

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНИКІВ ТА ПЕРЕДПОСІВНОЇ ІНОКУЛЯЦІЇ НАСІННЯ ШТАМОМ *AZOTOBACTER VINELANDII* 12M НА ВРОЖАЙНІСТЬ КУКУРУДЗИ І АКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ АЗОТФІКСАЦІЇ

О.В. Шерстобова

доктор сільськогосподарських наук, професор
Інститут агроєкології і природокористування НААН
(Україна, м. Київ; e-mail: ovsher@ukr.net)

А.А. Бунас

кандидат біологічних наук, старший дослідник
Інститут агроєкології і природокористування НААН
(Україна, м. Київ; e-mail: bio-206316@ukr.net)

О.С. Дем'янюк

доктор сільськогосподарських наук, професор
Інститут агроєкології і природокористування НААН
(Україна, м. Київ; e-mail: demolena@ukr.net)

Останні роки в Україні характеризуються збільшенням посівних площ під кукурудзою. Увага агровиробників фокусується на застосуванні новітніх технологій та інтенсифікації виробництва з метою отримання не лише значного приросту врожаю, а й поліпшення якості зерна. Традиційна технологія вирощування кукурудзи передбачає внесення високих доз мінеральних добрив і хімічних засобів захисту рослин. Але порушення технології застосування, нехтування рекомендаціями та недостатній рівень наукового обґрунтування є причиною небезпечних екологічних наслідків. Тому все частіше в сучасних технологіях вирощування агрокультури застосовують екологічно безпечні елементи, які ґрунтуються на використанні біологічних препаратів. В умовах тимчасового польового дослідження визначали вплив різних видів попередників і передпосівної інокуляції насіння штамом *Azotobacter vinelandii* 12M на активність процесу азотфіксації та продуктивність кукурудзи. Встановлено, що умови, які складаються в чорноземі типовому після вирощування бобових культур, є сприятливими для функціонування аборигенної азотфіксувальної мікробіоти та інтродукції штаму *Azotobacter vinelandii* 12M. У ризосфері рослин кукурудзи рівень азотфіксувальної активності був вище на 3% у варіанті, де попередником була конюшина, і на 17% де горох порівняно з тими самими варіантами, але без інокуляції. Комплекс властивостей, якими володіє штам *Azotobacter vinelandii* 12M, а саме здатність до засвоєння інертного молекулярного азоту, продукування фітогормонів та прояву антагонізму щодо фітопатогенів, дав змогу одержати врожайність зерна кукурудзи 6,79 і 6,88 т/га, яку вирощували після попередників горох і конюшина відповідно. Зростали також показники вмісту у зерні білка (на 0,3–0,5%), жиру (на 0,2%) та крохмалю (на 2–3%). У ризосфері рослин кукурудзи, що вирощували після пшениці озимої, активність процесу азотфіксації була вдвічі нижчою, ніж у варіантах із бобовими попередниками. Врожайність та якість отриманого зерна у варіантах беззмінного вирощування кукурудзи і вирощування після пшениці озимої були нижче на 0,1–1%, ніж після бобових попередників.

Ключові слова: кукурудза, штам *Azotobacter vinelandii* 12M, попередники, чорнозем типовий, передпосівна інокуляція, азотфіксація, урожайність.

Постановка проблеми. Екологічно безпечне сільськогосподарське виробництво ґрунтується передусім на створенні збалансованих високопродуктивних агроценозів на основі раціонального використання природних ресурсів та застосуванні альтернативних агротехнологій із мінімальним негативним впливом на агроєкосистему. Тому постійно зберігає свою актуальність пошук нових інноваційних методів та удосконалення існуючих агротехнічних заходів для екологічно безпечного агровиробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні 20 років вітчизняні агровиробники надають перевагу вирощуванню сої, соняшнику, кукурудзи, адже саме така продукція користується попитом та є економічно вигідна. За офіційними даними 2019 р., в Україні кукурудза займала понад 17% посівних площ, а посіви становили близько 4,9 млн га, що на 8,6% більше порівняно з попередніми роками [1].

Нині агровиробники доволі часто вирощують кукурудзу у беззмінних посівах, оскільки

за біологічними особливостями ця культура належить до стійких до вирощування поза сівозміною. Це визначається її унікальними властивостями, а саме — С4-тип фотосинтезу та його висока інтенсивність за підвищеної посухості, значна величина асиміляційного апарату і вмісту хлорофілу, висока швидкість перебігу фотохімічних реакцій, активне дихання і інтенсивний обмін речовин, потужна коренева система [2, 3]. Використання мінеральних добрив та гербіцидів може забезпечувати отримання доволі високих врожаїв кукурудзи на чорноземних типах ґрунтів до 10 років, на менш родючих ґрунтах — від 3 до 5 років [4, 5].

Рослини та мікроорганізми співіснують упродовж усього життєвого циклу в особливій, неоднорідній екологічній ніші — фітосфері, комплексній еконіші, яка складається з ендосфери, філосфери, ризосфери [6, 7]. Всі біохімічні, хімічні та фізичні процеси, що проходять у ризосфері, впливають на перебіг процесів росту і розвитку, поглинання коренями води та поживних речовин, дихання [8, 9]. Здатність рослин до зміни ризосфери сприяє якісним і кількісним змінам у структурно-функціональній організації мікробіоценозу [10].

