ISSN 3083-7448 (PRINT)
ISSN 3083-7464 ONLINE)

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

УДК 581.557:631.811.98]:633.34
DOI https://doi.org/10.32782/3083-7464-2026-2-13-17



І. В. Гайдай
аспірант кафедри агробіології та біохімії,
Уманський національний університет (м. Умань, Україна)
E-mail: radak7484402@ukr.net
orcid.org/0009-0006-9331-6881

РИЗОБІАЛЬНИЙ АПАРАТ СОЇ ЗА ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ

Сучасна біологізація технологій вирощування зернобобових культур передбачає цілеспрямоване керування взаємодією рослин із корисними мікроорганізмами. Ефективність таких заходів визначається генотипом культури, властивостями мікробних компонентів, способом їх застосування та умовами вирощування. Мета статті – дослідити розрізнену й комплексну дію біологічних препаратів Ековітал і Біонеостим на формування ризобіального апарату сої. Дослідження проводили в польових і лабораторних умовах кафедри агробіології та біохімії Уманського національного університету впродовж 2024–2026 років у посівах сої сорту Аннушка. Польові досліди закладали систематичним методом у триразовій повторності. Схема досліду включала передпосівну обробку насіння Ековіталом (0,2 л на посівну норму), Біонеостимом (1,0 л/т) та їх сумішшю, а також позакореневе застосування Біонеостиму (1,5 л/га) окремо і на відповідних фонах передпосівної обробки. Насіння обробляли за добу до сівби, посіви – у фазу третього трійчастого листка культури. Кількість і масу бульбочок визначали кількісно-ваговим методом. Встановлено, що комбінування передпосівної інокуляції з позакореневим застосуванням біопрепарату посилювало формування бульбочкового апарату. Найвищі показники в обох досліджуваних фазах одержано за обробки насіння сумішшю Ековіталу і Біонеостиму з наступним внесенням Біонеостиму по вегетації: у середньому за 2024–2026 рр. показники ризобіального апарату складали 15–17 бульбочок/рослину та 0,31–0,42 г/рослину.
Ключові слова: *соя, біологічні препарати, ризобіальний апарат.*

I. V. Haidai
PhD student at the Department of Agrobiology and Biochemistry,
Uman National University (Uman, Ukraine)
E-mail: radak7484402@ukr.net
orcid.org/0009-0006-9331-6881

RHIZOBIAL APPARATUS OF SOYBEAN UNDER THE APPLICATION OF BIOLOGICAL PREPARATIONS

Modern biologization of grain-legume production increasingly relies on targeted management of plant–beneficial microorganism interactions. The effectiveness of such approaches depends on crop genotype, microbial components, application method, and growing conditions. The aim of the article was to investigate the individual and combined effects of the biological preparations Ekovital and Bioneostym on the formation of the soybean rhizobial apparatus. The study was conducted under field and laboratory conditions at the Department of Agrobiology and Biochemistry of Uman National University during 2024–2026 using the soybean cultivar Annushka. Field experiments were established by a systematic design with three replications. The treatments included pre-sowing seed application of Ekovital (0.2 L per seeding rate), Bioneostym (1.0 L/t), and their mixture, as well as foliar application of Bioneostym (1.5 L/ha) alone and on the corresponding seed-treatment backgrounds. Seeds were treated one day before sowing and crops were sprayed at the third trifoliate leaf stage. Nodule number and mass were determined by a counting-and-weighing method. Combining pre-sowing inoculation with foliar application enhanced soybean nodulation. The highest values at both growth stages were recorded for seed treatment with the Ekovital + Bioneostym mixture followed by foliar Bioneostym; averaged over 2024–2026, this treatment exceeded the control by 15–17 nodules per plant and 0.31–0.42 g of nodule mass per plant.
Key words: *soybean, biological preparations, rhizobial apparatus.*

