають за запасом на 1 га еталонним деревостанам здебільшого утримується в межах 40,4–52,3 %, а максимум зафіксовано у 60 років – 52,3 %. Сухі субори займають проміжне положення: середній показник відповідності еталонним деревостанам за запасом становить 30,0 %, проте вікова динаміка є нестабільною – від 58,8 % у 30-річних насадженнях до 9,1 % у 90-річних. Натомість у свіжих суборах відповідність еталонним запасам різко обмежена: середнє значення дорівнює лише 7,8 %, а після 70 років частка таких деревостанів знижується до 4,6 %, 1,7 %, 0,2 % і повністю зникає у 100-річному віці. У вологих суборах в середньому лише 3,6 % модальних деревостанів мають показники запасу на 1 га близькими до еталонних, а в 90–100-річному віці фактично відсутні деревостани, що досягають значень еталонного запасу на 1 га (табл. 2).

Таблиця 2

Частка кількості модальних деревостанів у суборах Українського Полісся, які відповідають показникам запасу на 1 га еталонним деревостанам, %

Вік, років	Типи лісорослинних умов				
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
10	42,1	17,5	8,6	46,7	69,0
20	35,3	9,3	5,9	40,4	54,3
30	58,8	10,2	5,4	44,1	42,9
40	18,2	11,1	1,7	43,9	46,3
50	46,0	13,0	4,9	50,6	48,6
60	18,6	10,9	6,6	52,3	36,7
70	35,2	4,6	2,0	49,7	40,8
80	16,7	1,7	1,1	45,7	49,4
90	9,1	0,2	0,1	35,1	32,2
100	20,0	0,0	0,0	20,0	26,8
Середнє	30,0	7,8	3,6	42,9	44,7

Загалом у суборах Українського Полісся знаходиться орієнтовно 69 тис. модальних деревостанів, запас деревини на 1 га яких відповідає еталонним показникам або перевищує їх. У сухих суборах таких насаджень налічується 0,8 тис., серед яких деревостани природного походження становлять 50 %. У свіжих суборах – приблизно 22 тис., з яких 25 % мають природне походження. У вологих суборах зафіксовано близько 14,6 тис. деревостанів відповідного рівня продуктивності, з яких частка природних насаджень тут становить 28 %. У сирих суборах таких деревостанів налічується близько 27 тис., і переважна більшість із них є природними – 60 %.

Найвищою часткою природного походження характеризуються мокрі субори, в яких із близько 4 тис. високопродуктивних модальних деревостанів, які відповідають за запасом еталонам, природні деревостани становлять 97 %.

У сугрудах Українського Полісся рівень відповідності модальних деревостанів еталонним показникам запасу на 1 га є помітно нижчим, ніж у борах і суборах, що свідчить про меншу реалізацію потенційної продуктивності в даному трофотопі. Найкраща ситуація простежується у вологих сугрудах, де середня частка таких насаджень становить 13,8 %. Саме тут у молодому віці фіксуються найвищі значення: 33,9 % у 10-річних деревостанах, тоді як у 20–60-річному віці показник утримується на рівні 16,1–18,9 %. Однак після 70 років частка модальних деревостанів, які за показниками середнього стовбурового запасу деревини відповідають еталонним, різко скорочується. У мокрих сугрудах в середньому лише 10,6 % модальних деревостанів відповідає за середнім запасом деревини еталонам. Найвища частка відмічена у 10-річних насаджень, серед яких 45,3 % досягають еталонного рівня. Надалі відбувається стрімке зниження – до 17,0 % у 20 років, 8,8 % у 30 років і майже повної втрати відповідності після 40 років. Сирі сугруди мають середній показник відповідності 7,5 %, причому високі значення характерні лише для 10-річних насаджень – 32,5 %, після чого значення швидко зменшуються до 1,6–3,6 %, а в старших вікових групах дані відсутні. Найнижчий середній рівень відповідності встановлено у свіжих сугрудах – 5,1 % із максимальними показниками відповідності у середньовікових насадженнях – 11,3–14,7 % (табл. 3).

Таблиця 3

Частка кількості модальних деревостанів у сугрудах Українського Полісся, які відповідають показникам запасу на 1 га еталонним деревостанам, %

Вік, років	Типи лісорослинних умов			
	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
10	1,4	33,9	32,5	45,3
20	3,0	16,9	12,2	17,0
30	4,7	18,9	3,6	8,8
40	9,4	16,1	1,6	0,8
50	14,7	18,2	1,7	1,7
60	11,3	18,3	0,4	0,0
70	4,2	8,8	0,7	0,7
80	1,9	6,3	-	-
90	0,6	0,5	-	-
100	0,0	0,0	-	-
Середнє	5,1	13,8	7,5	10,6

Примітки: «0,0» – відсутність модальних деревостанів, які відповідають показникам еталонів, «-» відсутність даних у таблицях показників еталонних деревостанів.

