

ВПЛИВ БІОЛОГІЧНО МОДИФІКОВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ НА ВРОЖАЙНІСТЬ КАРТОПЛІ (*SOLANUM TUBEROSUM*) ТА ЯКІСТЬ БУЛЬБ

Т.С. Сасіна

Інститут сільськогосподарської мікробіології
та агропромислового виробництва НААН (м. Чернігів, Україна)
e-mail: taniateri5@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4021-9202

Досліджено можливості ефективного поєднання агрономічно корисних бактерій із мінеральними добривами за вирощування картоплі (*Solanum tuberosum*) з метою підвищення врожайності культури та якості отриманої продукції. Ефективність збагачених мікроорганізмами мінеральних добрив досліджували впродовж 2023–2024 рр. у польовому дрібноділянковому досліді за вирощування картоплі сорту Беллароза. Облік урожаю картоплі проводили поділянково прямим зважуванням. Визначали загальну врожайність культури та масу товарних бульб. Аналізували декілька показників якості одержаної в польових дослідках продукції, зокрема вміст нітратів та крохмалю в бульбах картоплі. Облік урожайності картоплі свідчить про позитивну дію біологічної модифікації азотоски. За збагачення *Bacillus cereus* 3/7 відмічено зростання показників на 28,7% у 2023 р. і на 30,1% у 2024 р. Істотний приріст урожайності відмічено у варіанті з *B. atyloliquefaciens* B-22 (21,9% і 24,7%). За застосування *B. atyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 приріст урожайності фіксували від 8% до 14,9%. Однак у 2023 р. приріст маси товарних бульб за використання збагаченого добрива є помітно вищим, якщо порівняти з показниками загальної врожайності культури. Так, за використання *B. atyloliquefaciens* B-22 урожайність товарних бульб збільшилась на 29,2%, *B. cereus* 3/7 — 39,4%, *B. atyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 — 12,9%. Однак у 2024 р. приріст маси товарних бульб картоплі у варіантах зі збагаченням хоча і був істотним, але нижчим, ніж загальної врожайності. За визначення вмісту крохмалю у бульбах картоплі достовірно підвищення показників відмічено у варіанті зі збагаченням азотоски *B. atyloliquefaciens* B-22 — на 8,1% порівняно з контролем. Уміст нітратів зменшувався за використання всіх застосованих бактеріальних штамів. Найкращий результат спостерігали для варіанта з *B. atyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13. Отримані дані свідчать про ефективність біологічної модифікації мінеральних добрив за вирощування картоплі та перспективність подальших досліджень.

Ключові слова: *Bacillus atyloliquefaciens*, *Bacillus cereus*, агрономічно корисні бактерії, PGPB, біомінерали.

ВСТУП

Останніми роками дедалі більшої поширеності набуває застосування мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Впровадження біологічних препаратів на основі агрономічно корисних мікроорганізмів має низку переваг, серед яких вагоме значення мають підвищення врожайності та покращання якості рослинної продукції, оскільки саме ці критерії є вирішальними для виробників під час вибору агроприймів. Однак не менш важливим є вплив препаратів на основі PGPB на трансформацію

сполук біогенних елементів. Підсилене засвоєння інокульованими рослинами поживних речовин дає можливість зменшити норми застосування мінеральних добрив і водночас обмежити їх негативний вплив на довкілля. Підтвердженням цьому є численні дослідження, результати яких свідчать про значне зростання продуктивності сільськогосподарських культур за використання інокуляції [1–6].

Термін «ризобактерії, що стимулюють ріст рослин (PGPR)», було застосовано вперше ще наприкінці XX ст. Ним описували ізольовані ризосферні псевдомонади, які після інокуляції насіння швидко ко-

лонізували коріння рослин і збільшували врожайність [7; 8]. Згодом концепція PGPR стала розповсюджуватись на будь-які інші бактерії (PGPB) або будь-які мікроорганізми (PGPM), що виявляють ознаки стимуляції росту рослин (PGP). Серед корисних властивостей PGPB виділяють продукування сидерофорів, солюбілізацію фосфатів і калію, синтез фітогормонів і 1-аміноциклопропан-1-карбоксилат (ACC) дезамінази (яка здатна стимулювати ріст і розвиток рослин, та знижуючи рівень етилену зменшувати стрес-солоності та посухи у рослин). Важливою також є здатність до синтезу речовин, які зменшують чи запобігають шкідливому впливу фітопатогенних організмів [9–11].