Постановка проблеми. Біологічна фіксація молекулярного азоту є одним із ключових процесів, що визначають азотне живлення сої та дають змогу частково зменшувати залежність технології її вирощування від мінеральних азотних добрив. Формування продуктивного бобово-ризобіального симбіозу залежить не лише від наявності активних штамів *Bradyrhizobium*, а й від умов колонізації ними коренів, стану ризосфери та взаємодії з іншими корисними мікроорганізмами. Сучасні дослідження засвідчують, що інокуляція і співінокуляція можуть впливати на кількість і масу бульбочок, інтенсивність азотфіксації та ріст рослин сої [1–5]. Тому пошук технологічно сумісних комбінацій мікробних і біостимулювальних препаратів є актуальним напрямом біологізації соєвих агроценозів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У працях останніх років показано, що

результативність інокуляції сої визначається штамовим складом препаратів, способом внесення та умовами середовища. Співінокуляція *Bradyrhizobium* з *Pseudomonas* здатна посилювати симбіотичну азотфіксацію, ріст і мінеральне живлення рослин [4, 5, 8], а поєднання *Bradyrhizobium* з *Bacillus* та *Paenibacillus* змінює функціональний потенціал ризобактеріального угруповання і може створювати сприятливі умови для розвитку симбіотичної системи [6, 7]. Польові та вегетаційні дослідження також підтверджують залежність ефекту інокуляції від агроекологічних умов і генотипу сої [12, 16, 17].

Важливим напрямом є поєднання ризобіальної інокуляції з іншими біологічно активними компонентами. Додаткова інокуляція *Bradyrhizobium* упродовж вегетації може підтримувати біологічну фіксацію азоту на пізніших етапах розвитку [9]. Сумісна інокуляція з *Azospirillum*, гуміновими речовинами та іншими рослинно-ріст стимулювальними бактеріями впливає на параметри бульбочкоутворення, однак величина ефекту залежить від конкретного мікробного консорціуму і середовища [10, 11]. Встановлено також перспективність комбінацій *Bradyrhizobium* з *Pseudomonas* і *Bacillus* для підвищення стійкості симбіотичної системи та формування бульбочок за стресових умов [12–14].

Вітчизняні дослідження підтверджують доцільність передпосівної інокуляції та використання композицій біопрепаратів у технологіях вирощування сої [1–3]. Водночас результати зарубіжних робіт свідчать, що позитивний ефект коінокуляції не є універсальним: він визначається видом і штамом мікроорганізмів, фазою застосування та ґрунтово-кліматичними умовами [10, 15–17]. Це обґрунтовує необхідність перевірки конкретних препаратів і схем їх поєднання в локальних польових умовах.

Таким чином, попри значний обсяг досліджень з інокуляції посівів сої, недостатньо з'ясованим є питання ефективного комплексного поєднання передпосівної інокуляції з позакореневим застосуванням багатокомпонентних біологічних препаратів в умовах Правобережного Лісостепу. Зокрема, потребує експериментального уточнення результативність послідовного застосування в посівах Ековіталу і Біонеостиму, що й визначило наукову спрямованість дослідження.

Мета статті – дослідити розрізнену й комплексну дію біологічних препаратів Ековітал і Біонеостим на формування ризобіального апарату сої.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження виконували в польових і лабораторних умовах кафедри агробіології та біохімії Уманського національного університету впродовж 2024–2026 років. Дію біологічних препаратів Ековітал (*Bradyrhizobium japonicum* 2в та *Bacillus megaterium*, концентрація обох штамів не менше 3,0 млрд КУО/мл; виробник – Інститут мікробіології і вірусології імені Д. К. Заболотного НАН України, Україна) та Біонеостим (N – 0,5–130 г/л, P_2O_5 – 0,2–225 г/л, K_2O – 0,5–270 г/л, Mg – 0,3–115 г/л, Mn – 0–130 г/л, CaO – 0,1–50 г/л, S – 0–84 г/л, B – 0,01–140 г/л, Mo – 0–159 г/л, Fe – 0,02–90 г/л, Cu – 0,01–102 г/л, Zn – 0,018–159 г/л, водорозчинні гумінові речовини – 0,25–20 г/л; *Pseudomonas* sp. D-1, *Paenibacillus polymyxa* 5, *Trichoderma* sp. D-1 – $1{,}0\times10^5$–$1{,}0\times10^6$ КУО/см^3; виробник – ТОВ «Перфект Агро», Україна) вивчали в посівах сої сорту Аннушка. Оригінатор сорту – ПП Наукова селекційно-насінницька фірма «Соєвий вік».

