ISSN 3154-8059

УДК 633.34:631.461:631.53.02 https://doi.org/10.31713/vs3202618

Угрін О. М. [1; ORCID ID: 0009-0002-0710-5852],
здобувач ступеня доктора філософії (Ph.D.),
Біднина І. О. [1, 2; ORCID ID: 0000-0001-8351-2519],
к.с.-г.н., с.н.с.

[1]Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН, м. Київ
[2]Інститут водних проблем і меліорації НААН, м. Київ

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКИ МІЖ ФОРМУВАННЯМ СИМБІОТИЧНОГО АПАРАТУ ТА ПРОДУКТИВНІСТЮ СОРТІВ СОЇ ЗА КОМПЛЕКСНОЇ ІНОКУЛЯЦІЇ НАСІННЯ

У статті узагальнено результати польових досліджень 2023–2025 рр. щодо реакції сортів сої Софія і Монарх на передпосівну інокуляцію насіння ризобіальним препаратом РизобінК та його композиціями з рістстимулювальними бактеріями. Встановлено, що продуктивна реакція сортів визначалася не максимальним значенням параметрів бульбочкоутворення, а узгодженістю розвитку бульбочкового апарату, активності целюлозоруйнівної мікробіоти ризосфери та формування елементів структури врожаю. У сорту Софія урожайність найтісніше була пов'язана з кількістю і масою бульбочок у фазу утворення бобів (r = 0,97 і 0,95), тоді як у сорту Монарх однаково тісний зв'язок установлено з кількістю бульбочок і середньою чисельністю целюлозоруйнівних мікроорганізмів (r = 0,87). Композиції з *Pseudomonas sp.* 6 та *Bacillus megaterium* УКМ В-5724 посилювали окремі генеративні показники, проте їх максимальні значення не забезпечували найвищої урожайності. Найбільш збалансовану біолого-продукційну реакцію в обох сортів сформувала композиція РизобінК + *Bacillus velezensis* ІМВ В-8134: урожайність сорту Софія становила 3,73 т/га та 2,50 т/га – сорту Монарх, а інтегральна оцінка – відповідно 85,6 і 80,4 бали. Одержані результати обґрунтовують доцільність сортоспецифічного добору мікробних композицій за комплексом симбіотичних, мікробіологічних і продукційних критеріїв.

Ключові слова: соя; коінокуляція; бульбочки; ризосферна мікробіота; урожайність; кореляція; сортова реакція.

Постановка проблеми. Соя належить до культур, продуктивність яких значною мірою визначається функціональною взаємодією рослини з азотфіксувальними та асоційованими ризосферними мікроорганізмами. Формування ефективного бобово-ризобіального

симбіозу забезпечує надходження біологічного азоту, впливає на перебіг ростових процесів, закладання генеративних органів і накопичення білка в насінні. Водночас результат передпосівної інокуляції не можна коректно оцінювати лише за кількістю бульбочок або величиною окремого елемента структури врожаю. Кінцева продуктивність є наслідком узгодженої роботи кількох взаємопов'язаних ланок системи «рослина – симбіотичні бактерії – ризосферна мікробіота – ґрунт».

За однакової технологічної дії сорти можуть відрізнятися вихідною інтенсивністю нодуляції, реакцією на додаткові рістстимулювальні мікроорганізми та здатністю трансформувати поліпшення азотного живлення у приріст урожаю. Саме тому практичний добір мікробних препаратів потребує не ізольованого порівняння окремих показників, а встановлення характеру зв'язків між симбіотичними, мікробіологічними та продукційними ознаками. Такий підхід дає змогу визначити, які біологічні параметри найкраще відображають продукційну реакцію конкретного сорту, а також відокремити стабільний ефект композиції від сортоспецифічних проявів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження підтверджують, що інтенсивність нодуляції сої та ефективність біологічної фіксації азоту пов'язані з урожайністю і вмістом білка, однак сила цих зв'язків залежить від генотипу рослини та умов вирощування [1; 2]. Зокрема, маса бульбочок може використовуватися як інформативний непрямий показник активності біологічної фіксації азоту, але сама по собі не визначає кінцевий рівень зернової продуктивності [2].