У той самий час для агровиробників стримувальним чинником впровадження мікробних препаратів у практику залишається спосіб їх використання. Найчастіше це оброблення насіння, що не завжди є прийнятним, оскільки створює додаткову технологічну процедуру.

У літературі останнім часом з'явилися дані щодо можливості ефективного поєднання агрономічно цінних мікроорганізмів із мінеральними добривами [12–14]. Це поодинокі публікації, автори яких пропонують збагачення мінеральних добрив PGPB шляхом нанесення суспензій мікроорганізмів або їх ліофілізованих форм безпосередньо на гранули добрив.

Метою роботи є дослідження впливу біологічної модифікації мінеральних добрив на врожайність картоплі (*Solanum tuberosum*) та якість бульб.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У 2017 р. С. Ахмад та ін. [12] використали збагачені добрива за вирощування пшениці в умовах вегетаційних дослідів, що сприяло покращанню ростових параметрів і зростанню врожайності культури. Авторів дослідження збагачували діамоній фосфат і сечовину бактеріями роду *Bacillus*, що поліпшило врожайність зерна пшениці на 20%.

В Узбекистані співробітниками Інституту мікробіології внаслідок проведених

лабораторних досліджень виявлено позитивну дію застосування модифікованих мінеральних добрив за вирощування проростків червоного гірконого перцю. Використання мінеральних добрив, збагачених *B. subtilis* BS-26, стимулює коренеутворення, зростання та розвиток проростків. Згідно з наведеними авторами даними, довжина коренів проростків була на 2,2 см більша щодо контрольних варіантів, а середня загальна сира вага проростка червоного гірконого перцю була вищою за контроль на 0,9 г [13].

Такі науковці з Польщі, як Л. Сас-Паст, У. Смолінська, Б. Ковальська [14] досліджують використання збагачених мікроорганізмами мінеральних добрив за вирощування полуниці садової. Їх дослідження доводять, що використання таких добрив, впливає на популяції ґрунтових мікроорганізмів у ризосфері рослин суниці, а саме збільшення чисельності бактерій, а саме фосфор та актиноміцети. Європейські дослідники даного напрямку Г.Р. Мулас із співавт. [15] є авторами патенту, в якому пропонують збагачення мінеральних добрив бульбочковими бактеріями *Rhizobium leguminosarum*. Згідно з представленими ними даними, оброблення добрив композиціями бактерій покращило параметри сухої маси (до 53%) та максимального росту (до 15%) рослин ячменю у вегетаційному досліді.

В Україні за цим напрямком досліджень представлено два патенти. В одному автори пропонують фосфатмобілізуючу та ріст-стимуляторну бактерію *Paenibacillus polymyxa* KB нанести на гранули мінеральних добрив (або включити безпосередньо до маси добрив за їх гранулювання) [16], а в іншому цією самою бактерією рекомендовано збагачувати рідке мінеральне добриво (КАС) [17]. Згідно з першим патентом приріст урожаю кукурудзи від застосування біомінеральних добрив сягав 20,8%, а вміст білка в зерні кукурудзи зростав на 0,3–0,8% залежно від варіантів сполучень біологічного і мінерального чинників. За збагачення рідкого добрива приріст урожаю зерна кукурудзи становив 18,4%, збільшення

вмісту білка в зерні кукурудзи відмічено на рівні 0,4%.