Високородючі ґрунти України еволюційно сформувались в основному під степовими фітоценозами, в яких найважливіше значення як азотопостачальників відіграють бактерії, що фіксують азот атмосфери за вільного існування та в асоціативній взаємодії з небобовими рослинами. З найбільшою продуктивністю цей процес здійснюється вільноіснуючими бактеріями роду *Azotobacter* [11, 12]. Найактивніші штами бактерій роду *Azotobacter* у контрольованих лабораторних умовах здатні фіксувати до 10–15 мг молекулярного азоту на 1 г використаного джерела вуглецю [13]. Вільноіснуючі ґрунтові бактерії роду *Azotobacter*, окрім фіксації молекулярного азоту, мають низку позитивних впливів на рослини [14], синтез речовин гормональної природи, зокрема ауксинової, гібберелінової, цитокінінової амінокислот [15], а також вітамінів і речовин антибіотичної природи [16, 17]. Доведено, що максимальний прояв окремих функцій бактерії роду *Azotobacter* і продукції фітогормонів їх штамами в природі визначається рівнем родючості ґрунту. Проте рівень антагоністичної активності штамів не виявляє такої залежності [16, 17].

Формування асоціативних азотфіксувальних асоціацій «рослина–мікроорганізм» визначається взаємодією між рослинами, популяціями мікроорганізмів та чинниками навколишнього природного середовища. При цьому створюється одна цілісна система, яка здатна частину енергії фотосинтезу спрямовувати на

процеси перетворення мікроорганізмами атмосферного азоту в доступні для рослин азотні сполуки [18–20].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. З огляду на викладене вище, зрозуміло, що не втрачає своєї актуальності створення екологічно безпечних агротехнологій, зокрема із інтродукції активних агрономічно цінних штамів мікроорганізмів в агробіоценози. Тому доцільним є дослідження впливу окремих агротехнічних прийомів таких як вид попередника та передпосівної інокуляції насіння культуральною рідиною *Azotobacter vinelandii* на рівень азотфіксації у ризосферному ґрунті рослин та продуктивність кукурудзи.

Метою досліджень було дослідити вплив різних попередників (кукурудза, пшениця озима, конюшина, горох) та інокуляції насіння штамом *Azotobacter vinelandii* на активність процесу азотфіксації, урожайність та якість зерна кукурудзи.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження впливу передпосівної інокуляції насіння кукурудзи проводили у польових умовах упродовж 2012–2016 рр. у Сквирській дослідній станції органічного виробництва Інституту агроєкології і природокористування НААН (Київська обл.).

Тимчасовий польовий дослід закладено з дотриманням відповідних рекомендацій [21]. Варіанти досліду розміщені систематично, повторення — триразове. Посівна площа ділянки 25 м², облікова площа 20 м². Ґрунт дослідної ділянки — чорнозем типовий малогумусний крупнопилкувато-середньосуглинковий з вмістом гумусу в орному шарі (0–20 см) 3%, легкогідролізного азоту — 154 мг/кг, рухомих форм фосфору — 147 і калію — 130 мг/кг; рН_{сол.} 5,2, гідролітична кислотність — 2,16 мг-екв./100 г ґрунту.

Попередніми агрокультурами, які вирощувались на дослідних ділянках, були кукурудза, пшениця озима, горох, конюшина. Для дослідження використовували середньостиглий гібрид кукурудзи Красилів 327 МВ ФАО 350. Агротехніка вирощування культур — загальноприйнята для умов Правобережного Лісостепу. Облік урожайності кукурудзи проводили у фазі повної стиглості зерна за допомогою селекційного комбайну Sampo-500.

Насіння кукурудзи перед висівом обробляли культуральною рідиною штаму *Azotobacter vinelandii* 12М [22] з інокуляційним навантаженням 35 × 10³ клітин азотобактера на 1 насінину.

Для мікробіологічних досліджень зразки ґрунту відбирали з ризосфери кукурудзи у фазі волоті та молочної стиглості. Чисельність

бактерій роду *Azotobacter* визначали методом аплікацій на поверхні агаризованого середовища Ешбі, рівень нітрогеназної активності — газохроматографічно методом ацетиленредукції [23]. Якісні показники зерна кукурудзи визначали згідно з чинними стандартами за ДСТУ 4138-2002 і ДСТУ 4117:2007 та методиками [24]. Озолювання зерна здійснювали способом прожарювання подрібненого зерна за вільного доступу повітря.

Лабораторні аналізи проводили у п'ятикратній повторюваності. Статистичне оброблення експериментальних результатів виконували в програмі Statistica 6.0.

Викладення основного матеріалу. Результати досліджень показали, що чисельність азотобактера у чорноземному ґрунті виявляли на рівні 48% і більше, що свідчить про доволі високий пул аборигенних штамів бактерій р. *Azotobacter* у ґрунтах (табл. 1). Причому у варіантах із вирощуванням рослин, особливо бобових культур, чисельність азотобактера вища на 7–27,5%, ніж у ґрунті без рослин.