Поєднання ризобій з бактеріями, здатними стимулювати ріст рослин, розглядають як перспективний напрям біологізації технологій вирощування зернобобових культур. Зміни складу бактеріальної спільноти ризосфери після інокуляції можуть супроводжуватися підвищенням продуктивності, проте ефект залежить від агрофону, умов ґрунтового середовища та етапу онтогенезу [3; 4]. Дослідження ризосферного мікробіому сої також засвідчують значну функціональну різноманітність бактеріальних угруповань і їх потенційний вплив на живлення та адаптивність рослин [5].

В умовах стресових ґрунтових чинників кероване використання ризосферних мікроорганізмів може сприяти росту й формуванню

ISSN 3154-8059

врожаю сої [6]. Водночас ефективність біологічних прийомів не є універсальною: результат визначається сумісністю мікроорганізмів із рослиною-господарем та взаємодією з іншими елементами технології [7; 8]. Показано також, що структура ризосферних бактеріальних угруповань пов'язана із симбіотичною ефективністю ризобій, а генотип сої здатний модифікувати реакцію мікробіому на інокуляцію [9; 10].

Отже, наявні наукові дані обґрунтовують перспективність комплексної інокуляції, проте не дають підстав вважати, що максимальна нодуляція або найбільша кількість генеративних органів автоматично забезпечують максимальну урожайність. Для умов Півдня України особливо актуальним залишається встановлення сортоспецифічної узгодженості між розвитком симбіотичного апарату, активністю ризосферної мікробіоти та реалізацією продуктивного потенціалу сої.

Мета, завдання і методологія дослідження. Мета дослідження – встановити сортоспецифічні закономірності взаємозв'язків між формуванням симбіотичного апарату, активністю целюлозоруйнівної мікробіоти, елементами структури врожаю, урожайністю та якістю насіння сортів сої Софія і Монарх залежно від комплексної передпосівної інокуляції насіння.

Для досягнення мети передбачалося: порівняти біологічні й продукційні показники сортів за різних варіантів інокуляції; оцінити напрям і тісноту зв'язків основних ознак з урожайністю; визначити відносну реакцію показників щодо контролю; здійснити комплексне ранжування варіантів за інтегральним біолого-продукційним індексом.

Польові дослідження проведено в Херсонській області впродовж 2023–2025 рр. Двофакторна схема досліду включала два сорти сої – Софія і Монарх – та п'ять варіантів передпосівної обробки насіння: 1) контроль без обробки насіння; 2) РизобінК; 3) РизобінК + *Bacillus velezensis* ІМВ В-8134; 4) РизобінК + *Pseudomonas sp.* 6; 5) РизобінК + *Bacillus megaterium* УКМ В-5724. Закладання польового досліду та обліки виконували відповідно до загальноприйнятих методичних підходів польового експерименту [11].

Для аналітичного узагальнення використано середні за 2023–2025 рр. значення кількості та маси бульбочок у фазу утворення бобів сої, середньої чисельності целюлозоруйнівних мікроорганізмів у шарах ґрунту 0–20 і 20–40 см за три міжфазні періоди, кількості бобів і насінин на рослині, маси насіння з рослини, маси 1000 насінин,

урожайності, вмісту та збору білка і жиру. Для кожного сорту окремо за п'ятьма варіантами інокуляції розраховано коефіцієнти кореляції Пірсона між досліджуваними ознаками та урожайністю. З огляду на невелику кількість варіантів (n = 5) одержані коефіцієнти використано як описову характеристику напряму і тісноти зв'язку, без екстраполяції на ширші статистичні сукупності.

