

УДК 631.86/87

БІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

**В. В. Волкогон, С. Б. Дімова, К. І. Волкогон, Л. М. Токмакова,
М. А. Журба, Ю. М. Халеп, Н. П. Штанько, Н. В. Луценко**

Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН
вул. Шевченка, 97; м. Чернігів, 14027, Україна; e-mail: rifam@ukrpost.ua

В умовах польового стаціонарного дослідження на чорноземі вилуженому при вирощуванні сільськогосподарських культур у короткоротаційній сівозміні (картопля – ячмінь ярий – горох – пшениця озима) за різних систем удобрення і застосування мікробних препаратів досліджено перебіг процесів азотфіксації та емісії N_2O в системі «грунт – рослина». За використання показників спрямованості процесів біологічної трансформації азоту в агроценозах та економічних розрахунків проведено еколого-економічне обґрунтування доцільності систем удобрення.

Ключові слова: системи удобрення, активність азотфіксації, емісія N_2O .

Раціональна система удобрення є базовою ланкою у формуванні оптимальних агроекологічних функцій ґрунтів (трофічних, санітарних тощо), їхньої сталої родючості, в отриманні високого рівня врожайності та якості рослинницької продукції. Проте існуючі системи удобрення спрямовані переважно на відновлення продуктивних (трофічних) функцій і недостатньо враховують агроекологічні функції ґрунтів, закономірності їхньої зміни за впливу добрив.

У зв'язку з цим, актуальним є обґрунтування систем удобрення, застосування яких забезпечує, з одного боку, достатній рівень продуктивності агроценозів і розкриття біопродуктивного потенціалу культур, а з іншого — сприяє підвищенню його екологічної стійкості, отриманню біологічно цінного врожаю та збереженню довкілля. Вирішення цих завдань можливе за врахування не лише агрохімічних, але й біологічних показників, які комплексно характеризують спрямованість ґрунтових процесів за дії добрив.

На це почали звертати увагу відносно недавно, з появою численних проблем стану ґрунтів, різкого зниження в них вмісту гумусу і родючості в цілому, забруднення водойм тощо. Особлива увага приділяється такому

макроелементу як азот, у зв'язку з тим, що азотні добрива є, з одного боку, одним із найпотужніших чинників впливу на формування урожайності сільськогосподарських культур та синтез амінокислот і білків, а з іншого — джерелом нітратів, здатних до накопичення у рослинницькій продукції та надходження до ґрунтових і поверхневих вод у концентраціях, шкідливих для людини та довкілля в цілому. До того ж, надлишкова кількість нітратів у ґрунті призводить до значної емісії N_2O , який належить до парникових газів.

Сьогодні розрахунки необхідної в технології вирощування певної сільськогосподарської культури кількості азотних добрив найчастіше робляться на запланований урожай з урахуванням результатів попередньої діагностики ґрунтів та коефіцієнтів використання рослинами діючої речовини з добрив. Є різні модифікації цього методу, які передбачають врахування нормативних витрат на формування врожаю, агрохімічних показників ґрунту, можливих коефіцієнтів засвоєння добрив рослинами, післядію удобрення попередніх у сівозміні культур, вміст азоту в пожнивних рештках і ін., але принципова їх суть зводиться до оцінки виносу елемента із

запланованим урожаєм [1–3].

За умови 100 %-го використання добрив культурними рослинами метод був би ідеальним. Але, враховуючи низький рівень засвоєння рослинами діючої речовини з добрив [4; 5], використання цих методичних підходів веде до планування більшої частини розрахованих норм на забруднення довкілля.

У зв'язку з цим в Інституті сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН обґрунтовано методологічні принципи та розроблено методику визначення фізіологічно доцільних норм азотних добрив (їх можна ототожнювати з екологічно прийнятними) [6; 7], яка базується на врахуванні особливостей перебігу процесів азотфіксації та емісії N_2O в агроценозах за різного агрохімічного навантаження. Визначивши в динаміці за вегетаційний період активність азотфіксації і порівнявши з показниками контрольного варіанту (без внесення добрив), можна вважати доцільними норми, застосування яких не буде знижувати досліджуваний показник. Додатковим критерієм для екологічного нормування азотних добрив є показники емісії N_2O . Норми фосфорних і калійних добрив при цьому можна розрахувати за відомим принципом збалансованості до рівня визначених азотних.

Певне корегування норм азотних добрив, необхідних для повноцінного продукційного процесу сільськогосподарських культур, може також привнести використання в аграрних технологіях мікробних препаратів, оскільки їх застосування сприяє зростанню коефіцієнтів засвоєння рослинами діючої речовини з добрив [8].

Метою представленої роботи є обґрунтування систем удобрення сільськогосподарських культур за доповнення агрохімічних рішень результатами біологічних тестувань.

Матеріали й методи. Дослідження проводили впродовж 2012–2015 рр. у польовому стаціонарному досліді на чорноземі вилуженому легкосуглинковому на лесовидних відкладеннях ($pH_{\text{сол.}}$ — 5,30, вміст гумусу — 2,12 %, азоту легкогідролізованого — 95,2 мг/кг, рухомих форм фосфору (P_2O_5) — 226 мг/кг (за Чиріковим), обмінного калію (K_2O) — 108 мг/кг (за Кирсановим)) дослідного поля Інституту сільськогосподарської

мікробіології та агропромислового виробництва НААН (*короткоротаційна сівозміна*) за такою схемою:

| <i>Сівозміна:</i> | <i>Системи удобрення:</i> |
|-------------------------|--|
| 1. Картопля; | Без добрив (контроль); |
| 2. Ячмінь ярий; | Органічна (гній); |
| 3. Горох; | Мінеральна невисока; |
| 4. Пшениця озима. | Мінеральна середня; |
| Те саме — з інокуляцією | Мінеральна інтенсивна; Органо-мінеральна. |

За органічної системи удобрення у сівозміні один раз за ротацію під осінню оранку (для картоплі) вносили гній із розрахунку 40 т/га.

Мінеральні системи удобрення передбачали застосування для картоплі азотних, фосфорних і калійних добрив із розрахунку по 40, 80 і 120 кг/га діючої речовини; під горох, ячмінь і пшеницю мінеральні добрива застосовували в дозах по 30, 60 і 90 кг/га.

Органо-мінеральна система удобрення культур передбачала внесення один раз за ротацію (під картоплю) гною з розрахунку 40 т/га та мінеральних добрив (по 80 кг/га азоту, P_2O_5 і K_2O). Для наступних у сівозміні культур — ячменю і пшениці, по даному варіанту досліджували вплив післядії гною в поєднанні з дією мінеральних добрив, застосованих у середній дозі, для гороху — в невисокій.

Для інокуляції використано мікробні препарати Біогран (ТУ У 24.1-00497360-006:2009) для картоплі, Ризогумін (ТУ У 24.1-00497360-003:2007) для гороху, Мікрогумін (ТУ У 24.1-00497360-007:2009) для ячменю і Поліміксобактерин (ТУ У 24.1-00497360-004:2009) для озимої пшениці.

Площа дослідної ділянки — 86,4 м² (7,2 × 12,0), повторність досліду чотирьохразова.

У ризосферному ґрунті рослин у динаміці визначали потенційну активність процесів азотфіксації та емісії N_2O [9]. Проводили облік урожаю, визначали окремі якісні параметри продукції.

Порівняльну економічну оцінку технологій проводили за такими основними показниками: витрати, виручка від реалізації продукції та прибуток із розрахунку на 1 га сівозмінної площі, рівень рентабельності ви-

робництва, собівартість 1 т зернових одиниць, окупність додаткових витрат додатковим прибутком.

Розрахунки технологічної та витратної частин здійснено на методичній базі [10; 11] з урахуванням конкретних особливостей досліджуваних технологій та ресурсного забезпечення. Ціни на ресурси і сільськогосподарську продукцію прийнято на рівні середніх фактичних, що склалися у 2014 році.

Результати та їх обговорення. Спрямованість процесів біологічної трансформації в кореневій зоні рослин картоплі за різних видів і норм добрив та Біограну. Визначення в динаміці потенційної активності азотфіксації в ризосферному ґрунті рослин картоплі (як критерію екологічної доцільності агрозаходів) свідчить про оптимізацію перебігу процесу у варіанті з внесенням 40 т/га гною. Застосування органо-мінерального удобрення тривалий час знижує активність (рис. 1). Мінеральні добрива в невеликій нормі стимулюють нітрогеназну активність у всі досліджувані фази органогенезу рослин. Середня їх норма стимулює активність процесу, починаючи з фази цвітіння. Застосування високої дози мінеральних добрив призводить до пригнічення азотфіксації впродовж тривалого відрізка часу.

Мікробний препарат Біогран не забезпе-

чує зростання активності азотфіксації по фону 40 т/га гною, що пов'язано з формуванням потужного бактеріального фону в ґрунті по даному варіанту. У той же час, біопрепарат сприяє підсиленню активності процесу за невисокої та середньої норм мінеральних добрив. Застосування Біограну по високому мінеральному агрофону нівелює негативний вплив мінерального азоту на функціональну активність азотфіксувальних бактерій.

Зазначені особливості з певними абсолютними відмінностями прослідковуються у всі роки досліджень і відображають закономірності впливу добрив на розвиток азотфіксувальних бактерій і перебіг процесу азотфіксації.

Отже, орієнтуючись на показники динаміки процесу азотфіксації, можемо визнати екологічно несприятливим варіант з найвищою дозою мінеральних добрив. Вочевидь, висока концентрація сполук азоту в ґрунті зазначеного варіанту дослідження репресує синтез ферментного азотфіксувального комплексу. Проте використання Біограну по цьому фону сприяє суттєвій оптимізації екологічної ситуації. Несприятливим в екологічному відношенні є застосування органо-мінерального удобрення. Інші варіанти удобрення є екологічно доцільними.