Загальновідомо, що різні агротехнічні заходи впливають на мікробне угруповання ґрунту, змінюють чисельність мікроорганізмів та структуру мікробіоценозу, напрям та активність біологічних процесів [25]. Це засвідчили і наші результати — у ґрунті агроценозу кукурудзи чисельність азотобактеру залежала як від попередника, так і від інокуляції насіння.

Встановлено, що чисельність азотобактеру в ризосфері рослин кукурудзи без інокуляції безпосередньо залежала від культури попередника. Найвищу чисельність азотобактеру (75,8%) відмічали у варіантах, де попередником була конюшина. Проте найнижчий рівень чисельності азотобактеру (55,3%) фіксували у варіанті, де попередником була пшениця озима. На нашу думку, такий низький рівень чисельності азотобактеру можна пояснити тим, що злакові культури, зокрема і пшениця озима у більшості випадків під час вегетації утворює

симбіози з діазотрофними мікроорганізмами роду *Azospirillum*.

Також проводили визначення чисельності бактерій р. *Azotobacter* у ризосфері кукурудзи у фазі волоті залежно від попередника та інокуляції посівного матеріалу культурою штаму *Azotobacter vinelandii* 12М. У результаті проведених досліджень виявлено високий рівень інтродукції азотобактера — 100% у ризосфері рослин кукурудзи, де попередником була кукурудза (беззмінний посів). Це на 36,5% вище порівняно з цим самим варіантом дослідження, але без інокуляції (див. табл. 1). Чисельність азотобактеру у варіанті, де попередником був горох та проводили інокуляцію насіння кукурудзи, зросла на 24,6%. Для варіанта, де попередником була пшениця озима, інокуляція насіння штамом *Azotobacter vinelandii* 12М сприяла зростанню чисельності азотобактера на 15,3%. У результаті чисельність азотобактера становила 70,6%. Чисельність азотобактеру на рівні 88,2% відмічали для варіанта, де попередником була конюшина. Отже, передпосівна інокуляція насіння кукурудзи у варіанті, де попередником була конюшина, сприяла збільшенню чисельності азотобактера у ризосфері рослин на 12,4%.

Ефективність інтродукції активного азотфіксувального штаму *Azotobacter vinelandii* 12М у ризосферу рослин кукурудзи через передпосівне оброблення насіння визначали за рівнем азотфіксації у кореневій зоні. Виявлено, що рівень азотфіксації у ризосфері рослин кукурудзи у фазі волоті значною мірою залежав від інокуляції насіння *Azotobacter vinelandii* 12М і корелював із чисельністю азотобактера (табл. 2).

Інокуляція насіння кукурудзи *Azotobacter vinelandii* 12М сприяла зростанню рівня азотфіксації порівняно з тими самими варіантами, але без передпосівної інокуляції. Так, у варіанті, де попередником був горох, рівень азотфіксації зростав на 4,76 нмоль етилену/

Таблиця 1

Чисельність бактерій р. *Azotobacter* у ризосфері кукурудзи (фаза волоті), % ґрунтових грудочок, що обросли колонією азотобактеру

Варіант досліді / попередник	Без інокуляції	Інокуляція штамом <i>Azotobacter vinelandii</i> 12М
Ґрунт без рослин	48,3±4,07	—
Кукурудза	63,5±4,27	100±0
Пшениця озима	55,3±3,04	70,6±5,37
Горох	67,5±6,06	92,1±7,09
Конюшина	75,8±6,20	88,2±4,33

Таблиця 2

Нітрогеназна активність у ризосфері кукурудзи залежно від попередника та передпосівної інокуляції насіння штамом *Azotobacter vinelandii* 12М (середнє за 2012–2016 рр.)

Попередник	Нітрогеназна активність, нмоль етилену/г сух. ґрунту/год	
	Фаза волоті	Фаза молочної стиглості
<i>Без інокуляції</i>		
Кукурудза	18,12±1,04	22,33±2,56
Пшениця озима	16,89±1,27	21,46±1,86
Горох	27,58±0,98	22,01±3,14
Конюшина	29,27±2,22	27,02±3,07
<i>Інокуляція штамом Azotobacter vinelandii 12М</i>		
Кукурудза	22,67±2,54	20,94±3,16
Пшениця озима	19,49±1,66	20,77±1,74
Горох	32,34±3,03	25,84±2,15
Конюшина	30,16±2,94	23,82±3,01

г сух. ґрунту/год, та у варіанті, де попередником була кукурудза — на 4,55 нмоль етилену/г сух. ґрунту/год.

Рівень азотфіксації у фазі волоті для варіанта із передпосівною інокуляцією *Azotobacter vinelandii* 12М та попередником пшеницею озимою становив 19,49 нмоль етилену/г сух. ґрунту/год, що на 2,6 нмоль етилену/г сух. ґрунту/год більше, ніж у варіанті без інокуляції. Рівень азотфіксації відмічали для варіанта, де попередником була конюшина (29,27–30,16 нмоль етилену/г сух. ґрунту/год). Різниця між значеннями з інокуляцією і без неї становила лише 0,89 нмоль етилену/г сух. ґрунту/год. Тобто для варіанта, де попередником була конюшина рівень азотфіксації не залежав від передпосівної інокуляції азотобактером. Високий рівень азотфіксації у ризосфері рослин кукурудзи у фазі волоті, на нашу думку, пов'язаний з інтенсивним формуванням фітомаси, а саме — максимальним розвитком формування кореневої системи, стебла, листового апарату. Для їх побудови збільшується активність фотосинтезу і поглинання азотних сполук із ґрунтового розчину. У період активного росту і розвитку рослин збільшується коренева ексудація продуктів фотосинтезу, що є джерелом енергії для ризосферних мікроорганізмів і передусім азотфіксувальних, адже рослина створює дефіцит доступних азотних сполук у ґрунті для мікроорганізмів і інтродукованого *Azotobacter vinelandii* 12М зокрема. Відповідно у ризосфері кукурудзи зростає загальний рівень нітрогеназної активності. Незначна різниця між рівнем