У 2022 р. нами опубліковано статтю, в якій повідомляється про достовірне підвищення врожайності картоплі в трирічному експерименті за використання добрив, збагачених *Trichoderma harzianum* PD3 і *Bacillus* sp. 102. За застосування мікроміцета *T. harzianum* PD3 урожайність підвищувалась на 20% і 17,9%. За збагачення бактерією *Bacillus* sp. 102 приріст з 2020 р. по 2022 р. становив 24,5%, 20, 24,7% [18].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ефективність збагачених мікроорганізмами мінеральних добрив досліджували у 2023–2024 рр. за умов польового дрібноділянкового досліду на дерново-підзолистому окультуреному пилювато-супіщаному ґрунті (рН_{сол.} — 5,8; вміст гумусу — 1,1%; азоту, легкогідролізного — 45 мг/кг; Р₂О₅ — 170 мг/кг; К₂О — 62 мг/кг ґрунту) за вирощування картоплі сорту Белла-роза.

Повторність у дослідах — шестикратна. Розміщення ділянок у дослідах рендомізоване. Площа однієї ділянки в 2023 р. — 9,8 м², у 2024 р. — 17,5 м². Попередник картоплі у досліді — соя. Добриво вносили локально (у рядки), один раз за посадки бульб. Мінеральне добриво азофоску (N-16, P-16, K-16) під картоплю застосовували у нормі N₈₀P₈₀K₈₀.

Бактеріальні суспензії на добриво наносили вручну (вливали суспензію до гранул азофоски та ретельно перемішували). Розрахункова кількість бактеріальних клітин на гранулах добрив знаходилась у межах 2,5–3,0×10⁷ КУО/г. Добриво для контрольного варіанта обробляли водою (для чистоти експерименту). Отримані таким способом варіанти збагаченої азофоски підсушували протягом 24 год за кімнатної температури і вносили в ґрунт відповідно до схеми польового досліду.

Схема досліду (2023–2024 рр.):

1. Контроль (N₈₀P₈₀K₈₀);
2. N₈₀P₈₀K₈₀ + добриво, збагачене *B. amyloliquefaciens* B-22;

3. N₈₀P₈₀K₈₀ + добриво, збагачене *B. cereus* 3/7;

4. N₈₀P₈₀K₈₀ + добриво, збагачене *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13.

Використані в дослідах бактеріальні штами виділені з поверхні гранул мінеральних добрив у лабораторії ґрунтової мікробіології Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН. Для виділення бактерій із поверхні добрив здійснювали висів водних розведень змивів із гранул на середовище МПА (до наважок добрив додавали стерильну воду та збовтували, далі робили розведення). Добрива отримували від різних комерційних структур, які реалізують їх у промислових масштабах. *B. amyloliquefaciens* B-22 виділено з поверхні гранул азофоски, *B. cereus* 3/7 — нітроамофоски, *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 — сечовини.

Погодні умови 2023 р. були загалом сприятливими для вегетації рослин картоплі і формування врожайності культури. Рік характеризувався достатньою забезпеченістю вологою й порівняно незначними відхиленнями температурних показників від середніх багаторічних. У 2024 р. відмічено жарку посушливу погоду у липні, що проявлялась аномально високими температурами, тривалою посухою, передчасним відмиранням вегетативної маси рослин та зупинкою динаміки наростання врожаю.

Облік урожаю картоплі (*Solanum tuberosum*) здійснювали поділянково прямим зважуванням. Визначали загальну врожайність культури та масу товарних бульб. Товарними вважали бульби масою більші за 70 г. Отримані значення перераховували в показники врожайності, т/га.

Вміст нітратів у бульбах картоплі визначали іон селективним методом, крохмалю — поляриметричним методом за Еверсом [19].

Відмінності між варіантами за визначення показників якості продукції аналізували за допомогою середнього арифметичного значення та стандартного відхилення, розрахованих за використання програми

MS Excel Analysis Tool Pak. Урожайність картоплі аналізували за дотримання алгоритму ANOVA з рівнем імовірності $P < 0,05$ за допомогою програмного забезпечення Statistica 6.0 (Stat Soft Inc., США).