У сугрудових умовах Українського Полісся зростає близько 26 тис. модальних деревостанів, запас деревини яких у розрахунку на 1 га відповідає еталонним значенням. У свіжих сугрудах кількість модальних деревостанів, які за середнім запасом відповідають еталонам становить приблизно до 4 тис., серед яких природні насадження становлять лише 20 %. У вологих сугрудах зафіксовано близько 13 тис. таких деревостанів, а частка природного походження серед них складає 23 %. У сирих сугрудах близько 9 тис. модальних деревостанів мають близькі до

еталонних показники стовбурового запасу деревини на одиниці площі, з них 87 % природні лісостани. У мокрих сугрудах орієнтовно лише близько 0,5 тис. модальних деревостанів відповідають показникам еталонів, частка природних деревостанів серед них є найвищою – 89 %.

У грудях частка модальних деревостанів, які за середнім запасом на 1 га досягають рівня еталонних насаджень, загалом залишається невисокою і зменшується зі зростанням вологості умов. Найбільш виразно потенціал продуктивності реалізується у свіжих грудях, де кожне п'яте лісове насадження за запасом деревини відповідає еталонному. У цьому типі лісорослинних умов частка відповідних еталону деревостанів поступово зростає від 6,6 % у 10-річному віці до максимуму 48,4 % у 50 років, після чого спостерігається стаке зниження: у 90–110-річних насадженнях показник не перевищує 1,0–2,9 %, а в 120 років дорівнює нулю. Вологі груди мають нижчий середній показник – 13,8 %. Найбільша частка деревостанів, що відповідають еталонному запасу, тут зафіксована у 30-річному віці – 16,7 %, тоді як у старших вікових групах значення різко зменшуються, досягаючи нульового рівня у 90–110 років (табл. 4).

Таблиця 4

Частка кількості модальних деревостанів у грудях Українського Полісся, які відповідають показникам запасу на 1 га еталонним деревостанам, %

Вік, років	Типи лісорослинних умов			
	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅
10	6,6	4,5	4,0	0,0
20	18,5	11,8	2,6	0,0
30	28,7	16,7	15,2	0,0
40	46,4	13,7	8,2	0,0
50	48,4	13,7	1,6	0,0
60	29,1	10,5	1,6	0,0
70	30,6	3,2	0,0	0,0
80	18,8	1,7	-	-
90	2,7	0,0	-	-
100	1,0	0,0	-	-
110	2,9	0,0	-	-
120	0,0	6,9	-	-
Середнє	19,5	13,8	4,7	0,0

У сирих грудях відповідність еталонним запасам є слабо вираженою: середнє значення становить лише 4,7 %, а відносно помітна частка спостерігається тільки у 30-річному віці – 15,2 %. Після 50–60 років показник знижується до 1,6 %, а у 70-річних насадженнях відповідні еталону деревостани вже не фіксуються. Зовсім іншою є ситуація у мокрих грудях, де не відмічено жодного насадження, яке за показником середнього запасу деревини відповідає еталонному деревостану.

У грудях Українського Полісся знаходиться до 10 тис. модальних деревостанів, запас деревини яких у розрахунку на 1 га відповідає еталонним показникам. У свіжих грудях кількість таких насаджень становить приблизно 7,8 тис., з яких природного походження – близько 24 %. У вологих грудях зафіксовано близько 1,8 тис. модальних деревостанів відповідного рівня продуктивності, з яких природні насадження становлять 43 %. У сирих грудях лише близько 0,1 тис. деревостанів