азотфіксації за умови інокуляції *Azotobacter vinelandii* 12М і без неї для варіанта, де попередником була конюшина, можливо пояснити тим, що багаторічна бобова трава за час своєї вегетації способом активної симбіотичної азотфіксації накопичила в ґрунті доволі високий рівень зв'язаного азоту, якого вистачає для рослин наступної культури у сівозміні і для мікроорганізмів. Це узгоджується з літературними даними, що мінералізація рослинних решток багаторічних трав сприяє накопиченню азотних сполук у ґрунті в межах 50–100 кг/га за рік [26]. Окрім мінералізації максимальну кількість азоту засвоює симбіотична система конюшини (140–170 кг за період до першого укосу і 250–300 кг за повний рік використання на незрощуваних землях) [27].

Під час проведення досліджень встановлено, що рівень азотфіксації в ризосферному ґрунті рослин кукурудзи у фазі молочної стиглості не залежав від передпосівної інокуляції. Таким чином, вищий рівень азотфіксації (на 0,7–3,2 нмоль етилену/г сух. ґрунту/год) у фазі молочної стиглості кукурудзи фіксували у варіантах без інокуляції. Винятком став варіант, де попередником був горох. Для цього варіанта досліді інокуляція посівного матеріалу кукурудзи культуральною рідиною *Azotobacter vinelandii* 12М сприяла підвищенню азотфіксації на 3,83 нмоль етилену/г сух. ґрунту/год. Варіант досліді, де попередником була конюшина, без інокуляції вирізнявся найвищим рівнем азотфіксації — 3,2 нмоль етилену/г сух. ґрунту/год.

Проте варто зазначити, що у варіантах без інокуляції, де попередником були злаки (кукурудза і пшениця) у фазі молочної стиглості кукурудзи, зростає рівень азотфіксації. А за умови інокуляції — рівень азотфіксації знижується. Зовсім іншу картину відмічали для варіантів, де попередником були бобові культури, незалежно від інокуляції, у фазі молочної стиглості кукурудзи відбувається значне зниження рівня азотфіксації. На нашу думку, це пов'язано з тим, що у варіантах дослідження, де був початково високий рівень азотфіксації, відбувається кращий розвиток рослинного організму, зокрема за рахунок рістстимулюючих речовин, які продукуються *Azotobacter vinelandii* 12M.

Окрім азотфіксації у польових дослідках визначали вплив передпосівної інокуляції та попередників на врожайність рослин і якість насіння кукурудзи (табл. 3, 4).

Без застосування інокуляції найвищий рівень врожайності фіксували у варіантах, де попередником були горох (6,65 т/га) та конюшина (6,78 т/га). Якість отриманого зерна кукурудзи

у цих варіантах дослідів теж була найвищою. У варіантах, де попередником була конюшина та горох, відмічали вміст білка у межах 9,9–10,3%, жиру — 4,4–4,5, крохмалю — 55%.

Найвищий рівень урожайності відмічено у варіантах, де попередниками були горох та конюшина за інокуляції *Azotobacter vinelandii* 12M. Для згаданих вище варіантів приріст врожаю становив 0,14 і 0,1 т/га відповідно. Окрім позитивного показника приросту врожаю у цих варіантах дослідів відмічали найвищі показники якості отриманого зерна кукурудзи. А саме — у варіанті, де попередником була конюшина та застосовували передпосівну інокуляцію *Azotobacter vinelandii* 12M, отримане зерно містило білка 10,6%, жиру — 4,5, крохмалю — 57%. У варіанті, де попередником був горох та інокуляція *Azotobacter vinelandii* 12M, отримали зерно кукурудзи з умістом білка на рівні 10,4%, жиру — 4,6, крохмалю — 58%.

У варіанті дослідів, де попередником була пшениця озима, не виявлено вплив попередника на врожайність кукурудзи. Якість отриманого зерна кукурудзи у варіанті, де по-

Таблиця 3

Врожайність кукурудзи залежно від попередника та передпосівної інокуляції насіння культурою штаму *Azotobacter vinelandii* 12M (середнє за 2012–2016 рр.)

Попередник	Урожайність кукурудзи, т/га	
	Без інокуляції	Інокуляція штамом <i>Azotobacter vinelandii</i> 12M
Кукурудза	6,34	6,42
Пшениця озима	6,47	6,47
Горох	6,65	6,79
Конюшина	6,78	6,88
НІР ₀₅	0,09	

Таблиця 4

Якість зерна кукурудзи, залежно від попередника та передпосівної інокуляції насіння штамом *Azotobacter vinelandii* 12M (середнє за 2012–2016 рр.)