**РЕЗУЛЬТАТИ
ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ**

Поверхня гранул мінеральних добрив є доволі агресивним хімічним середовищем. Штами агрономічно корисних бактерій, виділених із природних середовищ для нанесення на мінеральні добрива, можуть виявитись слабо адаптованими до виживання в цьому агресивному середовищі, або не адаптованими взагалі. Це, своєю чергою, може бути причиною швидкої загибелі на гранулах мінеральних добрив та обмежити терміни завчасної обробки добрив через різке зниження на гранулах кількості бактеріальних клітин. Тому для досліджень вирішили обрати бактерії, виділені безпосередньо з поверхні гранул мінеральних добрив. З цією метою досліджували ступінь контамінації гранул різних видів мінеральних добрив. Всього було досліджено 112 бактеріальних ізолятів, серед яких переважали чотири морфотипи. Проведення ідентифікації представників цих морфотипів дало можливість віднести бактерії до видів *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum*, *Micro-*

coccus sp. та *Bacillus cereus*. Усі ізольовані бактерії перевірили на наявність у них азотфіксувальних, фосфатмобілізуючих, целюлозолітичних та рістстимулювальних властивостей. На основі результатів аналізу властивостей досліджуваних бактерій для подальших досліджень відібрано три штами, що характеризуються комплексом потенційно важливих в агрономічному відношенні активностей: рістстимулювання, розчинення мінеральних сполук фосфору, деградації целюлози. Саме ці штами у подальшому використовували для збагачення добрив за вирощування *Solanum tuberosum*.

Облік загальної врожайності картоплі у 2023 р. за впливу біологічно модифікованого мінерального добрива свідчить про позитивну дію на рослини. Азофоска, збагачена *B. cereus* 3/7, сприяла зростанню врожайності на 28,7% (табл. 1). Також спостерігали істотний приріст урожайності у варіанті з *B. amyloliquefaciens* B-22 — на 21,9%. За застосування *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 не відмічено достовірного збільшення показника.

У 2024 р. за використання *B. cereus* 3/7 для збагачення гранул азофоски також отримали найбільший показник зростання врожайності серед усіх досліджених штамів — 30,1%. Істотний приріст спостерігали і для *B. amyloliquefaciens* B-22, а саме 24,7%.

**Таблиця 1. Урожайність картоплі
за дії біологічно модифікованої азофоски, 2023–2024 рр.**

Варіанти дослідів	Загальна врожайність, т/га (2023 р.)	Приріст до контролю		Загальна врожайність, т/га (2024 р.)	Приріст до контролю	
		т/га	%		т/га	%
Контроль ($N_{80}P_{80}K_{80}$)	22,3	—	—	20,3	—	—
$N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене <i>B. amyloliquefaciens</i> B-22	27,2	4,9	21,9	25,3	5,0	24,7
$N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене <i>B. cereus</i> 3/7	28,7	6,4	28,7	26,4	6,1	30,1
$N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене <i>B. amyloliquefaciens</i> subsp. <i>plantarum</i> 5/13	24,1	1,8	8,0	23,3	3,0	14,9
$НР_{05}$	2,4			1,8		

Таблиця 2. Урожайність товарних бульб картоплі за дії біологічно модифікованої азотоски, 2023–2024 рр.

Варіанти дослідів	Урожайність товарних бульб, т/га (2023 р.)	Приріст до контролю		Урожайність товарних бульб, т/га (2024 р.)	Приріст до контролю	
		т/га	%		т/га	%
Контроль (N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀)	19,3	—	—	14,7	—	—
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ + добриво, збагачене <i>B. amyloliquefaciens</i> B-22	24,9	5,6	29,2	17,3	2,6	17,9
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ + добриво, збагачене <i>B. cereus</i> 3/7	26,9	7,6	39,4	18,9	4,2	28,6
N ₈₀ P ₈₀ K ₈₀ + добриво, збагачене <i>B. amyloliquefaciens</i> subsp. <i>plantarum</i> 5/13	21,8	2,5	12,9	16,1	1,4	9,7
НІР ₀₅	1,9			1,8		

За застосування *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 одержано найнижчі результати, проте кращі, ніж у 2023 р. — 14,9% (див. табл. 1).

