

УДК 631.547:57.087

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.2.10>

ОСОБЛИВОСТІ УДОБРЕННЯ ПШЕНИЦІ В ОСНОВНИХ РЕГІОНАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Присяжнюк О.І. – д.с.-г.н.,

завідувач відділу,

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків

Кононюк Н.О. – к.с.-г.н.,

заступник директора,

Державне підприємство «Дослідне господарство «Саливонківське»

Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків

Національної академії аграрних наук України»

Качура Є.В. – к.с.-г.н.,

Інститут агроекології і природокористування

Черняк М.О. – PhD,

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків

Мусіч В.В. – PhD,

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків

Гончарук О.М. – PhD,

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків

Стаття присвячена вивченню питань удобрення пшениці в основних регіонах Лісостепу України та господарського виносу і балансу основних макроелементів, зокрема в Вінницькій, Київській, Полтавській, Сумській, Тернопільській, Харківській, Хмельницькій, Черкаській та Чернівецькій областях за період з 2020 по 2024 роки. Встановлено що в умовах сучасного господарювання агровиробничники застосовують органічні та мінеральні добрива доволі обмежено, чому сприяють ряд суб'єктивних так і об'єктивних причин. Максимальні кількості органіки 1394 кг/га в середньому за роки досліджень вносились лише в Київській області, тоді як решта регіонів Лісостепу України має показники набагато нижчі. Найбільше азотних добрив застосовують на одиницю площі вирощування пшениці в Тернопільській, Вінницькій та Хмельницькій областях – 103,6, 101,5 та 96,7 кг д.р./га. За фосфором кращими були Сумська, Тернопільська, Вінницька та Хмельницька області – 18,6, 16,8, 16,4 та 14,3 кг д.р./га, тоді як за калієм Сумська та Тернопільська – 19,6 та 14,9 кг д.р./га. Також досліджено що в регіонах де формувалась в роки досліджень краща урожайність отримано й вищі показники виносу азоту, особливо в Тернопільській – 182,5 кг/га а також Хмельницькій – 194,3 кг/га областях. Лідерами за господарським виносом фосфору були Тернопільська та Хмельницька області – 72,7 та 77,4 кг. А більше всього калій споживали посіви пшениці що вирощувались в умовах Черкаської, Сумської, Тернопільської та Хмельницької областей – 107,8, 108,1, 115,0 та 122,5 кг/га. При цьому показники споживання азоту, фосфору та калію посівами пшениці були найменшими в умовах вирощування їх в Харківській області – 140,4, 55,9 та 88,0 кг/га. Загалом же ми маємо від'ємний баланс макроелементів по усіх регіонах Лісостепу України, що показує недостатність компенсації витрачених з врожаєм мінеральних сполук надходженням їх в ґрунт.

Ключові слова: органічне добриво, азот, фосфор, калій, господарський винос, баланс макроелементів.

Prisiazhniuk O.I., Kononiuk N.O., Kachura Ye.V., Cherniak M.O., Musich V.V., Honcharuk O.M. Features of wheat fertilization in the main regions of the Forest-Steppe of Ukraine

This article is dedicated to studying wheat fertilization in the main regions of the Forest-Steppe of Ukraine, as well as the nutrient removal and balance of key macroelements in Vinnytsia, Kyiv, Poltava, Sumy, Ternopil, Kharkiv, Khmelnytskyi, Cherkasy, and Chernivtsi

