



Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.81.095.337

© 2021

ОПТИМІЗАЦІЯ ЖИВЛЕННЯ КУЛЬТУР В ІНТЕНСИВНІЙ КОРОТКОРОТАЦІЙНІЙ СІВОЗМІНІ НА ДЕРНОВО-СЕРЕДНЬОПІДЗОЛИСТИХ ҐРУНТАХ ПОЛІССЯ

А.О. Мельничук¹, Г.А. Кучер², О.І. Савчук³, Г.М. Кочик⁴,
В.В. Гуреля⁵, В.Б. Ковальов⁶

^{1,3-5}кандидати сільськогосподарських наук

⁶доктор сільськогосподарських наук, професор

¹⁻⁴Інститут сільського господарства Полісся НААН
Київське шосе, 131, м. Житомир, 10007, Україна

^{5,6}Поліський національний університет

Старий Бульвар, 7, м. Житомир, 10008, Україна

e-mail: ¹andriy_melnychuk@ukr.net, ³grunt17isgp@gmail.com,

⁵gurelya.v@gmail.com, ⁶k82_super@ukr.net

ORCID: ¹0000-0002-7879-3691, ³0000-0002-6702-239X,

⁵0000-0001-8283-0152, ⁶0000-0001-9078-2947

Надійшла 20.08.2021

Мета. Виявити та дослідити особливості оптимізації живлення рослин комерційно привабливих культур за використання нанодобрив на різних агрохімічних фонах. **Методи.** Лізиметричний — проведення стаціонарного дослідження, лабораторний — визначення якісних показників, розрахунково-порівняльний — проведення економічної оцінки вирощування культур, математико-статистичний — для визначення достовірності отриманих результатів наукових досліджень. Для позакореневого підживлення культур сівозміни використовували нанодобрива Нано-Мінераліс РК і Nagro. **Результати.** Наведено отримані впродовж 2016 – 2020 рр. результати лізиметричних досліджень впливу оптимізації живлення рослин на показники біологічної активності ґрунту, коефіцієнти використання поживних елементів з добрив, урожайність кукурудзи, сої, соняшнику, люпину та продуктивність 5-пільної короткоротаційної сівозміни. Встановлено, що інтенсивність виділення CO₂ безпосередньо залежить від надходження в ґрунт органічної речовини. За поєднання мінеральної системи удобрення з позакореневим підживленням посіву нанодобривами завдяки додатковому надходженню в ґрунт кореневих і поживних решток рослин відбулося зростання біологічної активності ґрунту на 8 – 15% порівняно з мінеральним фоном. Застосування нанодобрив сприяє ефективнішому використанню

поживних елементів з мінеральних добрив (у середньому на 26–30%), ніж без позакореневого підживлення. Сумісне застосування альтернативно-відновлювальної системи удобрення (побічна продукція попередника, зелена маса сидерата), $N_{62}P_{60}K_{78}$ і нанодобрив забезпечує високий рівень продуктивності сівозміни: збір зернових одиниць — 60,1–61,1, кормових одиниць — 101,8–103,3, перетравного протеїну — 7,6–7,62 ц/га. **Висновки.** Оптимізація живлення рослин на малородючих дерново-середньопідзолистих ґрунтах має поєднувати цілісний комплекс заходів: агротехнічних, організаційних (сівозміна), агрохімічних (вапнування, залучення усіх наявних місцевих органічних матеріалів на добриво, використання сучасних мінеральних добрив і препаратів інноваційного виробництва для позакореневого підживлення рослин). Дефіцит елементів живлення за критичними фазами розвитку культур слід забезпечувати за використанням нанодобрив у системі позакореневого живлення рослин. Поєднання мінеральних добрив ($N_{62}P_{60}K_{78}$ на 1 га сівозмінної площі), побічної продукції і нанодобрив нового покоління (Нано-Мінераліс РК і Nagro) підвищує біологічну активність ґрунту, коефіцієнти використання елементів живлення з ґрунту та добрив, що забезпечує отримання врожайності зерна кукурудзи на рівні 9,30–9,43 т/га, сої — 2,54–2,62, соняшнику — 2,70–2,73, люпину вузьколистого — 2,83 т/га, що на 18,5–24,1% перевищує мінеральну систему удобрення.