Інтенсивність емісії закису азоту також є

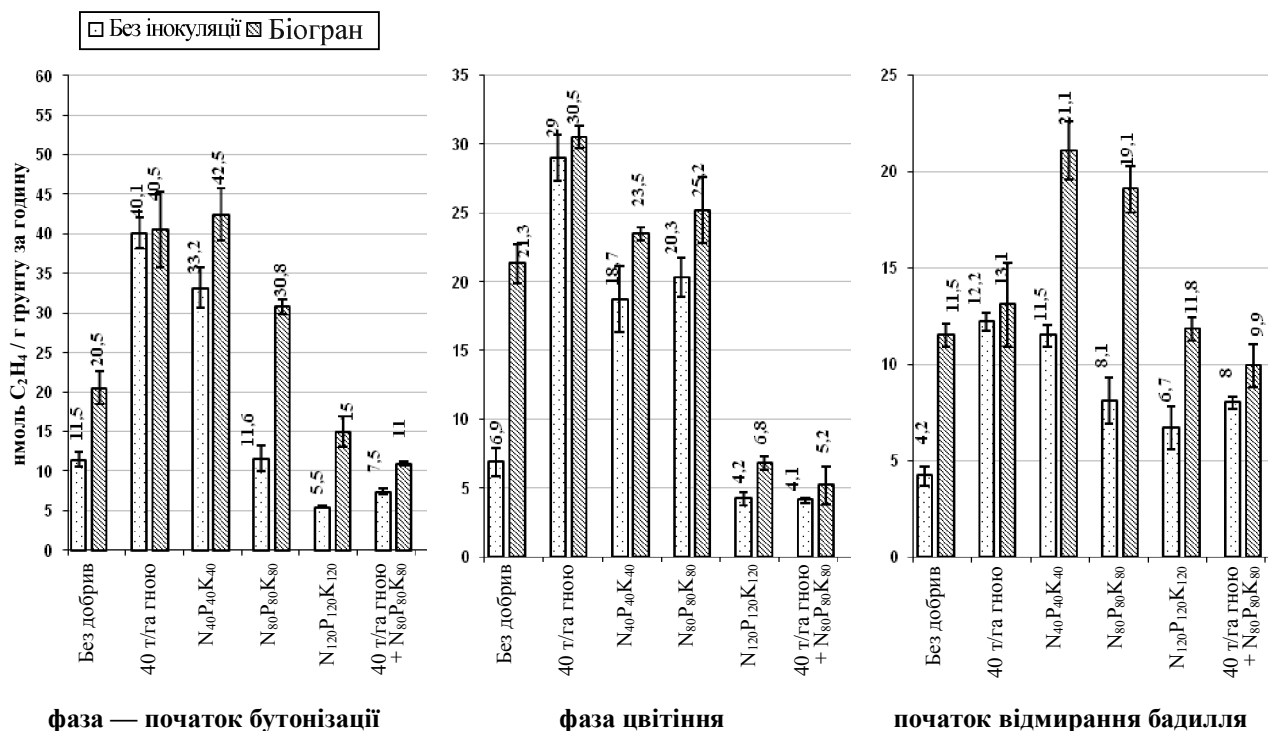


Рис. 1. Вплив бактеризації та добрив на нітрогеназну активність ризосферного ґрунту рослин картоплі сорту Белароза, 2014 р.

своєрідним показником благополуччя (чи неблагополуччя) агроценозів. Підвищення рівня газоподібних втрат азоту свідчить про надлишкову кількість азотних сполук у ґрунті. У досліді всі види і норми добрив призводили до збільшення втрат N_2O (рис. 2).

Внесення гною забезпечувало значну активність процесу денітрифікації впродовж всього вегетаційного періоду. За використання органо-мінерального удобрення ці втрати збільшувалися. Мінеральні добрива стимулювали емісію N_2O пропорційно застосованих норм.

Біологічний препарат Біогран у початко-

вий період розвитку рослин дещо стимулює емісію закису азоту. Це свідчить, що за вирощування картоплі на чорноземі у початкові періоди росту рослин навіть невисокі дози добрив є надлишковими. За цих умов інтродуковані з біопрепаратом азотфіксувальні бактерії функціонують як денітрифікатори. Проте, починаючи з фази бутонізації за використання біопрепарату спостерігається тенденція до зменшення активності денітрифікації у варіантах з невисокою та середньою нормами мінеральних добрив, а пізніше — і у варіанті з високою дозою туків. Наприкінці вегетаційного періоду — у фазу по-

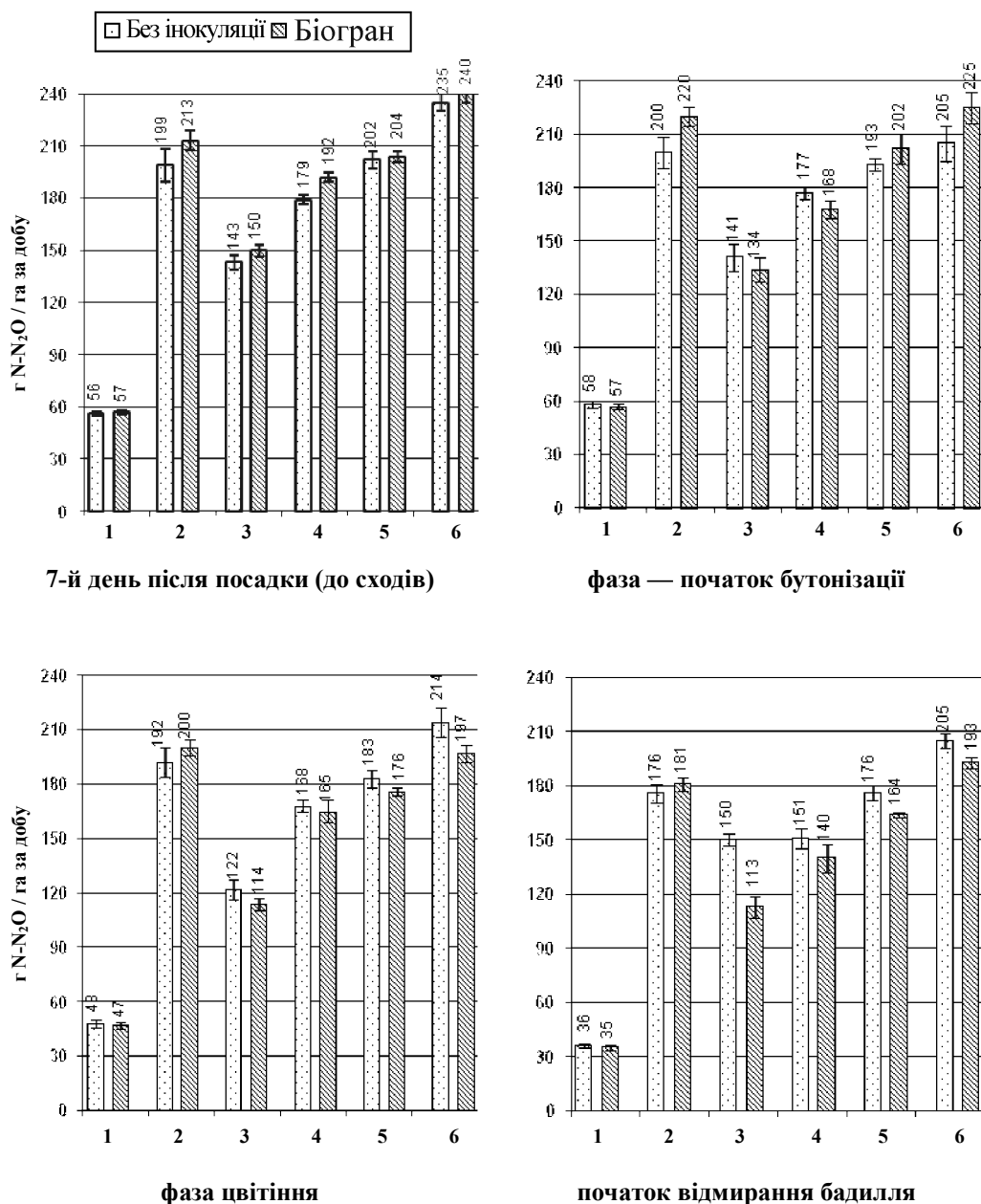


Рис. 2. Динаміка емісії закису азоту в агроценозах з картоплею за впливу добрив та біологічного препарату, 2014 р.

Примітка: 1 — без добрив; 2 — внесення 40 т/га гною ВРХ; 3 — $N_{40}P_{40}K_{40}$; 4 — $N_{80}P_{80}K_{80}$; 5 — $N_{120}P_{120}K_{120}$; 6 — 40 т/га гною + $N_{80}P_{80}K_{80}$.

чатку відмирання бадилля за використання Біограну спостерігається чітке зменшення втрат газоподібних сполук азоту у всіх варіантах, окрім варіанту з гноєм.

Найбільші сумарні втрати азоту внаслідок перебігу процесу денітрифікації спостерігаються за внесення гною, поєднання органічного добрива з мінеральним та за використання найбільшої норми мінеральних добрив (табл. 1).