Польовий дослід закладали систематичним методом у триразовій повторності. Схема складалася з восьми варіантів: 1) без застосування препаратів (контроль); 2) Ековітал, обробка насіння перед сівбою 0,2 л на посівну норму (Фон I); 3) Біонеостим, обробка насіння перед сівбою 1,0 л/т (Фон II); 4) Ековітал + Біонеостим, обробка насіння перед сівбою сумішшю препаратів 0,2 л на посівну норму + 1,0 л/т (Фон III); 5) Біонеостим, обробка вегетуючих рослин 1,5 л/га; 6) Фон I + Біонеостим 1,5 л/га по вегетації; 7) Фон II + Біонеостим 1,5 л/га по вегетації; 8) Фон III + Біонеостим 1,5 л/га по вегетації. Насіння обробляли за добу до сівби. Позакореневе внесення Біонеостиму проводили у фазу третього трійчастого листка акумуляторним ранцевим обприскувачем DS-3WF-3 за витрати робочого розчину 200 л/га.

Кількість і масу бульбочок на кореневій системі сої визначали кількісно-ваговим методом за методикою В. В. Волкогона та ін. [18]. У кожній повторності по діагоналі ділянки відбирали 10 типових рослин (30 рослин з варіанту в кожну фазу обліку), обережно розкопуючи ґрунт навколо кореневої системи для запобігання втраті бульбочок. Відібрані рослини доставляли до лабораторії, корені відмивали від ґрунту, бульбочки обережно відокремлювали, надлишкову поверхневу вологу видаляли фільтрувальним папером, після чого підраховували кількість і визначали масу бульбочок для кожної рослини. Середні значення розраховували за формулами:

$$N = \frac{En}{K};\ M = \frac{Em}{K},$$

де:

N – середня кількість бульбочок;
M – середня маса бульбочок;
En – сумарна кількість бульбочок;
Em – сумарна маса бульбочок;
K – кількість облікових рослин.

Статистичну обробку експериментальних даних виконували методом дисперсійного аналізу в Microsoft Office Excel 2007; істотність різниць між варіантами оцінювали за $НІР_{05}$ відповідно до методичних підходів, викладених В. О. Єщенком та ін. [19].

Основні результати досліджень. Упродовж 2024–2026 років кількість і маса бульбочок в посівах сої варіювали залежно від схеми застосування біологічних препаратів і року досліджень. У фазу бутонізації найбільш виражений ефект забезпечували варіанти, що містили Ековітал у передпосівній обробці насіння (табл. 1).

ISSN 3083-7448 (PRINT)
ISSN 3083-7464 ONLINE)

У середньому за три роки передпосівне поєднання Ековіталу з Біонеостимом підвищувало кількість бульбочок із 13 до 25 шт./рослину, або на 92,3%, а їх масу – з 0,23 до 0,48 г/рослину, або на 108,7% порівняно з контролем. Додаткове позакореневе застосування Біонеостиму на цьому фоні забезпечувало 28 бульбочок/рослину масою 0,54 г/рослину, що перевищувало контроль відповідно на 115,4 і 134,8%.

Порівняння способів застосування препаратів виявило чітку різницю в силі їх впливу. Самостійне позакореневе внесення Біонеостиму збільшувало середню кількість бульбочок у фазу бутонізації лише на 15,4%, а їх масу – на 13,0% відносно контролю. Передпосівна дія Ековіталу забезпечувала приріст відповідно на 61,5 і 69,6%, тоді як Біонеостим для обробки насіння – на 30,8 і 26,1%. Отже, самостійне застосування Ековіталу для передпосівної обробки формувало основну частину позитивного ефекту, а позакореневе застосування Біонеостиму найкраще реалізувалося як доповнення до попередньо сформованого мікробного фону. За комплексної схеми різниця з контролем у 2024, 2025 і 2026 роках становила відповідно 15, 14 і 14 шт./рослину та 0,33, 0,31 і 0,28 г/рослину; в усіх трьох роках ці відмінності перевищували відповідні значення $НІР_{05}$, що підтверджує статистично істотну перевагу цієї комбінації.

