

Біологічний азот у сучасному сільськогосподарському виробництві

В. В. Моргун, С. Я. Коць*

*Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, вул. Васильківська, 31/17, м. Київ, 03022, Україна, *e-mail: kots@ifrg.kiev.ua*

Розглянуто значення біологічного зв'язування молекулярного азоту атмосфери в азотному живленні сільськогосподарських культур та збагаченні ґрунтів. Особливу увагу приділено економічному та екологічному значенню біологічного азоту. Охарактеризовано стан та перспективи розвитку досліджень у галузі біологічної фіксації атмосферного азоту, доведено переваги сучасних мікробних азотфіксувальних препаратів порівняно з азотними добривами.

Ключові слова: *бульбочкові бактерії; симбіоз; азотфіксація; штами; мікробні препарати; продуктивність рослин; вільноіснуючі азотфіксувальні бактерії; мінеральні добрива; асоціативні мікроорганізми.*

Підвищення врожайності сільськогосподарських культур неможливе без глибокого наукового розкриття всіх таємниць рослинного організму і розроблення на основі цих знань нових агротехнологій. Для реалізації всіх потенційних можливостей сучасних інтенсивних сортів сільськогосподарських культур необхідні значні дози органічних та мінеральних добрив. Тривала хіміко-техногенна інтенсифікація сільськогосподарського виробництва поглибила екологічні, економічні та енергетичні проблеми і довела потребу нового, науково обґрунтованого підходу до господарювання з метою отримання екологічно чистої, безпечної для здоров'я людини продукції.

На рубежі століть стало зрозумілим, що людство, надмірно застосовуючи хімічні сполуки в сільському господарстві, іде шляхом самознищення, – наявність у продуктах харчування нітратів, нітритів, пестицидів та ін. негативно позначається на здоров'ї населення. Надлишкове використання мінеральних добрив призводить до відчутного погіршення стану довкілля. За інтенсивного їх використання погіршується стан ґрунтів, зокрема підвищується кислотність, знижується сума поглинених основ, порушується співвідношення різних елементів живлення – калію, кальцію, заліза, магнію та ін., підвищується

ся рухомість важких металів і, як наслідок, збільшується небажана засвоєваність їх вирощуваними культурами [1, 2].

Водночас, науково обґрунтоване застосування мінеральних добрив – найефективніший засіб впливу на продуктивність рослин, здатний забезпечити до 50% приросту врожаю. Проте, за влучним висловом видатного агрохіміка і фізіолога рослин Д. М. Прянишнікова, «надлишком добрив не можна замінити нестачу знань».

Правильне застосування традиційних технологій, які забезпечують отримання максимального врожаю, не завжди дають змогу виростити екологічно безпечну і чисту рослинну продукцію, тому посилене насичення технологій вирощування сільськогосподарських культур хімічними засобами з метою отримання максимального врожаю є неперспективним і не сприятиме істотному збільшенню врожайності.

Отже, постає потреба підвищення продуктивності вирощування культур без надмірного застосування синтетичних агрохімікатів. Сьогодні все більшого значення набувають науково-технічні розробки, спрямовані на пошук альтернативних засобів, завдяки яким без зниження досягнутого рівня сільськогосподарського виробництва можна зменшити його собівартість та шкідливий вплив на довкілля і водночас досягти отримання екологічно чистої продукції. Індустріально розвинені країни, незважаючи на

Serhii Kots

<https://orcid.org/0000-0002-3477-793X>

значні можливості щодо застосування мінеральних добрив (30–40% приросту сільськогосподарської продукції в країнах Західної Європи та США отримують завдяки використанню добрив), особливого значення надають біологізації аграрного виробництва [3]. Слід зауважити, що біологічне землеробство в жодному разі не означає повну відмову від мінеральних добрив, оскільки воно за своєю суттю є розумним та збалансованим застосуванням агротехнічних, агрохімічних і біологічних заходів у комплексі із системою інтегрованого захисту рослин.

У світовій практиці спостерігається тенденція до зниження доз застосовуваних добрив і підвищення ефективності їх використання (з економічних та екологічних міркувань) у поєднанні з агротехнічними прийомами, метою яких є підтримання природної родючості ґрунтів. Це і науково обґрунтовані сівоzmіни, і заходи, спрямовані на підвищення біорізноманіття корисної ґрунтової мікрофлори, і використання агротехніки, яка не допускає масового ураження рослин патогенними мікроорганізмами та обмежує розвиток і масове поширення комах. Зокрема, до них належать: вибір високопродуктивних і стійких проти хвороб сортів сільськогосподарських рослин, своєчасна сівба якісним насінням, правильне чергування культур у сівоzmінах, внесення необхідної кількості добрив, особливо органічних, вапнування ґрунтів, вирощування сидеральних культур. Як відомо, створення сприятливих умов для росту й розвитку рослин підвищує їх продуктивність і стійкість до різноманітних несприятливих чинників довкілля, зокрема фітопатогенів і комах-шкідників.

З-поміж основних елементів живлення рослин азоту належить одне з чільних місць, оскільки його роль у формуванні органічної маси є найвагомішою [4, 5]. Невичерпним джерелом азоту є атмосфера, 78% якої припадає саме на цей елемент. Варто лише сказати, що в повітрі над 1 га земної поверхні міститься понад 80 тис. т (над 1 м² ґрунту – близько 8 т) молекулярного азоту, який є єдиним джерелом поповнення запасів зв'язаного азоту в ґрунті, а загальний вміст цього елемента в земній корі (переважно у складі солей амонію, нітритів і нітратів) становить лише 0,01% [3].

Проте, ні люди, ні тварини, ні більшість рослин не здатні його засвоювати в такій формі. Для задоволення потреб рослин у цьому елементі живлення їх слід забезпечувати хімічними сполуками азоту [6]. Проте для синтезу мінеральних азотних добрив про-

мисловим шляхом потрібні величезні обсяги високовартісних і дефіцитних енергоресурсів (на виробництво 1 т аміачної селітри витрачається 4 т нафти або близько 800 м³ природного газу) [7], через що їх виробництво останніми роками скоротилося, а ціна значно підвищилася. Так, середньорічне зростання споживання мінеральних добрив у світі у 2010–2014 рр. становило 2,6%.

Загалом можна констатувати, що епоха швидкого зростання споживання добрив відходить у минуле. Різке збільшення цін на мінеральні добрива в Україні у 2013–2015 рр. (за даними Мінагрополітики, азотні добрива подорожчали від 3420 до 11 502 грн/т, тобто більш ніж у 3,4 раза, калійні від 2600 до 5300 грн/т – більш ніж удвічі) призводить до все більшого зниження рівня їх використання в сільськогосподарських підприємствах [8].

