

УДК 633.111»324»:631.81:631.445.4(251.1–17:477)  
DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.147.2.23>

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИКОРЕНЕВИХ ПІДЖИВЛЕНЬ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ CULTAN В ПІВНІЧНОМУ СТЕПУ

**Ткаліч Ю. І.** – д.с.-г.н.,

проректор з наукової та інноваційної діяльності, професор кафедри загального землеробства та ґрунтознавства,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

orcid.org/0000-0003-2208-0163

**Денисенко А. В.** – аспірант кафедри загального землеробства

та ґрунтознавства,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

orcid.org/0009-0003-3645-1487

Актуальність статті зумовлена ключовою роллю пшениці озимої в зерновому виробництві України, особливо в посушливому Північному Степу, де ефективність азотних добрив обмежена значними втратами (30–85 %) через волатилізацію, утворення ґрунтової кірки та брак вологи. Традиційні методи (обприскування КАС, розкидання гранульованих форм, метод Бузницького) не забезпечують стабільного живлення в критичні фази (кущіння–колосіння), знижуючи коефіцієнт використання азоту до 50 % і менше. Інноваційна технологія CULTAN (контрольоване тривале амонійне живлення) усуває ці недоліки завдяки глибокому ін'єкційному внесенню КАС на 6–10 см, пролонгованій дії (70–90 діб) та мінімальним втратам. Метою дослідження було наукове обґрунтування найефективнішого способу прикореневого азотного підживлення ( $N_{60}$ ) для максимізації врожайності пшениці озимої в умовах Північного Степу. Польові досліді (2023–2025 рр., ТОВ «Преображенівське», Дніпропетровська обл.) включали 8 варіантів: контроль, традиційні схеми та варіанти з повним/частковим застосуванням CULTAN. Вивчали і визначали біометричні показники рослин пшениці, фотосинтетичний потенціал, формування елементів структури урожаю, урожайність та економічну ефективність вирощування зерна за стандартними методиками. Результати показали, що одноразове весняне внесення CULTAN КАС забезпечило найкращі показники: індекс листової площі – 6,8 (+79 % до контролю), фотосинтетичний потенціал – 5,08 млн  $m^2 \cdot \text{добу/га}$  (+79 %), коефіцієнт куцання – 3,0, густина стеблостою – 848 шт./ $m^2$  (+57 % до традиційних). Середня урожайність склала 4,80 т/га (+73 % до контролю, +45–56 % до традиційних); у посушливих 2024–2025 рр. – 3,55–3,70 т/га (двічі вище традиційних). Рентабельність досягла 208 %, чистий прибуток – 31 450 грн/га (у 2,5–3 рази вище традиційних). Висновки підтверджують перевагу CULTAN для стабільної високої врожайності в посушливих умовах. Перспективи: оптимізація норм і строків внесення залежно від попередника та сорту, оцінка довгострокового впливу на ґрунт, порівняння з іншими пролонгованими формами добрив та розробка інтегрованих систем живлення з урахуванням кліматичних змін.

**Ключові слова:** пшениця озима, азотне живлення, технологія CULTAN, КАС, урожайність, економічна ефективність.

### **Tkalych Yu. I., Denysenko A. V. Effectiveness of root protection of winter wheat using cultan technology in the Northern Steppe**

The relevance of the article is due to the key role of winter wheat in Ukraine's grain production, especially in the arid Northern Steppe, where the efficiency of nitrogen fertilizers is limited by significant losses (30–85 %) due to volatilization, soil crust formation, and moisture deficiency. Traditional methods (spraying UAN, broadcasting granular forms, Buznytsky method) do not provide stable nutrition during critical phases (tillering–heading), reducing the



© Ткаліч Ю. І., Денисенко А. В., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

nitrogen utilization coefficient to 50 % or less. The innovative CULTAN technology (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition) eliminates these drawbacks through deep injection of UAN at 6–10 cm, prolonged action (70–90 days), and minimal losses. The aim of the study was to scientifically substantiate the most effective method of localized nitrogen fertilization (N<sub>60</sub>) for maximizing winter wheat yield in the Northern Steppe conditions. Field experiments (2023–2025, LLC “Preobrazhivske”, Dnipropetrovsk region) included 8 variants: control, traditional schemes, and variants with full/partial application of CULTAN. Researchers studied and determined biometric indicators of wheat plants, photosynthetic potential, formation of yield structure elements, yield, and economic efficiency of grain production using standard methods. Results showed that single spring application of CULTAN UAN provided the best indicators: leaf area index – 6.8 (+79 % compared to control), photosynthetic potential – 5.08 million m<sup>2</sup> · days/ha (+79 %), tillering coefficient – 3.0, productive stem density – 848 plants/m<sup>2</sup> (+57 % compared to traditional). Average yield was 4.80 t/ha (+73 % to control, +45–56 % to traditional); in dry 2024–2025 years – 3.55–3.70 t/ha (twice higher than traditional). Profitability reached 208 %, net profit – 31,450 UAH/ha (2.5–3 times higher than traditional). Conclusions confirm the superiority of CULTAN for stable high yields in arid conditions. Prospects: optimization of rates and timing of application depending on predecessor and variety, assessment of long-term impact on soil, comparison with other prolonged nitrogen fertilizer forms, and development of integrated nutrition systems considering climate change.

