

**БІОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ  
ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ  
КУЛЬТУР У СІВОЗМІНІ**

*В.В. Волкогон<sup>1</sup>, Л.В. Потапенко<sup>2</sup>, С.Б. Дімова<sup>3</sup>,  
К.І. Волкогон<sup>4</sup>, Ю.М. Халеп<sup>5</sup>*

*<sup>1</sup>доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН*

*<sup>2-4</sup>кандидати сільськогосподарських наук*

*<sup>5</sup>кандидат економічних наук*

*Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН*

*вул. Шевченка, 97, м. Чернігів, 14027, Україна*

*e-mail: <sup>1</sup>volkogon@ukr.net, <sup>2</sup>potapienko@ukr.net, <sup>3</sup>dimova13@ukr.net,*

*<sup>4</sup>katerina\_volkogon@ukr.net, <sup>5</sup>markisgm2017@gmail.com*

*ORCID: <sup>1</sup>0000-0003-0675-1318, <sup>2</sup>0000-0003-3270-0426, <sup>3</sup>0000-0003-2440-6657,*

*<sup>4</sup>0000-0002-7156-4124, <sup>5</sup>0000-0002-9684-5547*

Надійшла 12.07.2021

**Мета.** З використанням біологічного тестування обґрунтувати екологічно доцільні системи удобрення сільськогосподарських культур за їх вирощування в сівозміні на дерново-підзолистому ґрунті; дослідити можливість зменшення норм мінеральних добрив при застосуванні мікробних препаратів.

**Методи.** Польовий стаціонарний дослід, газохроматографічні (визначення активності азотофіксації в кореневій зоні рослин), статистичні (обґрунтування достовірності отриманих результатів), економічні розрахунки (для визначення собівартості, прибутку, рентабельності та окупності додаткових витрат). **Результати.** У короткоротаційній сівозміні «картопля — овес голозерний — люпин вузьколистий — жито озиме» за показниками нітрогеназної активності в кореневій зоні рослин визначено доцільність дії та післядії 40 т/га підстилкового гною великої рогатої худоби, органо-мінерального удобрення, проміжного сидерата (20 т/га біомаси редьки олійної) та мінеральних добрив у невисоких і середніх нормах. Високі дози туків призводять до значного зниження активності процесу азотофіксації в ризосфері рослин і є надлишковими. Можливість зменшення норми технічного азоту за рахунок застосування біопрепаратів без зниження врожайності культур є реальною за невисоких і середніх у досліді мінеральних агрофонів. Пряма дія та післядія проміжного сидерата сприяє ефективності інокуляції. Мінеральна інтенсивна система удобрення не забезпечує високої ефективності біодобрив. Незначні прирости врожайності культур від інокуляції виявлено за органічного та органо-мінерального удобрення. **Висновки.** Екологічно допустимі системи удобрення сільськогосподарських культур у сівозміні реально визначити за використання біологічного тестування. Норми мінеральних добрив для сільськогосподарських культур можна істотно зменшити без зниження врожайності культур за використання мікробних препаратів. Рекомендується застосування передпосівної інокуляції насіння за вирощування сільськогосподарських культур по невисоких і середніх мінеральних агрофонах, а також за використання проміжного сидерата.

**Ключові слова:** біологічне тестування, активність азотофіксації, мікробні препарати.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202111-04>

Попри відомі принципи обґрунтування раціональних систем удобрення сільськогосподарських культур [1–5] на практиці частіше застосовують так звані агрономічно доцільні норми добрив, в основу визначення яких передусім покладено економічний зиск. Такий підхід був би цілком виправданим, якби добрива засвоювалися культурами повністю. Проте коефіцієнти засвоєння рослинами діючої речовини з добрив невисокі. Невикористана частина добрив певним чином забруднює довкілля, що не може не турбувати. Особливо загрозлива ситуація з мінеральним азотом, який є найбільшим серед туків забруднювачем ґрунтових вод, атмосфери і сільськогосподарської продукції [6, 7].

Для оптимізації азотного живлення культурних рослин запропоновано низку наукових розробок, серед яких слід згадати добрива пролонгованої дії, способи застосування туків, інгібітори процесу нітрифікації тощо. Проте це не змінює усталені принципи застосування добрив (за виносом із запланованим урожаєм) і не забезпечує об'єктивних рішень у визначенні фізіологічно та екологічно допустимих норм мінерального азоту для сільськогосподарських культур. Така можливість з'явилася з розвитком біологічних методів індикації стану агроценозів.