Ключові слова: біологічна активність, система удобрення, нанодобрива, коефіцієнти використання поживних елементів, продуктивність культур.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202111-02>

На сучасному етапі розвитку землеробства актуальним стає питання стабільності та ефективності застосування мінеральних добрив, мікробних препаратів і сучасних рідких комплексних добрив. Низька окупність рекомендованих доз мінеральних і органічних добрив, яка залежно від типу ґрунту та культури становить 5–12 кг зерна на 1 кг NPK, порівняно з високорозвинутими країнами, у яких віддача 1 кг NPK — 20–36 кг зерна, потребує пошуку нових підходів до визначення оптимізації живлення рослин [1].

Інтенсивність засвоєння елементів живлення сільськогосподарськими культурами є досить динамічним процесом і залежить від гідротермічних умов вегетаційного періоду, фенологічної фази розвитку рослин, реакції ґрунтового розчину, сортових особливостей і тривалості вегетаційного періоду культури, норми добрив, глибини заорювання [2] та локалізації елементів живлення у профілі ґрунту [3, 4]. Найбільш регулюючим чинником, який поліпшує ґрунтове живлення рослин, є оптимізація показника реакції ґрунтового розчину завдяки

періодичному застосуванню лужноземельних елементів (Ca, Mg) та органічних добрив [5]. Оптимальною для рослин є реакція ґрунтового розчину з pH 6,5, яка дає змогу поживним сполукам лишатися у доступній для рослин формі [6]. Відхилення від цього показника pH призводить до зниження засвоєння рослинами макро- та мікроелементів, іноді їхня концентрація може сягати токсичного рівня.

За даними ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», в ґрунтах України виявлено незбалансованість поживних елементів, що зумовлює порушення мінерального живлення рослин [7]. Засвоєння елементів живлення не обмежується кореневою системою рослин. Їх надходження може відбуватися через листову поверхню. Тому позакореневе підживлення є додатковим ефективним інструментом у системі удобрення будь-якої культури за недостатньої кількості елементів у ґрунті або коли доступність поживних речовин з ґрунту блокують фізико-хімічні (тип ґрунтів, уміст органічної речовини, pH

ґрунтового розчину, внесені агрохімікати), біологічні (мікробіологічна активність ґрунту, зараженість хворобами або шкідниками) чи гідротермічні (вологість і температура ґрунту) чинники. У цьому разі позакореневі підживлення мають особливі переваги над ґрунтовими добривами. Однак для ефективного застосування цього способу потрібно враховувати багато чинників: умови навколишнього природного середовища, стан посівів, час, частоту обробок, склад робочого розчину та ін. [8].

Нині є важливим питання вибору найрідкішого добрива, компоненти якого з робочого розчину здатні максимально проникати через кутикулу листка рослини. Сучасним підходом до удобрення сільськогосподарських культур є використання нанодобрив для позакореневого підживлення, виготовлених за інноваційною плазмово-імпульсною технологією, які містять макро- і мікроелементи. Вони наноструктуризовані, розміри частинок — 1–100 нанометрів, електростатичний статус — нейтральний, що дає змогу активізувати проникнення мікроелементів у рослину та маніпулювати речовиною на атомному і молекулярному рівнях. Використання наночастинок біогенних металів компенсує втрати мікроелементів, виведених рослинами з ґрунту, оптимізує метаболічні процеси рослин відповідно до умов, що складаються за вегетаційний період за одночасного підвищення якості отриманої продукції. Крім того, використання наночастинок металів підвищує ефективність впливу основних добрив.

Мета досліджень — виявити та дослідити особливості оптимізації живлення рослин за використання нанодобрив на різних агрохімічних фонах.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводили впродовж 2016–2020 рр. у тривалому стаціонарному лізіметричному досліді відділу землеробства і меліорації Інституту сільського господарства Полісся НААН. Лізіметри металеві, циліндричної форми, діаметром 100 см, заповнені монолітом ґрунту з непорушеною структурою, площа поверхні — 0,8 м². Ґрунт у лізіметрах дерново-середньопідзолистий супіщаний на морені. Глибина орного шару 20–22 см з умістом гумусу — 1,12%, рН — 5,9,

гідролітична кислотність — 3,2 мг-екв/кг ґрунту, вміст загального азоту — 0,062%, рухомого фосфору та обмінного калію — відповідно 148 та 46 мг/кг ґрунту.

Дослідження проводили у короткоротаційній інтенсивній сівозміні ринкового спрямування з таким чергуванням культур: 1 — кукурудза на зерно (середньоранній гібрид ДН Гарант); 2 — соя (скоростиглий сорт Ворскла); 3 — соняшник (середньоранній гібрид Ясон); 4 — кукурудза на зерно (середньоранній гібрид ДН Гарант); 5 — люпин вузьколистий (ранньостиглий сорт Грозинський-9).