У фазу цвітіння абсолютні значення кількості і маси бульбочок зросли в усіх варіантах досліду порівняно з фазою бутонізації (табл. 2). У контролі середня кількість бульбочок збільшилася з 13 до 20 шт./рослину, а їх маса – з 0,23 до 0,66 г/рослину. Передпосівне поєднання Ековіталу з Біонеостимом забезпечувало 36 бульбочок/рослину масою 0,98 г/рослину, що перевищувало контроль на 80,0 і 48,5% відповідно. За найефективнішої комплексної схеми (Фон ІІІ + Біонеостим 1,5 л/га) отримано 37 бульбочок/рослину масою 1,08 г/рослину, тобто на 85,0 і 63,6% більше за контроль.

Фазова динаміка показників свідчить, що позитивний ефект біопрепаратів формувався вже до бутонізації і зберігався під час цвітіння. У контролі від бутонізації до цвітіння кількість бульбочок зросла на 7 шт./рослину, а їх маса – на 0,43 г/рослину; за комплексної схеми відповідне збільшення становило 9 шт./рослину і 0,54 г/рослину. При цьому абсолютна перевага найефективнішого варіанта над контролем не зменшувалася, а зростала: за кількістю бульбочок – із 15 до 17 шт./рослину, за масою – з 0,31 до 0,42 г/рослину. Це вказує на те, що раннє

Таблиця 1

Формування кількості і маси бульбочок на кореневій системі сої за використання біопрепаратів Ековітал та Біонеостим (фаза бутонізації)

Варіант досліду	2024 р.	2025 р.	2026 р.	Середнє за три роки
Без застосування препаратів (контроль)	17/0,28*	14/0,22	9/0,19	13/0,23
БП Ековітал (обробка насіння 0,2 л на посівну норму) Фон І	24/0,42	23/0,40	16/0,35	21/0,39
БП Біонеостим (обробка насіння 1,0 л/т) Фон ІІ	21/0,36	18/0,27	13/0,24	17/0,29
БП Ековітал + БП Біонеостим (обробка насіння сумішшю препаратів) ФОН ІІІ	28/0,50	26/0,49	22/0,44	25/0,48
БП Біонеостим (обробка вегетуючих рослин 1,5 л/га)	19/0,32	15/0,25	11/0,20	15/0,26
Фон І + БП Біонеостим 1,5 л/га	25/0,45	22/0,41	19/0,39	22/0,42
Фон ІІ + БП Біонеостим 1,5 л/га	22/0,37	19/0,38	15/0,32	19/0,36
Фон ІІІ + БП Біонеостим 1,5 л/га	32/0,61	28/0,53	23/0,47	28/0,54
$НІР_{05}$	2,8/0,12	1,5/0,10	1,9/0,09	

Примітка: до риски – кількість бульбочок, шт./рослину; після риски – маса бульбочок, г/рослину.*

Таблиця 2

Формування кількості і маси бульбочок на кореневій системі сої за використання біопрепаратів Ековітал та Біонеостим (фаза цвітіння)

Варіант досліду	2024 р.	2025 р.	2026 р.	Середнє за три роки
Без застосування препаратів (контроль)	22/0,72*	21/ 0,67	17/ 0,59	20/0,66
БП Ековітал (обробка насіння 0,2 л на посівну норму) Фон І	34/0,93	30/0,82	27/0,80	30/0,85
БП Біонеостим (обробка насіння 1,0 л/т) Фон ІІ	29/0,76	25/0,72	22/0,65	25/0,71
БП Ековітал + БП Біонеостим (обробка насіння сумішшю препаратів) ФОН ІІІ	40/1,10	38/0,98	30/0,85	36/0,98
БП Біонеостим (обробка вегетуючих рослин 1,5 л/га)	24/0,73	23/0,70	19/0,63	22/0,69
Фон І + БП Біонеостим 1,5 л/га	37/0,98	35/0,90	28/0,81	33/0,90
Фон ІІ + БП Біонеостим 1,5 л/га	30/0,81	26/0,74	23/0,70	26/0,75
Фон ІІІ + БП Біонеостим 1,5 л/га	43/1,24	39/1,08	30/0,91	37/1,08
$НІР_{05}$	2,0/0,17	1,4/0,12	1,7/0,08	