Комплексне ранжування проводили після мінімаксного нормування показників у межах кожного сорту до шкали 0–100 балів. Інтегральний біолого-продукційний індекс визначали як середнє нормованих значень кількості й маси бульбочок, чисельності целюлозоруйнівної мікробіоти, кількості бобів і насінин, маси насіння з рослини, маси 1000 насінин, урожайності, збору білка та жиру. Такий алгоритм застосовано для порівняльного ранжування варіантів усередині досліджуваної сукупності, а не як універсальну нормативну шкалу.

Результати досліджень. Передпосівна інокуляція зумовлювала неоднакове поєднання симбіотичних і продукційних ознак у досліджуваних сортів сої. Найвиразніша узгодженість між розвитком бульбочкового апарату, активністю целюлозоруйнівної мікробіоти та урожайністю спостерігалася за використання композиції РизобінК + *B. velezensis* ІМВ В-8134 (табл. 1).

Таблиця 1

Біологічні та продукційні показники сортів сої за різних варіантів інокуляції (середнє за 2023–2025 рр.)

Сорт, варіант передпосівної обробки насіння	Бульбочки, шт.	Маса бульбочок, г	Мікробіота, млн КУО/г	Боби, шт.	Насіння, шт.	Маса насіння з рослини, г	Урожайність, т/га
Сорт Софія							
Контроль (без обробки насіння)	22	0,45	2,76	19	41	7,3	3,08
РизобінК	31	1,06	2,89	20	41	7,3	3,47
РизобінК + *B. velezensis* ІМВ В-8134	41	1,21	2,93	21	49	8,2	3,73
РизобінК + *Pseudomonas sp. 6*	36	1,10	2,73	24	55	8,6	3,47

 ISSN 3154-8059

продовження табл. 1

РизобінК + *B. megaterium* УКМ В-5724	34	1,08	2,79	23	54	8,4	3,49
Сорт Монарх							
Контроль (без обробки насіння)	31	1,03	2,63	31	61	8,3	2,05
РизобінК	41	1,32	2,78	31	62	8,5	2,19
РизобінК + *B. velezensis* ІМВ В-8134	49	1,45	2,94	32	75	10,3	2,50
РизобінК + *Pseudomonas sp.* 6	42	1,36	2,69	35	78	12,5	2,27
РизобінК + *B. megaterium* УКМ В-5724	47	1,43	2,69	35	77	11,7	2,24

У сорту Софія цей варіант забезпечив 41 бульбочку на рослину за їх маси 1,21 г, середню чисельність целюлозоруйнівної мікробіоти 2,93 млн КУО/г та урожайність 3,73 т/га. У сорту Монарх відповідні значення становили 49 шт., 1,45 г, 2,94 млн КУО/г і 2,50 т/га. Порівняно з контролем урожайність підвищилася на 21,1% у сорту Софія та на 22,0% у сорту Монарх, тобто відносний продукційний ефект був близьким, хоча сформований симбіотичний апарат сортів різнився.

Сортова специфічність особливо чітко проявилася за композицій із *Pseudomonas sp.* 6 і B. megaterium УКМ В-5724. У сорту Софія варіант із *Pseudomonas sp.* 6 забезпечив найбільшу кількість бобів і насінин – відповідно 24 і 55 шт. на рослину, а також максимальну масу насіння з рослини – 8,6 г. Проте урожайність становила 3,47 т/га, що на 0,26 т/га менше, ніж за *B. velezensis.* Подібна закономірність простежувалася у сорту Монарх, де за інокуляції *Pseudomonas sp.* 6 одержано 78 насінин і 12,5 г насіння з рослини, але урожайність 2,27 т/га була на 0,23 т/га нижчою від найкращого варіанта. Отже, посилення окремих компонентів генеративної структури не було достатньою умовою для максимізації врожаю.

