



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 12
Український журнал природничих наук
№ 12

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 635.15:631.5

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.26>

ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ЗАСТОСУВАННЯ СИДЕРАТИВ ІЗ БІОДОБРИВАМИ ЗА ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО

Я. Г. Цицюра¹

Визначено для України, що з позиції формування оптимізованих систем удобрення актуальним завданням є адаптація сидеральних систем удобрення завдяки використанню хрестоцвітних видів рослин-сидератів – редьки олійної та гірчиці білої, які адаптовані до ґрунтово-кліматичних умов Лісостепової зони. Саме даний спосіб удобрення, у поєднанні з мінеральним фоновим живленням, забезпечує реалізацію принципів екологізації та біологізації, сприяє поверненню до адаптивних технологій ґрунтозбереження та ґрунтореабілітації.

За багаторічний період досліджень (2022–2024 роки) визначено ефективність застосування сидеральної системи із включенням редьки олійної та гірчиці білої на фоні застосування біодобрива Органік баланс у системі удобрення кукурудзи на зерно на сірих лісових ґрунтах, типових для ґрунтового покриву зони Лісостепу Правобережного.

За результатами досліджень визнано доцільним за вирощування кукурудзи на зерно варіант сидерації, який передбачає застосування біодобрива Органік баланс у нормі 2 л/га у поєднанні із загортанням, шляхом оранки, подрібненої маси редьки олійної та гірчиці білої загальною масою 18 т/га на фоні удобрення в нормі $N_{60}P_{60}K_{60}$. Застосування такого технологічного варіанту дозволило скоротити загальний рівень забур'яненості кукурудзи на 49,4% (сиря маса бур'янів) та на 55,0% (суха маса бур'янів) та забезпечило досягнення врожайності на рівні 8,18 т/га із приростом до контролю без сидерації та застосування біодобрива 21,2%.

Ключові слова: сидерація, редька олійна, гірчиця біла, біоорганічні добрива, забур'яненість, урожайність.

EFFICIENCY OF COMPLEX APPLICATION OF GREEN MANURE WITH BIOFERTILIZERS FOR GROWING MAIZE FOR GRAIN

Y. G. Tsytsiura

It has been determined for Ukraine that from the point of view of the formation of optimized fertilization systems, the adaptation of green manure systems through the use of cruciferous green manure plant species – oil radish and white mustard, which are adapted to the soil and climatic conditions of the Forest-Steppe zone – is an urgent task. This method of fertilization, combined with mineral

¹ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: yaroslavtsytsyura@ukr.net
ORCID: 0000-0002-9167-833X

background nutrition, ensures the implementation of the principles of ecologization and biologization and promotes the return to adaptive soil conservation and soil rehabilitation technologies.

Over a multi-year research period (2022–2024), the effectiveness of the green manure system with the inclusion of oil radish and white mustard against the background of the use of Organic Balance biofertilizer in the corn fertilization system on gray forest soils typical of the soil cover of the Right-Bank Forest-Steppe zone was determined.

According to the results of the research, it was found expedient to use a green manure option for growing corn for grain, which involves the use of Organic Balance biofertilizer at a rate of 2 l/ha in combination with the incorporation, by plowing, of a crushed mass of oil radish and white mustard with a total weight of 18 t/ha against the background of fertilizer at a rate of $N_{60}P_{60}K_{60}$. The use of this technological variant allowed to reduce the overall level of weed infestation of corn by 49,4% (wet weight of weeds) and 55,0% (dry weight of weeds) and ensured the achievement of a yield of 8,18 t/ha with an increase to the control without green manure and the use of biofertilizer of 21,2%.

Key words: green manure, oil radish, white mustard, bioorganic fertilizers, weediness, yield.

Вступ

За останній період у системах агротехнологій вирощування основних сільськогосподарських культур відбуваються істотні зміни. Ці зміни стосуються підходів до варіантів удобрення у зв'язку з дефіцитом класичних органічних добрив. Світова практика удобрення базується здебільшого на органо-мінеральній стратегії удобрення, формуючи відповідний рівень її біологізації, тобто співвідношення між унесеною нормою діючої речовини мінеральних добрив на 1 т застосованих органічних. Оптимум цього показника передбачає наявність до 15 кг діючої речовини мінерального живлення на 1 т органічного (Berezyuk et al., 2021; Drescher et al., 2021).

Проте перехід утримання сільськогосподарських тварин на біорециклінгові варіанти, де фізіологічні відходи, які потенційно трансформуються у гноєві маси, стають об'єктом біоенергетичного виробництва з переробкою на біогаз, отримання похідного продукту такого виробництва – дигестату (Honcharuk & Tokarchuk, 2024; Tokarchuk et al., 2024). У результаті ланка нагромадження органічних добрив суттєво зменшується (Lei et al., 2022).

Також намітилась тенденція до інтенсивного та сталого й динамічного зниження чисельності поголів'я тварин усіх видів груп. Це негативно відобразилось на загальній динаміці накопичення органіки, яку потенційно можна було б використати в системах удобрення (Naher et al., 2021; Li et al., 2024).

Водночас наголошується (Wang et al., 2020; Olf et al., 2021), що найбільш раціональні моделі удобрення є органо-мінеральні. Такі варіанти найбільш відповідають завданням збереження ґрунтової родючості, зниження темпів агрохімічної

деградації, забезпечення умов ґрунтореабілітації, особливо на ґрунтах низького та середнього потенціалу. Такі системи, окрім того, найбільш відповідають природним процесам колообігу органіки й поживних речовин, сприяють стабілізаційним процесам ґрунтового живлення та позитивного балансу макро- і мікроелементів у ґрунтовому профілі (dos Santos Nascimento et al., 2021; Deus et al., 2022; Bublit et al., 2022).

Сучасні варіанти удобрення кукурудзи також здебільшого представлено рекомендаціями з максимально доцільного застосування органічних і біоорганічних компонентів у поєднанні з фоновим мінеральним удобренням та застосуванні комплексу позакоренових підживлень (Fan et al., 2020; Wei et al., 2020; Hlushchenko et al., 2024; Kucerik et al., 2024). Рекомендована частка біоорганічних компонентів визначається потенціалом родючості ґрунтів, насиченістю сівозмін кукурудзою та іншими просапними культурами, особливостями ресурсної ємності конкретного генотипу кукурудзи, характером загальної орієнтованості виробництва (органічне чи класичне) (Qi et al., 2024).

Зазначається також (Wei et al., 2020; Pimentel et al., 2023; Pál et al., 2024), що доцільність застосування органічних компонентів удобрення узгоджується з показниками гідротермічних умов періоду вегетації, рівномірністю розподілу опадів, строками сівби самої культури.