regions during the 2020–2024 period. It has been established that under modern agricultural management conditions, farmers apply organic and mineral fertilizers rather sparingly, due to both subjective and objective reasons. The maximum amount of organic fertilizer was recorded in Kyiv region, averaging 1,394 kg/ha over the years of research, while the rest of the Forest-Steppe regions had significantly lower values. The highest application rates of nitrogen fertilizers per unit area of wheat cultivation were found in Ternopil (103.6 kg/ha), Vinnytsia (101.5 kg/ha), and Khmelnytskyi (96.7 kg/ha) regions. For phosphorus fertilizers, the leading regions were Sumy (18.6 kg/ha), Ternopil (16.8 kg/ha), Vinnytsia (16.4 kg/ha), and Khmelnytskyi (14.3 kg/ha). For potassium fertilizers, the highest application rates were recorded in Sumy (19.6 kg/ha) and Ternopil (14.9 kg/ha) regions. The study also found that in regions where higher wheat yields were achieved, higher nitrogen uptake was also observed, particularly in Ternopil (182.5 kg/ha) and Khmelnytskyi (194.3 kg/ha) regions. The highest phosphorus removal occurred in Ternopil (72.7 kg/ha) and Khmelnytskyi (77.4 kg/ha) regions. The highest potassium uptake was recorded in Cherkasy (107.8 kg/ha), Sumy (108.1 kg/ha), Ternopil (115.0 kg/ha), and Khmelnytskyi (122.5 kg/ha) regions. Conversely, the lowest nitrogen, phosphorus, and potassium consumption by wheat crops was observed in Kharkiv region, with values of 140.4 kg/ha, 55.9 kg/ha, and 88.0 kg/ha, respectively. Overall, there is a negative balance of macroelements across all Forest-Steppe regions, indicating insufficient replenishment of mineral compounds in the soil compared to the amount removed with the harvested crops.

Key words: organic fertilizer, nitrogen, phosphorus, potassium, nutrient removal, macroelement balance.

Постановка проблеми. Пшениця належить до однієї з найбільш поширених в світі і важливих для глобальної економіки зернових культур. Саме вона є традиційно вирощуваною культурою в Лісостепу України, регіоні збалансованому за наявністю достатньо гарних теплових ресурсів та вологою.

В умовах Лісостепу України наявні достатньо родючі ґрунти здатні задовольнити потреби більшості с-г культур. Однак, локальні технології вирощування пшениці не завжди адаптовані до умов, що може заважати отриманню гарного врожаю. Адже обсяги добрив в останні десятиліття часто не задовольняють потреби рослин, тим самим сприяючи збідненню ґрунту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Добрива є незамінними елементами технології вирощування адже суттєво покращують урожайність та якість врожаю культур [6; 15]. Тому агровиробничники зазвичай обирають ту кількість добрив яка здатна забезпечити максимальний урожай культури з мінімальними економічними затратами [7; 13].

Бажання отримати вищу прибутковість сприяє тому що фермери застосовують більші кількості добрив на посівах культур які мають кращу економічну цінність. Тому масові культури, такі як пшениця часто залишаються без необхідного рівня удобрення [1; 3; 10]. Також вважається що додаткові добрива можуть замінити певні дорожчі елементи технології завдяки активізації росту рослин [2; 5; 12]. Однак, надмірне застосування їх може завдати серйозної шкоди навколишньому середовищу [4].

Також важливо розуміти, що зменшення обсягів застосування добрив без заміни їх екологічно безпечними компонентами може призвести до збільшення витрат виробництва та сприяти переходу до екстенсивних сільськогосподарських практик [14].

Для вирішення сучасних проблем сільського господарства та навколишнього середовища наразі використовуються сучасні технології точного та органічного землеробства [8; 9; 16]. Проте урожайність пшениці отриманої в органічних системах землеробства як правило нижча, а ринок органічної сировини нараз в Україні не сформовано в достатній мірі [11]. А це в комплексі ускладнює перехід на екологічно безпечні технології вирощування пшениці.

Постановка завдання. Метою статті є виявлення особливостей зонального вирощування та удобрення пшениці в Лісостепу України.

Дослідження виконувались в Вінницькій, Київській, Полтавській, Сумській, Тернопільській, Харківській, Хмельницькій, Черкаській та Чернівецькій областях, що належать до зони Лісостепу України.

В Вінницькій області в 2020 році літо було жарким, з періодами посухи, тоді як восени була достатня кількість опадів. Зима 2021 року була прохолодною, а навесні відмічена достатня кількість опадів. Літо екстремально жарким, з дефіцитом опадів, а осінь з достатніми опадами. Літо 2022 року було жарким, з періодами посухи, а осінь була з достатньою кількістю опадів. Зима 2023 року мала прохолодні періоди, а навесні була достатня кількість опадів. Літо мало екстремально високі температури з дефіцитом опадів, а восени випала достатня кількість опадів. Літо 2024 року мало високі температури, а осінь була з достатньою кількістю опадів.