Важливу роль у збагаченні ґрунтів зв'язаним азотом відіграє процес біологічної фіксації молекулярного азоту ґрунтовими мікроорганізмами – азотфіксаторами [9, 10]. До фіксації азоту здатні лише прокаріоти – організми, які не мають сформованого ядра (бактерії, ціанобактерії), їм притаманний високий коефіцієнт розмноження та адаптації до умов середовища, а ферментативні системи можуть відновлювати азот до різноманітних сполук. Вищі рослини не здатні використовувати молекулярний азот як джерело азотного живлення. Біологічна фіксація азоту відбувається за нормальних температури і тиску в нейтральних водних розчинах під дією дуже слабких відновників [11, 12].

Найбільше практичне значення у збагаченні ґрунтів азотом завдяки засвоєнню його з повітря мають такі групи ґрунтових мікроорганізмів, як бульбочкові бактерії, які фіксують молекулярний азот у симбіозі з бобовими рослинами; різноманітні вільноіснуючі азотфіксувальні бактерії, поширені у ґрунтах; асоціативні мікроорганізми, здатні засвоювати молекулярний азот в асоціаціях із кореневою системою небобових рослин [13, 14].

У масштабах усієї нашої планети обсяги фіксації азоту на поверхні суші досягають приблизно 190 млн т, а у водних системах – від 30 до 130 млн т за рік [3].

Азотфіксувальні мікроорганізми можуть засвоювати з повітря від 40 до понад 300 кг азоту на гектар за рік. Цей процес не забруднює довкілля і не потребує значних енергетичних витрат [15]. Про значущість біологічної азотфіксації свідчить той факт, що у світовій практиці сільського господарства що-

року в ґрунт із мінеральними добривами вноситься 35 млн т азоту, тоді як за цей самий час рослини поглинають із ґрунту приблизно 75 млн т цього елемента. Різниця між цими кількостями покривається завдяки діяльності мікробів-азотфіксаторів, насамперед бульбочкових бактерій, які зв'язують молекулярний азот у легкозасвоювані

для рослин форми. Бульбочкові бактерії селяться на корінні бобових рослин, ініціюють утворення корневих бульбочок, після чого між рослиною і бактеріями виникає симбіоз (рис. 1): бактерії зв'язують молекулярний азот атмосфери, передають його рослині, яка, в свою чергу, забезпечує їх іншими поживними речовинами [16, 17].



Рис. 1. Кореневі бульбочки сої [*Glycine max* (Merr.)] (А) та люцерни (*Medicago sativa* L.) (Б)

Значні перспективи має використання так званих асоціативних бактерій під час вирощування пшениці, ячменю, тритикале, проса, сорго. Ці мікроорганізми також фіксують азот і тим самим поліпшують мінеральне живлення, забезпечують рослину-хазяїна фізіологічно активними речовинами (фітогормонами, вітамінами та ін.) [18].

Нітрагінізація (інокуляція – оброблення насіння перед сівбою бульбочковими бактеріями) підвищує продуктивність бобових у середньому на 10–25%, вміст білка в рослинній продукції зростає на 2–3%. Потенційні розміри симбіотичної азотфіксації можуть сягати від 130 до 390 кг фіксованого азоту на 1 га для зернобобових культур і від 270 до 550 кг – для багаторічних бобових трав. Величина приросту врожаю залежить від особливостей культури, стану ґрунтів і погодних умов. Додаткове накопичення протеїну в урожаї інокульованих рослин істотно підвищується і становить 20–35% для зернобобових і 30–45% – для багаторічних бобових трав. Збільшення накопичення біологічного азоту в урожаї за інтродукції ефективних штамів бульбочкових бактерій становить 30–50% для зернобобових і досягає 60–80% для бобових трав [19, 20]. Крім того, після збирання цих культур у ґрунті залишається 50–100 кг азоту на гектар і пригнічується активність фітопатогенних мікроорганізмів.

Згідно з даними Продовольчої та сільськогосподарської організації при ООН (ФАО) у світовому виробництві білка на частку зернобобових припадає приблизно 20%. Оптимальна науково обґрунтована частка бобових культур у сівоzmінах становить 20–40%, що дає змогу на чверть скоротити обсяги внесення мінерального азоту під зернові культури сівоzmіни без суттєвого зниження їх продуктивності [21].

На 68-му засіданні Генеральної Асамблеї ООН 2016 рік було проголошено Міжнародним роком зернобобових [22]. Цим кроком представники Генеральної Асамблеї намагалися привернути увагу населення планети до раціонального використання зернобобових культур, а також підкреслити їх важливість у сучасному раціоні людини.

Зернобобові (сочевиця, горох, нут і квасоля) вважаються необхідною складовою продуктового кошика будь-якої людини. Вони є життєво важливим джерелом амінокислот і рослинного білка, а тому мають входити до складу здорового раціону. Зернобобові рекомендовані до вживання для вирішення проблеми ожиріння, а також для профілактики серцево-судинних захворювань, діабету і раку. Крім того, ці культури є незамінним джерелом одержання рослинного білка для багатьох тварин.

Серед зернобобових рослин однією з найперспективніших є соя. Вона належить до

найважливіших культур світового землеробства. У насінні сої міститься 38–42% білка, 18–23% жиру, 25–30% вуглеводів, а також ферменти, вітаміни, мінеральні речовини. Соя характеризується найвищою азотфіксувальною здатністю серед зернобобових культур. Вона може засвоювати з повітря 70–280 кг/га азоту за вегетаційний період.

Міжнародний рік зернобобових стимулював зростання світового виробництва зернобобових, а також оптимізацію використання одержуваних із них рослинних білків [22].

На сьогодні в Україні зернобобові культури вирощують на площі понад 2,5 млн га, а багаторічні трави, зокрема бобові, яким належить провідна роль у відновленні ґрунтової родючості, займають приблизно 1 млн га, що набагато нижче оптимуму. Нагальним стратегічним завданням у розв'язанні проблеми харчового та кормового білка і відновленні колишньої родючості українських ґрунтів є розширення площі посівів традиційних і нетрадиційних бобових культур до оптимальних значень. Вагомою проблемою також є забезпечення ефективного симбіозу рослин із відповідними активними штамми бульбочкових бактерій.