Схема досліду поєднує різні агрохімічні фони удобрення: мінеральну систему удобрення (N₆₂P₆₀K₇₈ на 1 га сівозмінної площі); підстилковий гній (12 т/га сівозмінної площі), побічну продукцію (7,4 т/га), зелену масу сидератів (8 т/га сівозмінної площі) з нанодобривами. Під кукурудзу вносили підстилковий гній по 40 і 20 т/га + N₉₀P₆₀K₉₀, сою — N₄₀P₆₀K₆₀, соняшник — N₆₀P₆₀K₉₀, люпин вузьколистий — N₃₀P₆₀K₆₀. Досліджувані дози добрив розраховували згідно з методичними рекомендаціями [9], основою яких є оптимізація удобрення сільськогосподарських культур.

Для позакореневого підживлення культур сівозміни використовували наноматеріали, розроблені для кожної культури з урахуванням їхніх біологічних особливостей, зокрема нанодобриво Нано-Мінераліс РК в нормі 0,1 л/га і нанодобриво Nagro у нормі 0,8 л/га, які вносили двічі за вегетацію рослин: на початку бутонізації та формування бобів у сої та люпину; у фазах — 4–6 листків і 9–10 листків кукурудзи; у фазі 3–4-х пар листків і перед початком цвітіння соняшнику.

Нано-Мінераліс РК містить комплекс мікроелементів без сторонніх домішок, які не мають фітотоксичного впливу на рослини та повністю нею засвоюються. Добриво містить 10 життєво необхідних для рослин біогенних металів — Cu, Fe, Co, Mo, Mg, Mn, Zn, Ge, Se, Nd у формі нанокарбоксилатів.

Nagro — це біологічно активний і екологічно безпечний багатофункціональний препарат нового покоління, який об'єднує властивості добрива, інсектициду, імуномодулятора і фунгіциду, препарат інноваційного походження [10].

Результати досліджень. Біологічна активність ґрунту є важливою складовою його родючості та визначає рівень урожайності сільськогосподарських культур. Вона формується наявною у ґрунті чисельністю та біомасою мікроорганізмів різних еколого-трофічних груп, які здійснюють комплекс біологічних процесів розкладу органічної речовини, добрив, рослинних решток. Визначається за показниками розкладу клітковини й інтенсивності виділення CO_2 , або «дихання» ґрунту, ферментативного перетворення і синтезу, завдяки яким складні сполуки перетворюються у форми, доступні для живлення рослин і мікроорганізмів. За визначення інтенсивності дихання ґрунтів різних типів і різного ступеня окультурення у дослідках та оцінки деяких агротехнічних заходів встановлено зв'язок між інтенсивністю дихання ґрунту і його родючістю [11]. Чим

родючіші ґрунти, тим інтенсивніше їх дихання та вища урожайність вирощуваних культур.

Інтенсивність виділення CO_2 у посівах кукурудзи визначали у фазах цвітіння та воскової стиглості, у посівах сої та люпину вузьколистого — у фазах бутонізації та формування бобів, у посівах соняшнику — у фазах бутонізації та формування кошиків за методом Штатнова, біологічну активність ґрунту — методом аплікацій (закопування лляної тканини на весь період вегетації).

У результаті досліджень встановлено, що система удобрення у сівозміні істотно впливала на продукування CO_2 ґрунтом. За мінеральної системи удобрення ($\text{N}_{62}\text{P}_{60}\text{K}_{78}$ на 1 га сівозмінної площі) інтенсивність виділення CO_2 під посівами культур (порівняно до фону природної родючості) підвищується на 3,6–18,9% і залежно від культури та фази розвитку становить 135–395 mg/m^2

1. Інтенсивність виділення CO_2 з осушуваного дерново-середньопідзолистого ґрунту в посівах культур короткоротаційної сівозміні залежно від системи удобрення та фази розвитку, mg/m^2 за 1 год (середнє за 2016–2020 рр.)