Кореляційний аналіз підтвердив, що значущість окремих біологічних ознак у формуванні продуктивності відрізнялася залежно від сорту сої. У сорту Софія найтісніший описовий зв'язок з

урожайністю встановлено для кількості бульбочок (r = 0,97), їх маси (r = 0,95) та вмісту білка (r = 0,93). Збір білка і жиру, закономірно пов'язаний із рівнем урожайності та концентрацією відповідних компонентів, характеризувався коефіцієнтами r = 1,00 і 0,99.

У сорту Монарх урожайність також тісно узгоджувалася з кількістю (r = 0,87) і масою бульбочок (r = 0,82), однак, на відміну від сорту Софія, настільки ж тісним був зв'язок із середньою чисельністю целюлозоруйнівної мікробіоти (r = 0,87). Кореляція з кількістю бобів була слабкою (r = 0,22), а з масою насіння з рослини – помірною (r = 0,44). Це додатково свідчить, що формування більшої кількості генеративних органів у цього сорту не обов'язково трансформувалося у пропорційне підвищення врожайності.

Порівняння відносних змін щодо контролю дало змогу деталізувати сортову реакцію. За використання *B. Velezensis* на сорті Софія кількість бульбочок збільшилася на 86,4 %, їх маса – на 168,9%, тоді як урожайність – на 21,1%. У сорту Монарх відповідні прирости становили 58,1, 40,8 і 22,0% (табл. 2).

Таблиця 2

Відносна реакція ключових показників на інокуляцію, % до контролю

Варіант передпосівної обробки насіння	Кількість бульбочок	Маса бульбочок	Мікробіота	Маса насіння з рослини	Урожайність
Сорт Софія					
РизобінК	40,9	135,6	4,8	0,0	12,7
РизобінК + *B. velezensis* ІМВ В-8134	86,4	168,9	6,1	12,3	21,1
РизобінК + *Pseudomonas sp.* 6	63,6	144,4	–1,1	17,8	12,7
РизобінК + *B. megaterium* УКМ В-5724	54,5	140,0	1,0	15,1	13,3
Сорт Монарх					
РизобінК	32,3	28,2	5,6	2,4	6,8
РизобінК + *B. velezensis* ІМВ В-8134	58,1	40,8	11,7	24,1	22,0

 ISSN 3154-8059

продовження табл. 2

РизобінК + *Pseudomonas sp. 6*	35,5	32,0	2,2	50,6	10,7
РизобінК + *B. megaterium* УКМ В-5724	51,6	38,8	2,1	41,0	9,3

Таким чином, близький відносний приріст урожайності був досягнутий за різної інтенсивності перебудови симбіотичного апарату.

Композиція з *Pseudomonas sp.* 6 у Монарха підвищила масу насіння з рослини на 50,6%, але урожайність – лише на 10,7%. Для *B. megaterium* УКМ В-5724 відповідні прирости становили 41,0 і 9,3%. У Софії ці композиції також забезпечували виразне збільшення маси бульбочок і маси насіння з рослини, однак за урожайністю поступалися варіанту з *B. velezensis*. Така невідповідність між реакцією окремих ознак і кінцевою продуктивністю підтверджує доцільність комплексного оцінювання інокулянтів.

Інтегральне ранжування, у якому одночасно враховано симбіотичні, мікробіологічні та продукційні параметри, визначило стабільну перевагу композиції РизобінК + *B. velezensis* ІМВ В-8134. Її оцінка становила 85,6 бала для Софії та 80,4 бала для Монарха, а середній бал – 83,0. Друге місце посіла композиція з *Pseudomonas sp.* 6, третє – з B. *megaterium* УКМ В-5724 (табл. 3).

Таблиця 3

Інтегральна біолого-продукційна оцінка варіантів інокуляції насіння сортів сої, балів

Варіант передпосівної обробки насіння	Софія	Монарх	Середній бал	Місце
РизобінК + *B. velezensis* ІМВ В-8134	85,6	80,4	83,0	1
РизобінК + *Pseudomonas sp.* 6	74,8	71,7	73,3	2
РизобінК + *B. megaterium* УКМ В-5724	70,7	67,0	68,8	3
РизобінК	40,2	29,9	35,0	4
Контроль (без обробки насіння)	1,6	0,0	0,8	5

Одержані результати узгоджуються із сучасним уявленням про те, що продуктивний ефект нодуляції визначається не лише кількістю сформованих бульбочок, а їх функціональною ефективністю та здатністю рослини використовувати додатково фіксований азот для формування врожаю і білка [1; 2].