Незважаючи на відпрацьовані моделі систем удобрення кукурудзи, які передбачають частку органічного компоненту живлення від 10 до 50–60%, багато питань ефективності залишаються невирішеними (Wei et al., 2020). Насамперед це стосується питань форм органічних добрив із позиції складу, походження, а також характеру їх розподілу з огляду на строки внесення та

поєднання із класичними мінеральними добривами (Saleem et al., 2020; Hudek et al., 2022; Gao et al., 2024).

Окремим проблемним аспектом залишаються питання застосування сидераційних варіантів удобрення кукурудзи, зокрема питання видової ефективності окремих сидератів і спряжених ефектів їхньої дії як безпосередньо на підвищення продуктивності (урожайність і якість урожаю), так і на властивості ґрунту, стабілізації його агрохімічного потенціалу тощо (Hudek et al., 2022; Gentsch et al., 2024; Kemper, 2024).

Отже, рекомендації щодо використання сидератів у вирощуванні кукурудзи мають різномірний характер із різних агротехнологічних позицій – вид сидерату, спосіб сидерації, строки сидерації, норми сидерального компоненту. Це створює деякі труднощі в детермінації оптимальних моделей застосування цих технологій у вирощуванні не тільки кукурудзи на зерно, але й інших культур просапної технологічної групи (Duff et al., 2020; Wang et al., 2020).

За результатами оцінювання (Tsytisura, 2024a; Tsytisura, 2024b), редька олійна як вид (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) характеризується високим адаптивним потенціалом, має досяжний рівень біопродуктивності надземної маси – до 30 т/га, а кореневої маси до 11–13 т/га. Культура також підтвердила невибагливість до термінів сівби та наявність алелопатичного високого потенціалу з позиції конкурентоспроможності щодо основних бур'янів. Відомо також її ефективне застосування в технологіях біофумігації та фіторемердіа-

ції. Комплексом цінних властивостей володіє гірчиця біла як відомий і давно застосовуваний сидеральний компонент для зони Лісостепу.

Зважаючи на зроблені вище висновки, важливим було дослідження ефективності застосування варіанту проміжної сидерації із застосуванням обох згадуваних хрестоцвітних культур за поєднання застосування біодобрива (для прискорення і оптимізації процесу іммобілізації сидеральної маси) для вирощування кукурудзи на зерно на сірих лісових ґрунтах.

Матеріал і методи

Дослідження проводились упродовж 2022–2024 рр. на дослідному полі Вінницького національного аграрного університету (N 49°11'31", E 28°22'16".) на сірих лісових ґрунтах. Агрохімічний потенціал поля мав такі середньозважені показники: уміст гумусу – 2,68%, легкогідролізованого азоту – 81,5 мг/кг ґрунту, рухомого фосфору – 176,1 мг/кг ґрунту, обмінного калію – 110,8 мг/кг ґрунту, pH_{сол.} – 5,8.

Для досягнення поставленої мети досліджень було сформовано схему досліду, візуалізація якої наведена в таблиці 1.

Попередником у всіх варіантах досліду була озима пшениця. У досліді була застосована зональна агротехніка вирощування кукурудзи на зерно. Статистично система варіантів була сформована у чотирикратній повторності методом двоярусної повної рендомізації в межах кожного повторення за розмірів облікової площі ділянки 50 м². Передпосівний обробіток під посів сидерального агрофітоценозу як редьки олійної, так

Таблиця 1

Схема досліду з вивчення варіантів проміжної сидерації за вирощування кукурудзи на зерно, 2022–2024 рр.

Застосування додаткового ком- поненту біодобрива (чинник А)		Варіант сидерації (чинник В)	
контроль (без сидерації та застосування біодобрива на фоні N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀)			
Без використання біодобрива	А1	сидеральна маса гірчиці білої (18 т/га*)	В1
		сидеральна маса редьки олійної (18 т/га)	В2
		комбіноване застосування сидеральної маси гірчиці білої та редьки олійної (18 т/га)	В3
Сумісне застосування Органік Баланс (2 л/га)	А2	сидеральна маса гірчиці білої (18 т/га*)	В1
		сидеральна маса редьки олійної (18 т/га)	В2
		комбіноване застосування сидеральної маси гірчиці білої та редьки олійної (18 т/га)	В3

Примітка. * – біопродуктивність визначена на підставі середньобагаторічного досяжного показника для зони досліджень на сірих лісових ґрунтах для обох сидератів.

і гірчиці білої проводився із застосуванням дискування у два сліди на глибину 6–8 см після збору попередника та наступного комбінованого обробітку на глибину 12–14 см.

Фонове мінеральне удобрення згідно зі схемою досліду було розподілено таким чином: фосфорні та калійні добрива (повною нормою) було внесено під дискування, азотні добрива – під передпосівний обробіток під кукурудзу.

Сидеральна маса загорталась у ґрунт під час оранки на глибину 25–27 см з обов'язковим її скошуванням і подрібненням за досягнення обома культурами фенологічної фази початку цвітіння. Для варіанту із застосуванням біодобрива скошену та подрібнену масу сидерату перед загортанням у ґрунт обробляли біодобривом Органік баланс у нормі 2 л/га за витрати робочого розчину до 300 л/га.

Висівався гібрид кукурудзи ДКС 3609, агроценоз якого формувався за густоти стояння 75 тис. рослин/га за сівби у третій декаді квітня.

Застосоване біодобриво Органік баланс належить до біологічних препаратів з активністю біофіксації азоту та стабілізації сполук фосфору з наявним ефектом деструктора рослинних решток. Його застосування сприяє оптимізації процесу розкладання сидеральної маси з позитивними темпами мінералізації, що сприяє поліпшенню впливу процесу сидерації на комплекс властивостей ґрунту та гармонізації процесів вивільнення мінеральних сполук із рослинної маси у процесі гниття, гарантує підтримання ефекту стабілізації накопичення органічного вуглецю у ґрунтовому профілі. До складу біодобрива входять такі мікроорганізми та штами бактерій: *Bacillus subtilis*, *Azotobacter chr.*, *Paenibacillus polymyxa* (за титру 1×10^8 – 1×10^9 КУО/см³). Також у складі добрива присутні фітогормони, біоферментні та вітамінні комплекси, що створює оптимальні умови для активізації позитивних процесів мікробіологічного розкладу рослинної маси сидерату.

ДКС 3609 (ФАО 260) характеризується як середньостиглий генотип із високим рівнем урожайності та комплексом адаптивних властивостей. Добре реагує на оптимізацію фону мінерального й органічного живлення, має високий коефіцієнт окупності удобрення приростами врожаю.

Середні показники стійкості до хвороб і шкідників оцінено у 8,7 бала. Посухостійкий із широкими адаптивним

механізмом до строків сівби. За результатами екологічного зонального сортовипробування мав такі морфометричні характеристики: висоту стебла до 2,4 м, загальну довжину качана на рівні 12–15 см, діаметр качана в інтервалі 4,8–5,2 см за кількості рядів зерен 14–15 шт. і маси 1 000 зерен в інтервалі 303–324 г. Рівень зернової продуктивності оцінено в 10–12 т/га. Рекомендована оптимальна густота стояння в інтервалі 70–75 тис. рослин на га.