Таблиця 1. Сумарні газоподібні втрати азоту за вегетаційний період картоплі залежно від добрив та інокуляції, 2014 р.

| Варіанти досліджу | N-N ₂ O, кг/га | |
|--|---------------------------|-------------|
| | без біопрепарату | з Біограном |
| Без добрив | 6,13 | 6,08 |
| 40 т/га гною | 23,77 | 25,23 |
| N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ | 17,24 | 15,84 |
| N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ | 20,92 | 20,61 |
| N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ | 23,37 | 23,12 |
| 40 т/га гною + N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ | 26,63 | 26,50 |

За виключенням органічного та органо-мінерального агрофонів, інокуляція картоплі сприяє зменшенню газоподібних втрат азоту. Найбільшою мірою це проявляється по фоні N₄₀P₄₀K₄₀.

Отже, орієнтуючись на показники біологічної трансформації сполук азоту в ризосферному ґрунті рослин картоплі, можемо вважати екологічно доцільними норми мінеральних добрив, що не перевищують N₈₀P₈₀K₈₀, особливо у поєднанні з дією мікробного препарату. З огляду на зростання активності азотфіксації, доцільним є застосування гною. У той же час, внесення 40 т/га гною викликає певне застереження у зв'язку з високою емісією N₂O.

Найефективнішими щодо впливу на урожайність картоплі були: органо-мінеральне удобрення, висока норма мінеральних добрив та органічні добрива (табл. 2). Як бачимо, показники найбільшої продуктивності культури не співпадають з оптимальними показниками функціонування мікроорганізмів кореневої сфери, за виключенням органічної системи удобрення. Тому, за умови

пошуку компромісу між екологічним станом агроценозу і його продуктивністю доцільним є органічне удобрення та внесення мінеральних добрив у нормах, що не перевищують N₈₀P₈₀K₈₀. Застосування Біограну по фонах N₄₀P₄₀K₄₀ і N₈₀P₈₀K₈₀ забезпечує приріст продуктивності культури на 11 % і 10 % (2,3 і 2,4 т/га відповідно) і є одним із найефективніших у досліді поєднань досліджуваних чинників. За використання біопрепарату по фоні органічних добрив отримуємо найменший приріст урожайності культури. Це пояснюється тим, що застосуванням гною здійснюється своєрідна неспецифічна бактеризація ґрунту, що створює потужне конкурентне середовище для інтродукованих в агроценоз мікроорганізмів.

Інокуляція впливає на якісні показники отриманої продукції. Так, зокрема, зростає вміст крохмалю та аскорбінової кислоти у бульбах картоплі. При цьому спостерігається зниження вмісту нітратів у продукції. Ці особливості нами показано в усі роки проведення досліджень. Відомо, що шкідливість нітратів в організмі людини значною мірою може знешкоджувати аскорбінова кислота. Тож зростання її вмісту за зменшення кількості нітратів у бульбах, що відмічається в наших дослідях, є надзвичайно важливим показником.

Особливості біологічної трансформації азоту в кореневій зоні рослин ячменю ярого за дії добрив і Мікрогуміну. Оскільки дія добрив на біологічні процеси в ґрунті є функцією змінною, що залежить від концентрації сполук біогенних елементів (і особливо азоту), вплив мінеральних добрив на перебіг процесу азотфіксації в кореневій зоні рослин ячменю сорту Гося змінюється в часі.

Суттєве стимулювання активності азотфіксації на початку вегетаційного періоду спостерігається у варіантах післядії гною і невисокої норми мінеральних добрив. Інокуляція сприяє прояву ще вищої активності, що свідчить про сприятливу екологічну ситуацію в ґрунті за даних умов.

Підвищені норми мінеральних добрив пригнічують азотфіксуювальну активність. Проте застосування Мікрогуміну по даних агрофонах нівелює негативну дію мінеральних добрив.

У наступний строк досліджень процес азотфіксації в кореневій зоні рослин ячменю

Таблиця 2. Вплив удобрення та бактеризації на урожайність картоплі сорту Белароза

| Варіанти дослідів | Урожайність, т/га | | | | | | Приріст від добрив | | Приріст від інокуляції | |
|--|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------|------|------------------------|------|
| | 2011 р. | 2012 р. | 2013 р. | 2014 р. | 2015 р. | середнє | т/га | % | т/га | % |
| <i>Без бактеризації</i> | | | | | | | | | | |
| Без добрив (контроль) | 17,4 | 18,3 | 12,9 | 15,5 | 14,0 | 15,6 | – | – | – | – |
| 40 т/га гною | 31,3 | 32,0 | 20,7 | 30,3 | 21,4 | 27,1 | 11,5 | 73,7 | – | – |
| N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ | 23,4 | 24,3 | 17,3 | 23,3 | 16,5 | 21,0 | 5,4 | 34,6 | – | – |
| N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ | 24,7 | 27,3 | 20,9 | 28,8 | 17,6 | 23,9 | 8,3 | 53,2 | – | – |
| N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ | 31,4 | 33,3 | 24,3 | 31,0 | 21,2 | 28,2 | 12,6 | 80,8 | – | – |
| 40 т/га гною + N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ | 33,8 | 34,3 | 24,4 | 33,5 | 22,7 | 29,7 | 14,1 | 90,4 | – | – |
| <i>Інокуляція Біограном</i> | | | | | | | | | | |
| Без добрив | 18,9 | 20,1 | 13,4 | 16,9 | 15,6 | 17,0 | – | – | 1,4 | 9,0 |
| 40 т/га гною | 31,7 | 32,9 | 20,8 | 31,2 | 22,3 | 27,8 | 12,2* | 78,2 | 0,7 | 2,3 |
| N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ | 25,8 | 27,6 | 19,7 | 25,3 | 17,9 | 23,3 | 7,7* | 49,4 | 2,3 | 11,0 |
| N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ | 27,7 | 29,9 | 22,6 | 30,6 | 20,9 | 26,3 | 10,7* | 68,6 | 2,4 | 10,0 |
| N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ | 32,9 | 35,0 | 25,9 | 32,2 | 27,2 | 30,6 | 15,0* | 95,2 | 2,4 | 8,5 |
| 40 т/га гною + N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ | 34,6 | 35,7 | 25,5 | 34,5 | 23,4 | 30,7 | 15,1* | 96,8 | 1,0 | 3,4 |
| НР ₀₅ по досліді | 1,87 | 1,78 | 2,82 | 2,87 | 1,57 | | | | | |
| для агрофонів | 1,08 | 1,09 | 1,99 | 1,86 | 1,11 | | | | | |
| для інокуляції та взаємодії | 0,76 | 0,74 | 1,00 | 0,99 | 0,59 | | | | | |

Примітка: * — у т. ч. за умови взаємодії з біопрепаратом.

інтенсифікує невисока норма добрив, а також післядія гною та пряма дія N₆₀P₆₀K₆₀.

Мікрогумін забезпечує зростання активності по всіх досліджених варіантах, у т. ч. й по фоні органо-мінерального удобрення (рис. 3).

У третій строк висока активність процесу азотфіксації відмічається за внесення мінеральних добрив у всіх досліджуваних нормах. При цьому Мікрогумін забезпечує зростання активності по всіх агрофонах, окрім варіанту з післядією гною.

Дослідження потенційної активності денітрифікації за дії добрив та передпосівної інокуляції свідчить про суттєве зростання показників у перший строк, незалежно від їх виду і норм. Мікрогумін у цей час стимулює активність емісії у всіх варіантах, за виключенням контрольного, та за внесення найменшої в досліді норми мінеральних добрив (рис. 4). У наступну фазу органогенезу рос-

лин ячменю відмічаємо схожі залежності, проте, на відміну від першого строку відбору зразків, спостерігаємо суттєве зменшення втрат азоту по всіх варіантах при застосуванні Мікрогуміну.

У фазу молочно-воскової стиглості спостерігаємо вище відмічені особливості, за виключенням варіанту з післядією гною, де біологічний препарат не проявляє впливу.

Відмічені особливості спрямованості процесів азотфіксації та біологічної денітрифікації в кореневій зоні рослин ячменю залежно від норм мінеральних добрив та передпосівної бактеризації, спостерігаються і в інші роки проведення досліджень.

Отже, згідно з показниками біологічної трансформації сполук азоту в ґрунті, можемо вважати норми мінеральних добрив у досліді, що не перевищують N₆₀P₆₀K₆₀, екологічно доцільними. При цьому спостерігається підвищення активності процесу азотфіксації, а