Попередник	Вміст у зерні, %					
	Без інокуляції			Інокуляція штамом <i>Azotobacter vinelandii</i> 12M		
	білка	жиру	крохмалю	білка	жиру	крохмалю
Кукурудза	9,4	4,2	53	9,7	4,3	54
Пшениця озима	9,4	4,5	52	9,5	4,4	55
Горох	9,9	4,4	55	10,4	4,6	58
Конюшина	10,3	4,5	55	10,6	4,5	57
НІР ₀₅	0,12	0,08	0,05	0,09	0,08	0,03

передник пшениця озима, відмічали найнижчий рівень вмісту білка 9,5%, жиру — 4,4, крохмалю — 55%.

Отже, отримані результати врожайності та якості зерна кукурудзи корелюють із даними рівня азотфіксації та доводять, що передпосівна інокуляція посівного матеріалу штамом *Azotobacter vinelandii* 12M сприяє не лише активізації процесу азотфіксації у кореневій зоні рослин, а й збільшенню врожаю та отриманню якісного зерна.

Висновки. Максимальний рівень інтродукції штаму *Azotobacter vinelandii* 12M (100%) у ризосфері рослин кукурудзи відмічали у варіанті беззмінного висіву кукурудзи. Збільшення чисельності азотобактера становило 36,5%. Для варіанта досліджу, де попередником була конюшина, фіксували найнижчий показник приживання азотобактера у ризосфері кукурудзи (12,4%), але найвищий показник чисельності азотобактера у агроценозі (без інокуляції — 75,8%, за інокуляції — 88,2%).

Рівень азотфіксації в ризосферному ґрунті рослин кукурудзи у фазі викидання волоті залежав від передпосівної інокуляції насіння

культурою штаму *Azotobacter vinelandii* 12M. У досліджуваному агробіоценозі, найвищий рівень азотфіксації відмічали для варіантів де попередниками були горох і кукурудза. Виявлено, що рівень азотфіксації в ризосферному ґрунті рослин кукурудзи у фазі молочної стиглості був нижчим порівняно з фазою викидання волоті та не залежав від передпосівної інокуляції. Найвищий рівень азотфіксації у фазі молочної стиглості фіксували у варіантах досліджування кукурудзи після бобових попередників (горох і конюшина) — 30,16 і 32,34 ммоль етилену/г сух. ґрунту/год.

Вирощування кукурудзи після бобових культур (горох, конюшина) із передпосівною інокуляцією насіння штамом *Azotobacter vinelandii* 12M забезпечило отримання найвищого приросту врожаю зерна — 0,14 і 0,10 т/га відповідно. Також встановлено, що якість отриманого зерна кукурудзи незалежно від інокуляції *Azotobacter vinelandii* 12M була кращою у варіантах, де попередником були горох та конюшина.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна служба статистики України. URL: <http://ukrstat.gov.ua>
2. Воронин В.И., Стулин А.Ф., Блеканов Д.Н. и др. Оценка продуктивности кукурузы в условиях выращивания ее в севообороте и в виде монокультуры при длительном применении удобрений. *Успехи современной науки*. 2017. № 7. С. 18–25.
3. Стахурлова Л.Д., Стулин А.Ф., Громовик А.И. Продуктивность кукурузы в условиях длительного применения различных агротехнических приемов на черноземах выщелоченных. *Вестник ВГУ*. 2015. № 2. С. 92–95.
4. Макаров Р.Ф., Архипова В.В. Удобрения и продуктивность кукурузы. *Кукуруза и сорго*. 1997. № 3. С. 5–6.
5. Дем'янюк О.С., Шацман Д.О. Агроекологічна та економічна оцінка застосування ґрунтових і страхових гербіцидів при вирощуванні кукурудзи на зерно в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Збалансоване природокористування*. 2019. № 2. С. 57–64.
6. Van Peer P., Punte H.L.M., De Weger L.A., Schippers B. (1990). Characterization of root surface and endorhizosphere *Pseudomonas* in relation to their colonization of roots. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 2462–2470.
7. Normander B., Prosser J.I. (2000). Bacterial origin and community composition in the barley phytosphere as a function of habitat and presowing conditions. *Appl. Environ. Microbiol.* 66(10): 4372–4377.
8. Van Overbeek L.S., Van Elsas J.D. (1995). Root exudate-induced promoter activity in *Pseudomonas fluorescens* mutants in the wheat rhizosphere. *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 890–898.
9. Боронин А.М. Ризосферные бактерии рода *Pseudomonas*, способствующие росту и развитию растений. *Соросовский образовательный журнал*. 1998. № 10. С. 25–32.
10. Симочко Л.Ю., Дем'янюк О.С. Мікробіом ґрунту культурних рослин за різних агротехнологій. *Агроекологічний журнал*. 2018. № 2. С. 87–92.
11. Мишустин Е.Н., Шильникова В.К. Биологическая фиксация молекулярного азота. Москва: Наука, 1968. 530 с.
12. Андреев Е.И., Валагурова Е.В. Основы экологии почвенных микроорганизмов. Киев: Наукова думка, 1992. 224 с.
13. Коць С.Я., Моргул В.В., Патька В.Ф. и др. Биологическая фиксация азота: ассоциативная азот-фиксация: монография. Т. 4. Киев: Логос, 2014. 412 с.
14. Моргул В.В., Коць С.Я., Кириченко О.В. Ростстимулирующие ризобактерии и их практическое применение. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2009. Т. 41, № 3. С. 187–207.
15. Кириченко Е.В., Титова Л.В., Коць С.Я. Эффективность бактериализации семян пшеницы яровой новым штаммом *Azotobacter chroococcum* T79. *Аграрна наука*. 2010. № 1. С. 21–24.