мають показники стовбурового запасу, близькі до еталонних, з яких природні 47 %. У мокрих грудях модальних деревостанів, які б за показниками стовбурового запасу на 1 га відповідали еталонним деревостанам виявлено не було.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Аналіз відповідності середнього запасу на 1 га модальних і еталонних деревостанів Українського Полісся засвідчив обернену залежність між потенційною продуктивністю типів лісорослинних умов і фактичним рівнем використання лісорослинного потенціалу. У більш потенційно сприятливих для накопичення деревного запасу умовах, зокрема у свіжих та вологих суборах та сугрудах, частка насаджень, які за значеннями середнього запасу наближаються до еталонних деревостанів, є порівняно низькою. Натомість у менш родючих, більш сухих та перезволожених типах лісорослинних умов, зокрема у сухих, вологих і сирих борах, сухих, сирих та мокрих суборах, показники відповідності є значно вищими й досягають 43–63 %. Вікова динаміка також істотно впливає на відповідність запасів модальних деревостанів еталонним показникам. У більшості типів лісорослинних умов найвища частка таких насаджень припадає на молодий і середньовіковий періоди, тоді як у старших вікових групах вона помітно знижується або повністю зникає. Особливо виразно це простежується у свіжих і вологих суборах, сугрудах та грудях, де після 70–90 років частка деревостанів з еталонним рівнем запасу є мінімальною. Ймовірною причиною диференціації середніх запасів модальних та еталонних деревостанів, зокрема у оптимальних та близьких до оптимальних типах лісорослинних умов, є більша інтенсивність рубок формування і оздоровлення лісів, зокрема комерційних рубок догляду та санітарних вибірових рубок.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на уточнення регіональних параметрів еталонних деревостанів Українського Полісся з урахуванням породного складу, походження, повноти та вікової структури насаджень. Важливим напрямом є відбір та збереження ділянок із високою відповідністю еталонним показникам, а також з'ясування причин низької реалізації продуктивного потенціалу у оптимальних для зростання сосни звичайної, дуба звичайного та вільхи клейкої типах лісорослинних умов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Aleksiuk, I., Hrynyk, H., & Dyak, T. Application of the *Lisovporiadnyk* software for management of the forest fund of a forestry enterprise. In *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, Vol. 1080, pp. 864–880. DOI: 10.1007/978-3-030-33695-0_56
2. Bauhus J., Forrester D. I., Pretzsch H. Mixed-species forests: the development of a forest management paradigm. *Mixed-Species Forests: Ecology and Management* / eds. H. Pretzsch, D. I. Forrester, J. Bauhus. Berlin ; Heidelberg : Springer, 2017. P. 1–25. DOI: 10.1007/978-3-662-54553-9_1.
3. Dukat P., Ziemlińska K., Räsänen M., Vesala T., Olejnik J., Urbaniak M. Scots pine responses to drought investigated with eddy covariance and sap flow methods. *European Journal of Forest Research*. 2023. Vol. 142. P. 671–690. DOI: 10.1007/s10342-023-01549-w.
4. Forrester D. I., Bauhus J. A review of processes behind diversity–productivity relationships in forests. *Current Forestry Reports*. 2016. Vol. 2, No. 1. P. 45–61. DOI: 10.1007/s40725-016-0031-2.