В Київській області весна та літо 2020 року були теплішими за норму, з періодами спекотної погоди. Натомість 2021 рік був теплим, з аномально високими температурами влітку та періодом посухи. В 2022 році спостерігалось спекотне літо та м'яка зима. 2023 рік був теплим, з аномально високими температурами влітку. Весна 2024 рік була вологою, а влітку опади були нерівномірними, з значними періодами посухи.

В Полтавській області весна та літо 2020 року були теплішими норми, з періодами спекотної погоди та нерівномірністю опадів. 2021 рік був теплим, весна вологою, з аномально високими температурами влітку. 2022 рік відзначився спекотним літом та м'якою зимою. В умовах 2023 року спостерігали аномально високі температури влітку. А в 2024 році в області випало лише 267 мм опадів, що становить 51% від багаторічної норми.

В Сумській області зима 2020 року була холодною а весна помірно тепла з достатньою кількістю опадів а влітку температури були близькими до середніх. В умовах 2021 року зима була прохолодною а навесні спостерігали періодичні посушливі періоди та спекотне літо з періодами недостатнього зволоження. В 2022 році весна мала достатній рівень опадів, а літо відзначалося підвищенням середніх температур, коли оінь була теплою, але й сухою. В 2023 році весна мала раннє та швидке підвищення температури, а літо було екстремально спекотне з вираженим дефіцитом опадів. Зима 2024 року була м'якою, весна рання і нестабільна а влітку були рекордно високі температури та значний дефіцит опадів.

В Тернопільській області навесні 2020 року була достатня кількість опадів, а літні місяці були теплими з кількома спекотними хвилями. В 2021 році весна нестабільною а влітку спостерігали дефіцит опадів, а осінь була теплою з нерівномірним розподілом опадів. Зимовий період 2022 року був теплішим до норми а весна з достатнім зволоженням ґрунтів. В 2023 році весна настала рано і була помірною, а натомість літо було екстремально спекотне з вираженим дефіцитом опадів. В 2024 році весна була нестабільною, а рекордно високі температури та значний дефіцит опадів влітку спричинило виражені посушливі умови.

В Харківській області в 2020 році літо було теплим з деякими спекотними хвилями а опади розподілялися нерівномірно. В 2021 році навесні спостерігали різкі зміни теплих та прохолодних періодів та рівня зволоження. Літо було спекотне із тривалими періодами впливу високих температур та дефіцитом опадів. В 2022 році літо було теплішим за норму з періодами дефіциту опадів. А в 2023 році навесні чергувались прохолодні та теплі періоди з періодичними опадами. Літо

було екстремально спекотним з вираженим дефіцитом опадів, а осінь теплою. В 2024 році навесні був нерівномірний розподіл опадів, а влітку зафіксовані високі середньодобові температури повітря із значним дефіцитом опадів.

В **Хмельницькій області** в 2020 році навесні спостерігали стабільне випадання опадів, а літо було тепле з періодичними спекотними хвилями. В 2021 році весна мала періодичні сухі періоди а літо перевищення температур із явними спекотними періодами та дефіцитом опадів. В 2022 році навесні була достатня кількість опадів, а літо було теплим. В 2023 році початок весни був раннім а літо екстремально спекотне з вираженим дефіцитом опадів. А в 2024 році літній період був надмірно спекотним з суттєвим дефіцитом опадів.

В **Черкаській області** в 2020 році навесні спостерігали стабільні опади а літо було тепле із періодичними спекотними хвилями. В умовах 2021 була рання весна з швидким підвищенням температур а влітку спостерігались спекотні періоди зі значним дефіцитом опадів. В 2022 році весна мала достатню кількість дощів а літо було помірно теплим. В 2023 році було екстремально спекотне літо. А в умовах 2024 року весняний період мав суттєві коливання температур і нерівномірний розподіл опадів коли влітку усі місяці були надмірно теплими з значним дефіцитом опадів.