№ варіанта	Система удобрення за ротацію сівозміні на 1 га сівозмінної площі	Кукурудза		Соняшник		Люпин	
		Цвітіння	Воскова стиглість	Бутонізація	Формування кошиків	Бутонізація	Формування бобів
1	Без добрив — контроль № 1	195	124	381	203	120	174
2	$\text{N}_{62}\text{P}_{60}\text{K}_{78}$ + 12 т/га підстилкового гною	308	232	483	254	163	242
3	$\text{N}_{62}\text{P}_{60}\text{K}_{78}$ — контроль № 2	230	160	395	203	135	197
4	$\text{N}_{62}\text{P}_{60}\text{K}_{78}$ + позакореневе підживлення Нано-Мінераліс РК, 0,1 л/га	259	186	457	152	142	206
5	$\text{N}_{62}\text{P}_{60}\text{K}_{78}$ + позакореневе підживлення Нано-Мінераліс РК з поліпшеним складом, 0,1 л/га	264	188	394	178	144	210
6	$\text{N}_{62}\text{P}_{60}\text{K}_{78}$ + позакореневе підживлення Nagro, 0,8 л/га	249	176	318	152	139	200
7	$\text{N}_{62}\text{P}_{60}\text{K}_{78}$ + позакореневе підживлення Nagro з поліпшеним складом, 0,8 л/га	254	178	426	254	140	203
8	$\text{N}_{31}\text{P}_{60}\text{K}_{78}$ під сидерат (8 т/га) + побічна продукція (12 т/га) + N_{31} під культуру + позакореневе підживлення Нано-Мінераліс РК, 0,1 л/га	289	225	505	203	168	247
9	$\text{N}_{31}\text{P}_{60}\text{K}_{78}$ під сидерат (8 т/га) + побічна продукція (12 т/га) + N_{31} під культуру + позакореневе підживлення Nagro, 0,8 л/га	285	220	504	269	165	240
НІР ₀₉₅		7,0	4,2	10,0	6,8	4,0	6,0

за 1 год (табл. 1). Поєднання мінеральної системи удобрення та позакореневого підживлення посівів культур нанодобривами сприяли активному розвитку кореневої системи рослин і тенденції до зростання біологічної активності ґрунту до 8%, порівняно з мінеральним фоном. Інтенсивність виділення CO_2 на цих варіантах — 142–426 мг/м^2 за 1 год.

За результатами досліджень встановлено, що максимальні значення виділення діоксиду вуглецю були на фоні органо-мінеральної й альтернативної систем відтворення родючості ґрунту — 160–505 мг/м^2 за 1 год та збільшувалися до неудобреного фону на 37–87%, що позитивно впливало на показники врожайності культур сівозміни та в майбутньому — на баланс елементів живлення в сівозміні. Зокрема, за альтернативної системи удобрення при використанні сидерата і побічної продукції попередника як удобрення, які є енергетичним матеріалом для життєдіяльності мікроорганізмів, мінерального удобрення та нанодобрив для позакореневого підживлення, виявлено підвищення активності виділення CO_2 з ґрунту під посівами кукурудзи на 26% відносно мінеральної системи удобрення, соняшнику — на 27, під посівами люпину — на 25%. Значення показника інтенсивності виділення CO_2 на фоні альтернативної системи удобрення за використання нанодобрив Нано-Мінераліс та Nagro залежно від культури та фази розвитку становило 165–505 мг/м^2 за 1 год.

Також важливим показником біологічної активності ґрунту є інтенсивність розкладання в ньому клітковини. Оскільки розкладання клітковини визначається наявністю в ґрунті доступних форм азоту, фосфору й інших елементів живлення, у міру її розпаду відображається загальна картина мікробіологічних процесів. Целюлозоруйнівну активність ґрунту визначали методом аплікацій за швидкістю темпів мінералізації клітковини, який полягає у здатності ґрунтової мікрофлори розкласти тканину з льону. Встановлено, що найактивнішою ґрунтова мікрофлора була за органо-мінеральної системи удобрення (ступінь розкладання лляної тканини — 76,4%) і за поєднання альтернативної системи удобрення, яка

передбачає застосування сидерата та побічної продукції попередника на фоні мінерального удобрення та позакореневого підживлення посівів люпину нанодобривами (ступінь розкладання лляної тканини — 72–72,3%), тобто інтенсивність мінералізації висока.

Отже, вирощування культур з використанням органо-мінеральної системи удобрення та альтернативної з використанням сидерата і побічної продукції та використанням нанодобрив для позакореневого підживлення рослин є найефективнішим, оскільки саме за цих систем активізуються мікробіологічні процеси ґрунту та підвищується продуктивність культур [12].

Вагомим показником у підвищенні врожайності культур є коефіцієнти використання поживних елементів з ґрунту та добрив. Величина коефіцієнтів використання елементів живлення з ґрунту дуже мінлива і залежить не тільки від біологічних особливостей рослин, величини врожаю, ґрунту, а й від культури землеробства, застосування хімічної меліорації, забезпеченості вологою.