16. Шерстобоева О.В., Вага Л.І. Біорізноманіття та антагоністична активність бактерій роду *Azotobacter* у ґрунтах Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*. 2012. № 1. С. 61–64.
17. Шерстобоева О.В., Вага Л.І. Вплив системи удобрення на біологічну активність штамів азотобактера з ґрунту агрофітоценозу пшениці озимої. *Збалансоване природокористування*. 2012. № 1. С. 79–83.
18. Tejera N., Lluch C., Martínez-Toledo M.V., González-López J. (2005). Isolation and characterization of *Azotobacter* and *Azospirillum* strains from the sugarcane rhizosphere. *Plant and Soil*. 270(1–2): 223–232.
19. Берцова Ю.В., Демин О.В., Богачев А.В. Дыхательная защита нитрогеназного комплекса у *Azotobacter vinelandii*. *Успехи биологической химии*. 2005. Т. 45. С. 205–234.
20. Eckert B., Weber O.B., Kirchhof G. et al. (2001). *Azospirillum dobereineriae* sp. nov., a nitrogen-fixing bacterium associated with the C4-grass *Miscanthus*. *Intern. J. Syst. Evol. Microbiol.* 51(1): 17–26.
21. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Колос, 1985. 351 с.
22. Шерстобоева О.В., Федак Л.І. Поліфункціональна активність азотобактеру в ґрунтах Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*. 2009. Спецвипуск (червень). С. 351–354.
23. Волкогон В.В., Надкернична О.В., Токмакова Л.М. та ін. Експериментальна ґрунтова мікробіологія; за ред. В.В. Волкогона. Київ: Аграрна наука, 2010. 464 с.
24. Методика державної науково-технічної експертизи сортів рослин. Методи визначення показників якості продукції рослинництва; за ред. С.О. Ткачик. Київ, 2014. 167 с.
25. Demyanyuk O.S., Sherstoboeva O.V., Bunas A.A., Dmitrenko O.V. (2018). Effects of different fertilizer systems and hydrothermal factors on microbial activity in the chernozem in Ukraine. *Biosystems diversity*. 26(4): 309–315.
26. Посьтпанов Г.С. Азотфиксация бобовых культур в зависимости от почвенно-климатических условий. Минеральный и биологический азот в земледелии СССР. Москва: Наука, 1985. С. 75–84.
27. Коць С.Я. Роль біологічного азоту у підвищенні продуктивності сільськогосподарських рослин. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2001. Т. 33. № 3. С. 208–215.

Інформація про авторів

Шерстобоева Олена Володимирівна — доктор сільськогосподарських наук, професор, головний науковий співробітник, Інститут агроекології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, 03143, Україна; e-mail: ovsher@ukr.net).

Бунас Альона Анатоліївна — кандидат біологічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник, Інститут агроекології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, 03143, Україна; e-mail: bio-206316@ukr.net).

Дем'янюк Олена Сергіївна — доктор сільськогосподарських наук, професор, заступник директора з наукової роботи, Інститут агроекології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, 03143, Україна; e-mail: demolena@ukr.net).

O.V. Sherstoboeva
Doctor of Agriculture, Professor
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS
(Ukraine, Kyiv; e-mail: ovsher@ukr.net),

A.A. Bunas
PhD, Senior Researcher
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS
(Ukraine, Kyiv; e-mail: bio-206316@ukr.net),

O.S. Demyanyuk
Doctor of Agriculture, Professor
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS
(Ukraine, Kyiv; e-mail: demolena@ukr.net)

THE EFFECT OF PREVIOUS AND PRESUSPENDED INOCULATION OF SEEDS BY *AZOTOBACTER VINELANDII* 12M ON MAIZE PRODUCTIVITY AND ACTIVITY OF NITROGEN FIXATION PROCESS

Recent years in Ukraine are characterized by an increase in acreage under maize. The attention of agricultural producers is focused on the application of the latest technologies and intensification of production, which will allow not only to increase the yield, but also to improve the quality of grain. Traditional maize cultivation technology involves the introduction of high doses of mineral fertilizers and chemical plant protection products. However, breaches of technology, neglect of recommendations and insufficient