В **Чернівецькій області** в 2020 році навесні була достатня кількість опадів а літо було теплим з періодичними спекотними хвилями. В 2021 році навесні спостерігали раннє потепління з періодами нестабільної погоди, а літо було спекотне. В 2022 році літо було тепле з окремими спекотними періодами. А в 2023 році весна мала ранній початок з швидким підвищенням температури, а літо було екстремально спекотне з тривалими періодами без опадів. В умовах 2024 року навесні спостерігалась нестабільна погода а от літні місяці були спекотними з дефіцитом опадів.

Грунтові умови. Чорноземи опідзолені займають близько 60% території Вінницької області. Сірі та темно-сірі лісові ґрунти – найпоширеніші ґрунти Київської області. Чорноземи типові – найпоширеніші ґрунти Полтавської області, займають близько 70% території, мають вміст гумусу до 5–6%. Сірі та темно-сірі лісові ґрунти – займають значну частину території Сумської області. Чорноземи опідзолені – найпоширеніший тип ґрунтів Тернопільської області, високородючі, мають вміст гумусу 3–5%. Чорноземи звичайні та опідзолені – найпоширеніші ґрунти Харківської області, займають понад 60% території. Чорноземи опідзолені – найбільш поширені ґрунти Хмельницької області, містять 3–5% гумусу. Чорноземи опідзолені та типові – найпоширеніші ґрунти Черкаської області, містять 4–6% гумусу. Сірі та темно-сірі лісові ґрунти – займають значну частину Чернівецької області, особливо в передгірських районах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Визначено, що наскільки ефективно та раціонально агровиробники використовують органічні (табл. 1) та мінеральні добрива (табл. 2–3) є визначальним фактором що дозволяє сформулювати раціональність заходів з оптимізації живлення культур.

При цьому, в середньому по Україні спостерігаємо досить низькі показники застосування органічних добрив. Проте, досить високі обсяги внесення притаманні Київській області, а найнижчі Чернівецькій, Вінницькій та Сумській. Загалом же ми бачимо тенденцію до збереження обсягів застосування на приблизно однаковому рівні.

Натомість мінеральні добрива більш доступні в усіх регіонах Лісостепу України, проте тенденція використання азотних добрив показує нам планомірне зменшення обсягів внесення з року в рік, причому найбільш вагоме зменшення почалось з 2022 року. Було використано в середньому по Лісостепу України 70 кг/га

добрив, коли в 21 році 82,6, а в 20–85,9 кг д.р./га. І лише в Вінницькій Сумській, Тернопільській та Черкаській областях було застосовано азоту на 31,9, 11,7, 6,3 та 10,5 кг д.р./га більше порівняно до попереднього року. А в умовах 2023 року війна та погіршення закупівельних цін на зерно вплинули також і на обсяги використання мінеральних добрив, тому лиш в Київській та Тернопільській областях був збережений минулорічний рівень застосування азоту.

Таблиця 1

Застосування органічних добрив на посівах пшениці в середньому по Україні та регіонах зони Лісостепу, 2020–2024 рр., кг/га

Регіон	Рік					Вміст гумусу, %
	2024	2023	2022	2021	2020	
Україна	423	407	488	325	364	3,07
Вінницька	230	201	296	285	285	2,90
Київська	1356	1430	1110	1268	1808	3,10
Полтавська	700	640	710	690	1127	3,29
Сумська	312	202	419	401	625	3,48
Тернопільська	835	1003	788	257	101	3,25
Харківська	296	398	176	136	175	4,30
Хмельницька	652	684	526	529	359	2,76
Черкаська	602	613	565	306	493	2,98
Чернівецька	212	235	197	33	0	2,70

Таблиця 2

Внесено азотних, фосфорних та калійних мінеральних добрив на посівах пшениці в середньому по Україні та регіонах зони Лісостепу, 2020–2024 рр., кг д.р./га