5. Garmash A. V., Gordiyshenko A. Yu., Borysenko O. I., Pyvovar T. S. Scots pine stands in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry*. 2023. Vol. 65, No. 3. P. 153–165. DOI: 10.2478/ffp-2023-0015.
6. Hordijk I., Maynard D. S., Hart S. P. et al. Evenness mediates the global relationship between forest productivity and richness. *Journal of Ecology*. 2023. Vol. 111, No. 6. P. 1308–1326. DOI: 10.1111/1365-2745.14098.
7. Lovynska V., Terentiev A., Lakyda P., Sytnyk S., Bala O., Gritsan Yu. Comparison of Scots pine growth dynamics in Polissya and Steppe zone of Ukraine. *Journal of Forest Science*. 2021. Vol. 67, No. 11. P. 533–543. DOI: 10.17221/93/2021-JFS.
8. Pasternak V. P., Pyvovar T. S., Garmash A. V. Bioproductivity and carbon stock dynamics of modal pine stands in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*. 2025. Vol. 28. P. 149–156. DOI: 10.15421/412512.
9. Pretzsch H., Biber P., Schütze G., Uhl E., Rötzer T. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nature Communications*. 2014. Vol. 5. Article 4967. DOI: 10.1038/ncomms5967.
10. Pretzsch H., del Río M., Arcangeli C., Bielak K., Dudzinska M., Forrester D. I., Klädtke J., Kohnle U., Ledermann T., Matthews R., Nagel J., Nagel R., Ningre F., Nord-Larsen T., Biber P. Forest growth in Europe shows diverging large regional trends. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. Article 15373. DOI: 10.1038/s41598-023-41077-6.
11. Siruk Yu., Siruk I., Turko V. Productivity of modal forest stands in Ukrainian Polissia depending on the compliance of the main tree species with the native forest type. *Scientific Horizons*. 2025. Vol. 28, No. 10. P. 54–66. DOI: 10.48077/scihor10.2025.54.
12. Siruk Yu., Siruk I., Turko V., Diachuk P. Characteristics of the Forest Fund of Ukrainian Polissia. *Scientific Horizons*. 2025. Vol. 28, No. 9. P. 24–36. DOI: 10.48077/scihor9.2025.23.
13. Socha J., Tymińska-Czabańska L., Bronisz K., Zięba S., Hawryło P. Regional height growth models for Scots pine in Poland. *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. Article 10330. DOI: 10.1038/s41598-021-89826-9.
14. Terentiev A., Bala O., Lakyda P., Bondar H. Current state and productivity of Scots pine modal stands of the Forest Steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*. 2023. Vol. 14, No. 1. P. 105–123. DOI: 10.31548/forest/1.2023.105.
15. Tkach V., Rumiantsev M., Luk'yanets V., Kobets O., Obolonyk I., Tarnopilska O., Musienko S., Bondarenko V. State and productivity of mixed stands with silver birch and Scots pine in Ukrainian Polissya. *Journal of Forest Science*. 2022. Vol. 68, No. 12. P. 519–528. DOI: 10.17221/144/2022-JFS.
16. Warner E., Cook-Patton S. C., Lewis O. T., Brown N., Koricheva J., Eisenhauer N., Ferlian O., Gravel D., Hall J. S., Jactel H., Mayoral C., Meredieu C., Messier C., Paquette A., Parker W. C., Potvin C., Reich P. B., Hector A. Young mixed planted forests store more carbon than monocultures – a meta-analysis. *Frontiers in Forests and Global Change*. 2023. Vol. 6. Article 1226514. DOI: 10.3389/ffgc.2023.1226514.
17. Zhezhkun A. M., Kubrakov S., Porokhniach I., Kovalenko I., Melnyk T. Close-to-Nature Forestry Measures in East Polissia Region of Ukraine. *South-east European Forestry*. 2023. Vol. 14, No. 1. P. 15–26. DOI: 10.15177/see-for.23-04.
18. Генсірук С. А. Ліси України. Київ : Наукова думка, 1992. 408 с.

19. Лакида П. І., Бала О. П., Матушевич Л. М., Іванюк І. Д. Сучасний стан і продуктивність дібров Українського Полісся. Лісівництво і агролісомеліорація. 2016. Вип. 129. С. 32–40.

20. Мороз В. В., Криницький Г. Т. Біологічна продуктивність соснових деревостанів за типом лісорослинних умов зростання. Збалансоване природокористування. 2025. № 3. С. 97–108. DOI: 10.33730/2310-4678.3.2025.342536.

21. Мороз В. В., Тимошенко Л. М. Біологічна продуктивність та енергетичний потенціал соснових деревостанів Полісся. Агроекологічний журнал. 2025. № 1. С. 48–55. DOI: 10.33730/2077-4893.1.2025.327090.

22. Пастернак В. П., Пивовар Т. С., Гармаш А. В. Моделі динаміки показників модальних штучних соснових деревостанів Лівобережного Лісо-степу України. Лісівництво і агролісомеліорація. 2024. Вип. 144. С. 44–51. DOI: 10.33220/1026-3365.144.2024.44.

23. Румянцев М. Г. Функціональна й вікова структура дубових насаджень Східного Полісся та їхня продуктивність. Лісівництво і агролісомеліорація. 2020. Вип. 136. С. 25–36. DOI: 10.33220/1026-3365.136.2020.25.

24. Сірук Ю. В. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Регулювання продуктивності лісів» для студентів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 205 «Лісове господарство». Житомир : Поліський національний університет, 2021. 40 с.

25. Ткач В. П., Кобець О. В., Румянцев М. Г. Використання лісорослинного потенціалу лісами України. Лісівництво і агролісомеліорація. 2018. Вип. 132. С. 3–12. DOI: 10.33220/1026-3365.132.2018.3.

Дата першого надходження статті до видання: 13.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.08.2026