**Key words:** winter wheat, nitrogen nutrition, CULTAN technology, UAN, yield, economic efficiency.

**Актуальність теми дослідження.** Пшениця озима є однією з ключових зернових культур в Україні, особливо в степовій зоні, де вона займає значні посівні площі та забезпечує основну частку виробництва зерна. Однак у посушливих степових умовах ефективність азотного удобрення пшениці озимої залежить не тільки від дози та форми добрив, але передусім від швидкості й тривалості забезпечення рослин азотом у критичні періоди розвитку – куціння, вихід у трубку та колосіння. Саме в ці фази рослини споживають найбільше азоту: до 28 % під час куціння, близько 36 % під час виходу в трубку та ще 12–16 % у період колосіння й наливу зерна, що безпосередньо впливає на формування продуктивного стеблостою, озерненості колоса, маси 1000 зерен та загальної врожайності [1–6].

У Степу України, з його обмеженим зволоженням, високими температурами та ризиком посухи, традиційні способи внесення азотних добрив часто супроводжуються значними непродуктивними втратами елемента – через випаровування аміаку, денітрифікацію, вимивання нітратів або недостатнє засвоєння за браку вологи. Ці втрати можуть сягати 30–50 %, що знижує коефіцієнт використання азоту рослинами до 50 % і менше, призводить до економічних збитків та негативного екологічного впливу. Водночас сучасні інтенсивні сорти пшениці мають високий потенціал продуктивності (до 10–12 т/га за оптимальних умов), але його реалізація вимагає точного й пролонгованого азотного живлення саме в критичні фази [7–16].

**Постановка проблеми.** До традиційних методів прикореневого підживлення пшениці озимої азотними добривами належать внесення зерновими сівалками за методом Бузницького, який вважається найефективнішим згідно з численними науковими дослідженнями, оскільки тверді добрива розміщуються безпосередньо біля коренів, швидко засвоюються кореневою системою та активно беруть участь у біохімічних процесах рослин, а додатково цей спосіб руйнує ґрунтову кірку, покращує аерацію ґрунту та зменшує втрати вологи, хоча має недолік у вигляді травмування коренів дисками сівалки, що призводить до зменшення продуктивного стеблостою; розкидання твердих добрив центробіжними розкидачами вітчизняного чи імпортного виробництва, яке є найоперативнішим для обробки великих площ, але характеризується низькою рівномірністю внесення; а також обприскування водними розчинами КАС за допомогою штангових агрегатів із

спеціальними розпилювачами на 3–5 отворів, що є найпродуктивнішим методом, дозволяючи одному широкозахватному обприскувачу обробити до 400 га за добу, проте супроводжується втратами азоту, залежністю від достатньої вологи в верхньому шарі ґрунту та ризиком «опіків» листя з подальшим жовтінням і висиханням при наявності роси чи опадів, що врешті знижує врожайність зерна [17–19].

Усі ці недоліки повністю усуває інноваційний метод CULTAN (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition – контрольоване тривале амонійне живлення), який забезпечує відсутність випаровування азоту з розчинів КАС, мінімальні непродуктивні втрати завдяки зберіганню добрив у ґрунті, поступове бактеріальне розкладання для пролонгованого живлення рослин протягом усієї вегетації, локальне розміщення азоту біля коренів з високою рівномірністю без надлишкових концентрацій, миттєве засвоєння амонійного та нітратного азоту без додаткової вологи, повну відсутність контакту з надземними частинами рослин і відповідно «опіків», стимуляцію розвитку кореневої системи в глибших вологих шарах, підвищену доступність поживних елементів навіть за пересихання поверхневого шару, ідеальну сумісність з технологією No-Till при наявності мульчі з рослинних решток, покращення аерації важких глинистих ґрунтів з руйнуванням кірки, зменшення росту бур'янів та фіксації азоту органічною частиною ґрунту, що в підсумку підвищує коефіцієнт використання добрив на 10–15 %, а також екологічність завдяки мінімальному впливу на довкілля та створенню численних мікротріщин глибиною до 16 см. Цей метод ефективно поєднує переваги локального внесення добрив з одночасною аерацією прикореневої зони та базується на використанні спеціального інжекторного колеса, яке за один прохід вводить повну розрахункову норму азоту у вигляді КАС безпосередньо в ризосферу на глибину 6–8 см, при цьому доза точно контролюється бортовим комп'ютером з урахуванням актуального вмісту мінерального азоту в ґрунті.

**Мета дослідження** полягає в науковому обґрунтуванні та визначенні найефективнішого способу і форми прикореневого підживлення для формування максимальної врожайності зерна пшениці озимої в умовах Північного Степу України.

Методика досліджень. Дослідження проводили упродовж 2023–2025 років. Польові досліді проводили на землях ТОВ «Преображенівське», що розташоване в селі Преображенка Павлоградського району Дніпропетровської області.

Схема польового досліді з вивчення ефективності технології CULTAN була закладена за такою схемою:

- 1) Контроль (без добрив).
- 2) CULTAN КАС в фазі кушіння восени ( $N_{30}$ ) + навесні в фазі кушення ( $N_{30}$ ).
- 3) Обприскування КАС в фазі кушення навесні ( $N_{60}$ ).
- 4) Обприскування КАС восени ( $N_{30}$ ) + CULTAN КАС навесні в фазі кушення ( $N_{30}$ ).
- 5) CULTAN КАС навесні в фазі кушення ( $N_{60}$ ).
- 6) Метод Бузницького навесні аміачна селітра ( $N_{60}$ ).
- 7) Метод Бузницького навесні сульфат амонію ( $N_{60}$ ).
- 8) Метод Бузницького восени аміачна селітра ( $N_{30}$ ) + КАС CULTAN навесні в фазі кушення ( $N_{30}$ ).

У рамках дослідження аналізували вплив різних агротехнічних заходів, зокрема способів і форм прикореневого азотного підживлення, на ріст та розвиток рослин пшениці озимої, формування елементів структури врожаю, рівень урожайності зерна, а також економічну ефективність технологій її вирощування.