Регіон	Азотних добрив, кг/га	Вміст азоту, мг/кг ґрунту (за Корнфілдом)	Фосфорних добрив, кг/га	Вміст фосфору, мг/кг ґрунту (за Чириковим)	Калійних добрив, кг/га	Вміст калію, мг/кг ґрунту (за Чириковим)
Україна	67,8	116,7	12,7	116,7	8,9	116,6
Вінницька	101,5	96,0	16,4	96,0	13,1	117,0
Київська	76,7	129,0	9,8	129,0	10,4	107,0
Полтавська	56,3	131,0	8,2	131,0	7,2	116,8
Сумська	86,3	96,0	18,6	96,0	19,6	88,0
Тернопільська	103,6	112,0	16,8	112,0	14,9	118,0
Харківська	60,2	108,4	10,9	108,4	5,6	105,8
Хмельницька	96,7	107,0	14,3	107,0	11,6	110,0
Черкаська	74,6	142,7	10,1	142,7	10,4	114,8
Чернівецька	57,7	56,0	12,1	56,0	7,2	78,0

Також аналогічні динаміки зменшення обсягів застосування добрив торкнулись і використання для підживлення рослин й фосфорних мінеральних добрив. Проте, впродовж 2022–2020 років в середньому по Лісостепу аграрії застосовували 15 кг д.р./га фосфору, а в 2024–2023 – близько 10 кг д.р./га. В межах регіонів значне зменшення доз удобрень (нижче 10 кг/га) посівів фосфором зафіксоване в останні два роки в Київській, Полтавській, Харківській та Черкаській областях.

На відміну від азотних та фосфорних добрив використання для удобрення пшениці калійних добрив зберігалось на приблизно однаковому рівні також до 2022 року включно, та тенденції змін більш подібні до застосування фосфору. Адже в середньому по регіону в 2020–2022 рр. застосовувалось близько 13 кг/га, а в 2023–2024 рр. – близько 10 кг д.р./га.

Традиційно високий рівень застосування калійних добрив спостерігається в господарствах розташованих в Сумській та Тернопільській областях, коли найменш інтенсивно удобрюють посіви калієм в Полтавській, Харківській та Чернівецькій областях що може бути викликано рівнем забезпечення ґрунтів регіону цим елементом живлення. Проте, як бачимо з середньозважених показників вмісту обмінного калію в ґрунтах регіону в Чернівецькій області його міститься найменше по Лісостепу України.

Загалом обсяги застосування мінерального живлення відповідають класичним дослідженням в яких виявлено що в більшості ґрунтів лісостепової зони дуже низький (38,0%) та низький (54,0%) вміст легкогідролізованого азоту, середній (37,0%) та підвищений (37,4%) вміст рухомих форм фосфору та підвищений (41,5%) та високий (28,5%) вміст калію. Тобто аграрії в середньому по Лісостепу застосовують 79,3 кг д.р./га азоту, 13,0 фосфору та 11,1 кг д.р./га калію.

На формування рослин пшениці витрачається певна кількість елементів живлення, тому прорахуємо скільки макроелементів виноситься з врожаєм (основна + побічна продукція) (таблиця 4).

Таблиця 4

Господарський винос пшеницею азоту, фосфору та калію в середньому по Україні та регіонах зони Лісостепу, середнє за 2020–2024 рр., кг/га

Регіон	Азот	Фосфор	Калій
Україна	142,1	56,6	89,5
Вінницька	166,2	66,2	104,9
Київська	159,7	63,5	100,7
Полтавська	154,9	61,7	97,4
Сумська	172,2	68,6	108,1
Тернопільська	182,5	72,7	115,0
Харківська	140,4	55,9	88,0
Хмельницька	194,3	77,4	122,5
Черкаська	170,9	68,1	107,8
Чернівецька	158,2	62,9	99,9

Господарський винос елементів живлення напряму залежить від урожайності пшениці, тому в регіонах де формувалась в роки досліджень краща урожайність отримано й вищі показники виносу азоту, особливо в Тернопільській – 182,5 кг/га

а також Хмельницькій – 194,3 кг/га областях. Причому усі регіони Лісостепу України в середньому за п'ять років досліджень мали більші показники господарського виносу азоту чим показники отримані загалом по Україні на 24,5 кг/га азоту.