Тому сьогодні в усьому світі спостерігається підвищений інтерес до біологічних препаратів для сільського господарства на основі бактерій-азотфіксаторів. У розвинених країнах, незважаючи на їхні більші можливості щодо застосування мінеральних добрив, біологізація сільськогосподарського виробництва має виняткове значення. Про це свідчать обсяги виробництва препаратів на основі азотфіксувальних мікроорганізмів [3, 23]: в Угорщині – понад 200 тис. гектарних порцій, у Великій Британії і Польщі – більш як 500 тис., Румунії – понад 1 млн, Індії – 3 млн, Канаді – 4 млн, Австралії – 6 млн.

Незважаючи на важливість цього питання, в Україні лише 30–35% насіння бобових культур (здебільшого сої) інокулюється препаратами бульбочкових бактерій. У США поряд із застосуванням мінеральних добрив азотний дефіцит ґрунту значною мірою покривається активізацією біологічних процесів. Сільське господарство США, яке має близько 140 млн га ріллі, забезпечує надходження азоту в ґрунти (загалом 29 млн т на рік) із таких джерел [3, 24]:

- мінеральні добрива – близько 9 млн т, що становить 31,0%;
- біологічний азот – близько 13 млн т, що становить 44,8%;
- органічні добрива – 7 млн т, що становить 24,2%.

Кожен третій гектар світової посівної площі люцерни (32,3%) знаходиться в цій країні, а кожен другий гектар землі в обробітку зайнятий бобовою культурою. Багаторічні бобові трави утворюють 500–700 кг/га гумусу, що еквівалентно внесенню 20–30 т гною на гектар, створюючи значні запаси азоту в ґрунті [7].

Біопрепаратами в США обробляють понад 65% площ бобових культур. Для власних потреб і на експорт виробляють від 14 до 20 млн гектарних порцій азотфіксувальних препаратів [20].

Широке застосування інокуляції бобових культур бульбочковими бактеріями для підвищення врожаю та поліпшення його якості спонукає науковців до систематичної роботи над удосконаленням симбіотичних властивостей цих бактерій, а отже, ефективності бобово-ризобіального симбіозу.

Щоб цілеспрямовано керувати процесом азотфіксації в бобових рослин, створюючи ефективний симбіоз, потрібно всебічно розуміти перебіг цього процесу, складність якого полягає в тому, що будь-яка генетична ознака бобово-ризобіального симбіозу – це результат взаємодії двох геномів, один з яких належить рослині, а другий – бактерії.

Ці бактерії мають бути здатними, з одного боку, утворювати на корінні бобових оптимальну кількість бульбочок і забезпечувати високий рівень азотфіксації, а з іншого – успішно конкурувати з низькоактивними місцевими расами ризобій та іншою ґрунтовою мікрофлорою, зберігаючи при цьому активність за несприятливих умов довкілля. Слід зауважити, що окремі штами бульбочкових бактерій з часом можуть певною мірою втрачати агрономічно корисні властивості, що зумовлює потребу постійного ведення селекції нових високоефективних штамів, які за симбіотичними властивостями переважають б уже відомі.

Генетичною базою для селекції активних штамів бульбочкових бактерій слугують ризобії, виділені з природних біоценозів (аналітична селекція) або отримані за дії різних мутагенів – фізичних і хімічних.

Для розширення спектра високоефективних симбіонтів-азотфіксаторів потрібно застосувати і новітні методи досліджень, зокрема генно-інженерні та біотехнологічні. Це уможливить створення штамів, здатних утворювати високоефективні симбіотичні системи зі значною кількістю сортів бобових культур, районованих у різних екологічних умовах.

У відділі симбіотичної азотфіксації Інституту фізіології рослин і генетики НАН України методами аналітичної селекції отримано

високоактивні конкурентоспроможні штами бульбочкових бактерій люпину *Rhizobium lupini* 387a, гороху *Rhizobium leguminosarum* 2636, козлятнику східного *Rhizobium* sp. (Galega) 159 та Л12, сої *Bradyrhizobium japonicum* PC08, люцерни *Sinorhizobium meliloti* AC08 [20, 25, 26].

Методом міжродової кон'югації створено високоефективні штами бульбочкових бактерій люцерни *S. meliloti* M4, M12 та конюшини *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* BN9. Їх особливістю є те, що вони менш чутливі до несприятливих екологічних умов – низьких позитивних температур, нестачі вологи, надлишку азоту в ґрунті та пестицидів [20, 25, 26].

В Інституті методом неспецифічного транспозонового мутагенезу з використанням плазмиди pSUP2021::Tn5 створено високоефективні конкурентоспроможні штами бульбочкових бактерій гороху, люцерни і конюшини. Уперше доведено можливість застосування цієї плазмиди для транспозонового мутагенезу штамів *B. japonicum* 646, 614a, 71t із частотою транспозиції 10^{-6} – 10^{-7} [26, 27]. Установлено, що використання плазмиди pSUP5011::Tn5 ефективніше для інсерції Tn5-транспозону в геном повільнорослих бактерій *B. japonicum* 646, M6346 і дає змогу отримати широкий спектр Tn5-мутантів (рис. 2) [28, 29].

За допомогою векторної плазмиди pSUP2021::Tn5, що несе транспозон Tn5, було отримано низку мутантів різних штамів бульбочкових бактерій люпину, зокре-



Рис. 2. Рослини сої культурної, інокульовані різними за активністю штамами *Bradyrhizobium japonicum*:

- 4 – інокуляція штамом 6346 *B. japonicum*; 7 – інокуляція штамом Т66 *B. japonicum*, отриманого методом неспецифічного транспозонового мутагенезу;
- 15 – інокуляція неактивним штамом 604к;
- 25 – інокуляція сумішшю штамів 604к + Т66.

ма штамів *Bradyrhizobium* sp. (*Lupinus*) 10, 168, 359a, при цьому частота утворення канаміциностійких клонів становила 10^{-7} – 10^{-9} [28].

За останні 10 років в Інституті створено понад 20 штамів азотфіксувальних мікроорганізмів, захищених авторськими свідоцтвами та патентами України на винаходи.

У результаті проведених багаторічних досліджень відібрано високоефективні конкурентоспроможні штами бульбочкових бактерій сої, гороху, люпину, нуту, люцерни, конюшини та козлятнику, які забезпечують приріст урожаю цих культур на 15–22% порівняно зі штамми-стандартами.

В інфраструктурі Інституту є два наукових об'єкти, які мають статус національного надбання:

1. «Колекція цінних зразків озимої пшениці та кукурудзи – сорти, популяції, унікальні мутантні та рекомбінантні лінії, інбредні лінії»;
2. «Колекція штамів симбіотичних та асоціативних азотфіксувальних мікроорганізмів».