Зменшити норми азотних добрив у технологіях вирощування сільськогосподарських культур без зниження продуктивності агроценозів можна за використання мікробних препаратів, що, безперечно, сприятиме оздоровленню агроєкосистем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теоретично азотні добрива слід застосовувати в межах фізіологічної доцільності. Лише за цієї умови можна звести до мінімуму ризик забруднення довкілля небезпечними для довкілля сполуками азоту. Яку ж кількість мінерального азоту слід вважати фізіологічно доцільною для рослин? До останнього часу це питання вирішувалося неоднозначно. Можливість визначення

фізіологічно доцільних норм з'явилася з розвитком біологічних методів тестування, зокрема за використання показників функціональної активності азотофіксувальних бактерій, асоційованих із корінням культурних рослин [8, 9]. Оскільки діазотрофи здатні фіксувати азот з атмосфери лише за відсутності надлишкових кількостей мінеральних сполук азоту в середовищі (зокрема і в ґрунті) [10, 11], а просторово вони перебувають у контакті з корінням рослин, їхня реакція на різні рівні азотного удобрення буде аналогічною реакції самої рослини. Отже, визначивши в динаміці нітрогеназну активність у кореневій зоні рослин, вирощуваних на різних агрофонах, можна встановити норми, які не зменшуватимуть активність процесу порівняно з контрольним (без унесення азоту) варіантом. Саме такі дози будуть допустимими з позиції фізіології рослин та екологічних вимог щодо захисту довкілля. Справедливість зазначених висновків підтверджена нами в разових дослідах із різними сільськогосподарськими культурами [12, 13], проте це потребує уточнення в умовах сівозміні.

Крім оптимальних технологій удобрення сільськогосподарських культур, важливим чинником успішності сучасного аграрного виробництва є застосування біологічних препаратів на основі активних штамів агрономічно корисних бактерій. Мікробні препарати здатні оптимізувати живлення та метаболізм культурних рослин і вплинути на їхній продукційний процес [14–16]. Інтродуковані в агроценоз агрономічно корисні бактерії внаслідок впливу на розвиток кореневої системи рослин та активізацію ферментних рослинних систем сприяють зростанню коефіцієнтів засвоєння діючої речовини з добрив. Цілковито логічно допустити, що вплив мікробних препаратів на засвоєння інокульованими рослинами мінеральних сполук азоту, ріст і розвиток рослин дасть змогу зменшити норми хімічних добрив. Підтвердженням цьому є дослідження, результати яких свідчать

про значне зростання продуктивності сільськогосподарських культур за використання інокуляції [14, 17, 18].

**Мета досліджень** — із застосуванням біологічного тестування визначити екологічно допустимі системи удобрення сільськогосподарських культур за їх вирощування на дерново-підзолистому ґрунті в сівозміні; дослідити можливість зменшення норм мінерального азоту за використання мікробних препаратів.

**Матеріали і методи досліджень.** Дослідження проводили в 2016–2020 рр. на дерново-підзолистому ґрунті ( $pH_{\text{con}}$  — 4,9, уміст гумусу — 1,1%, рухомих форм фосфатів (за Кірсановим) — 179 мг  $P_2O_5$  /кг, обмінного калію — 70–90 мг  $K_2O$  /кг ґрунту) дослідного поля Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН (с. Прогрес Козелецького р-ну Чернігівської обл.) в умовах стаціонарного польового досліді.

У досліді вирощували картоплю сорту Малич, овес голозерний сорту Скарб України, люпин вузьколистий сорту Кристал, жито озиме сорту Синтетик 38 в умовах короткоротаційної сівозміни. Системи удобрення культур і конкретні норми добрив для кожної з них наведено в табл. 1. Слід

звернути увагу на пряму дію органічних добрив (гній великої рогатої худоби та біомаса проміжного сидерата) при вирощуванні картоплі і післядію цих добрив за вирощування наступних у сівозміні культур. Водночас застосування мінеральних добрив кожного року мало прямий вплив на досліджувані показники.

Розміщення ділянок у досліді — рендомізоване. Загальна площа кожної ділянки — 48 м<sup>2</sup>, облікової — 35 м<sup>2</sup>.

Для передпосівної інокуляції посівного матеріалу використовували мікробні препарати Біогран для картоплі (ТУ У 24.1-00497360-006:2009), Мікрогумін для вівса (ТУ У 24.1-00497360-007:2009), Ризогумін для люпину (ТУ У 24.1-00497360-003:2007) і Діазобактерин для жита озимого (ТУ У 24.1-00497360-002:2005) згідно з наявними рекомендаціями [19].