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

Алексєєвич Т.М.	3	Козаченко І.В.	355
Балабаш В.С.	11	Козечко В.І.	93
Баранік Д.А.	20	Коньшин Р.В.	315
Бердін С.І.	20	Кошицька Н.А.	246
Березенко К.С.	157	Кошкін Д.Л.	139
Біднина І.О.	199	Кравець І.С.	157
Бондарева О.Б.	35	Кравченко Ю.О.	132
Венгер О.В.	3	Крамаренко О.С.	218
Вербельчук С.П.	276	Крамаренко С.С.	218
Вигера С.М.	3	Куницька М.С.	331
Вінюков О.О.	35	Курлянова І.І.	190
Воленчук Є.В.	35	Лавриненко Ю.О.	70
Ворох В.В.	132	Ласло О.О.	125
Голосний Б.С.	218	Леньков Л.Г.	261
Гончаренко Є.В.	50	Лесик О.Б.	254
Гончарук В.В.	157	Лихач А.В.	231
Гораш В.О.	41	Лихач В.Я.	261
Гуцол Г.В.	339	Ляховська Н.О.	157
Григорів Я.Я.	190	Мандебура С.В.	157
Гусак В.В.	183	Марініч Л.Г.	125
Давидова І.В.	331	Марченко В.Д.	70
Дегтярьов Ю.В.	315	Марченко Т.Ю.	70
Дмитрик П.М.	183	Матвійчук Б.В.	149
Добровольський А.В.	50	Медвідь Б.М.	190
Доля М.М.	132	Мельник В.В.	261
Донець А.О.	58	Мельничук Т.В.	190
Дробіт О.С.	11	Міщенко С.В.	70
Жигайло Д.С.	70	Молнар А.І.	132
Журавська І.А.	149	Морозов А.Є.	20
Завгородня С.В.	209	Невмержицький Д.В.	276
Заїка В.К.	183	Немерицька Л.В.	132
Залевський Р.А.	3	Нонік Л.Ю.	331
Залєвський М.Ю.	81	Овчаренко О.О.	288
Запольська Н.М.	209	Осіпов М.Ю.	345
Зламанюк Л.М.	261	Отченашко В.В.	261
Іванченко О.М.	93	Панфілова А.В.	139
Калинка А.К.	254	Панчишин В.З.	149
Калітаєв К.К.	231	Парахненко В.Г.	157
Кецкало В.В.	87	Пасічник І.О.	3
Клімченко Н.О.	324	Піддубна А.М.	163
Ключевич М.М.	3	Підпала Т.В.	218

Поліщук В.В.	170, 345	Чорний Д.О.	306
Пришєдько Н.О.	93	Шакалій С.М.	125
Проценко Л.В.	246	Шеленко Д.І.	183
Пушка І.М.	355	Шендрік К.М.	209
Разанова О.П.	306	Щетина С.В.	87
Рудаков Ю.М.	93	Якубенко Ю.Л.	93
Савченко В.М.	149	Danchuk O.V.	100
Світельський М.М.	149	Grafov A.V.	100
Селецький В.П.	170	Hamaionova V.V.	176
Сімчук А.П.	183	Kozyrev V.V.	100
Сірук І.М.	362	Piliarska O.O.	100
Сірук Ю.В.	362	Sydiakina O.V.	176
Стельмах О.М.	190	Viter N.G.	27
Сторожик Л.І.	209	Zherebchuk S.V.	100
Ткачук О.П.	339	Zhygaylo T.S.	100
Угрін О.М.	199		