Лідерами за виносом фосфору були Тернопільська та Хмельницька області – 72,7 та 77,4 кг. При цьому ж за середнього по Україні виносу в 56,6 кг/га регіони Лісостепу мали більші показники на 9,8 кг/га.

Максимум споживання калію також припадав на лісостепові регіони України і порівняно до загальноукраїнського посіви використовували для формування врожаю на 15,4 кг/га більше цього елемента. Більше всього калій споживали посіви пшениці що вирощувались в умовах Черкаської, Сумської, Тернопільської та Хмельницької областей – 107,8, 108,1, 115,0 та 122,5 кг/га. Тобто регіони в яких складались достатньо гарні погодні умови для високої лабільності цих елементів живлення.

При цьому показники споживання азоту, фосфору та калію посівами пшениці були найменшими в умовах вирощування їх в Харківській області – 140,4, 55,9 та 88,0 кг/га.

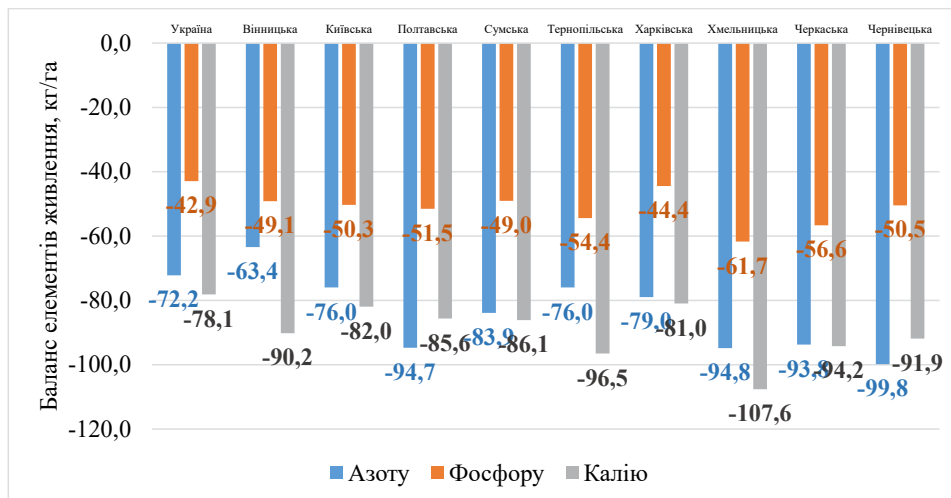


Рис. 1. Баланс макроелементів за вирощування пшениці

Як бачимо з даних рисунку 1 баланс усіх макроелементів по усіх регіонах Лісостепу України є від'ємних, що засвідчує активну експлуатацію родючості ґрунту без достатнього рівня поповнення мінерального живлення.

Висновки і пропозиції. В умовах сучасного господарювання агровиробничники застосовують органічні та мінеральні добрива доволі обмежено. Максимальні кількості органіки 1394 кг/га в середньому за роки досліджень вносились лише в Київській області, тоді як решта регіонів Лісостепу України має показники набагато нижчі. Найбільше азотних добрив застосовують на одиницю площі вирощування пшениці в Тернопільській, Вінницькій та Хмельницькій областях – 103,6, 101,5 та 96,7 кг д.р./га. За фосфором кращими були Сумська, Тернопільська, Вінницька та Хмельницька області – 18,6, 16,8, 16,4 та 14,3 кг д.р./га, тоді як за калієм Сумська та Тернопільська – 19,6 та 14,9 кг д.р./га.