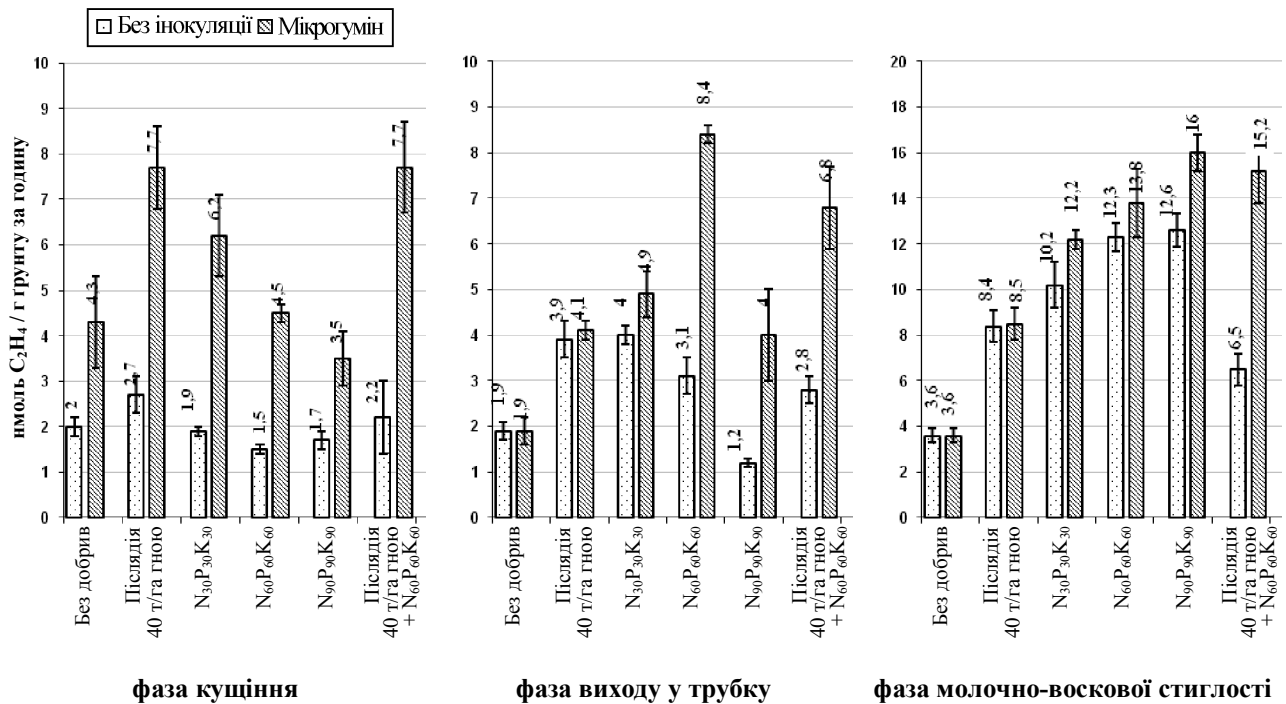


Рис. 3. Потенційна нітрогеназна активність у ризосферному ґрунті рослин ячменю ярого за впливу добрив та бактеризації, 2014 р.

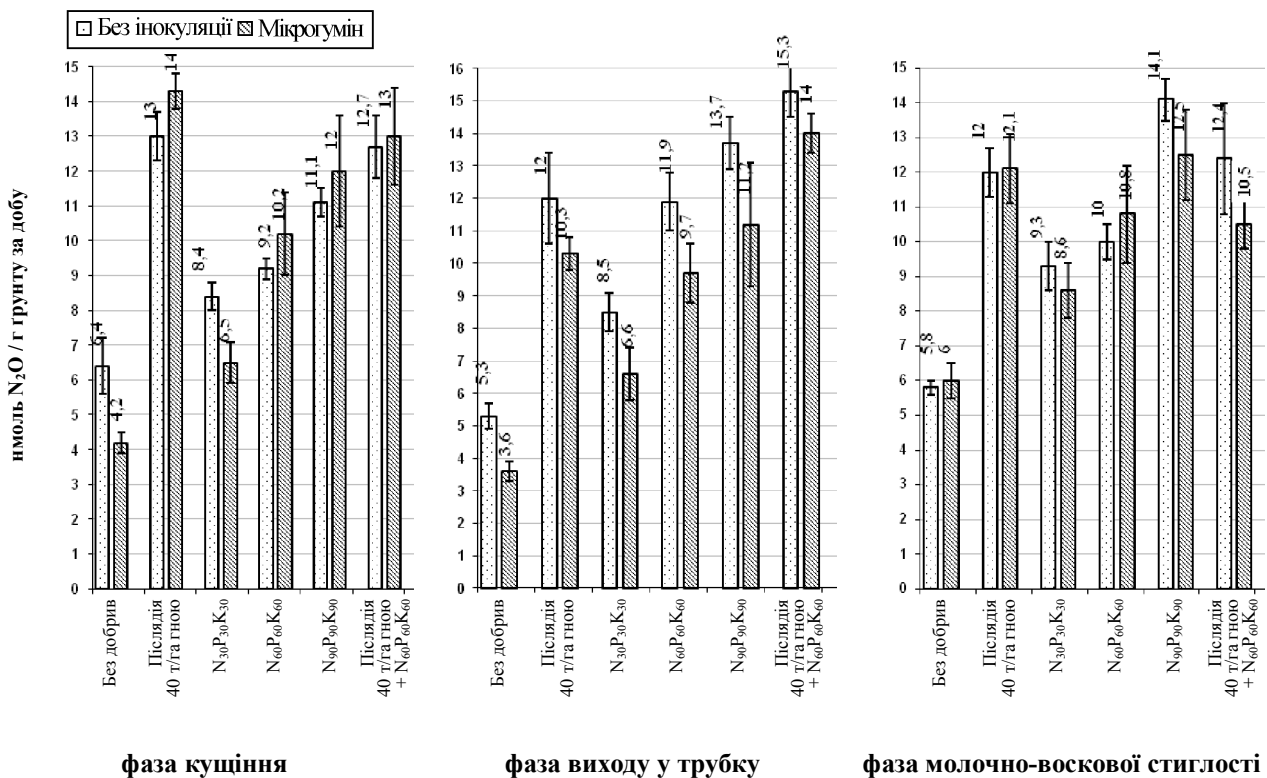


Рис. 4. Вплив добрив та бактеризації на потенційну активність емісії N₂O з ризосферного ґрунту ячменю сорту Гося, 2014 р.

газоподібні втрати азоту не є надмірними.

Першого року післядія гною є також сприятливим агрофоном. Органо-мінеральне удобрення супроводжується значними втратами газоподібних сполук азоту внаслідок підвищеної біологічної активності в ґрунті.

Застосування Мікрогуміну оптимізує перебіг процесів біологічної трансформації азоту в агроценозах з ячменем.

Використання мінеральних добрив сприяє зростанню урожайності культури, але природи від кожної наступної дози мінера-

льних добрив суттєво зменшуються (табл. 3). Проте за взаємодії агрофонів з біопрепаратом спостерігається суттєвіша віддача добрив урожаєм.

Найвищий ефект взаємодії з Мікрогуміном спостерігається за внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$, а також за першого року післядії 40 т/га гною ВРХ.

За зростання норми мінеральних добрив, а також за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ по фоні післядії гною приріст урожаю від передпосівної бактеризації відносно невисокий.

Вплив Мікрогуміну на урожайність ячменю по оптимальних агрофонах є еквівалентним дії мінеральних добрив у нормі, не меншій за $N_{30}P_{30}K_{30}$. Так, передпосівна бактеризація по фоні $N_{30}P_{30}K_{30}$ сприяє отриманню такого ж урожаю, як і за внесення

$N_{60}P_{60}K_{60}$ (без інокуляції) — по 3,3 т/га. Застосування Мікрогуміну по фоні $N_{60}P_{60}K_{60}$ забезпечує отримання урожайності навіть більшої, ніж це має місце при внесенні в ґрунт $N_{90}P_{90}K_{90}$ — відповідно 3,7 і 3,5 т/га.

Таким чином, як за біологічним тестуванням видів і норм добрив для ячменю ярого, так і за особливостями формування урожайності культури можна вважати екологічно доцільним вирощування культури по фонах мінеральних добрив, що не перевищують $N_{60}P_{60}K_{60}$, а також за першого року післядії гною. За цих агрофонів найвищий ефект забезпечує передпосівна інокуляція Мікрогуміном.

Вплив особливостей удобрення гороху на динаміку процесу азотфіксуючої активності, емісії N_2O та продуктивність

Таблиця 3. Вплив удобрення та бактеризації на урожайність ячменю сорту Гося

| Варіанти дослідів | Урожайність, т/га | | | | | | Приріст від добрив | | Приріст від інокуляції | |
|---|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------|------|------------------------|------|
| | 2011 р. | 2012 р. | 2013 р. | 2014 р. | 2015 р. | середнє | т/га | % | т/га | % |
| <i>Без бактеризації</i> | | | | | | | | | | |
| Без добрив (контроль) | 1,5 | 1,7 | 2,2 | 3,0 | 3,4 | 2,4 | — | — | — | — |
| 40 т/га гною (першого року післядія) | | 2,1 | 2,6 | 3,2 | 3,8 | 2,9 | 0,5 | 20,8 | — | — |
| $N_{30}P_{30}K_{30}$ | 1,9 | 2,0 | 2,8 | 3,7 | 4,1 | 2,9 | 0,5 | 20,8 | — | — |
| $N_{60}P_{60}K_{60}$ | 2,1 | 2,2 | 3,3 | 4,5 | 4,4 | 3,3 | 0,9 | 37,5 | — | — |
| $N_{90}P_{90}K_{90}$ | 2,2 | 2,5 | 3,4 | 4,7 | 4,6 | 3,5 | 1,1 | 45,8 | — | — |
| 40 т/га гною (першого року післядія) + $N_{60}P_{60}K_{60}$ | | 2,5 | 3,4 | 4,9 | 4,3 | 3,8 | 1,4 | 58,3 | — | — |
| <i>Інокуляція Мікрогуміном</i> | | | | | | | | | | |
| Без добрив | 1,7 | 1,9 | 2,5 | 3,5 | 3,6 | 2,6 | — | — | 0,2 | 8,3 |
| 40 т/га гною (першого року післядія) | | 2,4 | 2,9 | 3,7 | 4,2 | 3,3 | 0,9* | 37,5 | 0,4 | 13,7 |
| $N_{30}P_{30}K_{30}$ | 2,1 | 2,2 | 3,4 | 4,4 | 4,5 | 3,3 | 0,9* | 37,5 | 0,4 | 13,8 |
| $N_{60}P_{60}K_{60}$ | 2,5 | 2,5 | 3,7 | 5,0 | 4,9 | 3,7 | 1,3* | 54,2 | 0,4 | 12,1 |
| $N_{90}P_{90}K_{90}$ | 2,6 | 2,6 | 3,7 | 5,1 | 4,9 | 3,8 | 1,4* | 58,3 | 0,3 | 8,6 |
| 40 т/га гною (першого року післядія) + $N_{60}P_{60}K_{60}$ | | 2,6 | 3,7 | 5,1 | 4,5 | 4,0 | 1,6* | 66,7 | 0,2 | 5,3 |
| НІР ₀₅ по досліді | 0,20 | 0,41 | 0,21 | 0,49 | 0,44 | | | | | |
| для агрофонів | 0,11 | 0,19 | 0,15 | 0,35 | 0,31 | | | | | |
| для інокуляції та взаємодії | 0,08 | 0,22 | 0,07 | 0,19 | 0,17 | | | | | |

Примітка: * — у т. ч. за умови взаємодії з біопрепаратом.