У динаміці ацетиленовим методом визначали потенційну нітрогеназну активність у ризосферному ґрунті рослин картоплі, вівса та жита [20], активність симбіотичної азотофіксації в бульбочках на коренях рослин люпину [21], здійснювали облік урожаю. Визначали економічну ефективність систем удобрення [22, 23], користуючись типовими технологічними картами

### 1. Удобрення культур у сівозміні

| Система удобрення  | Картопля   | Овес голозерний          | Люпин вузьколистий   | Жито озиме               |
|--|--|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| <i>Блок досліді № 1 (без інокуляції)</i>   |  |                          |                      |                          |
| Без добрив   | –  | –                        | –                    | –                        |
| Органічна  | Гній великої рогатої худоби, 40 т/га                         | a                        | b                    | c                        |
| Мінеральна невисока  | $N_{45}P_{30}K_{60}$   | $N_{30}P_{15}K_{20}$     | $P_{15}K_{25}$       | $N_{20}P_{15}K_{25}$     |
| Мінеральна середня   | $N_{90}P_{60}K_{120}$  | $N_{60}P_{30}K_{45}$     | $P_{30}K_{45}$       | $N_{60}P_{30}K_{45}$     |
| Мінеральна інтенсивна  | $N_{135}P_{90}K_{180}$                                       | $N_{90}P_{60}K_{75}$     | $N_{45}P_{60}K_{75}$ | $N_{90}P_{60}K_{75}$     |
| Органо-мінеральна  | Гній великої рогатої худоби, 40 т/га + $N_{90}P_{60}K_{120}$ | a + $N_{60}P_{30}K_{45}$ | b + $P_{30}K_{45}$   | c + $N_{60}P_{30}K_{45}$ |
| Сидеральна   | Біомаса проміжного сидерата (редька олійна, 20 т/га)         | a                        | b                    | c                        |
| <i>Блок досліді № 2 (за використання мікробних препаратів) — аналогічні види і норми добрив</i>            |  |                          |                      |                          |
| <i>Примітка: a — 1-го року післядія; b — 2-го року післядія; c — 3-го року післядія органічних добрив.</i> |  |                          |                      |                          |

[25] та відповідними методиками [25, 26] з урахуванням конкретних особливостей досліджуваних технологій.

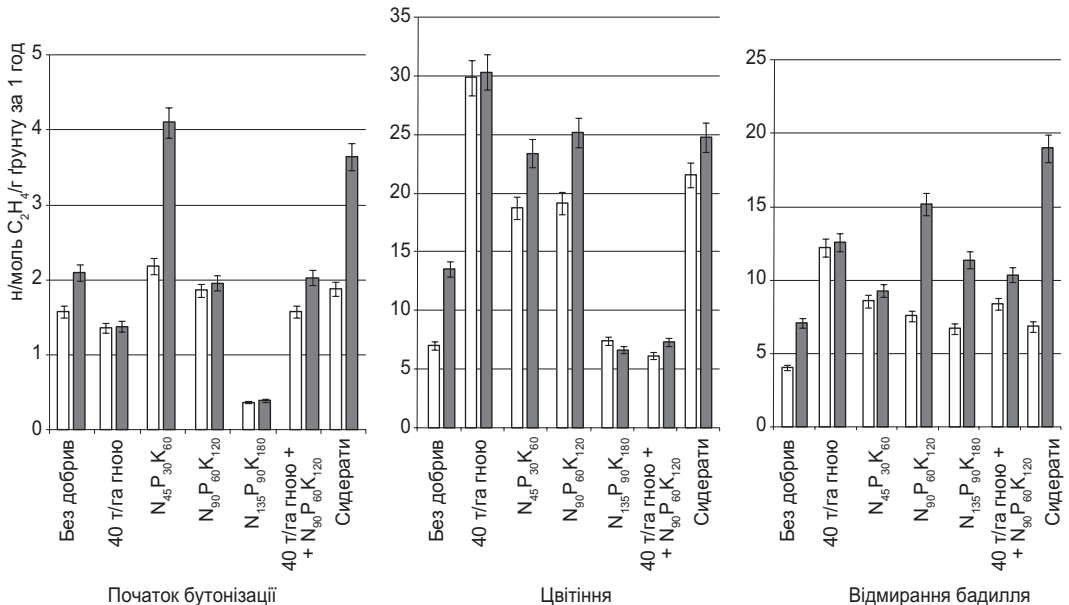
Статистичну обробку експериментальних даних проводили методом дисперсійного аналізу з використанням комп'ютерної програми Microsoft Office Excel 2003–2007.