Важливим показником є товарність продукції, на який також позитивно вплинуло завдяки дії біологічно модифікованої азотоски. В 2023 р. приріст маси товарних бульб за використання збагаченого добрива є помітно вищим, якщо порівняти з показниками загальної врожайності культури (табл. 2). Урожайність товарних бульб за дії *B. cereus* 3/7 збільшилася на 39,4% до рівня контрольного варіанта, а за впливу *B. amyloliquefaciens* B-22 — на 29,2%. За досліджуванним показником достовірне (хоча і найменше в досліді) зростання забезпечило також і використання добрива, з додаванням *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 — 12,9%. У 2024 р. відсоток приросту маси товарних бульб картоплі у варіантах зі збагаченням хоча і був істотним, проте нижчим, ніж загальної врожайності (див. табл. 2). До того ж відмічено збільшення загальної кількості бульб (товарних і не товарних) на одну рослину для варіантів зі збагаченням. Можливо не всі бульби, що зав'язались у рослині, досягли товарних розмірів, унаслідок погодних умов (сильна і тривала посуха).

Важливим показником отриманого врожаю є його якість. У 2023 р. досліджено

такі показники якості врожаю, як вміст крохмалю та нітратів. Крохмаль — основна складова бульб *Solanum tuberosum* та основний вуглевод, його вміст сягає 70–80% сухої речовини. У харчуванні людини він дуже цінний як джерело енергії. Саме тому вміст крохмалю є важливим нормованим показником якості сировини для виробництва картоплепродуктів [20]. За визначення вмісту крохмалю у бульбах картоплі достовірне зростання показників відмічено лише у варіанті зі збагаченням азотоски *B. amyloliquefaciens* B-22 (на 8,1%). У всіх інших варіантах спостерігали тенденцію до збільшення вмісту крохмалю в продукції (рис. 1).

Вміст нітратів у бульбах картоплі цінний показник, який необхідно контролювати за вирощування цієї культури. Хоча *Solanum tuberosum* вважається харчовим продуктом, що містить невелику кількість нітратів, проте підвищення їх вмісту в бульбах шкідливо для здоров'я. Допустимий рівень вмісту нітратів у бульбах картоплі сягає 250 мг/кг [20]. Загалом, уміст нітратів у бульбах картоплі був невисоким. У досліджуваних варіантах цей показник коливався у межах 89–30,5 мг/кг. Однак варто відмітити, що вміст нітратів зменшувався за використання всіх досліджених бактеріальних штамів (рис. 2). Найкращий результат спостерігали для варіанта

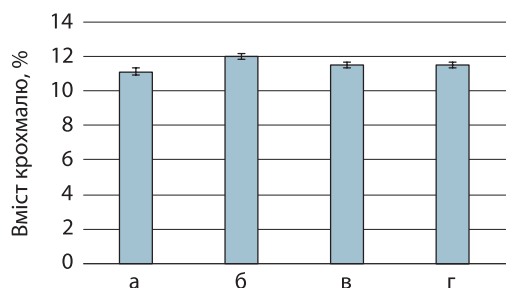


Рис. 1. Вплив біологічно модифікованих добрив на вміст крохмалю в бульбах картоплі, 2023 р.

Примітки: а — Контроль ($N_{80}P_{80}K_{80}$); б — $N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене *B. amyloliquefaciens* B-22; в — $N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене *B. cereus* 3/7; г — $N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13.

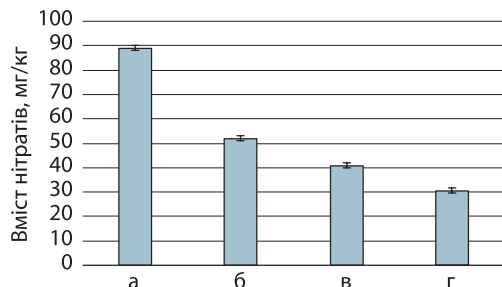


Рис. 2. Вплив біологічно модифікованих добрив на вміст нітратів у бульбах картоплі, 2023 р.

Примітки: а — Контроль ($N_{80}P_{80}K_{80}$); б — $N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене *B. amyloliquefaciens* B-22; в — $N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене *B. cereus* 3/7; г — $N_{80}P_{80}K_{80}$ + добриво, збагачене *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13.