Дослідження здійснювали з застосуванням сучасних польових, вимірювально-вагових, лабораторно-аналітичних та математично-статистичних методів

відповідно до встановлених і загальноприйнятих методик проведення агрономічних експериментів [20–24].

Біометричні спостереження, вимірювання та облік елементів структури врожаю пшениці озимої здійснювали відповідно до загальноприйнятих в Україні та міжнародних методик, рекомендацій наукових установ Національної академії аграрних наук України [20–22].

Фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин пшениці озимої проводили систематично з інтервалом 3–5 діб, фіксуючи дати настання ключових фаз розвитку: сходів, появи третього листка, початку та повного кущіння, виходу в трубку, появи прапорцевого листка, колосіння, молочної, воскової та повної стиглості зерна, використовували також шкалу ВВСН.

Висоту рослин вимірювали у фазі повної стиглості (ВВСН 89), визначаючи відстань від поверхні ґрунту до верхівки колоса (без остюків) на 30 випадково відібраних типових рослинах з кожного повторення.

Густоту продуктивного стеблостою обліковували двічі: навесні після відновлення вегетації (ВВСН 21–29) та перед збиранням врожаю (ВВСН 75–87). Облік проводили на фіксованих площадках розміром 0,25 м<sup>2</sup> (50 × 50 см) у чотирьох несистематичних місцях кожної ділянки, підраховуючи загальну кількість стебел та кількість продуктивних (тих, що сформували колос). Кількість рослин на одиницю площі (1 м<sup>2</sup>) визначали навесні на тих самих облікових площадках.

Площу листової поверхні вимірювали у фазі прапорцевого листка (ВВСН 39) та молочної стиглості (ВВСН 75) методом висікання: з 20 типових рослин зрізали всі листки, визначали їх площу за допомогою портативного фотопланометра Li-Cor LI-3000C, після чого розраховували площу листової поверхні на 1 м<sup>2</sup> посіву та фотосинтетичний потенціал за відповідний період.

Сушу надземну біомасу обліковували в ті ж фази, що й листову поверхню. Рослини зрізали на рівні поверхні ґрунту, фракціонували на листя, стебла та колос (у фазі молочної стиглості зерно виділяли окремо), висушували до постійної маси при температурі 65–70 °С і зважували. На основі отриманих даних розраховували чисту фотосинтетичну продуктивність (ЧФП).

Облік елементів структури врожаю пшениці озимої здійснювали перед збиранням врожаю з тих самих фіксованих площадок розміром 0,25 м<sup>2</sup> або на основі 50 випадково відібраних рослин із кожного повторення. Довжину колосу вимірювали лінійкою з точністю до 0,1 см, кількість колосків у колосі підраховували вручну, а кількість зерен у колосі визначали шляхом перерахунку після обмолоту 50 колосів. Масу зерна з одного колосу та масу 1000 зерен визначали на лабораторних вагах з точністю 0,01 г після доведення вологості зерна до стандартних 14 %, а натуру зерна вимірювали літровою пуркою відповідно до ДСТУ 4522:2006. Продуктивну кущистість розраховували як співвідношення кількості продуктивних стебел до кількості перезимувалих рослин, а коефіцієнт продуктивного кущіння – як середню кількість колосоносних стебел на одну рослину. Усі біометричні вимірювання виконували в чотирикратній повторності, а статистичну обробку отриманих даних проводили методами дисперсійного та кореляційно-регресійного аналізу [25].

Збирання врожаю на дослідних ділянках розміром 6 × 20 м (0,012 га) проводили малогабаритним комбайном Сампо-500 в період повної стиглості зерна (вологість 13,5–14,5 %) у другій–третьій декаді липня залежно від року досліджень. Урожайність з облікової площі перераховували на гектар при стандартній вологості 14 % та 100 % чистоті зерна. Отримані дані використовували для розрахунку приросту

врожайності, коефіцієнта використання поживних речовин та економічної ефективності досліджуваних варіантів [25].

Визначення економічної ефективності впровадження досліджуваних агротехнічних заходів проводили за методикою Національного наукового центру «Інститут аграрної економіки» НААН України з урахуванням актуальних технологічних карт, цін на матеріально-технічні ресурси, зерно та побічну продукцію станом на 2023–2025 рр. [26, 27].

Погодні умови в роки проведення досліджень були надзвичайно контрастними за гідротермічним режимом: у 2023 році весняно-літній період був близьким до оптимального (сума опадів за березень–червень становила 186 мм, ГТК – 1,18, тривалі суховії відсутні), натомість 2024 та 2025 роки стали типовими прикладами екстремальної посухи – опади за той самий період не перевищували 62–78 мм, температура в травні–червні нерідко сягала +35...+39 °С, а верхній шар ґрунту (0–10 см) вже з другої декади квітня пересихав до повітряно-сухого стану

**Результати досліджень.** Як свідчать результати наших досліджень (табл. 1), за однакової дози азоту ( $N_{60}$ ) розвиток асиміляційного апарату та біометричні характеристики пшениці озимої в умовах Північного Степу залежали не стільки від загальної кількості внесеного азоту, скільки від стабільності та тривалості забезпечення рослин доступними формами азоту в критичний період від кушіння до колосіння.