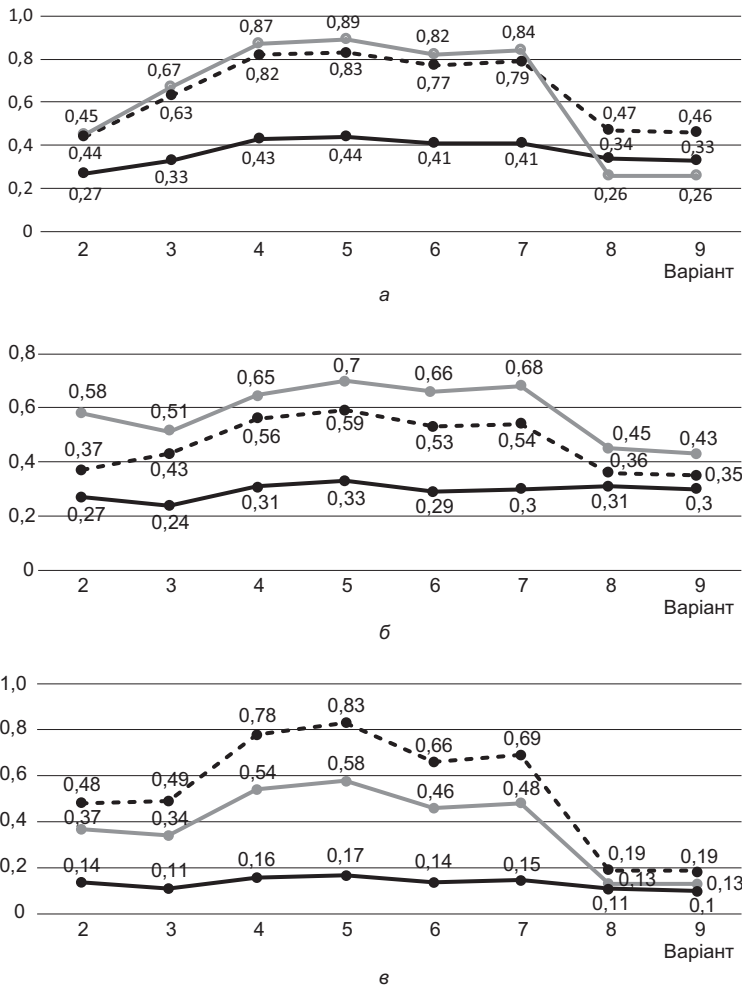
За результатами наших досліджень, значення коефіцієнтів використання азоту рослинами кукурудзи з унесених добрив на варіантах досліді були в межах 0,45–0,83, фосфору — 0,27–0,44 та калію 0,44–0,89; соняшнику: азоту — 0,35–0,59, фосфору — 0,24–0,33 та калію — 0,51–0,90; сої: азоту — 0,48–0,83, фосфору — 0,14–0,17 та калію — 0,37–0,58 (рисунк). За використання для позакореневого підживлення посівів нанодобрива Нано-Мінераліс РК на фоні мінеральної системи удобрення коефіцієнти використання елементів живлення з добрив мали високі показники. Про поліпшення постачання потрібних поживних речовин для росту рослин за використання нанодобрива у поєднанні з NPK повідомляють і зарубіжні автори [13].

Слід підкреслити позитивну тенденцію впливу на підвищення коефіцієнтів використання елементів живлення Нано-Мінераліс РК з поліпшеним складом, де враховано особливості кожної культури. При застосуванні Nagro на відповідних агрофонах значення показників використання елементів живлення залежно від культури були

нижчими порівняно з дією Нано-Мінераліс РК на 4,9–11,2%.

Результати проведеного дослідю свідчать про те, що в умовах Полісся на дерново-середньопідзолистому ґрунті формування величини врожаю вирощуваних комерційно привабливих культур і, відповідно, продуктивності сівозміни, чітко залежать від системи удобрення, яка зумовлює наявність елементів живлення в доступній для рослин формі. Продуктивність культур сівозміни формується не лише під прямим впливом добрив, а й їхньої післядії завдяки акумулюванню поживних речовин у ґрунті.