scientific justification can cause dangerous environmental impacts for agroecosystems. Therefore, more and more often in modern technologies of cultivation of agricultural crops it is possible to find ecologically safe elements based on the use of biological preparations. The effect of different types of precursors and pre-sowing seed inoculation of *Azotobacter vinelandii* 12M strain on nitrogen fixation activity and maize productivity was determined in the interim field experiment. It was found that the conditions formed in the chernozem typical after growing legumes are favorable for the functioning of the native nitrogen-fixing microbiota and the survival of the introduced strain *Azotobacter vinelandii* 12M. In the rhizosphere of maize plants the level of nitrogen fixation activity was higher by 3% in the variant where the clover was predecessor and by 17% where the peas were, compared with the same variants, but without inoculation. The complex of properties possessed by the strain *Azotobacter vinelandii* 12M, namely the ability to absorb inert molecular nitrogen, the production of phytohormones and the manifestation of antagonism against phytopathogens, made it possible to obtain maize grain yields of 6.79 and 6.88 t/ha, respectively. clover respectively. Protein content increased by 0.3–0.5%, fat (by 0.2%) and starch (by 2–3%). In the rhizosphere of maize plants grown after winter wheat, the activity of the nitrogen fixation process was half that of the leguminous precursors. The yield and quality of the obtained grain in the variants of constant cultivation of maize and cultivation after winter wheat were lower by 0.1–1% than after leguminous precursors.

Keywords: maize, strain *Azotobacter vinelandii* 12, predecessor, chernozem typical, inoculation, nitrogen fixation, yield.

REFERENCES

1. State Statistics Service of Ukraine. URL: <http://ukrstat.gov.ua>
2. Voronin, V.I., Stulin, A.F., Blekanov, D.N., Podrezov, P.I., Drachev, N.A. (2017). Otsenka produktivnosti kukuruzy v usloviyakh vyrashchivaniya eye v sevooborote i v vide monokultury pri dlitelnom primeneni-ii udobreniy [Evaluation of valuation of maize productivity in conditions of its crop rotation and monoculture with long-term fertilizer application]. *Uspekhi sovremennoy nauki [Advances in Modern Science]*. 7: 18–25. [In Russ.].
3. Stakhurlova, L.D., Stulin, A.F., Gromovik, A.I. (2015). Produktivnost kukuruzy v usloviyakh dlitelnogo primeneniya razlichnykh agrotekhnicheskikh priyemov na chernozemakh vyshchelochennykh [The productivity of corn under the conditions of prolonged use of various agricultural techniques on leached chernozems]. *Vestnik VGU [Bulletin of the Voronezh State University]*. 2: 92–95. [In Russ.].
4. Makarov, R.F., Arkhipova, V.V. (1997). Udobreniya i produktivnost kukuruzy [Fertilizers and corn productivity]. *Kukuruza i sorgo [Corn and sorghum]*. 3: 5–6. [In Russ.].
5. Demyanyuk, O.S., Shatsman, D.O. (2019). Ahroekolohichna ta ekonomichna otsinka zastosuvannya gruntovykh i strakhovykh herbitsydiv pry vyroshchuvanni kukurudzy na zerno v umovakh Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Agroecological and economic assessment of the application of soil and post emergent herbicides in the cultivation of corn for grain in the conditions of the left-bank forest-steppe of Ukraine]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannya [Balanced nature using]*. 2: 57–64. [In Ukr.].
6. Van Peer, P., Punte, H.L.M., De Weger, L.A., Schippers, B. (1990). Characterization of root surface and endorhizosphere *Pseudomonas* in relation to their colonization of roots. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 2462–2470.
7. Normander, B., Prosser, J.I. (2000). Bacterial origin and community composition in the barley phytosphere as a function of habitat and presowing conditions. *Appl. Environ. Microbiol.* 66(10): 4372–4377.
8. Van Overbeek, L.S., Van Elsas, J.D. (1995). Root exudate-induced promoter activity in *Pseudomonas fluorescens* mutants in the wheat rhizosphere. *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 890–898.
9. Boronin, A.M. (1998). Rizosfernyye bakterii roda *Pseudomonas*, sposobstvuyushchiye rostu i razvitiyu rasteniy [Rhizospheric bacteria of the genus *Pseudomonas*, contributing to the growth and development of plants]. *Sorosovskiy obrazovatelnyy zhurnal [Soros educational journal]*. 10: 25–32. [In Russ.].
10. Symochko, L., Demyanyuk, O. (2018). Mikrobiom gruntu kulturnykh roslyn za riznykh ahrotekhnolohii [Soil microbiome of cultural plants under different agrotechnologies]. *Ahroekolohichniy zhurnal [Agroecological journal]*. 2: 87–92. [In Ukr.].
11. Mishustin, E.N., Shilnikova, V.K. (1968). Biologicheskaya fiksatsiya molekulyarnogo azota [Biological fixation of molecular nitrogen]. Moskva: Nauka. 530. [In Russ.].
12. Andreyuk, E.I., Valagurova, E.V. (1992). Osnovy ekologii pochvennykh mikroorganizmov [Fundamentals of ecology of soil microorganisms]. Kyiv: Naukova dumka. 224. [In Russ.].
13. Kots, S.Ya., Morgun, V.V., Patyka, V.F. et al. (2014). *Biologicheskaya fiksatsiya azota: assotsiativnaya azotfiksatsiya: monografiya. T. 4 [Biological nitrogen fixation: associative nitrogen fixation: monograph]*. Kyiv: Logos: 412. [In Russ.].
14. Morgun, V.V., Kots, S.Ya., Kirichenko, O.V. (2009). Roststimuliruyushchiye rizobakterii i ikh prakticheskoye primeneniye [Growth-promoting rhizobacteria and their practical use]. *Fiziologiya i biokhimiya kulturnykh rasteniy [Physiology and biochemistry of cultivated plants]*. 41(3): 187–207. [In Russ.].