Традиційні способи внесення (варіанти 3, 6, 7) – поверхнєве обприскування карбамідно-аміачною сумішшю (КАС) та розкидання гранульованих добрив – дали лише помірне покращення показників: висота рослин становила 86,3–88,7 см (+10–13 % порівняно з контролем), площа листової поверхні – 242–258 см<sup>2</sup> (+31–40 %), індекс листової площі (LAI) – 4,5–4,7 (+18–24 %), фотосинтетичний потенціал – 3,42–3,61 млн м<sup>2</sup> · добу/га (+20–27 %), а вміст хлорофілу – 41,6–42,8 SPAD (+9–12 %). Обмежений ефект пояснюється швидким втрачанням доступного азоту протягом перших 15–20 діб після внесення внаслідок волатилізації та утворення ґрунтової кірки, що спричиняло передчасне старіння нижніх листків і недостатній розвиток прапорцевого листка – головного джерела асимілятів для наливу колоса.

Натомість технологія CULTAN з використанням КАС у всіх досліджуваних варіантах забезпечила формування значно потужнішого асиміляційного апарату. Найвищі значення показників зафіксовано за одноразового весняного ін'єкційного внесення CULTAN КАС ( $N_{60}$ ) – варіант 5:

– висота рослин досягла 102,8 см (+31 % до контролю та +14–16 см порівняно з традиційними схемами);

– площа листової поверхні однієї рослини – 354 см<sup>2</sup> (+92 % до контролю та +37–46 % до варіантів 3, 6, 7).

– індекс листової площі – 6,8 (+79 % порівняно з контролем та +45–51 % відносно традиційних схем);

– фотосинтетичний потенціал – 5,14 млн м<sup>2</sup> · добу/га (+81 % до контролю та +42–50 % до традиційних варіантів);

– вміст хлорофілу в прапорцевому листку – 52,7 SPAD (+38 % до контролю та +23–27 % до традиційних схем).

Ця значна перевага пояснюється пролонгованою (70–90 діб) та стабільною подачею азоту безпосередньо в зону активних коренів, що забезпечувало підтримання високого тургору рослин, інтенсивний синтез хлорофілу та затримку процесів старіння листків аж до повного наливу зерна.

Комбіновані схеми з частковим використанням технології CULTAN (варіанти 2, 4, 8) посідали проміжне місце за величиною показників (індекс листової

Таблиця 1

**Вплив різних технологій прикореневого внесення азотних добрив на біометричні характеристики та розвиток фотосинтетичного апарату пшениці озимої в середньому за 2023–2025 рр., (фаза колосіння)**

№ п/п	Технологія внесення КАС	Висота рослин, см	Площа листкової поверхні 1 рослини, см <sup>2</sup>	Індекс листкової поверхні	Фотосинтетичний потенціал, млн м <sup>2</sup> · добу/га	Вміст хлорофілу (SPAD) у прапорцевому листку
1	Контроль (без добрив)	78,4	184	3,8	2,84	38,2
2	CULTAN КАС восени (N <sub>30</sub> ) + навесні в фазі куціння (N <sub>30</sub> )	96,2	312	5,9	4,38	48,6
3	Обприскування КАС навесні в фазі куціння (N <sub>60</sub> )	88,7	258	4,7	3,61	42,8
4	Обприскування КАС восени (N <sub>30</sub> ) + CULTAN КАС навесні (N <sub>30</sub> )	98,4	328	6,2	4,62	50,1
5	CULTAN КАС навесні в фазі куціння (N <sub>60</sub> ) – найкращий	102,8	354	6,8	5,14	52,7
6	Метод Бузницького навесні аміачна селітра (N <sub>60</sub> )	86,3	242	4,5	3,42	41,6
7	Метод Бузницького навесні сульфат амонію (N <sub>60</sub> )	87,300	248	4,6	3,51	42,2
8	Метод Бузницького восени аміачна селітра (N <sub>30</sub> ) + CULTAN КАС навесні (N <sub>30</sub> )	94,1	298	5,6	4,18	47,3
	<i>HIP</i> <sub>0,05</sub>	3,2	18	0,4	0,31	1,8

поверхні 5,6–6,2; фотосинтетичний потенціал 4,18–4,62 млн м<sup>2</sup> · добу/га), проте навіть у цих випадках значення суттєво перевищували ті, що отримані за традиційними технологіями внесення добрив.

За однакової дози азоту (N<sub>60</sub>) фотосинтетичний потенціал (ФП) посівів пшениці озимої формується принципово по-різному залежно від стабільності забезпечення рослин азотом у період від виходу в трубку до повної стиглості – саме в цій фазі створюється 70–80 % урожаю (табл. 2).

Традиційні способи внесення (варіанти 3, 6, 7) – поверхневе обприскування карбамідно-аміачною сумішшю (КАС) та розкидання гранульованих добрив – забезпечили сумарний ФП на рівні лише 3,25–3,41 млн м<sup>2</sup> · добу/га, що перевищувало контроль всього на 14–20 %. Особливо виражене відставання виявлено в критичний період від колосіння до повної стиглості: ФП становив 0,88–0,93 млн м<sup>2</sup> · добу/га порівняно з 0,78 млн у контролі.

Такі обмежені показники зумовлені швидким вичерпанням доступних форм азоту вже до початку колосіння внаслідок значних втрат (волатилізація, утворення ґрунтової кірки), що спричиняло передчасне старіння прапорцевого та верхніх ярусів листків і різке зниження фотосинтетичної активності саме в фазі наливу зерна.