Оцінювання зернової продуктивності кукурудзи в усіх варіантах досліду, а також подальшу поділянкову та загальну калькуляцію врожайності зерна проводили відповідно до рекомендованої методики оцінювання рівня продуктивності кукурудзи в переведення на стандартний рівень вологості зерна (14%) (європейський підхід відповідно до (Badu-Apraku et al., 2012)).

Статистичну обробку отриманих експериментальних даних проведено відповідно до стандартних методів (Wong, 2018) із застосуванням програмних пакетів “Exel” та “Statistica 10”.

Результати

Погодні умови в роки проведення досліджень зафіксовано і деякими відхиленнями від середньобогаторічного рівня, особливо для показника суми опадів (табл. 2, рис. 1). У підсумку це сформувало передумови для зростання загальної варіативності показника індексу зволоження до рівня 27,9%.

Відмічено істотність варіювання показника кількості опадів за загальний період від сходів до приорювання сидератів. Погодні умови у 2022 та 2023 рр. характеризувались як відносно сприятливі для реалізації продуктивності гібридів кукурудзи в регіоні досліджень. Для умов 2024 р. відмічено аномально високі температури в період другої декади липня – першої декади серпня, що сформувало передумови для зниження зернової продуктивності в середньому на 18–22% на фоні зменшення тривалості вегетаційного періоду культури в середньому на 8,5 доби (див. рис. 1).

На основі обліку рівня забур'яненості агроценозів кукурудзи, за використання різних варіантів сидерації, доведено протибур'янову ефективність хрестоцвітих сидератів (табл. 3). Це підтверджено зіставленням показників загальної забур'яненості посівів кукурудзи контрольного варіанту та варіантів сидерації. Застосування редьки олійної як сидерату було більш ефективним,

Таблиця 2

Основні складники гідротермічного режиму періоду вегетації рослин-сидератів,
2022–2024 рр.

Роки та періоди оцінювання VII–XII/I–IV	За період				
	Показник середньодобо- вої темпера- тури повітря за період, °C	Загальна сума активних тем- ператур, °C	Сума опадів, мм	Відносна вологість повітря, %	Загальний індекс зволо- ження, мм/°C
2021/2022 рр.	7,66	2329,3	481,2	78,5	0,207
2022/2023 рр.	8,41	2546,8	855,5	78,1	0,336
2023/2024 рр.	10,05	3056,5	747,9	76,8	0,245

з огляду на зниження показника загальної кількості бур'янів на 21,9% порівняно з контролем. Для варіанту використання гірчиці білої аналогічний показник був на рівні 14,4%.

Комбіноване застосування обох видів рослин сидератів посилювало ефект редукції кількості бур'янів, підвищувало цей показник на 6,5% у зіставленні з однокомпонентним застосуванням редьки олійної. Подібна тенденція у значенні 22,84% відмічена і для досліджуваного показника сформованої сухої маси бур'янів.

Доведено позитивну посилювальну роль протибур'янового ефекту за використання додаткового чинника оптимізації розкладення сидеральної маси у ґрунті – використання біодобрива Органік баланс. Так, у варіантах однокомпонентного використання редьки олійної додавання до маси перед сидерацією даного біодобрива підвищувало загальний ефект зниження кількості бур'янів до 23,50%, для аналогічного варіанту з гірчицею білою – до 18,06%. Загальний коефіцієнт зростання редукції кількості бур'янів за зіставлення комбіновано видових варіантів сидерації становив 1,42 на користь варіанту з додатковим застосуванням біодобрива Органік баланс.

У підсумку мінімальний показник рівня забур'яненості було відмічено саме у варіанті максимального поєднання факторів сидерації з рівнем забур'яненості 162,3 шт./м² (8,58 г/м² у сухій речовині). Тобто загальний показник зниження вказаних показників до контрольного варіанту в досліді становив 49,4 та 55,0% відповідно.

На підставі отриманих даних можна стверджувати, що застосування проміжної сидерації у вирощуванні кукурудзи на зерно відіграє роль біологічного регулятора рясності сегетальної рослинності з вираженим редукуючим ефектом, який не несе

додаткового навантаження на екологічну рівновагу агроценозу поля, але бере на себе часткову функції ґрунтових гербіцидів, які широко застосовуються в сучасних технологіях вирощування кукурудзи на зерно. Такий ефект є також позитивним із позиції зниження загальної собівартості виробництва зерна кукурудзи завдяки прогнозованому зниженню витрат на пестицидну групу агрохімікатів.

Підтверджено позитивний сталий вплив застосування варіантів сидерації за вирощування кукурудзи на структуру індивідуальної зернової продуктивності (табл. 4).

Зазначено загальний позитивний вплив досліджуваних варіантів сидерації на формування вагових і структурних елементів індивідуальної продуктивності як рослини загалом, так і качана зокрема. Установлено специфіку формування показників у розрізі окремих варіантів дослідів. Так, варіант з однокомпонентною сидерацією гірчицею білою забезпечив усереднені прирости загальної маси рослин на рівні 7,54%, кількості качанів у розрахунку на 100 рослин на 2,85%, загальної довжини качана на 2,35%, а виходу зерна з качана на 7,53% відповідно. Однокомпонентна сидерація редькою олійною за збереження тієї ж тенденції росту показників мала вищі рівні їх значення із середнім за показниками індексом зростання на рівні 2,37%.

Максимальні значення приростів було визначено у варіанті комбінованого поєднання сидеральної маси редьки олійної та гірчиці білої, де показники приростів до контролю становили 11,74, 5,14, 5,67 та 10,92% відповідно. Додаткове використання біодобрива Органік баланс сприяло зростанню ефекту приросту з усередненим коефіцієнтом по комплексу відмічених морфоознак на рівні 1,056 (5,62%).