Встановлена сортова відмінність також відповідає даним про генотип-залежну організацію ризосферних бактеріальних угруповань та їх реакцію на інокуляцію [9; 10].

Водночас результати цього досліду уточнюють зазначені положення для конкретних сортів і бактеріальних композицій у ґрунтово-кліматичних умовах Херсонської області. Найвищі значення кількості бобів, насінин або маси насіння з рослини не завжди збігалися з максимальним рівнем урожайності. Отже, оцінювання ефективності коінокуляції лише за одним показником може спрощувати реальну реакцію системи «сорт – симбіотичний апарат – ризосфера – урожай». Практично більш інформативним є поєднання показників нодуляції, мікробіологічної активності та кінцевої продуктивності.

Висновки та перспективи подальших досліджень у цьому напрямку. Комплексна передпосівна інокуляція насіння сої формувала сортоспецифічні моделі взаємозв'язку між симбіотичним апаратом, ризосферною мікробіотою та зерновою продуктивністю сої. У сорту Софія урожайність найтісніше була пов'язана з кількістю і масою бульбочок у фазу утворення бобів (r = 0,97 і 0,95), а у сорту Монарх – із кількістю бульбочок і середньою чисельністю целюлозоруйнівної мікробіоти (r = 0,87 в обох випадках).

Максимальні значення окремих генеративних ознак не завжди супроводжувалися найвищою урожайністю. Найбільш збалансоване поєднання розвитку бульбочкового апарату, активності целюлозоруйнівної мікробіоти та продуктивності забезпечила композиція РизобінК + *Bacillus velezensis* ІМВ В-8134. За інтегральним біолого-продукційним індексом вона посідає перше місце в обох сортів – 85,6 бала у Софії та 80,4 бала у Монарха.

Для практичного добору елементів біологізованої технології вирощування сої доцільно враховувати не максимальне значення окремого показника, а узгодженість нодуляції, мікробіологічних процесів ризосфери та формування врожаю. Подальші дослідження доцільно спрямувати на перевірку стабільності виявлених взаємозв'язків у ширшому наборі сортів і контрастних погодних умовах, а також на оцінювання функціональної активності бульбочок і структури ризосферного мікробіому.

1. Zhong X., Wang J., Shi X. et al. Genetically optimizing soybean nodulation improves yield and protein content. *Nature Plants.* 2024. Vol. 10. P. 736–742. DOI: https://doi.org/10.1038/s41477-024-01696-x. **2.** Martins J. T., Rasmussen J., Eriksen J.,