**Результати досліджень.** Установлено, що нітрогеназна активність ризосферного ґрунту рослин картоплі в усі фази розвитку зростає у варіантах з унесенням гною та за використання сидерата (рисунок). У першій строк досліджень активність процесу істотно підвищувалася у варіанті з найменшою нормою мінеральних добрив. Пізніше високі значення нітрогеназної активності спостерігалися і за внесення середньої в досліді норми мінеральних добрив, а наприкінці вегетаційного періоду, навіть у варіанті з найбільшою кількістю добрив. За органо-мінеральної системи удобрення спостерігалися незначні відхилення від показників контрольного варіанта.

У варіантах із бактеризацією відзначено описані вище залежності, проте абсолютні показники при цьому є значно вищими. Аналогічні результати отримано в усі роки проведення досліджень.

Отже, за біологічним тестуванням доцільності удобрення картоплі можна зробити такі висновки: застосування гною стимулює азотофіксувальну активність у кореневій зоні рослин і є екологічно доцільним засобом. Доповнення органічного удобрення мінеральним у нормі  $N_{90}P_{60}K_{120}$  допустиме з екологічних міркувань. Найвища норма мінеральних добрив неприйнятна з позиції екології через надлишкову кількість мінеральних азотних сполук. Оптимальним є застосування сидерата та мінеральних добрив у нормах, що не перевищують  $N_{90}P_{60}K_{120}$ .

Біологічні та абіотичні чинники удобрення вівса голозерного значно впливають на функціонування азотофіксаторів у кореневій зоні рослин. Післядія гною позитивно позначається на перебігу процесу азотофіксації в ризосфері рослин вівса (табл. 2). Невисока норма мінеральних добрив стимулює активність із фази цвітіння, середня — із фази виходу в трубку, за високої дози добрив ( $N_{90}P_{60}K_{45}$ ) відновлення нітрогеназної активності спостерігається лише наприкінці вегетаційного періоду, що свідчить про її надлишковість для агроценозу. Позитивно позначається на перебігу



Нітрогеназна активність ризосферного ґрунту рослин картоплі за впливу добрив і бактеризації, 2016 р.: □ — без інокуляції; ■ — біогран

**2. Вплив бактеризації та добрив на потенційну нітрогеназну активність ризосферного ґрунту рослин вівса, н/моль C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/г сухого ґрунту за 1 год (2016 р.)**

| Варіант удобрення   | Фаза    |                 |                            |
|---|---------|-----------------|----------------------------|
|   | кущіння | виходу в трубку | молочно-воскової стиглості |
| <i>Без інокуляції</i>   |         |                 |                            |
| Без добрив (контроль)   | 3,4±0,3 | 0,8±0,1         | 1,5±0,2                    |
| Першого року післядія 40 т/га гною  | 4,1±0,5 | 1,8±0,1         | 1,9±0,1                    |
| N <sub>30</sub> P <sub>15</sub> K <sub>20</sub>   | 5,9±0,3 | 2,5±0,3         | 2,1±0,3                    |
| N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>45</sub>   | 3,1±0,4 | 2,7±0,2         | 3,1±0,1                    |
| N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>75</sub>   | 2,2±0,2 | 1,0±0,2         | 2,3±0,4                    |
| Першого року післядія 40 т/га гною +<br>+ N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>45</sub> | 3,5±0,8 | 1,0±0,2         | 2,0±0,1                    |
| Першого року післядія сидерата  | 4,0±0,2 | 1,8±0,2         | 2,4±0,2                    |
| <i>З Мікрогуміном</i>   |         |                 |                            |
| Без добрив (контроль)   | 4,6±0,9 | 1,0±0,2         | 2,6±0,3                    |
| Першого року післядія 40 т/га гною  | 6,2±0,3 | 2,2±0,3         | 6,4±0,5                    |
| N <sub>30</sub> P <sub>15</sub> K <sub>20</sub>   | 9,8±1,1 | 2,9±0,3         | 4,1±0,4                    |
| N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>45</sub>   | 5,5±0,9 | 3,5±0,2         | 4,3±0,4                    |
| N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>75</sub>   | 3,8±0,8 | 1,4±0,1         | 2,5±0,2                    |
| Першого року післядія 40 т/га гною +<br>+ N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>45</sub> | 3,6±0,2 | 1,5±0,1         | 3,0±0,2                    |
| Першого року післядія сидерата  | 5,0±0,2 | 2,4±0,3         | 2,9±0,5                    |

процесу азотофікації післядія сидерата, особливо в поєднанні з Мікрогуміном.

Використання для наступної в сівозміні культури — люпину вузьколистого мінеральних добрив і післядія органічних загалом є сприятливими для розвитку мікробіоти, оскільки найбільша в досліді норма мінерального азоту не перевищує 45 кг/га, а фосфорні й калійні добрива застосовано в збалансованій до азоту кількості.