Таблиця 2

**Формування фотосинтетичного потенціалу посівів пшениці озимої за різних систем азотного живлення (середні дані за 2023–2025 рр.)**

№ п/п	Технологія внесення КАС	Фотосинтетичний потенціал за міжфазні періоди, млн м <sup>2</sup> · добу/га (кущіння–повна стиглість)	Фотосинтетичний потенціал за всю вегетацію, млн м <sup>2</sup> · добу/га	Зростання ФП порівняно з контролем, %	Зростання ФП порівняно з традиційними схемами (3,6,7), %
1	Контроль (без добрив)	0,92	1,14	0,78	2,84
2	CULTAN КАС восени (N <sub>30</sub> ) + навесні в фазі кущіння (N <sub>30</sub> )	1,38	1,72	1,28	4,38
3	Обприскування КАС навесні в фазі кущіння (N <sub>60</sub> )	1,12	1,36	0,93	3,41
4	Обприскування КАС восени (N <sub>30</sub> ) + CULTAN КАС навесні (N <sub>30</sub> )	1,46	1,84	1,36	4,66
5	CULTAN КАС навесні в фазі кущіння (N <sub>60</sub> ) – найкращий	1,58	1,98	1,52	5,08
6	Метод Бузницького навесні аміачна селітра (N <sub>60</sub> )	1,08	1,29	0,88	3,25
7	Метод Бузницького навесні сульфат амонію (N <sub>60</sub> )	1,10	1,32	0,90	3,32
8	Метод Бузницького восени аміачна селітра (N <sub>30</sub> ) + CULTAN КАС навесні (N <sub>30</sub> )	1,34	1,68	1,22	4,24
<i>HP</i> <sub>0,05</sub>		0,09	0,11	0,10	0,28

Натомість технологія CULTAN з використанням КАС у всіх досліджуваних варіантах забезпечила формування значно вищого та тривалішого фотосинтетичного потенціалу (ФП). Найкращий результат показано за одноразового весняного ін'єкційного внесення CULTAN КАС (N<sub>60</sub>) – варіант 5: сумарний ФП за весь період вегетації склав 5,08 млн м<sup>2</sup> · добу/га (+79 % до контролю та +41–49 % порівняно з традиційними схемами).

Особливо цінним є те, що в критичний період від колосіння до повної стиглості ФП досяг 1,52 млн м<sup>2</sup> · добу/га – на 63–73 % вище, ніж за традиційних схем, і майже вдвічі вище контролю. Ця перевага пояснюється пролонгованим (70–90 діб) вивільненням азоту безпосередньо в зоні активної кореневої системи, що підтримувало високий рівень хлорофілу, затримувало процеси старіння листків і забезпечувало стабільне надходження асимілятів до зерна протягом усієї фази наливу.

Комбіновані схеми з частковим застосуванням CULTAN (варіанти 2, 4, 8) посідали проміжне місце за величиною ФП (4,24–4,66 млн м<sup>2</sup> · добу/га), проте навіть вони на 24–36 % перевищували показники традиційних технологій.

Отримані результати однозначно підтверджують, що саме одноразове весняне внесення CULTAN КАС (N<sub>60</sub>) формує максимально високий і тривалий фотосинтетичний потенціал посівів пшениці озимої (5,08 млн м<sup>2</sup> · добу/га), особливо в вирішальний період наливу зерна. Це створює фізіологічну основу для стабільно високої

врожайності в посушливих умовах Північного Степу України. Традиційні схеми внесення добрив через швидке вичерпання доступного азоту не дозволяють повною мірою реалізувати продуктивний потенціал культури в другій половині вегетації.

Період відновлення вегетації та виходу в трубку є критичним для формування продуктивних пагонів, оскільки в цей час рослини мають максимальну потребу в доступних формах азоту. У посушливі роки традиційні схеми внесення (варіанти 3, 6, 7) через значні втрати азоту (70–85 % у перші дні після застосування) не змогли забезпечити рослини необхідним живленням у потрібний момент.

Внаслідок цього на початку виходу в трубку сформувалося лише 4,2–4,4 продуктивних пагони на рослину, а до збирання зберігалось 2,2–2,4. Коефіцієнт продуктивного кушення становив 1,9–2,0, а густина продуктивного стеблостою – 542–568 шт./м<sup>2</sup>. У гостро посушливих 2024–2025 рр. ці показники знизилися ще більше – до 1,6–1,8, тобто практично до рівня контролю (без азотного підживлення).

Технологія CULTAN з використанням КАС продемонструвала принципово інші результати порівняно з традиційними схемами. За одноразового весняного ін'єкційного внесення CULTAN КАС (N<sub>60</sub>) – варіант 5 – середні показники за три роки досліджень були значно вищими: на початку виходу в трубку сформувалося 6,5 пагонів на одну рослину, перед збиранням зберіглося 4,5 продуктивних пагонів (втрати становили лише 31 % проти 45–50 % у традиційних схемах), коефіцієнт продуктивного кушення досяг 3,0, а густина продуктивного стеблостою склала 848 шт./м<sup>2</sup> (+88 % до контролю та +49–57 % до традиційних схем). Навіть в екстремально посушливих 2024–2025 роках цей варіант зберіг коефіцієнт кушення вище 2,7 та густоту стеблостою понад 780 шт./м<sup>2</sup>. Така виняткова стабільність пояснюється тим, що ін'єкційне внесення на глибину 8–10 см розміщувало азот безпосередньо у вологій зоні кореневої системи, повністю виключало втрати за відсутності опадів і забезпечувало пролонговане вивільнення азоту саме в період інтенсивного весняного кушення та виживання пагонів.