Колекція цінних зразків основних злакових культур України – озимої пшениці та кукурудзи – це результат багаторічних наукових досліджень та міжнародних експедицій. Зразки колекції унікальні за морфологічними, біологічними та біохімічними характеристиками, вони є джерелами цінної генетичної плазми для поліпшення наявних і створення нових сортів та гібридів, для розв'язання фундаментальних проблем селекції, генетичної інженерії та біотехнології. На сьогодні колекція генофонду провідних злакових культур України – озимої пшениці та кукурудзи, налічує понад 6,5 тис. зразків.

Генотипи-донори господарсько-цінних ознак колекції успішно використовуються науковими установами з метою вивчення фундаментальних питань біології та створення високопродуктивних, високоякісних, стійких до абіотичних і біотичних чинників докільця сортів пшениці та гібридів кукурудзи. На основі використання зразків колекції розроблено нові високоефективні методи селекції злаків. Створено і внесено у реєстри сортів рослин України та країн близького зарубіжжя понад 70 сортів пшениці та приблизно 20 гібридів кукурудзи, які визнані новим селекційним досягненням. Сорти, створені з використанням зразків колекції, вирощуються в Україні на площі понад 2,0 млн га, що є суттєвим внеском у забезпечення продовольчої безпеки нашої країни.

Колекція штамів симбіотичних та асоціативних азотфіксувальних мікроорганізмів (налічує понад 850 культур) – одна з найбільших в Україні і підтримується в життєздатному стані. До складу колекції входять

різні за азотфіксувальною активністю штами та Tn5-мутанти повільно- і швидкокорослих симбіотичних азотфіксаторів – представників родів *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mezorhizobium*, селекціоновані як ученими Інституту, так і фахівцями інших наукових установ України та світу. Крім того, у колекційному фонді зберігається низка штамів та ізолятів асоціативних і вільноіснуючих азотфіксувальних мікроорганізмів. Авторство окремих із них належить науковцям Інституту [29].

У цьому колекційному фонді зберігаються і підтримуються цінні біологічні об'єкти – азотфіксувальні мікроорганізми, які мають стратегічно важливе значення для економічного розвитку України, оскільки використовуються для виготовлення біологічних препаратів під бобові та зернові культури, що дає змогу зменшити використання мінеральних добрив та енергетичних ресурсів і знизити негативне навантаження на довкілля. Мікроорганізми з колекційного фонду постійно використовуються для наукових досліджень у галузі фізіології рослин, біотехнології, генетики, мікробіології. Щороку колекція поповнюється новими штамми, які вивчаються за культурально-морфологічними, симбіотичними властивостями та оцінюються за господарсько-цінними ознаками.

Концептуальним напрямом розвитку біотехнологій у сільському господарстві є створення оригінальних комплексних композицій багатofакторної дії, що поєднують властивості регуляторів росту рослин, елементів живлення, засобів стійкості рослин до стресів і хвороб, безпечність для довкілля. Прикладом цього є використання мікробних біотехнологій і регуляторів росту рослин природного походження.

У відділі симбіотичної азотфіксації Інституту фізіології рослин і генетики НАН України ведеться робота зі створення та дослідження ефективності дії комплексних композицій на основі компонентів природного (рослинного та бактеріального) походження з метою підвищення продуктивності стратегічних для України сільськогосподарських культур (бобові та пшениця) та збереження родючості ґрунтів. В основі створення таких композицій покладено принцип індивідуального добору та максимальної комплементарності складових. Вони можуть містити такі компоненти: культуру ґрунтових азотфіксувальних мікроорганізмів (бульбочкові бактерії або ризосферні діазотрофи), які забезпечують рослину екологічно безпечним біологіч-

ним азотом, є джерелом біологічно активних речовин (гормонів, вітамінів, амінокислот тощо) і речовин фунгістатичної та антибактеріальної дії; біологічно активні речовини рослинного або бактеріального походження, що мають широкий спектр біологічної активності, позитивно впливають на розвиток бактеріальної культури в композиції, таким чином підвищуючи інокуляційне навантаження кінцевого препарату та забезпечуючи максимальну ступінь реалізації потенціалу рослинно-бактеріальних систем за рахунок активізації важливих симбіотичних властивостей мікроорганізмів. Способи посилення симбіотичних властивостей мікроорганізмів, що лежать в основі створення комплексних композицій, захищені Патентами України.

Розроблено і впроваджено у виробництво препарат нового покоління Ризостим. Його унікальність забезпечує поєднання комплексу трьох високоактивних штамів азотфіксувальних мікроорганізмів, отриманих за допомогою останніх досягнень молекулярної біології і нанобіотехнологій, та комплексу рослинних протеїнів, які пришвидшують формування симбіозу, активують нітрогеназний комплекс бактерій, підвищують стійкість рослин до несприятливих чинників довкілля. Крім того, препарат містить унікальний компонент, який поліпшує прилипання бактерій до насіння, забезпечує їх зберігання на поверхні щонайменше протягом двох місяців. Допускається можливість одночасного використання з фунгіцидами (рис. 3) [30].

Ще однією інноваційною розробкою Інституту є інокулянт для зернових культур – Азолек. Препарат містить запатентований штам асоціативних азотфіксувальних мікроорганізмів і комплекс протеїнів зародків пшениці, які посилюють взаємодію рослин і



Рис. 3. Дослідження ефективності препарату Ризостим на посівах сої

Таблиця 1

Урожайність гороху сорту 'Мадонна' залежно від обробки посівного матеріалу бульбочковими бактеріями і внесення мінеральних добрив

Варіант	Урожайність, т/га	Приріст урожаю порівняно з контролем	
		т/га	%
Контроль	3,23	–	–
Біопрепарат	3,69	0,46	14,2
Біопрепарат + аміачна селітра (60 кг/га д.р.)	3,33	0,09	2,8
Біопрепарат + суперфосфат (40 кг/га д.р.)	3,75	0,52	16,1
НІР _{0,05}	0,19	–	–

мікроорганізмів, сприяють реалізації потенціалу продуктивності зернових культур. За результатами багаторічних досліджень доведено ефективність препарату в разі його використання в сучасних технологіях вирощування пшениці [30, 31].

За використання комплексної бактеріальної композиції, яка містить декілька мікроорганізмів (поліінокуляція) для інокуляції насіння пшениці ярої та озимої, зернова продуктивність культур підвищується в середньому на 12–18%. При цьому мінеральні добрива використовуються в межах фізіологічного оптимуму для культур.