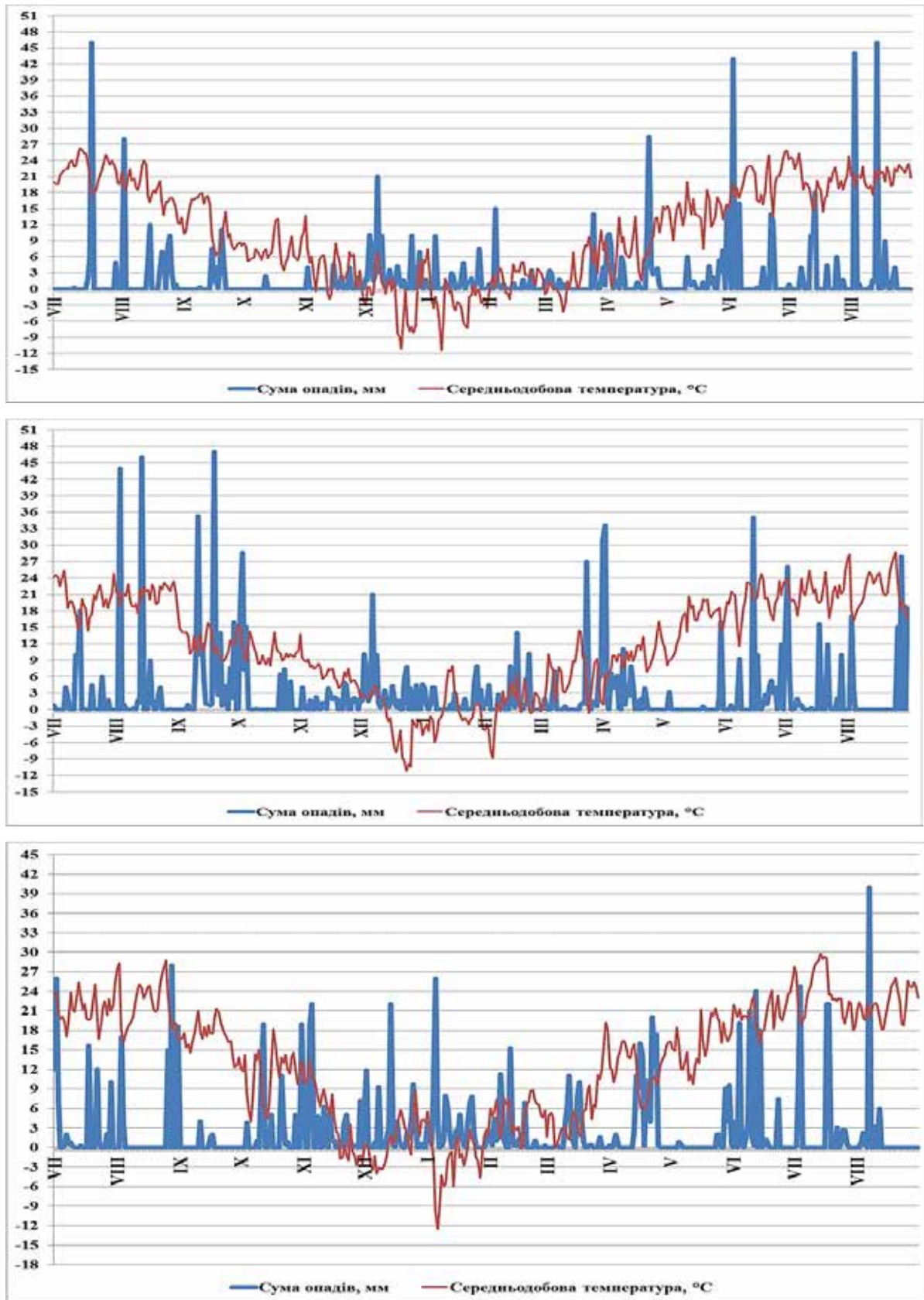


Рис. 1. Гідротермічний режим у роки проведення досліджень (річний цикл), 2021–2024 рр. (послідовно згори – до низу: 2021/2022; 2022/2023; 2023/2024 річні періоди)

Таблиця 3

Рівень присутності сегетальної рослинності в посівах кукурудзи гібрида ДКС 3609 за різних варіантів проміжної сидерації (у середньому за 2022–2024 рр.), шт./м²

Варіант сидерації	Облікова чисельність бур'янів у фазі повних сходів			
	шт./м ²	± до контроль-ного варіанту	у сухій масі, г/м ²	± у зіставленні з контролем
1	320,5	–	41,13	–
2	274,2	–46,3	36,09	–5,04
3	250,3	–70,2	32,25	–8,88
4	229,4	–91,1	31,74	–9,39
5	224,7	–95,8	29,44	–11,69
6	191,7	–128,8	24,42	–16,71
7	162,3	–158,2	18,58	–22,55
НІР ₀₅	4,108	–	2,273	–

Примітка: 1 – контрольний (без сидерації на фоні внесення N₆₀P₆₀K₆₀); 2 – сидерація гірчицею білою (18 т/га); 3 – сидерація редькою олійною (18 т/га); 4 – комбінований варіант за сумісної сидерації гірчицею білою та редькою олійною (18 т/га); 5 – Органік баланс (2 л/га) + сидерація гірчицею білою (18 т/га); 6 – Органік баланс (2 л/га) + сидерація редькою олійною (18 т/га); 7 – Органік баланс (2 л/га) + сумісна сидерація гірчицею білою та редькою олійною (18 т/га).

Таблиця 4

Вплив варіантів проміжної сидерації на формування показників структури індивідуальної зернової продуктивності кукурудзи гібрида ДКС 3609 (середнє за період 2022–2024 рр.)

Варіант сидерації	Загальна маса однієї рослини, г	Число качанів на 100 облікових рослин, шт.	Середня довжина качана, см	Вихід зерна з качана, г	Показник маси 1 000 зерен, г
1	240,65	94,82	21,62	98,05	280,72
2	258,79	97,55	22,15	105,62	287,35
3	266,92	98,24	22,44	107,08	294,54
4	268,87	99,67	22,82	108,72	297,73
5	269,75	98,15	22,35	107,55	300,86
6	272,44	99,53	22,92	110,93	302,95
7	283,32	100,42	23,75	113,25	305,85
НІР ₀₅	1,117	0,124	0,753	0,814	8,94

Примітка: 1 – контрольний (без сидерації на фоні внесення N₆₀P₆₀K₆₀); 2 – сидерація гірчицею білою (18 т/га); 3 – сидерація редькою олійною (18 т/га); 4 – комбінований варіант за сумісної сидерації гірчицею білою та редькою олійною (18 т/га); 5 – Органік баланс (2 л/га) + сидерація гірчицею білою (18 т/га); 6 – Органік баланс (2 л/га) + сидерація редькою олійною (18 т/га); 7 – Органік баланс (2 л/га) + сумісна сидерація гірчицею білою та редькою олійною (18 т/га).

Потенціал зернової продуктивності досліджуваного генотипу кукурудзи з огляду на його ідіотипічну характеристику було досягнуто у варіанті поєднання біодобрива із сумісним застосуванням сидеральної маси гірчиці білої та редьки олійної, що ґрунту-

ється на результатах зіставлення даного варіанту досліді з контрольним з абсолютним приростом за показником ваги рослин на рівні 17,73%, кількістю качанів у розрахунку на 100 рослин на рівні 5,94%, за довжиною качана на рівні 9,75%, за виходом

зерна з качана на рівні 15,57%. Позитивний вплив встановлено і для показника маси 1 000 зерен, незважаючи на високу генотипову його детермінацію в кукурудзи. Водночас зберігалась та ж тенденція до формування максимального значення даного показника у варіантах поєднання біодобрива Органік баланс і двокомпонентної сидерації на рівні 305,85 г із приростом до контролю 25,13 г (8,95%).