Комбіновані варіанти з частковим застосуванням CULTAN (2, 4, 8) у середньому за три роки дали коефіцієнт кушення 2,5–2,8 та густоту стеблостою 694–774 шт./м<sup>2</sup>, що також суттєво перевищувало показники традиційних технологій. Отримані дані однозначно свідчать, що лише одноразове весняне внесення CULTAN КАС (N<sub>60</sub>) здатне максимально реалізувати потенціал весняного кушення пшениці озимої навіть в екстремально посушливі роки, формуючи на 49–57 % густіший продуктивний стеблостій порівняно з традиційними схемами, які в умовах Північного Степу в посушливі сезони практично не впливають на цей важливий показник.

У відносно сприятливому за зволоженням 2023 році всі досліджувані технології азотного підживлення продемонстрували виражений позитивний ефект. Контрольний варіант (без азоту) забезпечив урожайність 4,90 т/га, традиційні поверхневі схеми (обприскування КАС та розкидання гранульованих добрив) дали 5,35–5,60 т/га, комбіновані варіанти з частковим застосуванням технології CULTAN КАС – 6,60–6,90 т/га, а найвищий результат показало одноразове внесення CULTAN КАС у фазу кушення – 7,15 т/га. За достатньої вологи рослини ефективно засвоювали азот навіть із поверхневого шару ґрунту, тому переваги різних технологій були значними, але ще не критичними (табл. 3, рис. 1).

У посушливих 2024 та 2025 роках ситуація змінювалася істотно. За відсутності опадів після внесення традиційні поверхневі схеми виявилися практично неефективними: обприскування КАС та розкидання аміачної селітри чи сульфату амонію забезпечили урожайність лише 1,85–2,20 т/га, що перевищувало контроль (1,65–1,75 т/га) всього на 0,10–0,55 т/га. Втрати азоту через волатилізацію аміаку

Таблиця 3

**Урожайність пшениці м'якої озимої за різних технологій прикореневого внесення азотних добрив ( $N_{60}$ ), середні дані за 2023–2025 роки**

№ п/п	Технологія підживлення	Урожайність, т/га				Приріст до контролю (середнє), т/га
		2023	2024	2025	середнє	
1	Контроль (без добрив)	4,90	1,65	1,75	2,77	–
2	CULTAN КАС восени ( $N_{30}$ ) + навесні в фазі кушіння ( $N_{30}$ )	6,75	3,10	3,25	4,37	1,60
3	Обприскування КАС навесні в фазі кушіння ( $N_{60}$ )	5,35	1,92	2,00	3,09	0,32
4	Обприскування КАС восени ( $N_{30}$ ) + CULTAN КАС навесні ( $N_{30}$ )	6,90	3,25	3,35	4,50	1,73
5	CULTAN КАС навесні в фазі кушіння ( $N_{60}$ )	7,15	3,55	3,70	4,80	2,03
6	Метод Бузницького навесні аміачна селітра ( $N_{60}$ )	5,60	2,10	2,20	3,30	0,53
7	Метод Бузницького навесні сульфат амонію ( $N_{60}$ )	5,40	1,85	1,95	3,07	0,30
8	Метод Бузницького восени аміачна селітра ( $N_{30}$ ) + CULTAN КАС навесні ( $N_{30}$ )	6,60	3,00	3,15	4,25	1,48
<i>HIP</i> <sub>0,05</sub>		0,42	0,31	0,33	0,35	–

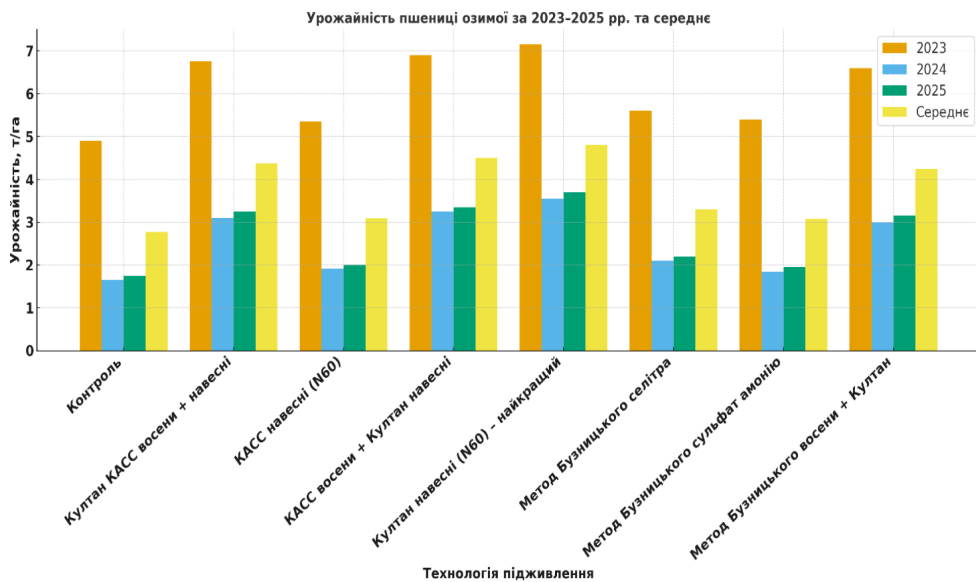


Рис. 1 Динаміка урожайності пшениці озимої за різних технологій азотного підживлення в 2023–2025 роках

та утворення ґрунтової кірки сягали 75–85 %, а коренева система рослин просто не могла засвоїти добрива з пересохлого верхнього шару ґрунту. Таким чином, урожайність у цих варіантах формувалася переважно за рахунок осінньо-зимових запасів вологи та ґрунтового азоту, а весняне підживлення майже не дало ефекту.