Експериментально встановлено, що на контрольному варіанті (без добрив), який імітує фон природної родючості дерново-підзолистого осушуваного ґрунту, врожайність кукурудзи у двох полях становила відповідно 4,0 та 4,2 т/га, сої — 1,68, соняшнику — 1,27, люпину вузьколистого — 1,13 т/га (табл. 2). З поліпшенням умов живлення урожайність культур сівозміни істотно підвищується. Так, за мінеральної системи удобрення ($N_{62}P_{60}K_{78}$ на 1 га сівозмінної площі) сформувалася урожайність кукурудзи на рівні 7,36 і 8,75 т/га відповідно, сої — 2,22, соняшнику — 2,20, люпину



Коефіцієнт використання елементів живлення рослинами з добрив на дерново-середньопідзолистому ґрунті залежно від системи удобрення (2016–2020 рр.): а — кукурудзою; б — соняшником; в — соєю; - - - N; —●— P; —●— K

2. Урожайність сільськогосподарських культур у короткоротаційній сівозміні на осушуваному дерново-середньопідзолистому ґрунті залежно від системи удобрення, 2016–2020 рр., т/га

№ варіанта	Система удобрення за ротацію сівозміни на 1 га сівозмінної площі	Культура сівозміни					Збір зернових одиниць
		Кукурудза	Соє	Соняшник	Кукурудза	Люпин	
1	Без добрив — контроль № 1	4,00	1,68	1,27	4,20	1,13	2,9
2	N ₆₂ P ₆₀ K ₇₈ + 12 т/га підстилкового гною	11,50	2,65	2,62	8,75	2,32	6,58
3	N ₆₂ P ₆₀ K ₇₈ — контроль № 2	7,36	2,22	2,20	7,13	1,95	4,83
4	N ₆₂ P ₆₀ K ₇₈ + позакореневе підживлення Нано-Мінераліс РК, 0,1 л/га	9,07	2,51	2,51	8,08	2,22	5,62
5	N ₆₂ P ₆₀ K ₇₈ + позакореневе підживлення Нано-Мінераліс РК з поліпшеним складом, 0,1 л/га	9,24	2,55	2,57	8,15	2,26	5,71
6	N ₆₂ P ₆₀ K ₇₈ + позакореневе підживлення Nagro, 0,8 л/га	8,64	2,39	2,39	7,85	2,15	5,39
7	N ₆₂ P ₆₀ K ₇₈ + позакореневе підживлення Nagro з поліпшеним складом, 0,8 л/га	8,70	2,42	2,44	7,90	2,20	5,45
8	N ₃₁ P ₆₀ K ₇₈ під сидерат (8 т/га) + побічна продукція (12 т/га) + N ₃₁ під культуру + позакореневе підживлення Нано-Мінераліс РК, 0,1 л/га	10,32	2,62	2,73	8,53	2,39	6,11
9	N ₃₁ P ₆₀ K ₇₈ під сидерат (8 т/га) + побічна продукція (12 т/га) + N ₃₁ під культуру + позакореневе підживлення Nagro, 0,8 л/га	10,15	2,54	2,70	8,45	2,36	6,01
НІР ₀₉₅		0,040	0,024	0,082	0,038	0,030	—

вузьколистого — 1,95 т/га, що залежно від культури перевищує варіант без удобрення на 32–76%.

Застосування традиційної органо-мінеральної системи удобрення (12 т підстилкового гною сумісно з N₆₂P₆₀K₇₈) забезпечило отримання максимального рівня урожайності кукурудзи у 1-му полі 11,5 т/га, у 2-му — 8,75, сої — 2,65, соняшнику — 2,62 та люпину — 2,32 т/га. Приріст до контролю без добрив становить відповідно 7,5 та 4,55 т/га, 0,97, 1,35 та 1,19 т/га. *Альтернативно-відновлювальна* система удобрення, яка передбачає заміну гною іншими місцевими джерелами органічної речовини (побічною продукцією і сидеральною масою) та застосуванням позакореневого підживлення рослин нанодобривами, за ефективністю щодо урожайності не поступається органо-мінеральній системі удобрення. Приріст урожайності культури сівозміни у цьому

варіанті становить 14,5–24,1%. Такі прирости врожайності є істотними, що свідчить про доцільність застосування альтернативних джерел органічної речовини (використання побічної продукції попередника у поєднанні з сидеральною масою). Це один із раціональних і ефективних способів заміни дефіцитних традиційних органічних добрив.

Аналіз продуктивності культур сівозміни свідчить про пріоритетність кукурудзи як найурожайнішої зернової культури на дерново-підзолистих ґрунтах Полісся.

Серед досліджуваних нанодобрив перевагу мало Нано-Мінераліс РК, оскільки приріст урожайності культур сівозміни від його застосування до мінеральної системи удобрення за оптимальних умов зволоження осушуваного ґрунту становив 13,1–25,5%, тоді як при застосуванні Nagro — 7,7–18,2%.