Примітка: до риски – кількість бульбочок, шт./рослину; після риски – маса бульбочок, г/рослину.*

стимулювання формування бульбочкового апарату не було короткочасним і проявлялося також у наступній фазі розвитку рослин.

Міжрічна мінливість була помітною в обох фазах обліку: найвищі абсолютні показники отримано у 2024 році, нижчі – у 2025 і 2026 роках. Водночас ранжування варіантів залишалося подібним, а комплексна схема стабільно формувала максимальні значення. У фазу цвітіння її перевага над контролем за кількістю бульбочок становила 21, 18 і 13 шт./рослину у 2024, 2025 і 2026 роках, а за масою – 0,52, 0,41 і 0,32 г/рослину. У кожному році ці різниці перевищували $НІР_{05}$ (2,0/0,17; 1,4/0,12; 1,7/0,08 відповідно), що підтверджує істотність ефекту.

Отримана закономірність узгоджується із сучасними даними щодо ефективності співінокуляції сої ризобіальними та іншими рослинно-асоційованими мікроорганізмами. У дослідженнях із поєднанням *Bradyrhizobium* з *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Paenibacillus* та іншими PGPR відзначено посилення ростових процесів, симбіотичної ефективності та формування бульбочок [4, 6–8, 11–14]. Показано також, що додаткова інокуляція *Bradyrhizobium* упродовж вегетації може підтримувати біологічну фіксацію азоту та активність бульбочкового апарату на пізніших етапах розвитку [9]. У цьому контексті перевага комплексної схеми в нашому досліді є біологічно узгодженою з результатами інших авторів, однак її величина визначається конкретним складом препаратів, сортом і умовами проведення дослідів.

Отриманий ефект, можливо, пов'язаний з комплементарністю компонентів досліджуваних препаратів. Ековітал містить *Bradyrhizobium japonicum* і *Bacillus megaterium*, тоді як до складу Біонеостиму входять *Pseudomonas* sp., *Paenibacillus polymyxa*, *Trichoderma* sp., гумінові речовини та комплекс макро- і мікроелементів. Таке поєднання може одночасно підтримувати первинне інфікування коренів ризобіями, розвиток кореневої системи та умови для функціонування мікробного консорціуму.

З практичної точки зору найбільше значення має не лише максимальне значення показника, а й послідовність формування ефекту. Додавання позакореневого Біонеостиму до передпосівної суміші Ековітал + Біонеостим забезпечувало додатковий приріст у середньому на 3 бульбочки/рослину і 0,06 г/рослину у фазу бутонізації та на 1 бульбочку/рослину і 0,10 г/рослину у фазу цвітіння порівняно з однією лише передпосівною сумішшю. Отже, позакореневе внесення виступало як підсилювальний елемент уже сформованої передпосівної системи. Для остаточної виробничої оцінки такої схеми доцільно надалі зіставити показники бульбочкоутворення з активністю азотфіксації, урожайністю та економічною ефективністю.