Натомість технологія CULTAN з використанням КАС продемонструвала значно вищу адаптивність до посухи. Одноразове ін'єкційне внесення в фазу кушення забезпечило в 2024 році 3,55 т/га, а в 2025 – 3,70 т/га, тобто в середньому вдвічі більше, ніж за традиційних схем, і на 2,0–2,1 т/га вище контролю. Зниження врожайності порівняно зі сприятливим 2023 роком становило лише 49–51 %, тоді як у традиційних варіантах – 64–67 %, а в контролі – 66 %. Така стабільність зумовлена трьома ключовими факторами: по-перше, азот одразу розміщується на глибині 8–10 см у вологій зоні коренів, де на нього не впливають суховії та високі температури; по-друге, повністю виключаються газоподібні втрати; по-третє, пролонгована дія гарантує постачання азоту рослинам протягом усього періоду від кушення до наливу зерна, що має особливе значення саме в посушливі роки.

Комбіновані схеми з частковим застосуванням CULTAN КАС (наприклад, восени плюс навесні або восени з поверхневим КАС) посідали проміжне місце: середня врожайність 4,25–4,50 т/га, що на 1,1–1,4 т/га перевищувало традиційні поверхневі варіанти, але на 0,3–0,55 т/га поступалося найкращому одноразовому внесенню.

У середньому за три контрастні роки одноразове внесення CULTAN КАС у фазу кушення сформувало врожайність 4,80 т/га – це на 1,73 т/га (73 %) більше, ніж у контролі, та на 1,50–1,73 т/га (45–56 %) вище, ніж за будь-якою традиційною схемою. Усі виявлені відмінності статистично достовірні ( $HP_{0,05}$  по роках 0,31–0,42 т/га, у середньому 0,35 т/га). Отже, лише глибоке локальне одноразове внесення пролонгованого рідкого азоту в найбільш критичну фазу кушення здатне забезпечити дійсно високу та, головне, стабільну врожайність м'якої пшениці озимої в умовах Північного Степу незалежно від характеру зволоження сезону. Традиційні ж технології в посушливі та особливо гостропосушливі роки втрачають економічну доцільність і практично не впливають на кінцевий результат.

Економічний аналіз виявив, що традиційні поверхневі схеми внесення азотних добрив (обприскування КАС та розкидання гранульованих форм) характеризуються низькою рентабельністю (69–83 %), окупністю 1 кг азоту лише 10,2–13,5 кг зерна та чистим прибутком 11090–13780 грн/га, що зумовлено значними втратами азоту в посушливі роки.

Натомість одноразове весняне ін'єкційне внесення КАС за технологією CULTAN ( $N_{60}$ ) у фазу кушення забезпечило найвищий умовно чистий прибуток на рівні 31450 грн/га (на 17670–20360 грн/га більше, ніж за традиційних схем), найвищий рівень рентабельності – 208 %, найнижчу собівартість 1 т зерна – 5390 грн, а також максимальну окупність азоту – 44,2 кг зерна на 1 кг азоту.

Тобто, технологія одноразового весняного внесення CULTAN КАС ( $N_{60}$ ) є економічно та енергетично найефективнішою для вирощування м'якої пшениці озимої в умовах Північного Степу України, забезпечуючи в 2,5–3 рази вищу рентабельність та на 128–139 % більший чистий дохід порівняно з традиційними поверхневими схемами.

### **Висновки та перспективи подальших досліджень.**

1. Технологія CULTAN з одноразовим весняним ін'єкційним внесенням КАС ( $N_{60}$ , варіант 5) забезпечує значно кращий розвиток асиміляційного апарату пшениці озимої: висота рослин – 102,8 см (+31 % до контролю), площа листової поверхні – 354 см<sup>2</sup> (+92 %), індекс листової площі – 6,8 (+79 %), фотосинтетичний

потенціал – 5,14 млн м<sup>2</sup>·добу/га (+81 %), вміст хлорофілу – 52,7 SPAD (+38 % до контролю та +23–27 % до традиційних схем), порівняно з традиційними методами.

2. Застосування CULTAN формує вищий і триваліший фотосинтезичний потенціал (сумарний за вегетацію – 5,08 млн м<sup>2</sup>·добу/га у варіанті 5, +79 % до контролю та +41–49 % до традиційних схем), особливо в критичний період колосіння–стиглість (1,52 млн м<sup>2</sup>·добу/га, +63–73 % до традиційних), а також кращу продуктивність кушення: коефіцієнт кушення – 3,0, густина стеблостою – 848 шт./м<sup>2</sup> (+49–57 % до традиційних схем).

3. Середня урожайність зерна за одноразовим внесенням CULTAN КАС склала 4,80 т/га (+2,03 т/га або +73 % до контролю та +1,50–1,73 т/га або +45–56 % до традиційних схем); у посушливих 2024–2025 рр. – 3,55–3,70 т/га (вдвічі вище традиційних, приріст +1,8–2,0 т/га до контролю), тоді як традиційні схеми дали лише 1,85–2,20 т/га.

4. Економічна ефективність застосування CULTAN (одноразове весняне внесення N<sub>60</sub>) забезпечує найвищу: рентабельність – 208 %, окупність 1 кг азоту – 44,2 кг зерна, умовно чистий прибуток – 31 450 грн/га (на 17 670–20 360 грн/га більше, ніж за традиційних схем з рентабельністю 69–83 % та прибутком 11 090–13 780 грн/га), собівартість 1 т зерна – 5 390 грн.