культури. Визначення в динаміці камерним методом активності симбіотичної азотфіксації демонструє чітку залежність показників від особливостей удобрення гороху (рис. 5). Так, у перші фази органогенезу найвища активність процесу спостерігається у контрольному варіанті. Застосування добрив пригнічує активність азотфіксації. І лише використання біологічного препарату Ризогуміну по фонах невисокої та середньої в досліді норм мінеральних добрив сприяє відновленню показників до рівня контрольних.

У фазу бутонізації спостерігається суттєва активізація процесу симбіотичної азотфіксації у варіантах з внесенням $N_{30}P_{30}K_{30}$, а

також $N_{60}P_{60}K_{60}$. Ризогумін у ще більшій мірі стимулює процес по зазначених агрофонах.

У варіантах з післядією органічного добрива, з органо-мінеральним удобренням та за внесення найбільшої норми мінеральних добрив спостерігається зниження активності азотфіксації порівняно до контролю. Такі ж особливості відмічаємо і у фазу цвітіння. Найвищі показники фіксації атмосферного азоту при цьому — у варіанті з невисокою нормою мінеральних добрив.

Наприкінці вегетаційного періоду активність азотфіксації є вищою за контрольні за всіх досліджуваних видів і норм добрив. Суттєвим чинником інтенсифікації процесу є

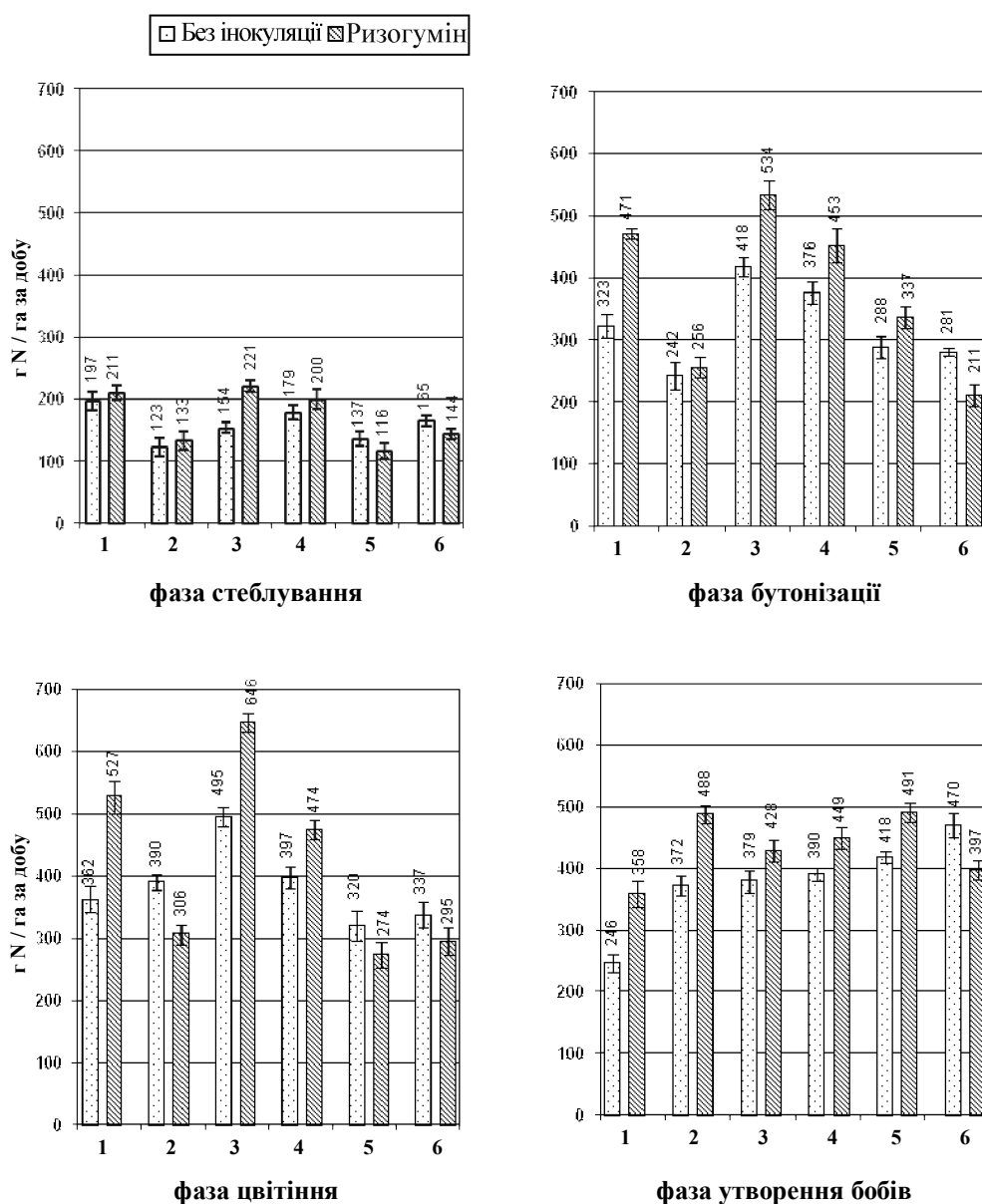


Рис. 5. Динаміка процесу азотфіксації в кореневій зоні рослин гороху за дії добрив та інокуляції, 2014 р.

Примітка: 1 — без добрив; 2 — післядія другого року 40 т/га; 3 — $N_{30}P_{30}K_{30}$; 4 — $N_{60}P_{60}K_{60}$; 5 — $N_{90}P_{90}K_{90}$; 6 — післядія другого року 40 т/га гною + $N_{30}P_{30}K_{30}$.

мікробний препарат Ризогумін.

Розрахунки продуктивності азотфіксації за вегетаційний період гороху демонструють найбільше надходження азоту з атмосфери у варіантах з невисокою та середньою дозами мінеральних добрив. Застосування Ризогуміну по оптимальних агрофонах дозволяє збільшити продуктивність азотфіксації у 1,2–1,3 разу (табл. 4).

Таблиця 4. Продуктивність азотфіксації за впливу добрив та передпосівної інокуляції гороху

| Варіанти дослідів | Азот, кг/га за вегетаційний період | |
|---|------------------------------------|---------------|
| | без інокуляції | з інокуляцією |
| Без добрив | 28,200 | 39,175 |
| 40 т/га гною (післядія) | 28,175 | 29,575 |
| N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | 36,150 | 45,725 |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 33,550 | 39,400 |
| N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ | 29,075 | 30,450 |
| 40 т/га гною (післядія) + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | 31,325 | 26,175 |

Визначення в динаміці активності емісії закису азоту з агроценозів гороху демонструє, що найбільші його втрати на початку вегетації культури спостерігаються у варіантах з післядією органічних добрив та за органо-мінерального удобрення. Щодо впливу мінеральних добрив — активність біологічної денітрифікації зростає по мірі збільшення їх норм. Ризогумін сприяє зниженню газоподібних втрат азоту у цей період лише по фону невисокої та середньої в досліді доз мінеральних добрив.

Такі самі особливості спостерігаються і в другий строк визначення активності процесу (фаза бутонізації). У фазу цвітіння бактерізація вже сприяє зниженню емісії закису азоту і у варіанті з найбільшою нормою мінеральних добрив.

У фазу формування бобів спостерігаються аналогічні залежності, хоч абсолютні показники при цьому дещо відрізняються.

Підрахунки втрат азоту внаслідок перебігу процесу біологічної денітрифікації свідчать, що найбільші показники — у варіантах з другого року післядії гною, за органо-

мінерального удобрення та за внесення високої норми туків (табл. 5).

Таблиця 5. Сумарна емісія N-N₂O з ґрунту за вегетаційний період гороху залежно від добрив та інокуляції

| Варіанти дослідів | Емісія N-N ₂ O, кг/га | |
|---|----------------------------------|---------------|
| | без інокуляції | з інокуляцією |
| Без добрив | 4,77 | 4,52 |
| 40 т/га гною (післядія) | 17,72 | 17,62 |
| N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | 10,20 | 9,17 |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 11,72 | 10,42 |
| N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ | 15,59 | 15,50 |
| 40 т/га гною (післядія) + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | 19,00 | 20,02 |

Найнижчі втрати азоту — у контрольному варіанті та за внесення невисокої і середньої в досліді норм мінеральних добрив. Застосування Ризогуміну по цих агрофонах сприяє зменшенню емісії N₂O.

Урожайність гороху найбільшою мірою зростає за внесення мінеральних добрив у нормах N₆₀P₆₀K₆₀ та N₉₀P₉₀K₉₀. Проте при цьому слід відмітити, що віддача урожаєм найвищої в досліді норми порівняно з середньою є невисокою (табл. 6). Другого року післядія гною не у всі роки досліджень забезпечує статистично вірогідний приріст урожаю. Суттєво коригує ситуацію застосування біопрепарату для передпосівної обробки насіння.

Так, приріст від інокуляції знаходиться в межах трьох-п'яти центнерів зерна з одного гектара. Найбільший приріст урожайності культури від застосування Ризогуміну відмічається по фону найменшої норми мінеральних добрив — 18,5 %. Урожайність при цьому складає 3,2 т/га, що дорівнює найвищому показнику у блоці варіантів без використання Ризогуміну.