з *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 — вміст нітратів знизився майже втричі порівняно з контролем.

Отримані результати потребують подальшого вивчення, зокрема механізмів впливу збагачених добрив на продукційний процес картоплі. Необхідно також визначити можливість збагачення різних видів мінеральних добрив, а також реакцію інших сільськогосподарських культур на застосування таких добрив. Цілом можливо може бути необхідність пошуку інших бактерій для збагачення добрив, оскільки універсальність одного штаму чи навіть виду мікроорганізму щодо взаємодії з рослинами різних видів сумнівна.

ВИСНОВКИ

Використання модифікованої *B. amyloliquefaciens* B-22, *B. cereus* 3/7 та *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 азотфоски сприяло зростанню врожайності картоплі та поліпшенню деяких показників якості одержаної продукції. Найбільший приріст загальної врожайності *Solanum tuberosum* за застосування бактерій спостерігали в 2024 р., показники приросту коливались у межах 14,9–30,1% залежно від штаму. Щодо 2023 р. — приріст був дещо меншим — від 8 до 28,7%. Використання біологічно модифікованої азотфоски також позитивно

вплинуло на товарність продукції, особливо в 2023 р. У цей рік випробувань приріст маси товарних бульб за застосування збагаченого добрива є помітно вищим, якщо порівняти з показниками загальної врожайності культури. Найбільше це проявилось за збагачення добрив *B. cereus* 3/7, у цьому варіанті врожайність товарних бульб збільшилася на 39,4% до рівня контрольного варіанта.

За дослідження двох важливих показників якості продукції, зокрема вміст крохмалю та нітратів, відмічено позитивний ефект від збагачення добрив бактеріями. Достовірне зростання вмісту крохмалю у бульбах картоплі відмічено у варіанті з додаванням азотфоски *B. amyloliquefaciens* B-22 (на 8,1%). Вміст нітратів зменшувався завдяки дії всіх бактеріальних штамів, проте найкращий результат спостерігали для варіанта з *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* 5/13 — вміст нітратів знизився майже втричі порівняно з контролем.

Одержані результати свідчать про перспективність подальших досліджень у цьому напрямі. Детальне вивчення механізмів впливу збагачених добрив на продукційний процес сільськогосподарських рослин та можливостей збагачення різних видів мінеральних добрив матиме важливе теоретичне й практичне значення.