Співробітниками Інституту було вдосконалено напівпромислову технологію виготовлення рідких бактеріальних добрив та добрив на твердих носіях.

Щороку на основі створених у відділі ефективних конкурентоспроможних штамів бульбочкових бактерій виготовляються різні форми бактеріальних препаратів для інокуляції основних багаторічних бобових трав, зернобобових і зернових культур на площі 25–50 тис. га.

Слід зазначити, що позитивний вплив мікроорганізмів-азотфіксаторів на рослину не обмежується поліпшенням її азотного живлення. Бактеризація сприяє трансформації важкорозчинних сполук ґрунту, зокрема фосфорних, у форми, що легко засвоюються рослинами і в такий спосіб поліпшує живлення рослин. Крім того, бактеріальні препарати місять фізіологічно активні речовини (гормони, вітаміни, амінокислоти, стимулятори росту рослин та ін.), які здійснюють пряму регуляцію росту рослин, зокрема, суттєво поліпшують використання добрив на 20–30% за рахунок розростання кореневої системи та підвищення її поглинальних властивостей. При цьому, корисні мікроорганізми, заселивши корені, не допускають патогенні мікроорганізми до інфікування рослини, підвищуючи її стійкість проти хвороб. Показано, що застосування біопрепаратів поліпшує якість посівного матеріалу – зростає енергія проростання та схожість насіння, а також сприяє активізації фотосинтезу в бактеризованих рослинах [3, 20, 32, 33].

У результаті досліджень встановлено, що в разі загального відчутного підвищення врожаю вирощуваних бобових рослин унаслідок застосування мікробних препаратів, одночасне внесення в ґрунт аміачної селітри деякою мірою пригнічувало інтенсивність зв'язування атмосферного азоту, тоді як поєднання дії суперфосфату з бактеризацією забезпечувало найбільший позитивний ефект (табл. 1).

Наведені в таблиці 1 результати дослідів свідчать про незаперечну позитивну дію бактеріальних добрив при вирощуванні гороху.

Варто зазначити, що процес виготовлення бактеріальних препаратів потребує від персоналу належних знань, навичок і досвіду роботи в стерильних умовах, а також відповідного обладнання. Тому працівникам сільськогосподарського виробництва потрібно співпрацювати з науково-дослідними установами – оригінаторами штамів і розробниками препаратів, які видають необхідну документацію (регламент, технічні умови), а також рекомендації мікробіологічного і сировинного характеру. Завданням виробництва бактеріальних добрив є максимальне накопичення життєздатних клітин, збереження їх життєздатності на всіх стадіях технологічного процесу, приготування на їх основі готових форм препарату зі збереженням активності мікроорганізмів упродовж гарантійного терміну. Лише в такий спосіб отримані біопрепарати гарантують реальний успіх у рослинництві, неякісні ж можуть дискредитувати саму ідею біологізації землеробства.

В Україні мікробним (біологічним) препаратом, як передовому інноваційному напрямку аграрної діяльності, фахівці господарств приділяли й приділяють найпильнішу увагу, і ці препарати стають дедалі популярнішими. Однак останнім часом у разі їх використання виникають деякі питання, які загалом зводяться до того, що одні господарства досягають високих результатів, тоді як інші мають збитки. Причин цьому може бути багато, але головні з них, на думку фахівців, такі:

– недостатньо високий рівень професіоналізму агровиробників у господарствах під час роботи з цими препаратами, зокрема, це стосується як самого вибору препаратів, так і поєднання їх із засобами захисту рослин, мінеральними добривами та мікроелементами;

– поява на українському ринку біопрепаратів інокулянтів невисокої якості та сумнівного походження, застосування яких може дати непередбачувані результати;

– можливе зниження ефективності іноземних препаратів у разі застосування їх вітчизняними агровиробниками через те, що основу таких препаратів становлять активні мікроорганізми, які, на відміну від вітчизняних мікробних агентів, не адаптовані до ґрунтово-кліматичних умов України та сортів культурних рослин української селекції;

– необхідність співпраці з виробниками препаратів у формі фахових консультацій і аналізу причин у разі отримання низьких результатів від застосування біоінокулянтів.

Подолання наведених ускладнень може істотно підвищити як урожайність, так і економічну ефективність.

В Україні мікробіологічні препарати для рослинництва виготовляють такі організації, як Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України, Інститут сільськогосподарської мікробіології і агропромислового виробництва НААН України, Інститут агроєкології і природокористування НААН України, БТУ-центр, BIONA та ін. На сьогодні в Україні використовується 27 біопрепаратів, призначених для фіксації рослинами атмосферного азоту, що становить 27,8% від загальної кількості всіх біопрепаратів. Однією з провідних наукових установ України, що понад 40 років займається селекцією високоефективних агрономічно корисних штамів азотфіксувальних мікроорганізмів, розробленням на їх основі біологічних препаратів під сільськогосподарські культури та впровадженням їх у виробництво, є Інститут фізіології рослин і генетики НАН України.

Інститут фізіології рослин і генетики НАН України широко співпрацює з багатьма господарствами України розміщеними в зонах Полісся, Лісостепу та Ступу та має численні відгуки про ефективність використання створених в Інституті мікробних препаратів.

Ми переконані, що вирощування сільськогосподарських культур без застосування бактеріальних добрив – це нереалізовані можливості і неефективно використані ресурси. А максимальну віддачу від рослин (як урожай, так і післядію для наступних культур) можна одержати лише за умови застосування бактеріальних (мікробних) добрив.

Потреба в мікробних азотфіксувальних препаратах для рослинництва (бобові та зернові культури) в Україні становить понад 16 млн гектарних порцій щороку.

Учені-мікробіологи занепокоєні тим, що впродовж останніх років на ринку України спостерігається активний процес витіснення вітчизняних мікробних препаратів імпортованими аналогами. Є нагальна потреба звернутися до уряду з пропозицією про будівництво сучасних біотехнологічних заводів при інститутах, які мають сучасні інноваційні розробки й висококваліфіковані кадри. Крім того, потрібно обмежити ввезення в Україну високовартісних іноземних азотфіксувальних біопрепаратів через введення квот. На зріла також проблема у розробленні комплексної Державної програми з використання біологічного азоту в землеробстві України.

Крім того, потрібно найближчим часом розробити економічні важелі щодо суттєвого збільшення частки біологічного азоту в землеробстві країни. Збільшення виробництва і застосування бактеріальних добрив дасть змогу отримувати екологічно чисту продукцію рослинництва, сприятиме зниженню антропогенного (хімічного) навантаження на екосистеми та відновленню родючості ґрунтів.