ЗМІСТ

ЗЕМЛЕРОБСТВО, РОСЛИННИЦТВО, ОВОЧІВНИЦТВО ТА БАШТАННИЦТВО	3
Алексєєвич Т.М., Залєвський Р.А., Ключевич М.М., Венгер О.В., Пасічник І.О., Вигера С.М. Динаміка теплових ресурсів і фітосанітарні ризики виросування винограду в лісостеповій зоні Житомирської області	3
Балабаш В.С., Дробіт О.С. Фотосинтетичний потенціал та насіннєва продуктивність <i>Brassica napus</i> L. за використання біопрепаратів та зрошення	11
Бердін С.І., Баранік Д.А., Морозов А.Є. Морфолого-продуктивна класифікація гнізд картоплі за товарністю як основа комплексної оцінки структури врожаю.....	20
Viter N.G. Impact of field protective forest belts on corn productivity in conditions of climate change	27
Воленшук Є.В., Вінюков О.О., Бондарева О.Б. Вплив мікробіологічних препаратів на біометричні показники та врожайність ячменю ярого в умовах Північного Степу України.....	35
Гораш В.О. Залежність стану розвитку рослин ячменю ярого від впливу мінеральних добрив на початкових етапах формування агрофітоценозу	41
Добровольський А.В., Гончаренко Є.В. Особливості водоспоживання ячменю ярого залежно від сорту й оптимізації живлення в умовах Південного Степу України	50
Донець А.О. Біометрія качана у гібридів кукурудзи різних груп ФАО за беззмінних посівів та системи захисту від сегетальної рослинності	58
Жигайло Д.С., Марченко Т.Ю., Міщенко С.В., Лавриненко Ю.О., Марченко В.Д. Формування структури врожаю сортів гороху зимуючого (<i>Pisum sativum</i> L.) залежно від елементів агротехнології в умовах Півдня України	70
Залєвський М.Ю. Динаміка основних фітофагів пшениці озимої в умовах Правобережного Лісостепу України	81
Кецкало В.В., Щетина С.В. Вік розсади як чинник формування продуктивності зелених овочевих культур	87
Козечко В.І., Якубенко Ю.Л., Пришєдько Н.О., Рудаков Ю.М., Іванченко О.М. Вплив мікродобрив на елементи структури урожаю соняшнику.....	93
Kozyrev V.V., Danchuk O.V., Grafov A.V., Zhrebchuk S.V., Zhygaylo T.S., Piliarska O.O. Evolution of phytoremediation research: from heavy metal removal to microbiome-assisted nature-based solutions.....	100
Kuznetsova O.V. Impact of climate change on urban lawn ecosystems	118
Ласло О.О., Марініч Л.Г., Шакалій С.М. Обґрунтування осіннього гербіцидного захисту посівів пшениці озимої	125
Молнар А.І., Доля М.М., Немерицька Л.В., Кравченко Ю.О., Ворох В.В. Формування сучасних ентомокомплексів і їх контроль у посівах кормових і польових культур за No-till технологій у Лісостепу України	132
Панфілова А.В., Кошкін Д.Л. Методика і емпірична перевірка міжджерельної узгодженості агрометеорологічних даних	139
Панчишин В.З., Матвійчук Б.В., Савченко В.М., Світельський М.М., Журавська І.А. Продуктивність томатів залежно від сорту в умовах закритого ґрунту.....	149

Парахненко В.Г., Ляховська Н.О., Кравець І.С., Березенко К.С., Гончарук В.В., Мандебура С.В. Інвазійна флора у лісовому господарстві: шляхи поширення, екологічні наслідки та заходи контролю	157
Піддубна А.М. Хортітерапія та терапевтичні сади в контексті сучасних наукових підходів, формування рослинного середовища і перспектив застосування в Україні.....	163
Поліщук В.В., Селецький В.П. Особливості органогенезу, продуктивності та насінневої якості цукрових буряків у системі агротехнічних чинників	170
Sydiakina O.V., Hamaionova V.V. Current state of species, variety-hybrid composition, and yield levels of pumpkin in Ukraine	176
Сімчук А.П., Зайка В.К., Гусак В.В., Шеленко Д.І., Дмитрик П.М. Вплив екологічно безпечних препаратів на формування продуктивності гречки посівної.....	183
Стельмах О.М., Мельничук Т.В., Григорів Я.Я., Медвідь Б.М., Курлянова І.І. Продуктивність ріпака озимого за удосконалення елементів технології вирощування в умовах Передкарпаття.....	190
Угрін О.М., Біднина І.О. Комплексна оцінка ефективності передпосівної інокуляції сортів сої в умовах Південного регіону України	199
Шендрик К.М., Запольська Н.М., Сторожик Л.І., Завгородня С.В. Фунгіцидна регуляція збудників хвороб листового апарату буряків цукрових за абіотичного стресу.....	209
ТВАРИННИЦТВО, КОРМОВИРОБНИЦТВО, ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ПЕРЕРОБКА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ	218
Голосний Б.С., Підпала Т.В., Крамаренко О.С., Крамаренко С.С. Вікова мінливість молочної продуктивності корів за утримання в корівниках з різною системою вентиляції.....	218
Калітаєв К.К., Лихач А.В. Закономірності зміни відтворювальної продуктивності свиноматок залежно від номера опоросу	231
Кошицька Н.А., Проценко Л.В. Моніторинг якості українських хмелепродуктів.....	246
Лесик О.Б., Калинка А.К. Генетичний потенціал та господарсько-корисні ознаки овець планових порід в умовах Буковини.....	254
Лихач В.Я., Леньков Л.Г., Отченашко В.В., Мельник В.В., Зламанюк Л.М. Вплив комплексної кормової добавки «Гепасорбекс» на інтенсивність росту, показники крові та спермопродуктивність кнурів порід велика біла, ландрас і дюрорк	261
Невмержицький Д.В., Вербельчук С.П. Удосконалення системи утримання курей-несучок за органічного виробництва харчових яєць	276
Овчаренко О.О. Комплексний аналіз впливу теплового стресу на біохімічну стабільність, органолептичні властивості та механізми утворення гіркоти в коров'ячому молоці.....	288
Чорний Д.О., Разанова О.П. Ефективність застосування осінньої підгодівлі бджіл з пробіотиком у період підготовки бджолиних сімей зимівлі.....	306
МЕЛІОРАЦІЯ І РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТІВ	315
Десятьєров Ю.В., Коньшин Р.В. Фізико-хімічні показники мілітарно деградованих чорноземів Лівобережного Лісостепу України	315