Висновки. 1. Передпосівні способи застосування досліджуваних біопрепаратів були результативнішими щодо формування ризобіального апарату сої, ніж окреме позакореневе внесення. 2. Поєднання Ековіталу з Біонеостимом для обробки насіння забезпечувало істотне збільшення кількості й маси бульбочок уже у фазу бутонізації, а наступне позакореневе застосування Біонеостиму додатково посилювало цей ефект. 3. Від бутонізації до цвітіння кількість і маса бульбочок зростали в усіх варіантах; за найефективнішої схеми абсолютна перевага над контролем збільшувалася з 15 до 17 шт./рослину за кількістю та з 0,31 до 0,42 г/рослину за масою. 4. Попри міжрічну мінливість абсолютних значень, комплексна схема Ековітал + Біонеостим для обробки насіння з наступним внесенням Біонеостиму 1,5 л/га стабільно формувала максимальні показники, а її перевага над контролем у кожному році перевищувала $НІР_{05}$. 5. Послідовне поєднання передпосівного та позакореневого застосування досліджуваних біопрепаратів є перспективним елементом біологізації технології вирощування сої, проте подальша оцінка має включати функціональні показники азотфіксації, урожайність та економічну ефективність.

Подяки. Автор висловлює вдячність завідувачу ННЛ «Агроекологічного моніторингу в агросфері» кандидату с.-г. наук, доценту кафедри агробіології та біохімії Р. М. Притуляку за сприяння у виконанні досліджень на базі лабораторії.

Фінансування дослідження. Ініціативне.

Конфлікт інтересів. Відсутній.

Авторський внесок. Гайдай І. В.: концепція дослідження, проведення експерименту, збір та аналіз даних, підготовка первинного тексту, перегляд і редагування рукопису.

Декларація використання генеративного штучного інтелекту. Текст рукопису, експериментальні дані та їх статистична обробка не генерувалися інструментами ШІ.

References

1. Laslo, O.O., Marinich, L.H., Holub-Makovetska, I.A. (2025). Kompozytsiini sumishi rehuliatoriv rostu ta inokuliantiv u tekhnolohii vyroshchuvannia orhanichnoi soi [Compositional mixtures of growth regulators and inoculants in organic soybean cultivation technology]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, 141(1), 157–163. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.141.1.20 [in Ukrainian].

2. Zubko, O.M., Berdin, S.I., Butenko, Ye.Yu., Stavitskyi, A.A. (2025). Vplyv biolohichnykh preparativ dlia peredposivnoi obrobky nasinnia na dynamiku formuvannia morfolohichnykh oznak soi [Effect of biological preparations for pre-sowing seed treatment on the dynamics of soybean morphological traits]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk*, 11, 126–135. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.13 [in Ukrainian].

3. Koliada, O.V., Blyzniuk, O.M., Masalitina, N.Yu., Bielinska, A.P., Varankina, O.O., Bielykh, I. A. (2022). Doslidzhennia efektyvnosti inokuliatsii soi biotekhnolohichnymy preparatamy [Study of the effectiveness of soybean inoculation with biotechnological preparations]. *Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia*, 3, 3–11. https://doi.org/10.20998/2078-5364.2022.3.01 [in Ukrainian].

4. Tu, T.-C., Lin, S.-H., Shen, F.-T. (2021). Enhancing symbiotic nitrogen fixation and soybean growth through co-inoculation with *Bradyrhizobium* and *Pseudomonas* isolates. *Sustainability*, 13(20), 11539. https://doi.org/10.3390/su132011539.

5. Jabborova, D., Kannepalli, A., Davranov, K., et al. (2021). Co-inoculation of rhizobacteria promotes growth, yield, and nutrient contents in soybean and improves soil enzymes and nutrients under drought conditions. *Scientific Reports*, 11, 22081. https://doi.org/10.1038/s41598-021-01337-9.

6. Miljaković, D., Marinković, J., Tamindžić, G., et al. (2022). Bio-priming of soybean with *Bradyrhizobium japonicum* and *Bacillus megaterium*: Strategy to improve seed germination and the initial seedling growth. *Plants*, 11(15), 1927. https://doi.org/10.3390/plants11151927.

7. Xing, P., Zhao, Y., Guan, D., Li, L., Zhao, B., Li, J. (2022). Effects of *Bradyrhizobium* co-inoculated with *Bacillus* and *Paenibacillus* on the structure and functional genes of soybean rhizobacteria community. *Genes*, 13(11), 1922. https://doi.org/10.3390/genes13111922.