При порівнянні впливу Ризогуміну на урожайність культури з дією мінеральних добрив приходимо висновку про еквівалентність ефекту бактерізації дії мінеральних добрив у нормі, не меншій за N₃₀P₃₀K₃₀.

Отже, за показниками перебігу процесу симбіотичної азотфіксації та втрат газоподібного азоту внаслідок емісії N₂O оптима-

Таблиця 6. Вплив удобрення та бактеризації на урожайність гороху сорту Девіз

| Варіанти дослідів | Урожайність, т/га | | | | | | Приріст від добрив | | Приріст від інокуляції | |
|--|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------|------|------------------------|------|
| | 2011 р. | 2012 р. | 2013 р. | 2014 р. | 2015 р. | середнє | т/га | % | т/га | % |
| <i>Без бактеризації</i> | | | | | | | | | | |
| Без добрив (контроль) | 2,6 | 1,5 | 1,9 | 2,7 | 2,1 | 2,2 | – | – | – | – |
| 40 т/га гною (другого року післядія) | | | 2,3 | 3,1 | 2,2 | 2,5 | 0,3 | 13,6 | – | – |
| N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | 3,0 | 1,8 | 2,8 | 3,7 | 2,4 | 2,7 | 0,5 | 22,7 | – | – |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 3,3 | 2,0 | 3,2 | 3,9 | 2,9 | 3,1 | 0,9 | 40,9 | – | – |
| N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ | 3,4 | 2,1 | 3,4 | 4,0 | 2,9 | 3,2 | 1,0 | 45,5 | – | – |
| 40 т/га гною (другого року післядія) + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | | | 2,8 | 3,8 | 2,4 | 3,0 | 0,8 | 36,4 | – | – |
| <i>Інокуляція Ризогуміном</i> | | | | | | | | | | |
| Без добрив | 3,1 | 1,9 | 2,3 | 2,9 | 2,3 | 2,5 | – | – | 0,3 | 13,6 |
| 40 т/га гною (другого року післядія) | | | 2,5 | 3,5 | 2,3 | 2,8 | 0,6* | 27,3 | 0,3 | 12,0 |
| N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | 3,7 | 2,1 | 3,3 | 4,2 | 2,8 | 3,2 | 1,0* | 45,5 | 0,5 | 18,5 |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 3,9 | 2,3 | 3,5 | 4,4 | 3,2 | 3,5 | 1,3* | 59,1 | 0,4 | 12,9 |
| N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ | 4,0 | 2,3 | 3,6 | 4,6 | 3,3 | 3,6 | 1,4* | 63,6 | 0,4 | 12,5 |
| 40 т/га гною (другого року післядія) + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | | | 3,1 | 4,2 | 2,8 | 3,4 | 1,2* | 54,5 | 0,4 | 13,3 |
| НІР ₀₅ по досліді | 0,28 | 0,25 | 0,29 | 0,44 | 0,19 | | | | | |
| для агрофонів | 0,16 | 0,13 | 0,17 | 0,31 | 0,12 | | | | | |
| для інокуляції та взаємодії | 0,12 | 0,12 | 0,14 | 0,17 | 0,09 | | | | | |

Примітка: * — у т. ч. за умови взаємодії з біопрепаратом.

льним при вирощуванні гороху на чорноземі вилуженому є застосування мінеральних добрив у нормі N₃₀P₃₀K₃₀. Допустимим за біологічними показниками є підвищення норми добрив до N₆₀P₆₀K₆₀.

Застосування в технологіях вирощування гороху мікробного препарату Ризогуміну по зазначених агрофонах сприяє суттєвому зростанню активності азотфіксації і зменшенню газоподібних втрат азоту.

Таким чином, оптимальним за впливом на перебіг окремих біологічних процесів при вирощуванні гороху на лучно-чорноземному ґрунті та дією на продукційний процес культури є застосування в технології вирощування культури невисоких та середніх у досліді норм мінеральних добрив (N₃₀P₃₀K₃₀ та N₆₀P₆₀K₆₀). Поєднання всіх досліджуваних

агрофонів з Ризогуміном (за виключенням високої дози туків) сприяє суттєвому зростанню ефективності виробництва.

Вплив добрив та Поліміксобактерину на біологічну активність і спрямованість процесів трансформації азоту в кореневій зоні рослин пшениці озимої та продуктивність культури. Як свідчать отримані результати, в кореневій зоні рослин пшениці у динаміці суттєво змінюються показники активності азотфіксації за впливу мінеральних добрив. Мікробний препарат Поліміксобактерин хоча і сприяє певною мірою позитивним змінам інтенсивності процесу, проте дія його є опосередкованою — через зміни в розвитку рослин (що є логічним з огляду на те, що застосований препарат виробляється на основі фосфатмобілізувальної бактерії).

Найкращими фонами для прояву азотфіксуювальної активності є спочатку найнижча в досліді норма добрив, а по мірі розвитку рослин і N₆₀P₆₀K₆₀. Наприкінці вегетаційного періоду процес азотфіксації стимулюють практично всі досліджені види і норми добрив, що свідчить про вичерпання надлишкової кількості сполук азоту в ґрунті на цей час (табл. 7).

З міркувань тривалості періоду, за якого спостерігається стимулювання процесу азотфіксації в кореневій зоні рослин пшениці озимої, екологічно доцільним удобренням є застосування мінеральних добрив у нормах, що не перевищують N₆₀P₆₀K₆₀.

Не знижує активність досліджуваного процесу також і післядія 40 т/га підстилкового гною ВРХ. Отже, цей агрофон також є екологічно сприятливим. Таку саму оцінку екологічної ситуації можна надати і варіанту «післядія 40 т/га гною + пряма дія N₆₀P₆₀K₆₀».

Неприйнятним є застосування на чорноземі вилуженому при вирощуванні пшениці озимої внесення мінеральних добрив у нормі N₉₀P₉₀K₉₀, оскільки за цих умов спостерігається тривале пригнічення активності азот-

фіксації. Відновлення показників спостерігається лише наприкінці вегетаційного періоду пшениці.

Динаміка емісії закису азоту з ризосферного ґрунту рослин пшениці демонструє зростання показників по мірі збільшення концентрації добрив у ґрунті (табл. 8).

Газоподібні втрати азоту зростають по мірі збільшення норм добрив у всі строки проведення досліджень. Проте використання Поліміксобактерину вносить свої корективи. Так, за невисокої норми мінеральних добрив передпосівна бактеризація сприяє зниженню біологічної денітрифікації. Вирощування бактеризованих рослин по середньому і високому фонах мінерального удобрення, навпаки, дещо стимулює втрати азоту в перший строк досліджень. Надалі інокуляція забезпечує зменшення втрат азоту по всіх досліджуваних агрофонах. Проте активність біологічної денітрифікації і за цих умов залишається достатньо високою.

Вплив Поліміксобактерину на обмеження активності біологічної денітрифікації можна пояснити тим, що ініційовані бактеризацією рослини пшениці інтенсивніше розви-

Таблиця 7. Вплив бактеризації та добрив на потенційну активність азотфіксації ризосферного ґрунту рослин пшениці озимої, нМоль C₂H₂/г ґрунту за годину

| Варіанти удобрення | Фаза кущіння | Фаза виходу в трубку | Фаза молочно-воскової стиглості |
|---|--------------|----------------------|---------------------------------|
| <i>Без інокуляції</i> | | | |
| Без добрив, контроль | 0,2±0,03 | 2,2±0,4 | 4,5±0,1 |
| 40 т/га гною (третього року післядія) | 0,4±0,04 | 2,7±0,3 | 5,6±0,5 |
| N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | 0,5±0,02 | 3,0±0,3 | 6,8±1,2 |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 0,4±0,02 | 3,4±0,2 | 9,3±1,2 |
| N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ | 0,2±0,01 | 1,4±0,3 | 8,1±0,5 |
| 40 т/га гною (третього року післядія) + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 0,4±0,03 | 2,6±0,1 | 10,1±0,2 |
| <i>Інокуляція Поліміксобактерином</i> | | | |
| Без добрив | 0,2±0,06 | 2,3±0,2 | 6,0±0,6 |
| 40 т/га гною (третього року післядія) | 0,2±0,03 | 2,2±0,4 | 7,1±0,6 |
| N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | 0,7±0,07 | 4,2±0,5 | 13,0±0,4 |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 0,4±0,02 | 3,6±0,3 | 10,7±0,4 |
| N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ | 0,2±0,02 | 1,1±0,2 | 8,0±0,3 |
| 40 т/га гною (третього року післядія) + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 0,2±0,01 | 2,7±0,2 | 11,2±0,5 |

Таблиця 8. Вплив добрив та бактеризації на потенційну активність біологічної денітрифікації ризосферного ґрунту пшениці озимої, нМоль N₂O/г ґрунту за добу

| Варіанти удобрення | Фаза кущіння | Фаза виходу в трубку | Фаза молочно-воскової стиглості |
|---|--------------|----------------------|---------------------------------|
| <i>Без інокуляції</i> | | | |
| Без добрив, контроль | 9,7±0,6 | 7,5±0,5 | 5,4±0,4 |
| 40 т/га гною (третього року післядія) | 18,1±0,4 | 11,1±1,2 | 5,4±0,4 |
| N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | 12,6±0,5 | 11,0±0,5 | 7,4±0,6 |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 17,0±0,8 | 13,6±1,1 | 10,4±0,3 |
| N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ | 18,3±0,6 | 13,8±0,5 | 13,0±0,7 |
| 40 т/га гною (третього року післядія) + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 20,9±0,6 | 23,0±1,2 | 17,1±2,0 |
| <i>Інокуляція Поліміксобактерином</i> | | | |
| Без добрив | 7,2±0,5 | 6,9±0,8 | 4,0±0,7 |
| 40 т/га гною (третього року післядія) | 13,7±0,6 | 9,7±0,7 | 4,7±0,4 |
| N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | 11,2±0,4 | 9,5±1,0 | 7,1±0,5 |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 17,8±1,0 | 11,4±0,8 | 8,5±0,6 |
| N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ | 20,0±2,0 | 13,2±2,1 | 12,2±0,5 |
| 40 т/га гною (третього року післядія) + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 19,4±0,5 | 20,3±1,2 | 16,0±0,9 |

ваються, при цьому засвоюють більше азоту з добрив, тим самим позбавляють денітрифікувальні мікроорганізми субстрату для нітратного дихання. Звичайно, такий ефект буде виявлятися лише при застосуванні фізіологічно доцільних норм мінерального азоту.