Закономірно, що визначена динаміка формування показників морфометрії та вагової продуктивності мала ту ж динаміку формування за показником урожайності (табл. 5).

У підсумку визначено загальний позитивний вплив усіх варіантів сидерації на формування врожайності кукурудзи в усі роки обліків із приростами в інтервалі від 12,53 до 55,47% до контрольного варіанту. Максимальну врожайність у середньому за період оцінювання – 8,18 т/га (із приростом до контролю – 1,44 т/га) було обліковано на варіанті максимальної комбінаторики варіантів досліду за бінарновидової сидерації на фоні власне передсидераційного застосування біодобрива Органік баланс.

Обговорення

Доведено позитивний вплив сидерації, зокрема з використанням саме редьки олійної, на зниження рівнів забур'янення наступних культур у сівозміні після власне сидерального використання. Це стосувалось як рівнів загальної, так і рівнів потенційної забур'яненості. Це досягалось як за

результатами безпосереднього домінування в сидеральному агроценозі, так і завдяки біофумігаційному, фітореMediaційному та алелопатичному ефектам, властивим у технологіях сидерації саме хрестоцвітним видам рослин (Tsytisiura, 2024a).

Зазначено, що ефект гербоконкуренції сидератів має виражений видовий характер і залежить також від строку та термінів сидерації, продуктивності сформованої надземної та кореневої біомаси, фенологічних аспектів сидераційного використання рослин, типу та рівня забур'яненості поля до сидерації (Lei et al., 2022). Відмічена й різна специфічність впливу різних видів рослин сидератів на різні види та біологічні групи бур'янів. Зокрема, для редьки олійної та гірчиці білої найефективнішим був вплив на бур'яни озимої, зимуючої та ярої ранньої груп (Kemper, 2024).

Головними перевагами рослин сидератів є висока інтенсивність і динамізм накопичення надземної маси, що створює передумови для панівного пригнічення інших видів рослин на ранніх етапах їхнього росту й розвитку, імітуючи гербостатичний ефект у ценозі. Сидерація також сприяє ефективному зниженню рівня забур'яненості, в основному завдяки сумісному загортанню рослин бур'янів разом зі сформованою сидеральною масою, що імітує процес зниження рівня сегетальної поширеності видів саме завдяки застосуванню обробітку ґрунту у класичних землеробських системах (Duff et al., 2022).

Таблиця 5

Підсумкові показники рівня врожайності кукурудзи гібрида ДКС 3609 за різних варіантів сидерації, 2022–2024 рр. (т/га)

Варіант сидерації	Рік обліку			Середня за період	± до контрольного варіанту	
	2022 р.	2023 р.	2024 р.		т/га	%
1	7,15	8,15	5,35	6,75	–	–
2	7,90	8,92	6,08	7,50	0,77	11,12
3	8,05	9,09	6,21	7,65	0,91	13,35
4	8,35	9,39	6,51	7,95	1,22	17,84
5	8,02	9,24	6,00	7,62	0,88	12,92
6	8,27	9,45	6,29	7,87	1,14	16,64
7	8,58	9,59	6,77	8,18	1,44	21,25
НІР ₀₅ , т/га	0,28	0,26	0,34	0,31	–	–

Примітка: 1 – контрольний (без сидерації на фоні внесення N₆₀P₆₀K₆₀); 2 – сидерація гірчицею білою (18 т/га); 3 – сидерація редькою олійною (18 т/га); 4 – комбінований варіант за сумісної сидерації гірчицею білою та редькою олійною (18 т/га); 5 – Органік баланс (2 л/га) + сидерація гірчицею білою (18 т/га); 6 – Органік баланс (2 л/га) + сидерація редькою олійною (18 т/га); 7 – Органік баланс (2 л/га) + сумісна сидерація гірчицею білою та редькою олійною (18 т/га).

Додатковим чинником протисегетальної спрямованості сидератів хрестоцвітої групи є швидкі темпи початкових ростових процесів з інтенсивним покриттям поверхні поля, подальшого інтенсивного затінення та формування несприятливих умов для фотосинтетичної діяльності власне бур'янів у відповідному ярусі сидерального посіву – переважно в нижньому, на висоті до 50 см, що є недостатнім для успішної конкуренції з рослинами-сидератами, які, як-от хрестоцвіті види, охоплюють ярус висотою до 80 см (dos Santos Nascimento et al., 2021; Tsytsiura, 2024a). Із цієї позиції ефективним буде використання сидерації, особливо за використання досліджуваних хрестоцвітих видів, у вирощуванні інтенсивних просапних культур, як-от кукурудза, соняшник, що гарантуватиме зниження пестицидного навантаження і органічність вирощеної продукції (Kemper, 2024).

Ці узагальнення підтверджено в результаті вивчення таких сидератів, як гірчиця біла, редька олійна, суріпиця, ріпак ярий. Саме для даних видів було підтверджено високий рівень протибур'янової ефективності у варіантах проміжної (післяжнісної та післяжнивної) сидерації (Gao et al., 2019; Pál et al., 2024). У підсумку, представлені нами результати досліджень позитивно корелюють із висновками таких учених, як (Ugrenović et al., 2019; Duff et al., 2022), підтверджують високі рівні сидераційного потенціалу за використання редьки олійної та гірчиці білої, особливо в застосованих варіантах їх поєднання.

Реалізація показників індивідуальної зернової продуктивності рослин кукурудзи визначається значною мірою показниками загального балансу споживання макро- та мікроелементів, а також рівня вмісту органічного вуглецю в орному горизонті та доступності рухомих форм базових елементів живлення (Drescher et al., 2021; Hlushchenko et al., 2024). Зазначені показники визначаються деяким впливом на процес формування таких додаткових чинників, як норми удобрення, строки сівби, густота стояння система захисту посіву тощо (Qi et al., 2024).

Отримані позитивні (за приростом) результати впливу варіантів сидерації на формування показників індивідуальної зернової продуктивності узгоджуються із процесами іммобілізації додаткових рухомих форм елементів живлення, зростання мікробіологічної активності ґрунтів, що

в підсумку загалом оптимізує процес агрохімічного забезпечення ростових і фізіологічних процесів, забезпечує підвищення рівня реалізації генотипового продуктивного потенціалу кукурудзи в агроценозі після сидерального використання. Це додатково стимулює всі ростові та фізіологічні обмінні процеси в рослині вже на ранніх стадіях її фенологічного розвитку (Hlushchenko et al., 2024; Pál et al., 2024).