Використана література

1. Kotschi J. A soiled reputation: Adverse impacts of mineral fertilizers in tropical agriculture. Berlin : Heinrich-Böll-Stiftung, 2013. 58 p.
2. Barabasz W., Albińska D., Jaśkowska M., Lipiec J. Biological Effects of Mineral Nitrogen Fertilization on Soil Microorganisms. *Pol. J. Environ. Stud.* 2002. Vol. 11, No. 3. P. 193–198.
3. Патики В. П., Коць С. Я., Волкогон В. В. та ін. Біологічний азот / за ред. В. П. Патики. Київ : Світ, 2003. 424 с.
4. Canfield D. E., Glazer A. N., Falkowski P. G. The evolution and future of Earth's nitrogen cycle. *Science.* 2010. Vol. 330, Iss. 6001. P. 192–196. doi: 10.1126/science.1186120
5. Hungate B. A., Dukes J. S., Shaw M. R. et al. Nitrogen and climate change. *Science.* 2003. Vol. 302, Iss. 5650. P. 1512–1513. doi: 10.1126/science.1091390
6. Galloway J. N., Dentener F. J., Capone D. G. et al. Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry.* 2004. Vol. 70, Iss. 2. P. 153–226. doi: 10.1007/s10533-004-0370-0
7. Сайко В. Ф. Вибрані наукові праці. Київ : Аграрна наука, 2016. 444 с.
8. Моргун В. В., Коць С. Я. Роль біологічного азоту в азотному живленні рослин. *Вісн. НАН України.* 2018. № 1. С. 62–74. doi: 10.15407/vsn2018.01.062
9. Drevon J. J., Alkama N., Bargaz A. et al. The Legume–Rhizobia Symbiosis. *Grain Legumes, Handbook of Plant Breeding / A. M. De Ron (ed.).* New York : Springer, 2015. No. 10. P. 267–290. doi: 10.1007/978-1-4939-2797-5_9
10. Hirsch A. M., Lum M. R., Downie J. A. What Makes the Rhizobia-Legume Symbiosis So Special? *Plant Physiol.* 2001. Vol. 127, Iss. 4. P. 1484–1492. doi: 10.1104/pp.010866
11. Mus F., Crook M. B., Garcia K. et al. Symbiotic Nitrogen Fixation and Challenges to Extending it to Nonlegumes. *Appl. Environ. Microbiol.* 2016. Vol. 82, Iss. 13. P. 3698–3710. doi: 10.1128/AEM.01055-16
12. Herridge D. F., Peoples M. B., Boddey R. M. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant Soil.* 2008. Vol. 311, Iss. 1–2. P. 1–18. doi: 10.1007/s11104-008-9668-3
13. Ferguson B. J., Indrasumunar A., Hayashi S. et al. Molecular Analysis of Legume Nodule Development and Autoregulation.