Оптимальним з позицій компромісу між впливом добрив на розвиток небажаних мікробіологічних процесів та їх дією на функціонування агрономічно цінних мікроорганізмів є роздрібне застосування мінеральних добрив у нормах, що не перевищують N₆₀P₆₀K₆₀. Підвищення норми мінеральних добрив вище зазначеної сприяє негативним змінам у спрямованості біологічних процесів у ґрунті.

Оцінюючи вплив добрив на формування урожайності культури, слід відмітити зростання продуктивності по всіх досліджених агрофонах (табл. 9).

Бактеризація суттєво впливає на продуктивність культури по всіх агрофонах, у т. ч. й високому. Приріст від бактеризації коливається від 5 до 20 % залежно від агрофону.

Оптимальним при порівнянні витрат і приросту урожаю є внесення мінеральних

добрив у нормі N₆₀P₆₀K₆₀ із застосуванням Поліміксобактерину.

Вплив бактеризації на формування урожайності пшениці еквівалентний дії мінеральних добрив у нормі, не меншій за N₃₀P₃₀K₃₀.

Так, зокрема, застосування Поліміксобактерину по фоні N₃₀P₃₀K₃₀ сприяє отриманню такої самої продуктивності культури, як і у варіанті з нормою добрив N₆₀P₆₀K₆₀, а бактеризація по фоні середньої кількості мінеральних добрив у досліді забезпечує таку саму урожайність (і навіть вищу), як і за внесення N₉₀P₉₀K₉₀.

Еколого-економічне обґрунтування систем удобрення сільськогосподарських культур. Оскільки в досліджуваній сівозміні вирощували різні сільськогосподарські культури, продукцію яких важко порівнювати, для об'єктивності висновків трансформуємо урожайність у зернові одиниці [12].

Розрахунки свідчать, що за органічної системи удобрення вихід зернових одиниць по сівозміні практично однаковий з аналогічним показником, одержаним по мінеральній середній (табл. 10). Найбільші показники забезпечує мінеральна інтенсивна і органо-

Таблиця 9. Вплив удобрення та бактеризації на урожайність пшениці сорту Сонечко

| Варіанти дослідів | Урожайність, т/га | | | | | Приріст від добрив | | Приріст від інокуляції | |
|---|-------------------|---------|---------|---------|---------|--------------------|------|------------------------|------|
| | 2012 р. | 2013 р. | 2014 р. | 2015 р. | середнє | т/га | % | т/га | % |
| <i>Без бактеризації</i> | | | | | | | | | |
| Без добрив (контроль) | 5,1 | 4,4 | 5,9 | 4,3 | 4,9 | – | – | – | – |
| 40 т/га гною (третього року післядія) | | | 6,8 | 5,5 | 6,2 | 1,3 | 26,5 | – | – |
| N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | 5,6 | 4,9 | 6,7 | 4,9 | 5,5 | 0,6 | 12,2 | – | – |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 5,9 | 5,2 | 7,1 | 5,2 | 5,9 | 1,0 | 20,4 | – | – |
| N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ | 6,1 | 5,4 | 7,4 | 5,5 | 6,1 | 1,2 | 24,5 | – | – |
| 40 т/га гною (третього року післядія) + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | | | 6,9 | 5,9 | 6,4 | 1,5 | 30,6 | – | – |
| <i>Інокуляція Поліміксобактерином</i> | | | | | | | | | |
| Без добрив | 5,4 | 4,7 | 7,1 | 4,7 | 5,5 | – | – | 1,0 | 20,4 |
| 40 т/га гною (третього року післядія) | | | 7,2 | 5,7 | 6,5 | 1,6* | 32,7 | 0,3 | 4,8 |
| N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | 6,1 | 5,2 | 7,3 | 5,4 | 6,0 | 1,1* | 22,4 | 0,5 | 9,1 |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 6,6 | 5,9 | 7,6 | 5,7 | 6,5 | 1,6* | 32,7 | 0,6 | 10,2 |
| N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ | 6,9 | 6,1 | 7,8 | 6,0 | 6,7 | 1,8* | 36,7 | 0,6 | 9,8 |
| 40 т/га гною (третього року післядія) + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | | | 7,4 | 6,5 | 7,0 | 2,1* | 42,9 | 0,6 | 9,4 |
| НІР ₀₅ по досліді | 0,61 | 0,31 | 0,57 | 0,57 | | | | | |
| для агрофонів | 0,43 | 0,22 | 0,39 | 0,25 | | | | | |
| для інокуляції та взаємодії | 0,27 | 0,14 | 0,36 | 0,18 | | | | | |

Примітка: * — у т. ч. за умови взаємодії з біопрепаратом.

мінеральна системи удобрення.

Застосування біологічних препаратів для інтенсифікації кореневого живлення рослин є найефективнішим по фоні без добрив, за мінеральної невисокої і мінеральної середньої систем удобрення.

Передпосівна бактеризація за вирощування сільськогосподарських культур по фоні прямої дії та післядії 40 т/га гною, а також за органо-мінеральної системи удобрення забезпечує значно нижчі прирости зернової продуктивності.

Отримані показники виходу зернових одиниць на гектар сівозмінної площі покладено в основу розрахунків економічної ефективності систем удобрення досліджених культур.

Основні показники економічної ефективності систем удобрення та застосування мікробних препаратів у технологіях вирощу-

вання сільськогосподарських культур наведено в табл. 11.

Як можна бачити з наведених даних, в усіх варіантах досліді в цілому по сівозміні досягається прибутковість виробництва та окупність додаткових витрат додатковим прибутком. У той же час, слід відмітити низку різновекторних тенденцій.

За всіма показниками економічної ефективності (прибуток, рентабельність, окупність) лідирує органічна система удобрення. Хоча вона поступається за продуктивністю (вихід зернових одиниць) мінеральній інтенсивній та органо-мінеральній (без бактеризації) й цим самим двом системам та мінеральній середній за інокуляції, але, за цінової ситуації 2014 р. і рівня віддачі мінеральних добрив приростом урожаю, збільшення витрат на застосування туків не в повній мірі окупається вартістю додаткової продукції. При

Таблиця 10. Вплив систем удобрення та бактеризації на вихід зернових одиниць

| Варіанти дослідів | Зернові одиниці по культурах сівозміни (в середньому за один із п'яти років) | | | | Зернові одиниці (в середньому за один із п'яти років), т/га сівозмінної площі | Приріст від добрив | | Приріст від інокуляції | |
|-------------------------|--|--------|-------|---------|---|--------------------|------|------------------------|------|
| | картопля | ячмінь | горох | пшениця | | т/га | % | т/га | % |
| <i>Без бактеризації</i> | | | | | | | | | |
| Без добрив | 3,9 | 3,0 | 2,6 | 5,2 | 3,7 | — | — | — | — |
| Органічна | 6,8 | 3,6 | 3,0 | 6,6 | 5,0 | 1,3 | 35,1 | — | — |
| Мінеральна невисока | 5,3 | 3,6 | 3,2 | 5,9 | 4,5 | 0,8 | 21,6 | — | — |
| Мінеральна середня | 5,9 | 4,1 | 3,7 | 6,2 | 5,0 | 1,3 | 35,1 | — | — |
| Мінеральна інтенсивна | 7,1 | 4,4 | 3,8 | 6,6 | 5,5 | 1,8 | 48,6 | — | — |
| Органо-мінеральна | 7,4 | 4,8 | 3,6 | 7,1 | 5,7 | 2,0 | 54,1 | — | — |
| <i>Інокуляція</i> | | | | | | | | | |
| Без добрив | 4,3 | 3,3 | 3,0 | 5,6 | 4,1 | — | — | 0,4 | 10,8 |
| Органічна | 6,9 | 4,1 | 3,4 | 6,8 | 5,3 | 1,6* | 43,2 | 0,3 | 6,0 |
| Мінеральна невисока | 5,8 | 4,1 | 3,8 | 6,5 | 5,1 | 1,4* | 37,8 | 0,6 | 13,3 |
| Мінеральна середня | 6,6 | 4,6 | 4,2 | 6,8 | 5,6 | 1,9* | 51,4 | 0,6 | 12,0 |
| Мінеральна інтенсивна | 7,7 | 4,8 | 4,3 | 7,2 | 6,0 | 2,3* | 62,2 | 0,5 | 9,1 |
| Органо-мінеральна | 7,7 | 5,0 | 4,0 | 7,8 | 6,1 | 2,4* | 64,9 | 0,4 | 7,0 |

Примітка: * — у т. ч. за умови взаємодії з біопрепаратом.