8. Kumawat, K.C., Singh, I., Nagpal, S., Sharma, P., Gupta, R.K., Sirari, A. (2022). Co-inoculation of indigenous *Pseudomonas oryzihabitans* and *Bradyrhizobium* sp. modulates the growth, symbiotic efficacy, nutrient acquisition, and grain yield of soybean. *Pedosphere*, 32(3), 438–451. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60085-1.

9. Martins, J.T., Rasmussen, J., Eriksen, J., Arf, O., De Notaris, C., Moretti, L.G. (2022). Biological N fixation activity in soybean can be estimated based on nodule dry weight and is increased by additional inoculation. *Rhizosphere*, 24, 100589. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100589.

10. Bais, J., Kandel, H., DeSutter, T., Deckard, E., Keene, C. (2023). Soybean response to N fertilization compared with co-inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense*. *Agronomy*, 13(8), 2022. https://doi.org/10.3390/agronomy13082022.

11. Canellas, L.P., Silva, R.M., Barbosa, L.J.S., Sales, F.S., Ribeiro, R.C., Mota, G.P., Olivares, F.L. (2023). Co-inoculation with *Bradyrhizobium* and humic substances combined with *Herbaspirillum seropedicae* promotes soybean vegetative growth and nodulation. *Agronomy*, 13(10), 2660. https://doi.org/10.3390/agronomy13102660.

12. Win, K.T., Tanaka, F., Minamisawa, K., Imaizumi-Anraku, H. (2024). Growth and yield dynamics in three Japanese soybean cultivars with plant growth-promoting *Pseudomonas* spp. and *Bradyrhizobium ottawaense* co-inoculation. *Microorganisms*, 12(7), 1478. https://doi.org/10.3390/microorganisms12071478.

13. Marinković, J., Miljaković, D., Đorđević, V., Vasiljević, M., Tamindžić, G., Miladinović, J., Vasiljević, S. (2024). Perspectives of *Bradyrhizobium* and *Bacillus* inoculation for improvement of soybean tolerance to water deficit. *Agronomy*, 14(11), 2692. https://doi.org/10.3390/agronomy14112692.

14. Cheng, Y., Jiang, X., He, X., et al. (2025). *Bacillus velezensis* 20507 promotes symbiosis between *Bradyrhizobium japonicum* USDA110 and soybean by secreting flavonoids. *Frontiers in Microbiology*, 16, 1572568. https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1572568

15. Fulaneti, F.S., Ferreira, M.M., Vey, R.T., et al. Growth-promoting bacteria in coinoculation in soybean. (2025). *Brazilian Journal of Biology*, 85, e295709. https://doi.org/10.1590/1519-6984.295709.

16. Kyei-Boahen, S., Savala, C.E.N., Muananamuale, C. P., et al. (2023). Symbiotic effectiveness of *Bradyrhizobium* strains on soybean growth and productivity in Northern Mozambique. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 1084745. https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1084745.

17. Halwani, M., Reckling, M., Egamberdieva, D., Omari, R.A., Bellingrath-Kimura, S. D., Bachinger, J., Bloch, R. (2021). Soybean nodulation response to cropping interval and inoculation in European cropping systems. *Frontiers in Plant Science*, 12, 638452. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.638452.

18. Volkohon, V.V., Nadkernychna, O.V., Tokmakova, L.M., ta in. (2010). Eksperymentalna gruntova mikrobiolohiia monohrafiia; za red. V.V. Volkohona [Experimental soil microbiology: monograph; edited by V.V. Volkogon]. Kyiv: Ahrarna nauka, 463. ISBN 978-966-540-300-5 [in Ukrainian].

19. Ieshchenko, V.O., Kopytko, P.H., Opryshko, V.P., Kostohryz, P.V. (2005). Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii: [pidruch.]; za red. V.O. Yeshchenka [Fundamentals of Scientific Research in Agronomy: Textbook; edited by V.O. Yeshchenko]. Kyiv: Diia, 288. ISBN 966-7665-58-5 [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 28.09.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 14.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 24.11.2026