- J. Integr. Plant Biol.* 2010. Vol. 52, Iss. 1. P. 61–76. doi: 10.1111/j.1744-7909.2010.00899.x
14. Walker R., Agapakis C. M., Watkin E., Hirsch A. M. Symbiotic Biological Nitrogen Fixation. Nitrogen Fixation in Legumes: Perspectives on the Diversity and Evolution of Nodulation by *Rhizobium* and *Burkholderia*. *Biological Nitrogen Fixation* / F. J. de Bruijn (ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2015. Part 1, Vol. 2, Chap. 89. P. 913–925. doi: 10.1002/9781119053095.ch89
 15. Galloway J. N., Townsend A. R., Erismann J. W. et al. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science*. 2008. Vol. 320, Iss. 5878. P. 889–892. doi: 10.1126/science.1136674
 16. Gourion B., Berrabah F., Ratet P., Stacey G. Rhizobium–legume symbioses: the crucial role of plant immunity. *Trends Plant Sci.* 2015. Vol. 20, Iss. 3. P. 186–194. doi: 10.1016/j.tplants.2014.11.008
 17. Masson-Boivin C., Sachs J. L. Symbiotic nitrogen fixation by rhizobia – the roots of a success story. *Cur. Opin. Plant Biol.* 2018. Vol. 44. P. 7–15. doi: 10.1016/j.pbi.2017.12.001
 18. Kolodziejczyk M. Effect of nitrogen fertilization and application of soil properties improving microbial preparations on the content of mineral nitrogen in soil after spring wheat harvesting. *J. Cent. Eur. Agr.* 2013. Vol. 14, Iss. 1. P. 306–318. doi: 10.5513/JCEA01/14.1.1199
 19. Кожемяков А. П. Продуктивность азотфиксации в агроценозах. *Мікробіол. журн.* 1997. Т. 59, № 4. С. 22–28.
 20. Коць С. Я., Моргун В. В., Патыка В. Ф. и др. Биологическая фиксация азота: бобово-ризобияльный симбиоз : в 4-х т. Т. 2. Киев : Логос, 2011. 523 с.
 21. Сичкарь В. И. Значение зернобобовых культур в повышении стабильности степного земледелия. *Вісн. аграр. науки Причорномор'я*. 2003. № 3. С. 175–180.
 22. Международный год зернобобовых 2016. URL: <http://www.fao.org/pulses-2016/about/ru/>
 23. Смирнов В. В., Патыка В. П., Підгорський В. С. та ін. Мікробні біотехнології в сільському господарстві. *Агроекол. журн.* 2002. № 3. С. 3–9.
 24. Тараріко О. Г., Шерстобоева О. В., Патыка В. П. Концепція і наукове обґрунтування основних напрямів удосконалення систем випуску і реалізації мікробіологічних препаратів для сільськогосподарського виробництва. *Мікробіол. журн.* 1997. Т. 59, № 4. С. 102–108.
 25. Коць С. Я., Моргун В. В., Патыка В. Ф. и др. Биологическая фиксация азота: бобово-ризобияльный симбиоз : в 4-х т. Т. 1. Киев : Логос, 2010. 508 с.
 26. Коць С. Я., Моргун В. В., Тихонович И. А. и др. Биологическая фиксация азота: генетика азотфиксации, генетическая инженерия штаммов : в 4-х т. Т. 3. Киев : Логос, 2011. 404 с.
 27. Маліченко С. М., Даценко В. К., Василюк В. М., Коць С. Я. Транспозоновий мутагенез штамів *Bradyrhizobium japonicum*. *Фізіологія і біохімія культ. рослин*. 2007. Т. 39, № 5. С. 409–418.
 28. Василюк В. М., Мельникова Н. М., Михалків Л. М. та ін. Формування симбіотичних взаємовідносин рослин люпину з транспозоновими мутантами *Bradyrhizobium* sp. (*Lupinus*). *Фізіологія і біохімія культ. рослин*. 2007. Т. 39, № 3. С. 233–241.
 29. Коць С. Я., Моргун В. В., Патыка В. Ф. и др. Биологическая фиксация азота: ассоциативная азотфиксация : в 4-х т. Т. 4. Киев : Логос, 2014. 412 с.
 30. Коць С. Я., Воробей Н. А., Кириченко О. В. та ін. Мікробіологічні препарати для сільського господарства. Київ : Логос, 2016. 46 с.
 31. Кириченко Е. В. Биотехнологии в растениеводстве. Николаев : Илион, 2014. 435 с.
 32. Волкогон В. В. Мікробіологічні аспекти оптимізації азотного удобрення сільськогосподарських культур. Київ : Аграрна наука, 2007. 143 с.
 33. Молекулярные основы взаимоотношений ассоциативных микроорганизмов с растениями / под ред. В. В. Игнатова. Москва : Наука, 2005. 262 с.
- ## References
1. Kotschi, J. (2013). *A soiled reputation: Adverse impacts of mineral fertilizers in tropical agriculture*. Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung.
 2. Barabasz, W., Albińska, D., Jaśkowska, M., & Lipiec, J. (2002). Biological Effects of Mineral Nitrogen Fertilization on Soil Microorganisms. *Pol. J. Environ. Stud.*, 11(3), 193–198.
 3. Patyka, V. P., Kots, S. Ya., Volkohon, V. V., Sherstoboeva, O. V. Melnychuk, T. M., Kalinichenko, A. V., & Hrynyk, I. V. (2003). *Bioloichnyi azot* [Biological Nitrogen]. V. P. Patyka (Ed.). Kyiv: Svit. [in Ukrainian]
 4. Canfield, D. E., Glazer, A. N., & Falkowski, P. G. (2010). The evolution and future of Earth's nitrogen cycle. *Science*, 330(6001), 192–196. doi: 10.1126/science.1186120
 5. Hungate, B. A., Dukes, J. S., Shaw, M. R., Luo, Y. Q., & Field, C. B. (2003). Nitrogen and climate change. *Science*, 302(5650), 1512–1513. doi: 10.1126/science.1091390
 6. Galloway, J. N., Dentener, F. J., Capone, D. G., Boyer, E. W., Howarth, R. W., Seitzinger, S. P., ... Vöosmarty, C. J. (2004). Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry*, 70(2), 153–226. doi: 10.1007/s10533-004-0370-0
 7. Saiko, V. F. (2016). *Vybrani naukovi pratsi* [Selected Scientific Works]. Kyiv: Ahrarna nauka. [in Ukrainian]
 8. Morgun, V. V., & Kots, S. Ya. (2018). The role of biological nitrogen in nitrogen nutrition of plants. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* [Herald of National Academy of Sciences of Ukraine], 1, 62–74. doi: 10.15407/visn2018.01.062 [in Ukrainian]
 9. Drevon, J. J., Alkama, N., Bargaz, A., Rodico, A., Sunghongwises, K., & Zaman-Allah, M. (2015). The Legume–Rhizobia Symbiosis. In A. M. De Ron (Ed.), *Grain Legumes, Handbook of Plant Breeding* (No. 10, pp. 267–290). New York: Springer. doi: 10.1007/978-1-4939-2797-5_9
 10. Hirsch, A. M., Lum, M. R., & Downie, J. A. (2001). What Makes the Rhizobia-Legume Symbiosis So Special? *Plant Physiol.*, 127(4), 1484–1492. doi: 10.1104/pp.010866
 11. Mus, F., Crook, M. B., Garcia, K., Costas, A. G., Geddes, B. A., Kouri, E.-D., ... Peters, J. W. (2016). Symbiotic Nitrogen Fixation and Challenges to Extending it to Nonlegumes. *Appl. Environ. Microbiol.*, 82(13), 3698–3710. doi: 10.1128/AEM.01055-16
 12. Herridge, D. F., Peoples, M. B., & Boddey, R. M. (2008). Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant Soil*, 311(1–2), 1–18. doi: 10.1007/s11104-008-9668-3
 13. Ferguson, B. J., Indrasumunar, A., Hayashi, S., Lin, M.-H., Lin, Y.-H., Reid, D. E., & Gresshoff, P. M. (2010). Molecular Analysis of Legume Nodule Development and Autoregulation. *J. Integr. Plant Biol.*, 52(1), 61–76. doi: 10.1111/j.1744-7909.2010.00899.x
 14. Walker, R., Agapakis, C. M., Watkin, E., & Hirsch, A. M. (2015). Symbiotic Biological Nitrogen Fixation. Nitrogen Fixation in Legumes: Perspectives on the Diversity and Evolution of Nodulation by *Rhizobium* and *Burkholderia*. In F. J. de Bruijn (Ed.), *Biological Nitrogen Fixation* (Part 1, Vol. 2, Chap. 89, pp. 913–925). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. doi: 10.1002/9781119053095.ch89
 15. Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erismann, J. W., Bekunda, M., Cai, Z. E., Freney, J. R., ... Sutton, M. A. (2008). Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science*, 320(5878), 889–892. doi: 10.1126/science.1136674
 16. Gourion, B., Berrabah, F., Ratet, P., & Stacey, G. (2015). Rhizobium–legume symbioses: the crucial role of plant immunity. *Trends Plant Sci.*, 20(3), 186–194. doi: 10.1016/j.tplants.2014.11.008
 17. Masson-Boivin, C., & Sachs, J. L. (2018). Symbiotic nitrogen fixation by rhizobia – the roots of a success story. *Cur. Opin. Plant Biol.*, 44, 7–15. doi: 10.1016/j.pbi.2017.12.001
 18. Kolodziejczyk, M. (2013). Effect of nitrogen fertilization and application of soil properties improving microbial preparations on the content of mineral nitrogen in soil after spring wheat harvesting. *J. Cent. Eur. Agr.*, 14(1), 306–318. doi: 10.5513/JCEA01/14.1.1199