Перспективи подальших досліджень полягають у продовженні вивчення оптимізації технології CULTAN для пшениці озимої в умовах Північного Степу України, зокрема: визначенні найкращих норм і строків ін'єкційного внесення КАС залежно від попередника, вологозабезпечення та сортових особливостей; оцінці довгострокового впливу повторного застосування CULTAN на родючість ґрунту, мікробіологічну активність та баланс поживних речовин; порівнянні ефективності CULTAN з іншими пролонгованими формами азотних добрив (наприклад, інгібіторами нітрифікації); а також розробці економічно обґрунтованих інтегрованих систем живлення з урахуванням змін клімату та підвищення стійкості агроценозів до посухи.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Крамарьов С. М. Продуктивність та якість зерна пшениці м'якої озимої залежно від мінерального живлення в умовах лівобережного Лісостепу України. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони*. 2014. № 6. С. 61–67.
2. Васильченко В. Тверді та рідкі мінеральні добрива: рідкі мають переваги. *Агроном*. 2011. № 4. С. 150–153.
3. Коткова Т. М., Довбиш Л. Л. Вплив позакореневого (фолярного) підживлення рослин пшениці озимої на урожай і якість зерна. *Український журнал природничих наук*. 2023. № 3. С. 176–185.
4. Жемела Г. П. Добрива, урожай і якість зерна. Київ : Урожай, 1991. 136 с.
5. Рожков А. О., Бобро М. А., Рижик Т. В. Формування продуктивності колоса рослин пшениці озимої залежно від строку сівби та норми висіву. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2016. № 1–2. С. 6–11.
6. Нетіс І. Т. Вплив строків і доз підживлення пшениці озимої на врожайність і якість зерна. *Зрошуване землеробство*. 2010. № 53. С. 63–67.
7. Цилюрик О. І. Сучасні системи мульчувального обробітку ґрунту в Північному Степу : монографія Одеса : Олді+, 2023. 344 с.
8. Пальчук Н. С. Формування врожайності різними сортами пшениці озимої при вирощуванні після сої в умовах північної частини Степу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2014. Вип. 4. С. 156–162.
9. Гирка А. Д. Вплив локального азотного підживлення на формування показників структури врожаю озимої пшениці. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2009. № 1. С. 13–16.

10. Вожегова Р. А., Мунтян Л. В. Вплив різних доз азотного добрива та норм висіву на елементи структури врожаю сортів пшениці озимої. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2015. Вип. 3 (86). С. 107–115.
11. Короткова І. В., Карасенко В. М. Вплив систем удобрення на вміст основних елементів живлення у ґрунті та компоненти урожаю пшениці озимої. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. Vol. 26, № 2. С. 15–20.
12. Желязков О. І. Ефективність застосування азотних добрив при вирощуванні пшениці озимої в умовах північного Степу. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2015. № 1 (1). С. 156–162.
13. Сідоренко А. В., Дударєв Д. П. Вплив позакореневого підживлення мікродобривами і карбамідом на якість зерна озимої пшениці в умовах центрального Криму. *Зрошуване землеробство*. 2012. Вип. 57. С. 74–78.
14. Попов С., Авраменко С., Шевченко Т. Ефективність прикореневого азотного підживлення пшениці озимої в умовах посушливої осені Східного Лісостепу України. *Вісник аграрної науки*. 2019. Т. 97, № 5. С. 22–30.
15. Мостіпан М. І., Умрихін Н. Л. Ефективність прикореневого підживлення посівів пшениці озимої в Північному Степу України. *Аграрні інновації*. 2021. № 10. С. 72–78.
16. Вожегова Р. А., Нетіс І. Т., Онуфран Л. І., Сахацький Г. І., Шарата Н. Г. Зміна клімату та аридизація Південного Степу України. *Аграрні інновації*. 2021. № 7. С. 16–20.
17. Войновський В. Технологія CULTAN та машини для внесення рідких мінеральних добрив. Пропозиція. 2020. № 4 (20). С. 139–141.
18. Войновський В., Пономаренко О. Ефективність застосування технології внесення добрив Культиан. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2021. Вип. 28 (42). С. 249–258.
19. Kozlovský O., Balík J., Černý J., Kulháněk M., Kos M., Prášilová M. Influence of nitrogen fertilizer injection (CULTAN) on yield, yield components formation and quality of winter wheat grain. *Plant, Soil and Environment*. 2009. Vol. 55, № 12. P. 536–543.
20. Мойсейченко В. Ф., Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ : Вища школа, 1994. 334 с.
21. Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А. Методика польового досліджу : навч. посіб. Одеса : Олді Плюс+, 2024. 448 с.
22. Мазур В. А., Липовий В. Г., Мордванюк М. О. Методика наукових досліджень в агрономії : навч. посібник. Вінниця : ТВОРИ, 2020. 204 с.
23. Методика експериментальних досліджень технологічного процесу внесення мінеральних добрив машинами обладнаними ТОН / В. М. Добров та ін. *Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК : матеріали VIII-ї Міжнар. наук. конф. (Київ, 11–14 серпня 2020 р.)*. Київ : НУБіП, 2020. С. 131.
24. Макаренко Н. О., Вакал С. В. Методи експериментальних досліджень ефективності екологічно безпечних мінеральних добрив. *Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського*. 2011. Вип. 6. С. 71.
25. Ольховський Г., Бобро М., Чечуй О. Детальний метод визначення структури врожаю пшениці озимої. *Вісник аграрної науки*. 2019. Т. 97, № 12. С. 22–29.
26. Економіка виробництва зерна (з основами організації і технології виробництва) : монографія / В. І. Бойко та ін. ; за ред. В. І. Бойка. Київ : ННЦ ІАЕ, 2008. 400 с.
27. Формування нормативних витрат і доходів та баланси сільськогосподарської продукції в Україні та інших країнах світу / за ред. О. М. Шпичака. Київ : ІАЕ, 2003. 484 с.

Дата першого надходження статті до видання: 08.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 13.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.04.2026