Arf O., De Notaris C., Moretti L. G. Biological N_2 fixation activity in soybean can be estimated based on nodule dry weight and is increased by additional inoculation. *Rhizosphere.* 2022. Vol. 24. Art. 100589. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100589. **3.** Wei W., Guan D., Ma M. et al. Long-term fertilization coupled with rhizobium inoculation promotes soybean yield and alters soil bacterial community composition. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14. Art. 1161983. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1161983. **4.** Wang M., Ge A.-H., Ma X. et al. Dynamic root microbiome sustains soybean productivity under unbalanced fertilization. *Nature Communications*. 2024. Vol. 15. Art. 1668. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-024-45925-5. **5.** Agyekum D. V. A., Kobayashi T., Dastogeer K. M. G. et al. Diversity and function of soybean rhizosphere microbiome under nature farming. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14. Art. 1130969. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1130969. **6.** Ren H., Zhang F., Zhu X., Lamlom S. F., Zhao K., Zhang B., Wang J. Manipulating rhizosphere microorganisms to improve crop yield in saline-alkali soil: a study on soybean growth and development. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14. Art. 1233351. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1233351. **7.** Bi Y., Fan C., Liang W. et al. Combination effects of sulfur fertilizer and rhizobium inoculant on photosynthesis dynamics and yield components of soybean. *Agronomy*. 2024. Vol. 14, No. 4. Art. 794. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy14040794. **8.** Sartori F. F., Engroff T. D., Sanches T. H. G. et al. Potentially harmful effects of seed treatment and pre-inoculation on soybean biological nitrogen fixation and yield. *European Journal of Agronomy*. 2023. Vol. 142. Art. 126660. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126660. **9.** Han Q., Ma Q., Chen Y., Tian B., Xu L., Bai Y., Chen W., Li X. Variation in rhizosphere microbial communities and its association with the symbiotic efficiency of rhizobia in soybean. *The ISME Journal*. 2020. Vol. 14, No. 8. P. 1915–1928. DOI: https://doi.org/10.1038/s41396-020-0648-9. **10.** Zhong Y., Yang Y., Liu P., Xu R., Rensing C., Fu X., Liao H. Genotype and rhizobium inoculation modulate the assembly of soybean rhizobacterial communities. *Plant, Cell & Environment*. 2019. Vol. 42, No. 6. P. 2028–2044. DOI: https://doi.org/10.1111/pce.13519. **11.** Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Методика польового досліду (зрошуване землеробство) : навч. посіб. Херсон : Грінь Д. С., 2014. 445 с. ISBN 978-617-7243-02-0.

REFERENCES:

1. Zhong X., Wang J., Shi X. et al. Genetically optimizing soybean nodulation improves yield and protein content. *Nature Plants.* 2024. Vol. 10. P. 736–742. DOI: https://doi.org/10.1038/s41477-024-01696-x. **2.** Martins J. T., Rasmussen J., Eriksen J., Arf O., De Notaris C., Moretti L. G. Biological N_2 fixation activity in soybean can be estimated based on nodule dry weight and is increased by additional inoculation. *Rhizosphere.* 2022. Vol. 24. Art. 100589. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100589. **3.** Wei W., Guan D., Ma M. et al. Long-term fertilization coupled with rhizobium inoculation promotes soybean yield and alters soil bacterial community composition. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14. Art. 1161983. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1161983. **4.** Wang M., Ge A.-H., Ma X. et al. Dynamic root microbiome sustains soybean productivity under unbalanced

fertilization. *Nature Communications*. 2024. Vol. 15. Art. 1668. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-024-45925-5. **5.** Agyekum D. V. A., Kobayashi T., Dastogeer K. M. G. et al. Diversity and function of soybean rhizosphere microbiome under nature farming. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14. Art. 1130969. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1130969. **6.** Ren H., Zhang F., Zhu X., Lamlom S. F., Zhao K., Zhang B., Wang J. Manipulating rhizosphere microorganisms to improve crop yield in saline-alkali soil: a study on soybean growth and development. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14. Art. 1233351. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1233351. **7.** Bi Y., Fan C., Liang W. et al. Combination effects of sulfur fertilizer and rhizobium inoculant on photosynthesis dynamics and yield components of soybean. *Agronomy*. 2024. Vol. 14, No. 4. Art. 794. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy14040794. **8.** Sartori F. F., Engroff T. D., Sanches T. H. G. et al. Potentially harmful effects of seed treatment and pre-inoculation on soybean biological nitrogen fixation and yield. *European Journal of Agronomy*. 2023. Vol. 142. Art. 126660. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126660. **9.** Han Q., Ma Q., Chen Y., Tian B., Xu L., Bai Y., Chen W., Li X. Variation in rhizosphere microbial communities and its association with the symbiotic efficiency of rhizobia in soybean. *The ISME Journal*. 2020. Vol. 14, No. 8. P. 1915–1928. DOI: https://doi.org/10.1038/s41396-020-0648-9. **10.** Zhong Y., Yang Y., Liu P., Xu R., Rensing C., Fu X., Liao H. Genotype and rhizobium inoculation modulate the assembly of soybean rhizobacterial communities. *Plant, Cell & Environment*. 2019. Vol. 42, No. 6. P. 2028–2044. DOI: https://doi.org/10.1111/pce.13519. **11.** Ushkarenko V. O., Vozhehova R. A., Holoborodko S. P., Kokovikhin S. V. Metodyka polovoho doslidu (zroshuvane zemlerobstvo) : navch. posib. Kherson : Hrin D. S., 2014. 445 s. ISBN 978-617-7243-02-0.