Таблиця 11. Економічна ефективність систем удобрення та інокуляції

| Системи удобрення | Прибуток із розрахунку на 1 га сівозмінної площі, грн. | | | Рівень рентабельності, % | Собівартість 1 т зернових одиниць, грн. | Окупність додаткових витрат додатковим прибутком, грн./грн. | |
|--------------------------------------|--|------------------------|----------|--------------------------|---|---|----------------|
| | витрати | виручка від реалізації | прибуток | | | від добрив | від інокуляції |
| <i>Без бактеризації</i> | | | | | | | |
| Без добрив | 8477 | 13230 | 4753 | 56,1 | 2291 | — | — |
| Органічна | 11323 | 20232 | 8909 | 78,7 | 2265 | 1,46 | — |
| Мінеральна невисока | 11278 | 16926 | 5648 | 50,1 | 2506 | 0,32 | — |
| Мінеральна середня | 13931 | 19114 | 5184 | 37,2 | 2786 | 0,08 | — |
| Мінеральна інтенсивна | 16626 | 21593 | 4967 | 29,9 | 3023 | 0,03 | — |
| Органо-мінеральна | 16062 | 22479 | 6417 | 39,9 | 2818 | 0,22 | — |
| <i>За використання біопрепаратів</i> | | | | | | | |
| Без добрив | 8637 | 14570 | 5933 | 68,7 | 2107 | — | 7,38 |
| Органічна | 11472 | 21160 | 9688 | 84,4 | 2165 | 1,32 | 5,23 |
| Мінеральна невисока | 11462 | 18935 | 7473 | 65,2 | 2247 | 0,55 | 9,92 |
| Мінеральна середня | 14117 | 21141 | 7024 | 49,8 | 2521 | 0,20 | 9,89 |
| Мінеральна інтенсивна | 16809 | 23574 | 6764 | 40,2 | 2802 | 0,10 | 9,82 |
| Органо-мінеральна | 16217 | 23695 | 7478 | 46,1 | 2658 | 0,20 | 6,85 |

цьому за всіх систем з використанням мінеральних добрив рівень рентабельності знижується у порівнянні з варіантами без добрив. У розрізі мінеральних систем усі економічні показники погіршуються по мірі підвищення агрофону.

Особливо виразно зазначене спостерігається в розрізі окремих культур досліджуваної сівозміни. Так, у варіантах без бактеризації навіть за використання мінеральної невисокої системи удобрення вирощування ячменю стає збитковим (тим більша збитковість за середньої та інтенсивної систем удобрення). За мінеральної середньої системи збитковим стає вирощування гороху, а за мінеральної високої збитковим стає і вирощування пшениці. Прибутковість сівозміни при цьому досягається виключно за рахунок високої дохідності картоплі.

Ситуація покращується за використання мікробних препаратів земледобрувальної дії (варіанти з інокуляцією), передусім, за рахунок підвищення ступеню засвоєння поживних речовин із добрив та відносно невисокої вартості даних препаратів. Так, в усіх випадках спостерігається підвищення показників економічної ефективності у порівнянні з аналогічними варіантами без інокуляції як у розрізі окремих культур, так і в цілому по сівозміні. У той же час, зберігаються зазначені тенденції зниження ефекту та збитковості окремих культур по мірі збільшення норм мінеральних добрив.

При цьому показники окупності додаткових витрат, пов'язаних із проведенням бактеризації насінневого матеріалу, свідчать про високу економічну доцільність даного агрозаходу.

Співставлення результатів екологічної діагностики та економічних розрахунків дозволяє обґрунтувати доцільність систем удобрення сільськогосподарських культур у досліді.

Отже, доцільною слід вважати органічну систему удобрення, за якої спостерігається оптимізація угруповань агрономічно цінних мікроорганізмів і перебіг процесів, які вони здійснюють. Ефективність мікробного препарату в рік внесення гною значною мірою нівелюється. Застосування передпосівної бактеризації насіння наступних у сівозміні культур, за їх вирощування по фоні післядії гною має високу ефективність.

Мінеральна невисока система удобрення забезпечує екологічні вимоги щодо стану агроценозів та найвищі економічні показники серед досліджених систем із застосуванням мінеральних добрив. Окупність витрат, понесених за цих умов на застосування біопрепаратів є найвищою. Проте вирощування ячменю навіть за невисокої мінеральної системи удобрення є економічно збитковим, тож мінеральне удобрення в невеликій нормі для цієї культури слід поєднувати з передпосівною бактеризацією насіння, що дозволяє підвищити рентабельність виробництва.

Мінеральна середня система удобрення в цілому задовольняє екологічні вимоги щодо стану агроценозів, проте з огляду на економічні показники, вона потребує уточнення. Так, зокрема, на чорноземі вилуженому доцільним є застосування $N_{80}P_{80}K_{80}$ під картоплю, вирощування ячменю по фоні $N_{30}P_{30}K_{30}$, внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ під горох і норм добрив, які не перевищують $N_{60}P_{60}K_{60}$ при вирощуванні пшениці озимої. По зазначених агрофонах рекомендується застосовувати мікробні препарати.

За використання дослідженої органічно-мінеральної системи удобрення в агроценозі формується несприятлива екологічна ситуація, що свідчить про необхідність суттєвого зменшення в ній частки мінерального азоту.

Мінеральна інтенсивна система удобрення не задовольняє екологічних вимог і має найнижчі економічні показники. З огляду на це ми не рекомендуємо її використання.

1. Науково-методичні рекомендації з оптимізації мінерального живлення сільськогосподарських культур та стратегії удобрення / [Мельничук Д. О., Тараріко О. Г., Городній М. М. та ін.] ; за ред. М. М. Городнього. — К., 2004. — 140 с.

2. Созінов О. О. Агроекологічні основи раціонального використання добрив / [О. О. Созінов, М. В. Козлов, М. А. Лапа та ін.] // Агроекологія і біотехнологія. — К. : Аграрна наука, 1996. — С. 77–95.

3. Якість ґрунтів та сучасні стратегії удобрення / [колектив авторів] ; за ред. Д. Мельничука, Дж. Гофмана, М. Городнього. — К. : Арістей, 2004. — 488 с.

4. Башкин В. И. Агрогеохимия азота / В. И. Башкин. — Пушино, 1987. — 270 с.

5. Кореньков Д. А. Вопросы агрохимии азота и экология / Д. А. Кореньков // Агрохимия. — 1990. — № 11. — С. 28–37.

6. Визначення фізіологічно (екологічно) доцільних доз мінерального азоту в технологіях вирощування сільськогосподарських культур (науково-методичні рекомендації) [Гриник І. В., Заришняк А. С., Волкогон В. В. та ін.]. — К., 2010. — 35 с.

7. Волкогон В. Биологическая трансформация азота / В. Волкогон. — Palmarium Academic Publishing, 2013. — 116 р.

8. Волкогон В. В. Засвоєння культурними рослинами поживних речовин за впливу мікробних препаратів // В. В. Волкогон, О. М. Бердніков, К. І. Волкогон, Н. П. Штанько / Вісник ХНАУ. — 2012. — № 3. — С. 84–89.

9. Експериментальна ґрунтова мікробіологія / [В. В. Волкогон, О. В. Надкернична, Л. М. Токмакова та ін.] / за ред. В. В. Волкогона. — К. :

Аграрна наука, 2010. — 464 с.

10. Ціноутворення та нормативні витрати в сільському господарстві. Теорія, методологія, практика. Т. 1. Теорія ціноутворення та технологічні карти вирощування сільськогосподарських культур / за ред. П. Т. Саблука, Ю. Ф. Мельника, М. В. Зубця, В. Я. Месель-Веселяка. — К., 2008. — 698 с.

11. Ціноутворення та нормативні витрати в сільському господарстві. Теорія, методологія, практика. Т. 2. Нормативна собівартість і ціни на сільськогосподарську продукцію / за ред. П. Т. Саблука, Ю. Ф. Мельника, М. В. Зубця, В. Я. Месель-Веселяка. — К., 2008. — 650 с.

12. Довідник по плануванню сільськогосподарського виробництва / за ред. І. О. Никифорука. — К. : Урожай, 1980. — 360 с.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

**В. В. Волкогон, С. Б. Димова,
Е. И. Волкогон, Л. Н. Токмакова,
М. А. Журба, Ю. Н. Халеп,
Н. П. Штанько, Н. В. Луценко**

Институт сельскохозяйственной микробиологии и агропромышленного производства НААН, г. Чернигов

В условиях полевого стационарного опыта на чернозёме выщелоченном при выращивании сельскохозяйственных культур в короткоротационном севообороте (картофель – ячмень яровой – горох – пшеница озимая) по различным системам удобрения, в т. ч. с применением микробных препаратов, исследовано протекание процессов азотфиксации и эмиссии N_2O в системе «почва – растение». При использовании показателей направленности процессов биологической трансформации азота в агроценозах и экономических расчётов проведено эколого-экономическое обоснование целесообразности систем удобрения.

Ключевые слова: системы удобрения, активность азотфиксации, эмиссия N_2O .

BIOLOGICAL ASPECTS OF CROPS FERTILIZING SYSTEMS

**V. V. Volkohon, S. B. Dimova,
K. I. Volkohon, L. M. Tokmakova,
M. A. Zhurba, Y. M. Halep,
N. P. Shtanko, N. V. Lutsenko**

Institute of Agricultural Microbiology and Agroindustrial Manufacture, NAAS, Chernihiv

The process of nitrogen fixation and N_2O emission in the system “soil – plant” was studied in the conditions of field stationary experiment on leached black soil when growing crops in short rotation crop succession (potato – barley – peas – winter wheat) in case of different fertilization systems and application of microbial agents. Using directivity indexes of processes of nitrogen biological transformation in agrocoenosis and economic calculations an environmental and economic rationale for fertilization was composed.

Key words: fertilization systems, nitrogen fixation activity, N_2O emission.