Це підтверджується проявом функціональної активності мікроорганізмів, зокрема симбіотичної азотофікації.

На процес азотофікації позитивно впливає Ризогумін. Найвищі показники нітрогеназної активності спостерігаються у варіантах із бактеризацією за вирощування люпину по фоні фосфорно-калійних добрив і внесення повного мінерального удобрення. Позитивно проявляється післядія сидерата за використання Ризогуміну. Зазначені особливості спостерігали в усі роки проведення досліджень, що дає змогу вважати це закономірністю.

Динаміка потенційної нітрогеназної активності в ризосферному ґрунті рослин жита озимого залежно від добрив та інокуляції свідчить про зростання показників спочатку у варіанті з найменшою нормою мінеральних добрив. У фазі колосіння пік активності азотофікації спостерігався у варіанті із середньою в досліді нормою мінеральних добрив.

У фазі молочно-воскової стиглості процес азотофікації стимулює навіть найбільша в досліді норма мінеральних добрив. В окремі періоди підвищення його активності відзначається також у варіантах 3-го року післядії органічних добрив.

Істотно стимулює активність азотофікації мікробний препарат Діазобактерин. Характер залежності активності процесу від особливостей удобрення практично не змінюється, але при цьому абсолютні показники є вищими за відповідні в блоці варіантів без бактеризації.

Отже, за показниками біологічної індикації стану агроценозів доцільними є органічна,

органо-мінеральна, сидеральна, мінеральна мінімальна і мінеральна середня в досліді системи удобрення сільськогосподарських культур. Інтенсивна мінеральна система не задовольняє екологічних вимог, тому що призводить до інгібування процесу азотофіксації в корневих сферах культурних рослин.

Оскільки в сівозміні вирощували різні сільськогосподарські культури, для порівняння та узагальнення впливу досліджуваних чинників на їхню продуктивність здійснили перерахунки врожайності в кормові одиниці (табл. 3).

Отримані результати свідчать про високу ефективність біопрепаратів за вирощування культур по сидеральному фону та за внесення невисоких і середніх у досліді норм мінеральних добрив. Показово, що продуктивність сівозміни за інтенсивної системи удобрення становить 4,73 т к. од./га/рік. Такий самий рівень забезпечувало використання середніх норм мінеральних добрив у поєднанні з інокуляцією — 4,88 т. Це свідчить про оптимальність поєднання агрохімічного та біологічного чинників

і можливість зменшення норм туків без зниження продуктивності агроценозів.

Найнижчу ефективність мікробних препаратів у досліді отримано при вирощуванні культур за органічної та органо-мінеральної систем удобрення, що можна пояснити слабким розвитком інтродукованих бактерій у корневих сферах рослин за умови конкуренції з численними мікроорганізмами ґною.

Порівняно невисокі прирости продуктивності від застосування передпосівної інокуляції отримано також за інтенсивної мінеральної системи удобрення, що пояснюється створенням несприятливих умов для інтродукованих мікроорганізмів, про що зазначалося в коментарях до рисунку і табл. 2.

Для забезпечення об'єктивності результатів нами проведено також розрахунки економічної ефективності систем удобрення сільськогосподарських культур, зокрема за поєднання з дією біологічних препаратів. Основні показники за підсумковими результатами по сівозміні наведено в табл. 4.

В усіх варіантах досліді загалом по сівозміні досягається прибутковість виробни-

### **3. Продуктивність сільськогосподарських культур у сівозміні за дії добрив і мікробних препаратів**

| Система удобрення                        | Продуктивність культур, т к. од./га/рік |      |       |      | Сума  | Середня продуктивність, т к. од./га/рік |
|--|---|------|-------|------|-------|---|
|  | Картопля                                | Овес | Люпин | Жито |       |   |
| <i>Без інокуляції</i>                    |   |      |       |      |       |   |
| Без добрив                               | 2,67                                    | 1,81 | 1,89  | 2,63 | 9,00  | 2,25                                    |
| Органічна                                | 4,87                                    | 2,60 | 2,13  | 3,69 | 13,29 | 3,32                                    |
| Мінеральна мінімальна                    | 4,65                                    | 2,35 | 2,16  | 4,19 | 13,35 | 3,34                                    |
| Мінеральна середня                       | 6,82                                    | 2,90 | 2,16  | 5,15 | 17,03 | 4,26                                    |
| Мінеральна інтенсивна                    | 8,34                                    | 3,16 | 2,09  | 5,31 | 18,90 | 4,73                                    |
| Орґано-мінеральна                        | 8,68                                    | 3,38 | 2,38  | 5,92 | 20,36 | 5,09                                    |
| Сидеральна                               | 4,56                                    | 2,58 | 2,37  | 4,70 | 14,21 | 3,55                                    |
| <i>Застосування мікробних препаратів</i> |   |      |       |      |       |   |
| Без добрив                               | 3,41                                    | 2,13 | 2,30  | 2,95 | 10,79 | 2,70                                    |
| Органічна                                | 5,05                                    | 2,92 | 2,34  | 4,14 | 14,45 | 3,61                                    |
| Мінеральна мінімальна                    | 5,49                                    | 2,68 | 2,49  | 4,71 | 15,37 | 3,84                                    |
| Мінеральна середня                       | 8,00                                    | 3,23 | 2,62  | 5,66 | 19,51 | 4,88                                    |
| Мінеральна інтенсивна                    | 8,74                                    | 3,32 | 2,35  | 5,65 | 20,06 | 5,02                                    |
| Орґано-мінеральна                        | 9,02                                    | 3,65 | 2,83  | 6,41 | 21,91 | 5,48                                    |
| Сидеральна                               | 5,49                                    | 2,95 | 2,84  | 4,35 | 15,63 | 3,91                                    |