19. Kozhemyakov, A. P. (1997). Productivity of nitrogen fixation in agrocenoses. *Mikrobiologichny Zhurnal* [Microbiological Journal], 59(4), 22–28. [in Russian]
20. Kots, S. Ya., Morgun, V. V., Patyka, V. P., Malichenko, S. M., Mamenko, P. M., Kirizii, D. A., ... Melnikova, N. M. (2011). *Biologicheskaya fiksatsiya azota: bobovo-rizobial'nyy simbioz* [Biological nitrogen fixation: legume-rhizobial symbiosis]. (Vol. 2). Kyiv: Logos. [in Russian]
21. Sichkar, V. I. (2003). The importance of leguminous crops in improving the stability of steppe farming. *Visn. agrar. nauki Pribornomor'á* [Ukrainian Black Sea region Agrarian Science], 3, 175–180. [in Russian]
22. *International Year of Pulses 2016*. (2016). Retrieved from <http://www.fao.org/pulses-2016/about/en/>
23. Smirnov, V. V., Patyka, V. P., Pidhorskyi, V. S., Iutynska, H. O., & Antipchuk, A. F. (2002). Microbial biotechnology in agriculture. *Ahroekologichnyi zhurnal* [Agroecological Journal], 3, 3–9. [in Ukrainian]
24. Tarariko, O. H., Sherstoboyeva, O. V., & Patyka, V. P. (1997). The concept and scientific substantiation of the basic directions in production and realization of microbiological preparations for agriculture. *Mikrobiologichny Zhurnal* [Microbiological Journal], 59(4), 102–108. [in Ukrainian]
25. Kots, S. Ya., Morgun, V. V., Patyka, V. P., Datsenko, V. K., Krugova, O. D., Kyrychenko, O. V., Melnykova, N. M., & Mykhalkiv, L. M. (2010). *Biologicheskaya fiksatsiya azota: bobovo-rizobial'nyy simbioz* [Biological nitrogen fixation: legume-rhizobial symbiosis]. (Vol. 1). Kyiv: Logos. [in Russian]
26. Kots, S. Ya., Morgun, V. V., Tikhonovich, I. A., Provorov, N. A., Patyka, V. P., Petrychenko, V. F., Melnykova, N. M., & Mamenko, P. M. (2011). *Biologicheskaya fiksatsiya azota: genetika azot-fiksatsii, geneticheskaya inzheneriya shtammov* [Biological nitrogen fixation: genetics of nitrogen fixation, genetic engineering of strains]. (Vol. 3). Kyiv: Logos. [in Russian]
27. Malichenko, S. M., Datsenko, V. K., Vasyliuk, V. M., & Kots, S. Ya. (2007). Transposon mutagenesis of strains *Bradyrhizobium japonicum*. *Fiziol. Biokhim. Kul't. Rast.* [Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants], 39(5), 409–418. [in Ukrainian]
28. Vasyliuk, V. M., Melnykova, N. M., Mykhalkiv, L. M., Omelchuk, S. V., & Kots, S. Ya. (2007). Formation of the symbiotic relationships between lupine plants and transposon mutants *Bradyrhizobium sp. (Lupinus)*. *Fiziol. Biokhim. Kul't. Rast.* [Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants], 39(3), 233–241. [in Ukrainian]
29. Kots, S. Ya., Morgun, V. V., Patyka, V. P., Petrychenko, V. F., Nadkernichnaya, E. V., & Kyrychenko, O. V. (2014). *Biologicheskaya fiksatsiya azota: assotsiativnaya azotfiksatsiya* [Biological nitrogen fixation: associative nitrogen fixation]. (Vol. 4). Kyiv: Logos. [in Russian]
30. Kots, S. Ya., Vorobei, N. A., Kyrychenko, O. V., Melnykova, N. M., Mykhalkiv, L. M., & Pukhtaievych, P. P. (2016). *Mikrobiologichni preparaty dlia silskoho hospodarstva* [Microbiological Preparations for Agriculture]. Kyiv: Logos. [in Ukrainian]
31. Kyrychenko, O. V. (2014). *Biotehnologii v rastenievodstve* [Biotechnology in Planting]. Nikolaev: Ilion. [in Russian]
32. Volkohon, V. V. (2007). *Mikrobiologichni aspekty optymizatsii azotnoho udobrennia silskohospodarskykh kultur* [Microbiological aspects of nitrogen fertilization for agricultural crops]. Kyiv: Ahrarna nauka. [in Ukrainian]
33. Ignatov, V. V. (Ed.). (2005). *Molekulyarnye osnovy vzaimootnosheniy assotsiativnykh mikroorganizmiv s rastenyami* [Molecular bases of relationships between associative microorganisms and plants]. Moscow: Nauka. [in Russian]

УДК 631.86:631.847.1

Моргун В. В., Коць С. Я.* Биологический азот в современном сельскохозяйственном производстве // Plant Varieties Studying and Protection. 2018. Т. 14, № 3. С. 285–294.
<https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.3.2018.145293>

*Институт физиологии растений и генетики НАН Украины, ул. Васильковская, 31/17, г. Киев, 03022, Украина, *e-mail: kots@ifrg.kiev.ua*

Рассмотрено значение биологического связывания молекулярного азота атмосферы в азотном питании сельскохозяйственных культур и обогащении почвы. Особое внимание уделено экономическому и экологическому значению биологического азота. Охарактеризовано состояние и перспективы развития исследований в области биологической фиксации атмосферного азота, доказано

преимущества современных микробных азотфиксирующих препаратов по сравнению с азотными удобрениями.

Ключевые слова: клубеньковые бактерии; симбиоз; азотфиксация; штаммы; микробные препараты; продуктивность растений; свободноживущие азотфиксирующие бактерии; минеральные удобрения; ассоциативные микроорганизмы.

UDC 631.86:631.847.1

Morgun, V. V., & Kots, S. Ya.* (2018). Biological nitrogen in modern agriculture. *Plant Varieties Studying and Protection*, 14(3), 285–294. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.3.2018.145293>

*Institute of Plant Physiology and Genetics, NAS of Ukraine, 31/17 Vasylkivska St, Kyiv, 03022, Ukraine, *e-mail: kots@ifrg.kiev.ua*

The value of biological fixation of air molecular nitrogen in the nitrogen feeding of agricultural crops and enrichment of soils is considered. High priority is paid to the economic and environmental significance of biological nitrogen. The state and prospects of the study of biological fixation of air nitrogen were analyzed; advantages of modern microbial

nitrogen fixing preparations in comparison with nitrogen fertilizers have been proved.

Keywords: nodule bacteria; symbiosis; nitrogen fixation; strains; microbial inoculants; plant productivity; free-living nitrogen-fixing bacteria; mineral fertilizers; associative microorganisms.

*Надійшла / Received 13.09.2018
 Погоджено до друку / Accepted 01.10.2018*