Щодо впливу системи удобрення на продуктивність короткоротаційної інтенсивної сівозміни, то застосування мінеральної системи удобрення за внесення $N_{62}P_{60}K_{78}$ на 1 га сівозмінної площі забезпечило отримання 4,83 т/га зернових одиниць. За оптимізації процесу живлення рослин завдяки поєднанню мінеральних і нанодобрив нового покоління Нано-Мінераліс РК і Nagro отримано збір зернових одиниць 5,39–5,62 т/га, що на 12–17% вище, ніж за мінеральної системи удобрення. Застосування органічних добрив сумісно із мінеральними поліпшує агрохімічні та фізико-хімічні показники ґрунту, що підвищує ефективність добрив, у результаті чого зростає продуктивність

сівозміни до 6,01–6,58 т/га зернових одиниць. Органо-мінеральна система удобрення за внесення на 1 га сівозмінної площі $N_{62}P_{60}K_{78} + 12$ т/га гною забезпечила найвищу продуктивність сівозміни — 6,58 т/га зернових одиниць.

Отримані результати досліджень доводять, що на осушуваному ґрунті спільна дія макро- і нанодобрив оптимізує мінеральне живлення рослин, зменшує ризики недобору врожаю, пов'язані з негативним впливом кліматичних чинників, створює передумови для підвищення врожайності. Позакореневе підживлення слід розглядати як доповнення до системи ґрунтового живлення, а не як основне удобрення.

Висновки

Оптимізація живлення рослин на низькородючих дерново-середньопідзолистих ґрунтах має поєднувати цілісний комплекс заходів: агротехнічних, організаційних (сівозміна), агрохімічних (вапнування, залучення усіх наявних місцевих органічних матеріалів на добриво, використання сучасних мінеральних добрив і препаратів інноваційного виробництва для позакореневого підживлення рослин). Дефіцит елементів живлення за критичними фазами розвитку культур слід забезпечувати за використання нано-

добрив у системі позакореневого живлення рослин. Поєднання мінеральних добрив ($N_{62}P_{60}K_{78}$ на 1 га сівозмінної площі), побічної продукції і нанодобрив нового покоління (Нано-Мінераліс РК і Nagro) підвищує біологічну активність ґрунту, коефіцієнти використання елементів живлення з ґрунту та добрив, що забезпечує отримання врожайності зерна кукурудзи на рівні 9,30–9,43 т/га, сої — 2,54–2,62, соняшнику — 2,70–2,73, люпину вузьколистого — 2,83 т/га, що на 18,5–24,1% вище, ніж за мінеральної системи удобрення.

Melnychuk A.¹, Kucher G.², Savchuk O.³, Kochyk G.⁴, Hurelia V.⁵, Kovaliov V.⁶

¹⁻⁴Institute of Agriculture of Polissia of NAAS, 131 Kyivske shose, Zhytomyr, 10007, Ukraine, ⁵Polissia National University, 7 Staryi Bulvar, Zhytomyr, 10008, Ukraine; e-mail: ¹andriy_melnychuk@ukr.net, ³grunt17isgp@gmail.com, ⁵gurelya.v@gmail.com, ⁶k82_super@ukr.net; ORCID: ¹0000-0002-7879-3691, ³0000-0002-6702-239X, ⁵0000-0001-8283-0152, ⁶0000-0001-9078-2947

Optimization of nutrition of crops in intensive short-rotary crop rotation on sod-medium-podzolic soils of Polissia

Goal. To determine and investigate the features of optimizing the nutrition of plants of commercially attractive crops using nano-fertilizers on different agrochemical backgrounds. **Methods.** Lysimetric — to carry out stationary experiment, laboratory — to determine the qualitative indicators,

computational — to make an economic evaluation of crop production, mathematical-statistical — to determine the reliability of the results of scientific research. NanoMineralis RK and Nagro nano-fertilizers were used for foliar fertilization of crop rotations.

Results. The results of lysimetric studies of the influence of plant nutrition optimization on soil biological activity indicators, nutrient utilization coefficients, the yield of corn, soybean, sunflower, lupine, and productivity of 5-field short-rotary crop rotation obtained during 2016–2020 are presented. It is established that the intensity of CO₂ release directly depends on the entry of organic matter into the soil. The combination of the mineral fertilizer system and foliar fertilization of crops with nano-fertilizers (due to the additional entry into the soil of root and crop residues of plants) caused an increase in the soil of biological activity by 8–15% compared to the mineral background. The use of nano-fertilizers promoted more efficient use of nutrients from mineral fertilizers