**4. Економічна ефективність систем удобрення та інокуляції**

| Система удобрення                    | Із розрахунку на 1 га сівозмінної площі,<br>грн |                           |          | Рівень<br>рентабель-<br>ності, % | Окупність додаткових<br>витрат додатковим<br>прибутком, грн/грн |                   |
|--------------------------------------|---|---------------------------|----------|----------------------------------|---|-------------------|
|                                      | витрати   | виручка від<br>реалізації | прибуток |                                  | від добрив  | від<br>інокуляції |
| <i>Без бактеризації</i>              |   |                           |          |                                  |   |                   |
| Без добрив                           | 17779   | 17369                     | -410     | -2,3                             | -   | -                 |
| Органічна                            | 20030   | 28093                     | 8063     | 40,3                             | 3,76  | -                 |
| Мінеральна невисока                  | 20006   | 27374                     | 7369     | 36,8                             | 3,49  | -                 |
| Мінеральна середня                   | 22348   | 37252                     | 14904    | 66,7                             | 3,35  | -                 |
| Мінеральна інтенсивна                | 25350   | 43473                     | 18124    | 71,5                             | 2,45  | -                 |
| Органо-мінеральна                    | 24528   | 46357                     | 21829    | 89,0                             | 3,29  | -                 |
| Сидеральна                           | 18973   | 27416                     | 8443     | 44,5                             | 7,41  | -                 |
| <i>За використання біопрепаратів</i> |   |                           |          |                                  |   |                   |
| Без добрив                           | 18145   | 21449                     | 3304     | 18,2                             | -   | 10,13             |
| Органічна                            | 20293   | 29900                     | 9607     | 47,3                             | 2,94  | 5,89              |
| Мінеральна невисока                  | 20393   | 31906                     | 11513    | 56,5                             | 3,65  | 10,70             |
| Мінеральна середня                   | 22801   | 43248                     | 20447    | 89,7                             | 3,68  | 12,24             |
| Мінеральна інтенсивна                | 25628   | 45868                     | 20240    | 79,0                             | 2,26  | 7,60              |
| Органо-мінеральна                    | 24816   | 48646                     | 23830    | 96,0                             | 3,08  | 6,95              |
| Сидеральна                           | 19378   | 32426                     | 13048    | 67,3                             | 7,90  | 11,36             |

цтва та окупність додаткових витрат додатковим прибутком. Виняток становить лише контрольний варіант, показники якого свідчать про те, що на малородючих дерново-підзолистих ґрунтах Полісся неможливо досягти рентабельного виробництва сільськогосподарської продукції без додаткового вкладення ресурсів. Водночас слід відзначити низку різновекторних тенденцій. За більшістю економічних показників (прибуток із розрахунку на 1 га сівозмінної площі, рентабельність) найвищу продуктивність сільськогосподарських культур забезпечує органо-мінеральна система удобрення (без бактеризації і за використання біопрепаратів), коли удобрювальна дія гною підсилюється застосуванням мінеральних добрив.

Слід зазначити, що за наявної цінової ситуації середні та високі норми мінеральних добрив порівняно з органічними в окремих випадках забезпечують вищу продуктивність і масу прибутку з одиниці площі. Проте їхня економічна окупність порівняно із застосуванням органічних добрив є нижчою.

Зазначене підсилюється результатами аналізу показників сидеральної системи, яка майже за всіма параметрами економічної ефективності поступається всім досліджуваним системам удобрення, але за показником окупності додаткових витрат на добрива посідає чільне місце серед усіх варіантів.