Додатково пояснити позитивно формувальний вплив сидерації на підвищення продуктивності рослин кукурудзи можна і зміною структури живлення із суто мінерального на орґано-мінеральне. Така зміна має позитивні відклики на оптимізацію базових режимів і властивостей ґрунтів, що в підсумку оптимізує всі темпи та продуктивність ростових процесів рослин кукурудзи. У разі сидерації хрестоцвітими видами рослин така оптимізація здебільшого стосувалась оптимізації загальної пористості ґрунту, щільності, об'ємної ваги тощо (Saleem et al., 2020; Wei et al., 2020; Wang et al., 2020; Pimentel et al., 2023).

Зазначені висновки позитивно узгоджуються з результатами усередненого приросту показників структури індивідуальної зернової продуктивності в 10,7% у варіанті комбінованого застосування суміші хрестоцвітих сидератів і органічного біодобрива Органік баланс.

Звичайно, основним критерієм ефективності застосованих варіантів сидерації є кінцевий рівень урожайності кукурудзи (Badu-Apraku et al., 2012). Раніше наголошувалось, що кукурудза володіє високим потенціалом урожайності, сидерація має на меті сприяти його реалізації додатково до фонового мінерального живлення (Hlushchenko et al., 2024). Встановлено, що завдяки сидерації приріст даного показника коливається в широких межах, від 5,5 до 30,7% (Wang et al., 2020). Отриманий приріст у наших дослідженнях завдяки поєднанню двох видів сидератів і біодобрива Органік баланс становив 21,2%, що з посиланням на висновки науковців (Wei et al., 2020; Li et al., 2024) доводить доцільність застосування даного варіанту удобрення у вирощуванні кукурудзи на сірих лісових ґрунтах, із застосуванням орґано-мінеральної біоорґанічної системи її удобрення.

Висновки

У загальному підсумку найменший рівень забур'яненості агроценозу кукурудзи за досягнення максимальної продуктивної

структури як індивідуальної, так і загальної зернової продуктивності отримано у варіанті поєднання бінарновидової сидерації (редька олійна + гірчиця біла) із застосуванням біодобрива Органік баланс, з отриманням таких значень просту показників морфометричної та вагової продуктивності рослин кукурудзи до контрольного варіанту: загальної ваги рослини – 17,7%, кількості качанів у розрахунку на 100 рослин – 5,9%, довжини качана – 9,7%, маси зерна

з качана – 15,5%. Це дозволило реалізувати врожайний потенціал високоінтенсивного гібрида кукурудзи ДКС 3609 у середньому за період досліджень на 68,2% (з огляду на максимально досяжний врожайний потенціал за результатами зонального конкурсного сортовипробування на рівні 12,0 т/га), забезпечило максимальний показник урожайності 8,18 т/га зі сформованим приростом до контрольного варіанту в 1,43 т/га (21,2%).

Список використаної літератури

- Badu-Apraku B., Fakorede M.A.B., Menkir A., Sanogo D. Conduct and Management of Maize Field Trials. IITA, Ibadan, 2012. 59 p.
- Berezyuk S., Pryshliak N., Zubar I. Ecological and economic problems of fertilizers application in crop production. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2021. Vol. 27. № 1. P. 29–37.
- Bublitz T.A., Kemper R., Müller P., Kautz T., Döring T.F., Athmann M. Relating Profile Wall Root-Length Density Estimates to Monolith Root-Length Density Measurements of Cover Crops. *Agronomy*. 2022. Vol. 12. P. 48. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010048>.
- Deus T.R.V., de Giongo V., Salviano A.M., Santana M. da S., Silva V.C., da Santos T.C. dos. Selection of green manures to provide ecosystem services in a semi-arid environment. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*. 2022. Vol. 57. № 3. P. 409–421. <https://doi.org/10.5327/Z2176-94781268>.
- dos Santos Nascimento G., de Souza T.A.F., da Silva L.J.R. Soil physico-chemical properties, biomass production, and root density in a green manure farming system from tropical ecosystem, North-eastern Brazil. *Journal of Soils and Sediments*. 2021. Vol. 21. P. 2203–2211. <https://doi.org/10.1007/s11368-021-02924-z>.
- Drescher G.L., Slaton N.A., Roberts T.L., Smartt A.D. Corn yield response to phosphorus and potassium fertilization in Arkansas. *Crop, Forage & Turfgrass Mgmt*. 2021. Vol. 7. P. e20120. <https://doi.org/10.1002/cft2.20120>.
- Duff J., van Sprang C., O'Halloran J., Hall Z. Guide to Brassica Biofumigant Cover Crops Managing soilborne diseases in vegetable production systems. Horticulture Innovation through VG16068 Optimising cover cropping for the Australian vegetable industry. State of Queensland. Department of Agriculture and Fisheries. 2020. 40 p.
- Fan F., Zhang H., Alandia G., Luo L., Cui Z., Niu X., Liu R., Zhang X., Zhang Y., Zhang F. Long-Term Effect of Manure and Mineral Fertilizer Application Rate on Maize Yield and Accumulated Nutrients Use Efficiencies in North China Plain. *Agronomy*. 2020. Vol. 10. P. 1329. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091329>.
- Gao X., He Y., Chen Y., Wang M. Leguminous green manure amendments improve maize yield by increasing N and P fertilizer use efficiency in yellow soil of the Yunnan-Guizhou Plateau. *Front. Sustain. Food Syst*. 2024. Vol. 8. P. 1369571. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1369571>.
- Gentsch N., Riechers F., Boy J., Schwenecker D., Feuerstein U., Heuermann D., Guggenberger G. Cover crops improve soil structure and change organic carbon distribution in macroaggregate fractions. *Soil*. 2024. № 10. P. 139–150. <https://doi.org/10.5194/soil-10-139-2024>.
- Honcharuk I., Tokarchuk D. Review of the European Experience of AIC Development and the Role of Green Technologies in the Modernisation of This Process. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2024. Vol. 10. № 5. P. 155–165. <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2024-10-5-155-165>.
- Hudek C., Putinica C., Otten W., De Baets S. Functional root trait-based classification of cover crops to improve soil physical properties. *European Journal of Soil Science*. 2022. Vol. 73. № 1. P. e13147. <https://doi.org/10.1111/ejss.13147>.
- Hlushchenko L., Olepir R., Len O., Soroka Y., Saidak R. Corn for grain in continuous growing under different fertilizer systems and weather conditions. *Land Reclamation and Water Management*. 2024. № 1. P. 91–97. <https://doi.org/10.31073/mivg202401-378>.
- Kemper R. Root growth of sole and mixed cover crops in organic farming. Dissertation for the attainment of the degree Doctor of Agricultural Sciences. Institute of Crop Science and Resource Conservation. Department of Agroecology and Organic Farming. Bonn, 2024. 195 p.