Клімченко Н.О. Удосконалення землеустрою як інструменту забезпечення ефективного функціонування меліоративних систем України в умовах сучасних викликів.....	324
Нонік Л.Ю., Давидова І.В., Куницька М.С. Екологічні функції лісових насаджень та критерії їх ефективності у біологічній рекультивації земель, порушених відкритим видобуванням корисних копалин.....	331
Ткачук О.П., Гуцол Г.В. Наукові підходи фіторе mediaції ґрунтів, забруднених нафтопродуктами	339
ЛІСОВЕ ТА САДОВО-ПАРКОВЕ ГОСПОДАРСТВО.....	345
Осіпов М.Ю., Поліщук В.В. Сучасний стан та перспективи використання видів роду <i>Hydrangea</i> L. в озелененні урбанізованого середовища.....	345
Пушка І.М., Козаченко І.В. Біоморфологічна структура та еколого-біологічне обґрунтування асортименту рослин кам'яних садів Черкаської області.....	355
Сірук Ю.В., Сірук І.М. Відповідність продуктивності модальних деревостанів показникам еталонних лісів Українського Полісся	362

CONTENTS

AGRICULTURE, CROP PRODUCTION, VEGETABLE AND MELON GROWING.....	3
Aleksieievych T.M., Zalevskyi R.A., Kliuchevych M.M., Venher O.V., Pasichnyk I.O., Vyhera S.M. Trends in thermal resources and phytosanitary risks associated with grape cultivation in the Forest-Steppe zone of Zhytomyr region.....	3
Balabash V.S., Drobit O.S. Photosynthetic potential and seed productivity of Brassica Napus L. under the application of biological preparations and irrigation	11
Berdin S.I., Baranik D.A., Morozov A.Ye. Morphological and productivity-based classification of potato tuber nests based on marketability for integrated yield structure assessment.....	20
Viter N.G. Impact of field protective forest belts on corn productivity in conditions of climate change	27
Volenshchuk Ye.V., Vinyukov O.O., Bondareva O.B. Influence of microbiological preparations on biometric indicators and yield of spring barley in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine.....	35
Horash V.O. Dependence of spring barley plant development on the influence of mineral fertilizers at the initial stages of agrophytocenosis formation.....	41
Dobrovolskyi A.V., Honcharenko Ye.V. Characteristics of water consumption in spring barley depending on variety and optimization of nutrition in the Southern Steppe of Ukraine	50
Donets A.O. Cob biometrics in maize hybrids of different FAO groups under constant cropping and protection systems against segetal vegetation.....	58
Zhyhailo D.S., Marchenko T.Yu., Mishchenko S.V., Lavrynenko Yu.O., Marchenko V.D. Formation of the yield structure of winter pea varieties (<i>Pisum sativum</i> L.) depending on the elements of agrotechnology in the conditions of Southern Ukraine	70
Zalievskyi M.Yu. Dynamics of the Main Insect Pests of Winter Wheat in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine	81
Ketskalo V.V., Shchetyna S.V. Seedling Age as a Factor in the Productivity Formation of Leafy Vegetable Crops	87
Kozechko V.I., Yakubenko Yu.L., Pryshedko N.O., Rudakov Yu.M., Ivanchenko O.M. The effect of micronutrients on the elements of sunflower yield structure.....	93
Kozyrev V.V., Danchuk O.V., Grafov A.V., Zherebchuk S.V., Zhygaylo T.S., Piliarska O.O. Evolution of phytoremediation research: from heavy metal removal to microbiome-assisted nature-based solutions.....	100
Kuznetsova O.V. Impact of climate change on urban lawn ecosystems	118
Laslo O.O., Marinich L.H., Shakalii S.M. Justification of autumn herbicide protection of winter wheat crops.....	125
Molnar A.I., Dolia M.M., Nemerytska L.V., Kravchenko Yu.O., Vorokh V.V. Formation of modern entomocomplexes and their control in sowings of forage and field crops under no-till technologies in the Forest-Steppe of Ukraine	132
Panfilova A.V., Koshkin D.L. Methodology and empirical verification of inter-source consistency of agrometeorological data	139