У варіантах із застосуванням біопрепаратів спостерігається збільшення витрат із розрахунку на 1 га сівозмінної площі порівняно з відповідними варіантами блоку без бактеризації, що пов'язано з проведенням інокуляції, витратами на збирання, доробку та транспортування додаткового врожаю тощо. Водночас темпи росту витрат, пов'язаних із застосуванням інокуляції, є набагато меншими порівняно з темпами росту врожайності, що сприяло підвищенню рівня економічної ефективності виробництва за всіма досліджуваними показниками.

При цьому за мінеральних систем удобрення спостерігаються одні з найвищих показники окупності додаткових витрат, пов'язаних із бактеризацією. За мінеральної

інтенсивної системи окупність застосування біопрепаратів різко знижується. Найнижча окупність інокуляції спостерігається в

системах удобрення із застосуванням гною (органічна та орвано-мінеральна) за рахунок меншого приросту врожайності.

## Висновки

За результатами біологічної діагностики (нітрогеназна активність у кореневих сферах рослин) екологічно прийнятними є органічна, орвано-мінеральна, сидеральна та невисока і середня в досліді системи удобрення сільськогосподарських культур за їх вирощування на дерново-підзолистому

грунті. Невід'ємним елементом сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур має бути застосування мікробних препаратів для передпосівної інокуляції насіннєвого матеріалу. Особливо зростає роль біопрепаратів за мінеральних систем удобрення.

**Volkogon V.<sup>1</sup>, Potapenko L.<sup>2</sup>, Dimova S.<sup>3</sup>, Volkogon K.<sup>4</sup>, Khalep Yu.<sup>5</sup>**

*Institute of Agricultural Microbiology and Agricultural Manufacture of NAAS, 97 Shevchenko Str., Chernihiv, 14027, Ukraine; e-mail: <sup>1</sup>volkogon@ukr.net, <sup>2</sup>potapienko@ukr.net, <sup>3</sup>dimova13@ukr.net, <sup>4</sup>katerina\_volkogon@ukr.net, <sup>5</sup>markisgm2017@gmail.com; ORCID: <sup>1</sup>0000-0003-0675-1318, <sup>2</sup>0000-0003-3270-0426, <sup>3</sup>0000-0003-2440-6657, <sup>4</sup>0000-0002-7156-4124, <sup>5</sup>0000-0002-9684-5547*

### **Biological factors of optimization of fertilizer systems in agricultural crop rotation**

**Goal.** With the use of biological testing to substantiate ecologically feasible fertilizer systems of crops for their cultivation in crop rotation on sod-podzolic soil; to investigate the possibility of reducing the rates of mineral fertilizers with the use of microbial preparations. **Methods.** Field stationary experiment, gas chromatographic (determination of nitrogen fixation activity in the root zone of plants), statistical (substantiation of the reliability of the obtained results), economic calculations (determination of the cost, profit, profitability, and payback of additional costs). **Results.** In the short crop rotation "potatoes — oats — lupine — winter rye" on the indicators of nitrogenase activity in the root zone of plants they determined the feasibility of action and after-effect of 40 t/ha of manure litter

of cattle, organo-mineral fertilization, intermediate green manure (oil radish) and mineral fertilizers in low and medium rates. High doses of fats lead to a significant decrease in the activity of the nitrogen fixation process in the rhizosphere of plants and are excessive. The possibility of reducing the rate of technical nitrogen through the use of biological products without reducing crop yields is real for low and medium in the experiment of mineral agricultural backgrounds. The direct action and after-effect of the intermediate green manure promote the effectiveness of inoculation. Mineral intensive fertilizer system does not provide high efficiency of biofertilizers. A slight increase in crop yields from inoculation was detected with organic and organo-mineral fertilizers. **Conclusions.** Ecologically acceptable systems of crop fertilization in crop rotation can be realistically determined using biological testing. Mineral fertilizer rates for crops can be significantly reduced without reducing crop yields through the use of microbial preparations. It is recommended to use pre-sowing inoculation of seeds for growing crops on low and medium mineral agricultural backgrounds, as well as for the use of intermediate green manure.