- Kucerik J., Brtnicky M., Mustafa A., Hammerschmidt T., Kintl A., Sobotkova J., Alamri S., Baltazar T., Latal O., Naveed M., Malicek O., Holatko J. Utilization of Diversified Cover Crops as Green Manure-Enhanced Soil Organic Carbon, Nutrient Transformation, Microbial Activity, and Maize Growth. *Agronomy*. 2024. Vol. 14. № 9. P. 2001. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092001>.
- Lei B., Wang J., Yao H. Ecological and Environmental Benefits of Planting Green Manure in Paddy Fields. *Agriculture*. 2022. Vol. 12. № 2. P. 223. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020223>.
- Li P., Jia L., Chen Q., Zhang H., Deng J., Lu J., Xu L., Li H., Hu F., Jiao J. Adaptive evaluation for agricultural sustainability of different fertilizer management options for a green manure-maize rotation system: Impacts on crop yield, soil biochemical properties and organic carbon fractions. *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 908. P. 168170. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020223>.
- Naher U.A., Biswas J.C., Maniruzzaman M., Khan F.H., Sarker M.I.U., Jahan A., Hera M.H.R., Hossain M.B., Islam A., Islam M.R., Kabir M.S. Bio-Organic Fertilizer: A Green Technology to Reduce Synthetic N and P Fertilizer for Rice Production. *Frontiers in Plant Science*. 2021. № 12. P. 602052. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.602052>.
- Olfs H.-W. Organic Fertilization in Maize Cropping Systems: Measures to Reduce N Losses. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. P. 793. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040793>.
- Pál V., Zsombik L. Effect of Common Vetch (*Vicia sativa* L.) Green Manure on the Yield of Corn in Crop Rotation System. *Agronomy*. 2024. Vol. 14. P. 19. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010019>.
- Pimentel M.L., Reis I.M.S., Romano M.L.P.C., de Castro J.S., Vildoso C.I.A., Gasparin E., de Sia E.F., de Sousa L.S. Green manure, a sustainable strategy to improve soil quality: A case study in an oxisol from Northern Brazil. *Australian Journal of Crop Science*. 2023. Vol. 17. № 6. P. 488–497. <https://doi.org/10.21475/ajcs.23.17.06.p3832>.
- Qi Z., Liu C., Wang Y., Zhang Z., Sun X. Design and Experimentation of Targeted Deep Fertilization Device for Corn Cultivation. *Agriculture*. 2024. Vol. 14. P. 1645. <https://doi.org/10.3390/agriculture14091645>.
- Saleem M., Pervaiz Z.H., Contreras J., Lindenberger J.H., Hupp B.M., Chen D., Zhang Q., Wang C., Iqbal J., Twigg P. Cover crop diversity improves multiple soil properties via altering root architectural traits. *Rhizosphere*. 2020. Vol. 16. P. 100248. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100248>.
- Tokarchuk D., Pryshliak N., Berezyuk S., Tokarchuk O. Advancing sustainable reconstruction in Ukraine after full scale invasion: utilizing a “green” economic approach and essential guidelines for successful implementation. *Polityka Energetyczna*. 2024. Vol. 27. № 2. P. 71–88. <https://doi.org/10.33223/epj/185209>.
- Tsytsiura Y. Potential of oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) as a multi-service cover crop (MSCC). *Agronomy Research*. 2024a. Vol. 22. № 2. P. 1026–1070. <https://doi.org/10.15159/AR.24.086>.
- Tsytsiura Y. Evaluation of Ecological Adaptability of Oilseed Radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) Biopotential Realization in the System of Criteria for Multi-Service Cover Crop. *Journal of Ecological Engineering*. 2024b. Vol. 25. Iss. 7. P. 265–285. <https://doi.org/10.12911/22998993/188603>.
- Wang Y., Cao Y., Feng G., Li X., Zhu L., Liu S., Coulter J.A., Gao Q. Integrated Soil – Crop System Management with Organic Fertilizer Achieves Sustainable High Maize Yield and Nitrogen Use Efficiency in Northeast China Based on an 11-Year Field Study. *Agronomy*. 2020. Vol. 10. P. 1078. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081078>.
- Wei Z., Ying H., Guo X., Zhuang M., Cui Z., Zhang F. Substitution of Mineral Fertilizer with Organic Fertilizer in Maize Systems: A Meta-Analysis of Reduced Nitrogen and Carbon Emissions. *Agronomy*. 2020. Vol. 10. P. 1149. <http://doi.org/10.3390/agronomy10081149>.
- Wong J. Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge : Academic Press, 2018, 589 p. <http://doi.org/10.1016/C2012-0-06451-4>.

References

- Badu-Apraku, B., Fakorede, M.A.B., Menkir, A., & Sanogo, D. (2012). Conduct and Management of Maize Field Trials. IITA, Ibadan, 59 pp. [in English].
- Berezyuk, S., Pryshliak, N., & Zubar, I. (2021). Ecological and economic problems of fertilizers application in crop production. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 27 (1), 29–37 [in English].