Panchyshyn V.Z., Matviichuk B.V., Savchenko V.M., Svitelskyi M.M., Zhuravska I.A. Yield performance of tomato varieties under protected cultivation conditions.....	149
Parakhnenko V.G., Lyakhovska N.O., Kravets I.S., Berezenko K.S., Honcharuk V.V., Mandebura S.V. Invasive flora in forest management: spread, ecological impacts, and control measures.....	157
Piddubna A.M. Horticultural Therapy and Therapeutic Gardens in the Context of Contemporary Scientific Approaches, the Development of Plant Environments, and Prospects for Application in Ukraine.....	163
Polishchuk V.V., Seletsky V.P. Features of organogenesis, productivity and seed quality of sugar beet in the system of agrotechnical factors.....	170
Sydiakina O.V., Hamaiunova V.V. Current state of species, variety-hybrid composition, and yield levels of pumpkin in Ukraine	176
Simchuk A.P., Zaika V.K., Husak V.V., Shelenko D.I., Dmytryk P.M. The influence of environmentally safe preparations on the formation of buckwheat productivity	183
Stelmakh O.M., Melnychuk T.V., Hryhoriv Ya.Ya., Medvid B.M., Kurlyanova I.I. Productivity of Winter Rapeseed under Improved Cultivation Technology Elements in the Conditions of the Precarpathian Region	190
Uhrin O.M., Bidnyna I.O. Comprehensive assessment of pre-sowing seed inoculation efficiency in modern soybean varieties under the conditions of the Southern region of Ukraine	199
Shendryk K.M., Zapolska H.M., Storozhyk L.I., Zavgorodnia S.V. Fungicidal regulation of causes of leaf diseases of sugar beet under abiotic stress.....	209
ANIMAL HUSBANDRY, FEED PRODUCTION, STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTS	218
Holosnyi B.S., Pidpala T.V., Kramarenko O.S., Kramarenko S.S. Age-related variability of dairy productivity of cows under different barn ventilation systems.....	218
Kalitaev K.K., Lykhach A.V. Patterns of changes in the reproductive performance of sows depending on parity number	231
Koshytska N.A., Protchenko L.V. Monitoring the quality of Ukrainian hop products...	246
Lesik O.B., Kalinka A.K. Genetic potential and economically useful traits of planned sheep breeds in Bukovyna conditions	254
Lykhach V.Ya., Lenkov L.H., Otchenashko V.V., Melnyk V.V., Zlamanyuk L.M. The effect of the complex feed supplement “Gepasorbex” on growth rate, blood parameters and sperm productivity in boars of the large white, landras and duroc breeds	261
Nevmerzhytskyi D.V., Verbelchuk S.P. Improvement of the housing system for laying hens in organic table egg production.....	276
Ovcharenko O.O. A comprehensive analysis of the effects of heat stress on the biochemical stability, organoleptic properties and mechanisms of bitterness formation in cow’s milk	288
Chornyi D.O., Razhanova O.P. Effectiveness of the application of autumn feeding of bees with probiotics during the preparation of bee families for winter.....	306

MELIORATION AND SOIL FERTILITY	315
Dehtiarov Yu.V., Konshin R.V. Physico-chemical indicators of militarily degraded chernozems in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine.....	315
Klimchenko N.O. Improvement of Land Management as a Tool for Ensuring the Effective Functioning of Land Reclamation Systems in Ukraine under Modern Challenges	324
Nonik L.Yu., Davydova I.V., Kynytska M.S. Ecological functions of forest plantations and criteria for their effectiveness in the biological reclamation of land disturbed by open-pit mining.....	331
Tkachuk O.P., Hutsol G.V. Scientific approaches to phytoremediation of soils contaminated with oil products	339
FORESTRY AND HORTICULTURE MANAGEMENT	345
Osipov M.Yu., Polishchuk V.V. Current State and Prospects of the Use of Species of the Genus Hydrangea in Urban Green Space Development.....	345
Pushka I.M., Kozachenko I.V. Biomorphological structure and ecological-biological substantiation of the plant assortment of rock gardens in Cherkasy region	355
Siruk Yu.V., Siruk I.M. Correspondence of the Productivity of Modal Forest Stands to the Indicators of Reference Forests of Ukrainian Polissia.....	362

Таврійський науковий вісник

Випуск 150

Серія: Сільськогосподарські науки

Дата розміщення онлайн – 28.08.2026 р.
Дата друку – 04.09.2026 р.

Формат 70×100/16. Папір офсетний.
Умовн. друк. арк. 30,88. Зам. № 0826/658

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.