**Key words:** biological testing, nitrogen fixation activity, microbial preparations.

**DOI:** <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202111-04>

## Бібліографія

1. Балюк С.А., Мірошніченко М.М., Бердніков О.М. та ін. Системи удобрення сільськогосподарських культур у землеробстві початку XXI століття. Київ: Альфа-стевія, 2016. 400 с.
2. Господаренко Г.М. Системи застосування добрив. Київ: ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2015. 332 с.
3. Заришняк А.С., Цвей Я.П., Іваніна В.В. Оптимізація удобрення та родючості ґрунту в

- сівозмінах. Київ: Аграрна наука, 2015. 208 с.
4. Johnston A.M., Bruulsema T. 4R nutrient stewardship for improved nutrient use efficiency. *Proc. Eng.* 2014. V. 83. P. 365–370. doi: 10.1016/j.proeng.2014.09.029
5. Sposari M., Flis S. 4R framework implementation: precision and adoption by farmers and dealers. *Crops Soil.* 2017. V. 5. P. 24–26. doi: 10.2134/cs2017.50.0507

6. Кореньков Д.А. Вопросы агрохимии азота и экология. *Агрохимия*. 1990. № 11. С. 28–37.

7. Tilman D. The greening of the green revolution. *Nature*. 1998. V. 396. P. 211–212. doi: 10.1038/24254

8. Umarov M., Shabaev V., Smolin V., Aseeva J. Incorporation of biological nitrogen by nonleguminous plants during associative N<sub>2</sub>-Fixation: IX Int. Symp. *Soil Biol. and Conservation of the Biosphere. Pap. Sorpon*. 1985. P. 65.

9. Ladha J.K., Tiror A.C., Caldo G., Watanabe I. Rice-plant-associated N<sub>2</sub>-fixation as affected by genotype, inorganic N fertilizer and organic manure: transaction of XIII Congr. *Int. Soc. Soil Sci. Hamburg*. 1986. V. 2. P. 598–599.

10. Shah V.K., Davis L.C., Brill W.J. Nitrogenase. I. Repression and derepression of the iron-molybdenum and iron proteins of nitrogenase in *Azotobacter vinelandii*. *Biochim. Biophys. Acta*. 1972. V. 256. P. 498–511. doi: 10.1016/0005-2728(72)90078-3

11. Львов Н.П. Молибден в ассимиляции азота у растений и микроорганизмов. Москва: Наука, 1989. 87 с.

12. Волкогон В. Биологическая трансформация азота. Направленность процессов при различных уровнях удобрения сельскохозяйственных культур. *Palmarium Academic Publishing*, 2013. 116 с.

13. Волкогон В.В., Бердніков О.М., Лопушняк В.І. Екологічні аспекти систем удобрення сільськогосподарських культур. Київ: Аграрна наука, 2019. 264 с.

14. Bashan Y., de Bashan L.E., Prabhu S.R., Hernandez J.-P. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant Soil*. 2014. V. 378. P. 1–33. doi: 10.1007/s11104-013-1956-x

15. O'Callaghan M. Microbial inoculation of seed for improved crop performance: issues and opportunities. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2016. V. 100. P. 5729–5746. doi: 10.1007/s00253-016-7590-9

16. Zeffa D.M., Perini L.J., Silva M.B. et al. *Azospirillum brasilense* promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes. *PLoS ONE*. 2019. 14:e0215332. doi: 10.1371/journal.pone.0215332

17. Shaharooma B., Naveed M., Arshad M., Zahir Z.A. Fertilizer-dependent efficiency of Pseudomonads for improving growth, yield, and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2008. V. 79. P. 147–155. doi: 10.1007/s00253-008-1419-0

18. Martins M.R., Jantalia C.P., Reis V.M. et al. Impact of plant growth-promoting bacteria on grain yield, protein content, and urea-15 N recovery by maize in a Cerrado Oxisol. *Plant Soil*. 2017. V. 422. P. 239–250. doi: 10.1007/s11104-017-3193-1

19. Мікробні препарати в сучасних аграрних технологіях. Науково-практичні рекомендації; за ред. В.В. Волкогона. Київ, 2015. 248 с.

20. Умаров М.М. Ацетиленовый метод изучения азотофиксации в почвенно-микробиологических исследованиях. *Почвоведение*. 1976. № 11. С. 119–123.

21. Експериментальна ґрунтова мікробіологія; за ред. В.В. Волкогона. Київ: Аграрна наука, 2010. 464 с.

22. Трибель С.О., Січкарьова Д.Д., Секун М.П. та ін. Методика випробування і застосування пестицидів; за ред. С.О. Трибеля. Київ: Світ, 2001. 448 с.

23. *Определение экономической эффективности в земледелии и животноводстве* разработок по сельскохозяйственной микробиологии: методические рекомендации. Чернигов: УкрНИИСХМ УААН, 1991. 98 с.

24. *Методичні рекомендації з планування, обліку і калькулювання собівартості продукції (робіт, послуг) сільськогосподарських підприємств*; затверджено наказом Міністерства аграрної політики України від 18 травня 2001 р. № 132. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0132555-01>

25. *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. Київ, 2008. 698 с.

26. *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. Київ, 2008. 650 с.