- Bublitz, T.A., Kemper, R., Müller, P., Kautz, T., Döring, T.F., & Athmann, M. (2022). Relating Profile Wall Root-Length Density Estimates to Monolith Root-Length Density Measurements of Cover Crops. *Agronomy*, 12, 48. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010048> [in English].
- Deus, T.R.V. de Giongo, V., Salviano, A.M., Santana, M. da S., Silva, V.C., & da Santos, T.C. dos (2022). Selection of green manures to provide ecosystem services in a semi-arid environment. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 57 (3), 409–421. <https://doi.org/10.5327/Z2176-94781268> [in English].
- dos Santos Nascimento, G., de Souza, T.A.F., & da Silva, L.J.R. (2021). Soil physico-chemical properties, biomass production, and root density in a green manure farming system from tropical ecosystem, North-eastern Brazil. *Journal of Soils and Sediments*, 21, 2203–2211. <https://doi.org/10.1007/s11368-021-02924-z> [in English].
- Drescher, G.L., Slaton, N.A., Roberts, T.L., & Smartt, A.D. (2021). Corn yield response to phosphorus and potassium fertilization in Arkansas. *Crop, Forage & Turfgrass Mgmt.* 7, e20120. <https://doi.org/10.1002/cft2.20120> [in English].
- Duff, J., van Sprang, C., O'Halloran, J., & Hall, Z. (2020). Guide to Brassica Biofumigant Cover Crops Managing soilborne diseases in vegetable production systems. Horticulture Innovation through VG16068 Optimising cover cropping for the Australian vegetable industry. State of Queensland. Department of Agriculture and Fisheries [in English].
- Fan, F., Zhang, H., Alandia, G., Luo, L., Cui, Z., Niu, X., Liu, R., Zhang, X., Zhang, Y., & Zhang, F. (2020). Long-Term Effect of Manure and Mineral Fertilizer Application Rate on Maize Yield and Accumulated Nutrients Use Efficiencies in North China Plain. *Agronomy*, 10, 1329. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091329> [in English].
- Gao, X., He, Y., Chen, Y., & Wang, M. (2024). Leguminous green manure amendments improve maize yield by increasing N and P fertilizer use efficiency in yellow soil of the Yunnan-Guizhou Plateau. *Front. Sustain. Food Syst.*, 8, 1369571. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1369571> [in English].
- Gentsch, N., Riechers, F., Boy, J., Schwenecker, D., Feuerstein, U., Heuermann, D., & Guggenberger, G. (2024). Cover crops improve soil structure and change organic carbon distribution in macroaggregate fractions. *Soil*, 10, 139–150 <https://doi.org/10.5194/soil-10-139-2024> [in English].
- Honcharuk, I., & Tokarchuk, D. (2024). Review of the European Experience of AIC Development and the Role of Green Technologies in the Modernisation of This Process. *Baltic Journal of Economic Studies*, 10 (5), 155–165. <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2024-10-5-155-165> [in English].
- Hudek, C., Putinica, C., Otten, W., & De Baets, S. (2022). Functional root trait-based classification of cover crops to improve soil physical properties. *European Journal of Soil Science*, 73 (1), e13147. <https://doi.org/10.1111/ejss.13147> [in English].
- Hlushchenko, L., Olepir, R., Len, O., Soroka, Y., & Saidak, R. (2024). Corn for grain in continuous growing under different fertilizer systems and weather conditions. *Land Reclamation and Water Management*, 1, 91–97. <https://doi.org/10.31073/mivg202401-378> [in English].
- Kemper, R. (2024). Root growth of sole and mixed cover crops in organic farming. Dissertation for the attainment of the degree Doctor of Agricultural Sciences. Institute of Crop Science and Resource Conservation. Department of Agroecology and Organic Farming. Bonn [in English].
- Kucerik, J., Brtnicky, M., Mustafa, A., Hammerschmidt, T., Kintl, A., Sobotkova, J., Alamri, S., Baltazar, T., Latal, O., Naveed, M., Malicek, O., & Holatko, J. (2024). Utilization of Diversified Cover Crops as Green Manure-Enhanced Soil Organic Carbon, Nutrient Transformation, Microbial Activity, and Maize Growth. *Agronomy*, 14 (9), 2001. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092001> [in English].
- Lei, B., Wang, J., & Yao, H. (2022). Ecological and Environmental Benefits of Planting Green Manure in Paddy Fields. *Agriculture*, 12(2), 223. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020223> [in English].
- Li, P., Jia, L., Chen, Q., Zhang, H., Deng, J., Lu, J., Xu, L., Li, H., Hu, F., & Jiao, J. (2024). Adaptive evaluation for agricultural sustainability of different fertilizer management options for a green manure-maize rotation system: Impacts on crop yield, soil biochemical properties and organic carbon fractions. *Science of The Total Environment*, 908, 168170. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168170> [in English].
- Naher, U.A., Biswas, J.C., Maniruzzaman, M., Khan, F.H., Sarker, M.I.U., Jahan, A., Hera, M.H.R., Hossain, M.B., Islam, A., Islam, M.R., & Kabir, M.S. (2021). Bio-Organic Fertilizer: A Green Technology to Reduce Synthetic N and P Fertilizer for Rice Production. *Frontiers in Plant Science*, 12, 602052. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.602052> [in English].
- Olf, H.-W. (2021). Organic Fertilization in Maize Cropping Systems: Measures to Reduce N Losses. *Agronomy*, 11, 793. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040793> [in English].

- Pál, V., & Zsombik, L. (2024). Effect of Common Vetch (*Vicia sativa* L.) Green Manure on the Yield of Corn in Crop Rotation System. *Agronomy*, 14, 19. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010019> [in English].
- Pimentel, M.L., Reis, I.M.S., Romano, M.L.P.C., de Castro, J.S., Vildoso, C.I.A., Gasparin, E., de Sia, E.F., & de Sousa, L.S. (2023). Green manure, a sustainable strategy to improve soil quality: A case study in an oxisol from Northern Brazil. *Australian Journal of Crop Science*, 17(6), 488–497. <https://doi.org/10.21475/ajcs.23.17.06.p3832> [in English].
- Qi, Z., Liu, C., Wang, Y., Zhang, Z., Sun, X. (2024). Design and Experimentation of Targeted Deep Fertilization Device for Corn Cultivation. *Agriculture*, 14, 1645. <https://doi.org/10.3390/agriculture14091645> [in English].
- Saleem, M., Pervaiz, Z.H., Contreras, J., Lindenberger, J.H., Hupp, B.M., Chen, D., Zhang, Q., Wang, C., Iqbal, J., & Twigg, P. (2020). Cover crop diversity improves multiple soil properties via altering root architectural traits. *Rhizosphere*, 16, 100248. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100248> [in English].
- Tokarchuk, D., Pryshliak, N., Berezyuk, S., & Tokarchuk, O. (2024). Advancing sustainable reconstruction in Ukraine after full scale invasion: utilizing a “green” economic approach and essential guidelines for successful implementation. *Polityka Energetyczna*, 27 (2), 71–88. <https://doi.org/10.33223/epj/185209> [in English].
- Tsytsiura, Y. (2024a). Potential of oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) as a multi-service cover crop (MSCC). *Agronomy Research*, 22 (2), 1026–1070. <https://doi.org/10.15159/AR.24.086> [in English].
- Tsytsiura, Y. (2024b). Evaluation of Ecological Adaptability of Oilseed Radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) Biopotential Realization in the System of Criteria for Multi-Service Cover Crop. *Journal of Ecological Engineering*, 25 (7), 265–285. <https://doi.org/10.12911/22998993/188603> [in English].
- Wang, Y., Cao, Y., Feng, G., Li, X., Zhu, L., Liu, S., Coulter, J.A., Gao, Q. (2020). Integrated Soil – Crop System Management with Organic Fertilizer Achieves Sustainable High Maize Yield and Nitrogen Use Efficiency in Northeast China Based on an 11-Year Field Study. *Agronomy*, 10, 1078. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081078> [in English].
- Wei, Z., Ying, H., Guo, X., Zhuang, M., Cui, Z., & Zhang, F. (2020). Substitution of Mineral Fertilizer with Organic Fertilizer in Maize Systems: A Meta-Analysis of Reduced Nitrogen and Carbon Emissions. *Agronomy*, 10, 1149. <http://doi.org/10.3390/agronomy10081149> [in English].
- Wong, J. (2018). Handbook of statistical analysis and data mining applications. Cambridge, Academic Press. <http://doi.org/10.1016/C2012-0-06451-4> [in English].

Отримано: 25.04.2025
Прийнято: 15.05.2025