15. Kirichenko, E.V., Titova, L.V., Kots, S.Ya. (2010). Effektivnost bakterizatsii semyan pshenitsy yarovoy novym shtammom *Azotobacter chroococcum* T79 [The effectiveness of bacterization of wheat seeds in spring with a new strain of *Azotobacter chroococcum* T79]. *Agrarna nauka [Agricultural science]*. 1: 21–24. [In Russ.].
16. Sherstoboeva, O.V., Vaha, L.I. (2012). Bioriznomanittia ta antahonistychna aktyvnist bakterii rodu *Azotobacter* u gruntakh Lisostepu Ukrainy [Biodiversity and antagonistic activity of bacteria of the genus *Azotobacter* in the forest-steppe soils of Ukraine]. *Ahroekologichnyi zhurnal [Agroecological journal]*. 1: 61–64. [In Ukr.].
17. Sherstoboeva, O.V., Vaha, L.I. (2012). Vplyv systemy udobrennia na biolohichnu aktyvnist shtamiv azotobaktera z gruntu ahrofitotsenozu pshenytsi ozymoi [Influence of fertilizer system on biological activity of azotobacter strains from winter wheat agrophytocenosis]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannya [Balanced nature using]*. 1: 79–83. [In Ukr.].
18. Tejera, N., Lluch, C., Martínez-Toledo, M.V., González-López, J. (2005). Isolation and characterization of *Azotobacter* and *Azospirillum* strains from the sugarcane rhizosphere. *Plant and Soil*. 270(1–2): 223–232.
19. Bertsova, Yu.V., Demin, O.V., Bogachev, A.V. (2005). Dykhatelnaya zashchita nitrogenaznogo kompleksa u *Azotobacter vinelandii* [Respiratory protection of the nitrogenase complex in *Azotobacter vinelandii*]. *Uspekhi biologicheskoy khimii [Advances in biological chemistry]*. 45: 205–234. [In Russ.].
20. Eckert, B., Weber, O.B., Kirchhof, G. et al. (2001). *Azospirillum dobereineriae* sp. nov., a nitrogen-fixing bacterium associated with the C4-grass *Miscanthus*. *Intern. J. Syst. Evol. Microbiol.* 51(1): 17–26.
21. Dospikhov, B.A. (1985). *Metodyka polevoho opyta [Methodology of the field experience]*. Moskva: Kolos: 351. [In Russ.].
22. Sherstoboeva, O.V., Fedak, L.I. (2009). Polifunktsionalna aktyvnist azotobakteru v gruntakh Lisostepu Ukrainy [Polyfunctional activity of azotobacter in Soils of the Forest-Steppe of Ukraine]. *Ahroekologichnyi zhurnal [Agroecological journal]*. Spetsvypusk: 351–354. (In Ukr.).
23. Volkohon, V.V. (Ed), Nadkernychna, O.V., Tokmakova, L.M. et al. (2010). *Ekspyrymentalna gruntova mikrobiolohiia [Experimental soil microbiology]*. Kyiv: Agrarian Science: 464. [In Ukr.].
24. Tkachyk, S.O. (Ed) (2014). *Metodyka derzhavnoi naukovy-tekhnichnoi ekspertyzy sortiv roslyn. Metody vyznachennia pokaznykiv yakosti produktsii roslynnytstva [Methods of state scientific and technical examination of plant varieties. Methods for defining crop quality indicators]*. Kyiv: 167. [In Ukr.].
25. Demyanyuk, O.S., Sherstoboeva, O.V., Bunas, A.A., Dmitrenko, O.V. (2018). Effects of different fertilizer systems and hydrothermal factors on microbial activity in the chernozem in Ukraine. *Biosystems diversity*. 26(4): 309–315.
26. Posypanov, G.S. (1985). Azotfiksiatsiya bobovykh kultur v zavisimosti ot pochveno-klimaticheskikh rusloviy. *Mineralnyy i biologicheskyy azot v zemledelii SSSR [Nitrogen fixation of legumes depending on soil and climatic channels. Mineral and biological nitrogen in the agriculture of the USSR]*. Moskva: Nauka: 75–84. [In Russ.].
27. Kots, S.Ya. (2001). Rol biolohichnogo azotu u pidvyshchenni produktyvnosti silskohospodarskykh roslyn [The role of biological nitrogen in improving the productivity of agricultural plants]. *Fiziologiya i biokhimiya kulturnykh rasteniy [Physiology and biochemistry of cultivated plants]*. 33(3): 208–215. [In Ukr.].

Authors

Sherstoboeva Olena — Doctor of Agriculture, Professor, Principal Research Scientist, Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (12 Metrologichna Str., Kyiv, 03143, Ukraine; e-mail: ovsher@ukr.net).

Bunas Alona — PhD, Senior Researcher, Senior Research Scientist, Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (12 Metrologichna Str., Kyiv, 03143, Ukraine; e-mail: bio-206316@ukr.net).

Demyanyuk Olena — Doctor of Agriculture, Professor, Deputy director for Science, Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (12 Metrologichna Str., Kyiv, 03143, Ukraine; e-mail: demolena@ukr.net)