(on average by 26–30%) than without foliar fertilization. The combined use of an alternative regenerative fertilizer system (by-products of the predecessor, green mass of green manure), $N_{62}P_{60}K_{78}$, and nano-fertilizers provided a high level of crop rotation productivity: harvesting of grain units — 60.1–61.1, feed units — 101.8–103.3, digestible protein — 7.6–7.62 c/ha. **Conclusions.** Optimization of plant nutrition on low-fertile sod-podzolic soils should combine a holistic set of measures: agrotechnical, organizational (crop rotation), agrochemical (liming, use of all available local organic materials for fertilizer, use of modern mineral fertilizers, and innovative products for foliar fertilization). The deficiency of nutrients in the critical phases of crop development

should be overcome by the use of nano-fertilizers in the system of foliar feeding of plants. The combination of mineral fertilizers ($N_{62}P_{60}K_{78}$ per 1 ha of crop rotation area), by-products and nano-fertilizers of the new generation (NanoMineralis RK and Nagro) increase the biological activity of the soil, nutrient utilization factors from soil and fertilizers, which provides corn grain yield at the level of 9.30–9.43 t/ha, soybeans — 2.54–2.62, sunflower — 2.70–2.73, lupine — 2.83 t/ha, which is 18.5–24.1% higher than at the use of the mineral system of fertilization.

Key words: biological activity, fertilizer system, nano-fertilizers, nutrient utilization factors, crop productivity.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202111-02>

Бібліографія

1. Ткаченко М.А., Борис Н.Є. Оптимізація живлення сільськогосподарських культур за фізико-хімічної деградації кислих ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 1. С. 15–22. doi: 10.31073/agrovisnyk202101-02

2. Жубрицкий З.И., Лавриченко В.М. Определение потребности растений в питании методом растительной диагностики. *Агрохимия*. 1977. № 9. С. 127–133.

3. Fageria N.K. The Role of Nutrient Efficient Plants in Improving Crop Yields in the Twenty First Century. *J. of Plant Nutrition*. 2008. V. 31. Is. 6. P. 1121–1157. doi: 10.1080/01904160802116068

4. Мірошніченко М.М., Гладких Є.Ю., Ревтьєв-Уварова А.В. та ін. Оптимізація живлення сільськогосподарських культур. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2018. Вип. 87. С. 82–91.

5. Ткаченко М.А., Кондратюк І.М., Борис Н.Є. Хімічна меліорація кислих ґрунтів: монографія. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2019. 318 с.

6. Томашівський З.М., Коник Г.С. Наукові основи системи землеробства в західному регіоні України: монографія. Львів: СПОЛОМ, 2020. 286 с.

7. Балюк С.А., Носко Б.С., Шимель В.В. та ін. Оптимізація живлення рослин у системі факторів ефективної родючості ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 3. С. 12–19. doi: 10.31073/agrovisnyk201903-02

8. Полянчиков С., Капітанська О. Позакоре-

неве підживлення: можливості та помилки. <http://infoindustria.com.ua/pozakoreneve-pidzhivlennya-mozhливosti-ta-pomilki>

9. Ткаченко М.А., Борис Н.Є. Методика проведення хімічної меліорації ґрунту за оптимізації удобрення культур сівозміни із застосуванням лужноземельних елементів і бактеріальних препаратів з урахуванням видового генотипного співвідношення культур і показників родючості ґрунту. Вінниця: ТОВ «Твори», 2020. 45 с.

10. Пат. № 133924 Україна, МПК (2019. 01) A01C 21/00. Спосіб оптимізації системи удобрення сільськогосподарських культур на кислих ґрунтах. М.А. Ткаченко, Ю.О. Драч, Н.Є. Борис; заявник і патентовласник ННЦ «Інститут землеробства НААН». № u2018 11702; заявл. 28.11.2018; опубл. 25.04.2019. 5 с.

11. Макаров Б.Н. Дыхание почвы и роль этого процесса в углеродном питании растений. *Агрохимия*. 1993. № 6. С. 95–104.

12. Solanki P., Bhargava A., Chhipa H. et al. Nano-fertilisers and their smart delivery system, Springer, Switzerland, 2015. P. 81–101. doi: 10.1007/978-3-319-14024-7_4

13. Al-Juthery Hayyawi W.A., Ali E.A.H.M., Al-Ubori Rafid N. et al. Role of foliar application of nano npk, micro fertilizers and yeast extract on growth and yield of wheat. *Int. J. Agricult. Stat. Sci.* 2020. V. 16.1. P. 1295–1300. doi: 10.13140/RG.2.2.17397.19685