Uhrin O. M. [1; ORCID ID: 0009-0002-0710-5852],
Post-graduate Student,
Bidnyna I. O. [1, 2; ORCID ID: 0000-0001-8351-2519],
Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Senior Research Fellow

[1]*Institute of Climate Smart Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv*
[2]*Institute of Water Problems and Land Reclamation of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv*

RELATIONSHIPS BETWEEN SYMBIOTIC APPARATUS FORMATION AND PRODUCTIVITY OF SOYBEAN CULTIVARS UNDER COMBINED SEED INOCULATION

The study aimed to determine cultivar-specific relationships among the formation of the symbiotic apparatus, the abundance of cellulolytic rhizosphere microorganisms, yield components, grain yield, and seed quality of soybean under combined pre-sowing seed inoculation. Field experiments were conducted in the Kherson region of Ukraine during 2023–2025 using two

ISSN 3154-8059

soybean cultivars, Sofiia and Monarkh. Five seed-treatment variants were compared: an untreated control, RyzobinK alone, and RyzobinK combined with *Bacillus velezensis* IMV B-8134, *Pseudomonas sp. 6, or Bacillus megaterium* UCM B-5724. Mean three-year values of nodule number and weight at pod formation, the abundance of cellulolytic microorganisms in the 0–20 and 20–40 cm soil layers, yield components, grain yield, and protein and oil indicators were used for the analytical assessment. Pearson correlation coefficients were calculated separately for each cultivar across the five inoculation treatments; because of the limited number of treatment points, the coefficients were interpreted descriptively rather than as a basis for broad statistical inference. In Sofiia, grain yield showed the closest relationships with nodule number and nodule weight (r = 0.97 and 0.95, respectively), whereas in Monarkh yield was closely associated with both nodule number and the mean abundance of cellulolytic microorganisms (r = 0.87 for each trait). The combinations containing *Pseudomonas sp. 6* and *B. megaterium* increased several reproductive traits, but the largest numbers of pods or seeds and the greatest seed weight per plant did not necessarily correspond to the highest grain yield. The most balanced biological and productive response in both cultivars was obtained with RyzobinK + *B. velezensis* IMV B-8134. This treatment produced 3.73 t ha–1 in Sofiia and 2.50 t ha–1 in Monarkh, corresponding to yield increases of 21.1% and 22.0% over the untreated control. After min–max normalization of symbiotic, microbiological, yield-component, yield, protein, and oil indicators, the integrated biological–productivity score reached 85.6 points for Sofiia and 80.4 points for Monarkh, ranking this bacterial combination first for both cultivars. The results demonstrate that the effectiveness of combined inoculation should be evaluated through the consistency of nodulation, rhizosphere biological activity, and crop productivity rather than through the maximum value of a single trait. Cultivar-specific evaluation of microbial combinations can therefore improve the biological substantiation of inoculant selection for soybean production in southern Ukraine.

Keywords: soybean; co-inoculation; nodules; rhizosphere microbiota; grain yield; correlation; cultivar response.

Отримано / Received: 07.08.2026
Прийнято до друку / Accepted: 05.09.2026
Опубліковано / Published: 18.09.2026

© 2026 [Uhrin O. M., Bidnyna I. O.]. Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)