ЛІТЕРАТУРА

- Martins, M. R., Jantalia, C. P., Reis, V. M., Döwich, I., Polidoro, J. C., Alves, B. J., Boddey, R. M., & Urquiaga, S. (2018). Impact of plant growth-promoting bacteria on grain yield, protein content, and urea-15 N recovery by maize in a Cerrado Oxisol. *Plant and Soil*, 422, 239–250. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3193-1>.
- Волкогон, В. В., & Москаленко, А. М. (Ред.). (2021). *Сільськогосподарська мікробіологія. Здобутки і перспективи*. Ніжин: ПП Лисенко М.М.
- Гадзало, Я. М., Патики, М. В., Заришняк, А. С., & Патики, Т. І. (2019). *Агробіологія з основами біотехнології*. Київ: Аграрна наука.
- Zeffa, D. M., Perini, L. J., Silva, M. B., de Sousa, N. V., Scapim, C. A., Oliveira, A. L. M., Amaral Júnior, A. T. D., & Azeredo Gonçalves, L. S. (2019). *Azospirillum brasilense* promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes. *PloS one*, 14(4), e0215332. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215332>.
- Etesami, H., Emami, S., & Alikhani, H. A. (2017). Potassium solubilizing bacteria (KSB): Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects A review. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(4), 897–911. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000400005>.
- Singh, D. P., Singh, V., Gupta, V. K., Shukla, R., Prabha, R., Sarma, B. K., & Patel, J. S. (2020). Microbial inoculation in rice regulates antioxidative reactions and defense related genes to mitigate drought stress. *Sci. Rep.*, 10, 4818. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61140-w>.
- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., ... Smith, D. L. (2018). Plant Growth-Promoting *Rhizobacteria*: Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture. *Frontiers in plant science*, 9, 1473. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>.
- Oo, K. T., Win, T. T., Khai, A. A., & Fu, P. C. (2020). Isolation, Screening and Molecular Characterization of Multifunctional Plant Growth Promoting Rhizobacteria for a Sustainable Agriculture. *American Journal of Plant Sciences*, 11, 773–792. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.116055>.
- Wang, Q., Dodd, I. C., Belimov, A. A., & Jiang, F. (2016). Rhizosphere bacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase increase growth and photosynthesis of pea plants under salt stress by limiting Na⁺ accumulation. *Funct Plant Biol*, 43(2), 161–172. DOI: <https://doi.org/10.1071/FP15200>.
- Ma, Y. (2019). Biotechnological potential of plant-microbe interactions in environmental decontamination. *Front Plant Sci*, 10, 1519. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01519>.
- Volpiano, C. G., Lisboa, V. B., & São José, J. F. B. (2022). Soil–plant–microbiota interactions to enhance plant growth. *Rev Bras Cienc Solo*, 46. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210098>.
- Ahmad, S., Imran, M., Hussain, S., Mahmood, S., Hussain, A., & Hasnain, M. (2017). Bacterial impregnation of mineral fertilizers improves yield and nutrient use efficiency of wheat. *Journal of the science of food and agriculture*, 97(11), 3685–3690. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8228>.
- Джуманиязова, Г., Нарбаева, Х., Махмудова, К., Закирьева, С., & Бабина, А. (2018). Влияние модифицированных с помощью бактериального удобрения Fosstim-3 биоминеральных удобрений на рост и развитие проростков красного горького перца. *Web of Scholar*, 6(24), 4. DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/12062018/5731.
- Sas-Pasz, L., Smolińska, U., Kowalska, B., Szczech, M., Lisek, A., Trzciński, P., ... Sumorok, B. (2021). Influence of microbiologically enriched mineral fertilizers on selected groups of microorganisms in the rhizosphere of strawberry plants. *Journal of Horticultural Research*, 29(1), 35–46. DOI: <https://doi.org/10.2478/johr-2021-0005>.
- Mulas, G. R., González, A. F., & Brañas, L. J. (2018). A complex mineral fertilizer comprising the *Rhizobium leguminosarum* microorganism, production process and uses thereof. (EP3085679B1). Date of publication and mention of the grant of the patent: 20.06.2018 *Bulletin* 2018/2.
- Скрипка, О. М., Токмакова, Л. М., & Волкогон, В. В. (2016). Спосіб виготовлення біомінеральних добрив з властивостями активізації процесу засвоєння рослинами сполук біогенних елементів з добрив. Патент України № 110252. Державна служба інтелектуальної власності України. URL: <https://ua.patents.su/15-110252-sposib-vigotovlennya-biomineralnikh-dobriv-z-vlastivostyami-aktivizacii-procesu-zasvoehnniya-roslinami-spoluk-biogennikh-elementiv-z-dobriv.html>.
- Скрипка, О. М., Токмакова, Л. М., & Волкогон, В. В. (2016). Комбіноване рідке біомінеральне добриво. Патент України № 110246. Державна служба інтелектуальної власності України. URL: <https://ua.patents.su/8-110246-kombinovane-ridke-biomineralne-dobriwo.html>.
- Волкогон, В. В., Дімова, С. Б., Сасіна, Т. С., Волкогон, К. І., Шевченко, Л. А., Штанько, Н. П., & Земська, І. А. (2022). Ефективність збагачених мікроорганізмами добрив за вирощування картоплі. *Сільськогосподарська мікробіологія*, 36, 3–12. DOI: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.36.3-12>.
- Ermakov, A. I. (1972). *Biochemical Research Methods of Plants*. Leningrad: Kolos Publishing House.
- Каленська, С. М., Кнап, Н. В., & Федосій, І. О. (2017). *Картопля: біологія та технологія вирощування: моногр.* Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД».

Стаття надійшла до редакції журналу 17.12.2024