В регіонах де формувалась в роки досліджень краща урожайність отримано й вищі показники виносу азоту, особливо в Тернопільській – 182,5 кг/га а також Хмельницькій – 194,3 кг/га областях. Лідерами за господарським виносом фосфору були Тернопільська та Хмельницька області – 72,7 та 77,4 кг. А більше всього калій споживали посіви пшениці що вирощувались в умовах Черкаської, Сумської, Тернопільської та Хмельницької областей – 107,8, 108,1, 115,0 та 122,5 кг/га. Загалом же ми маємо від’ємний баланс макроелементів що показує недостатність компенсації витрачених з врожаєм мінеральних сполук надходженням їх в ґрунт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Abadi B. The determinants of cucumber farmers' pesticide use behavior in central Iran: Implications for the pesticide use management. *Journal of Cleaner Production*, 2018. 205, 1069-1081. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.142>
2. Addison T., Ghoshray A., Stamatogiannis M. P. Agricultural commodity price shocks and their effect on growth in Sub-Saharan Africa. *Journal of Agricultural Economics*, 2016. 67(1), 47-61. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12120>
3. Colaço A. F., Bramley R. G. Do crop sensors promote improved nitrogen management in grain crops? *Field Crops Research*, 2018. 218, 126-140. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.007>
4. Eijsackers H., Maboeta M. Pesticide impacts on soil life in southern Africa: Consequences for soil quality and food security. *Environmental Advances*, 2023. 13, 100397. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100397>
5. Erdinc C., Ekinci A., Gundogdu M., Eser F., Sensoy S. Bioactive components and antioxidant capacities of different miniature tomato cultivars grown by altered fertilizer applications. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2018. 12, 1519-1529. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9760-1>
6. Fan J. L., Li Z., Huang X., Li K., Zhang X., Lu X., Shen B. A net-zero emissions strategy for China's power sector using carbon-capture utilization and storage. *Nature Communications*, 2023. 14(1), 5972. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41548-4>
7. Fei R., Lin Z., Chunga J. How land transfer affects agricultural land use efficiency: Evidence from China's agricultural sector. *Land Use Policy*, 2021. 103, 105300. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105300>
8. He D.-C., Ma Y.-L., Li Z.-Z., Zhong C.-S., Cheng Z.-B., Zhan J. Crop Rotation Enhances Agricultural Sustainability: From an Empirical Evaluation of Eco-Economic Benefits in Rice Production. *Agriculture*, 2021. 11, 91. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020091>
9. Muhie S.H. Novel approaches and practices to sustainable agriculture. *J. Agric. Food Res.* 2022, 10, 100446 <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100446>
10. Mutua-Mutuku M., Ngulue S. N., Akuja T., Lutta M., Bernard P. Factors that influence adoption of integrated soil fertility and water management practices by smallholder farmers in the semi-arid areas of eastern Kenya. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 2017. 20(1), 141-153.
11. Prysiashniuk O. I., Kononiuk N. O., Polovynchuk O. Yu., Musich V. V., Honcharuk O. M., Voloshyn P. Yu., Maliarenko O. A., Shevchenko O. P. Determination of critical phases of winter cereal crops based on international unified growth and development scales. *Scientific works of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 2024. (32), 49–62. <https://doi.org/10.47414/np.32.2024.322938>
12. Qi Y., Yang X., Pelaez A. M., Lwanga E. H., Beriot N., Gertsen H., Geissen V. Macro-and micro-plastics in soil-plant system: Effects of plastic mulch film residues on wheat (*Triticum aestivum*) growth. *Science of the Total Environment*, 2018. 645, 1048-1056.

13. Rezaei A., Hassani H., Hassani S., Jabbari N., Mousavi S. B. F., Rezaei S. Evaluation of groundwater quality and heavy metal pollution indices in Bazman basin, south-eastern Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, 2019. 9, 100245. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100245>
 14. Sinha B. B., Dhanalakshmi R. Recent advancements and challenges of In-ternet of Things in smart agriculture: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 2022. 126, 169-184. <https://doi.org/10.1016/j.future.2021.08.043>
 15. Subedi M., Bagwell J. W., Ghimire B., Lopez B., Sapkota S., Babar M. A., Mergoum M. Identifying genomic regions associated with key agro-morphological traits in soft red winter wheat using genome-wide association study. *Crop Science*, 2024. 64(4), 2316-2335. <https://doi.org/10.1002/csc2.20998>
 16. Winkler J., Dvořák J., Hosa J., Martínez Barroso P., Vaverková M.D. Impact of Conservation Tillage Technologies on the Biological Relevance of Weeds. *Land*, 2023, 12, 121. <https://doi.org/10.3390/land12010121>
-