Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

**УДК 633.34:631.461.5:581.132**
**DOI https://doi.org/10.32782/3083-7464-2026-2-134-139**



**Н. В. Пулик**
аспірант кафедри екології,
Уманський національний університет (м. Умань, Україна)
E-mail: nazarpulyk7@gmail.com
orcid.org/0009-0006-8158-4272

# ВПЛИВ ПРЕПАРАТІВ БУЛЬБОЧКОВИХ БАКТЕРІЙ НА НАКОПИЧЕННЯ ПІГМЕНТІВ У ЛИСТКАХ СОЇ

*У статті наведено результати дослідження впливу передпосівної бактеризації насіння сої (Glycine max (L.) Merr.) мікробними препаратами на основі бульбочкових бактерій на активність нагоромадження фотосинтетичних пігментів у листках культури. Актуальність дослідження зумовлено необхідністю пошуку ефективних агротехнологічних прийомів біологізації вирощування сої, спрямованих на підвищення ефективності використання біологічного азоту, оптимізацію функціонування фотосинтетичного апарату та зменшення залежності 2024–2026 рр. на базі дослідних ділянок Уманського національного університету. Вивчали ефективність передпосівної обробки насіння препаратами Різолік, Ризоактив, Різофікс та Оптімайз 400 у посівах сої сорту Медея. Контрольним варіантом слугувало передпосівне замочування насіння у воді. Вміст хлорофілу a, хлорофілу b, їх суми та каротиноїдів визначали у листках рослин у фазі цвітіння спектрофотометричним методом. Встановлено, що передпосівна бактеризація насіння забезпечувала істотне підвищення вмісту основних фотосинтетичних пігментів у порівнянні з контролем. Зокрема, у 2024 році вміст хлорофілу a зростав із 2,06 мг/г у контролі до 2,34–2,53 мг/г у варіантах із використанням мікробних препаратів, а сума хлорофілів зростала від 2,80 до 3,10–3,38 мг/г сирої речовини відповідно. Максимальні значення за більшістю досліджуваних показників відмічено у разі проведення передпосівної бактеризації насіння сої препаратом Оптімайз 400. Аналогічна закономірність простежувалася у 2025 році, хоча загальний рівень накопичення пігментів був дещо нижчим, що пов'язано з менш сприятливими умовами вегетації. Найвищі показники щодо вмісту фотосинтетичних пігментів отримано у 2026 році, що свідчить про залежність ефективності формування фотосинтетичного апарату не лише від застосування інокулянтів, а й від погодних умов. Також зростання вмісту каротиноїдів у листках у дослідних варіантах може свідчити про посилення фотопротекторного потенціалу та адаптивних можливостей рослин. Отримані результати підтверджують перспективність використання мікробних препаратів з метою оптимізації фотосинтетичної діяльності сої та підвищення ефективності технології її вирощування. Передпосівна бактеризація насіння може розглядатися як агрономічно доцільний метод, здатний забезпечувати активне формування фотосинтетичного апарату культури та ефективнішого використання ресурсів посівів.*
***Ключові слова:*** *соя, передпосівна бактеризація, мікробні препарати, ризобії, пігменти, хлорофіл, каротиноїди.*

**N. V. Pulyk**
PhD student at the Department of Ecology,
Uman National University (Uman, Ukraine)
E-mail: nazarpulyk7@gmail.com
orcid.org/0009-0006-8158-4272

## *THE EFFECT OF NODULE-FORMING BACTERIA PREPARATIONS ON PIGMENT ACCUMULATION IN SOYBEAN LEAVES*

*This article presents the results of a study on the effect of pre-sowing bacterization of soybean (Glycine max (L.) Merr.) seeds with microbial preparations based on nodule bacteria on the accumulation of photosynthetic pigments in the plant's leaves. The relevance of this study stems from the need to identify effective agrotechnological methods for the biological management of soybean cultivation, aimed at improving the efficiency of biological nitrogen utilization, optimizing the functioning of the photosynthetic apparatus, and reducing dependence on chemical fertilizers. The research was conducted from 2024 to 2026 at experimental plots of Uman National University. The effectiveness of pre-sowing seed treatment with the preparations Rizolik, Rizoaktiv, Rizofix, and Optimize 400 was studied in crops of the Medea soybean variety. Pre-sowing seed soaking in water served as the control treatment. The content of chlorophyll a, chlorophyll b, their sum, and carotenoids was determined in plant leaves during the flowering stage using a spectrophotometric method. It was found that pre-sowing bacterial treatment of seeds resulted in a significant increase in the content of major photosynthetic pigments compared to the control. Specifically, in 2024, the chlorophyll a content increased from 2,06 mg/g in the control to 2,34–2.53 mg/g in the treatments using microbial preparations, while the total chlorophyll content increased from 2,80 to 3,10–3,38 mg/g of fresh weight, respectively. The highest values for most of the studied indicators were observed when soybean seeds were pre-sown with the Optimize 400 preparation. A similar pattern was observed in 2025, although the overall level of pigment accumulation was slightly lower, which was due to less favorable growing conditions. The highest values for photosynthetic pigment content were obtained in 2026, indicating that the efficiency of photosynthetic apparatus formation depends not only on the use of inoculants but also on weather conditions. Furthermore, the increase in carotenoid content in the leaves of the experimental treatments may indicate an enhancement of the plants' photoprotective potential and adaptive capabilities. The results obtained confirm the potential of*

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

*using microbial preparations to optimize photosynthetic activity in soybeans and improve the efficiency of soybean cultivation. Pre-sowing seed inoculation can be considered an agronomically sound method capable of promoting the active development of the crop's photosynthetic apparatus and more efficient use of crop resources.*
***Key words:*** *soybeans, pre-sowing bacterial inoculation, microbial preparations, rhizobia, pigments, chlorophyll, carotenoids.*

**Постановка проблеми.** Нинішній розвиток аграрного виробництва спрямовано на поступову біологізацію технологій вирощування провідних сільськогосподарських культур, що передбачає зниження залежності від внесення мінеральних добрив і хімічних засобів захисту рослин, підвищення ефективності використання природних ресурсів та активніше залучення корисних сапрофітних мікроорганізмів у систему «ґрунт–мікроорганізми–рослина» [1, 2]. При вирощуванні сої одним із найбільш перспективних напрямів реалізації вищенаведеного є передпосівна інокуляція насіння мікробними препаратами, насамперед ризобіальними інокулянтами на основі бактерій роду *Bradyrhizobium*. Для сої це має вирішальне значення, оскільки симбіоз із бульбочковими бактеріями забезпечує біологічну фіксацію молекулярного азоту та, відповідно, знижує потребу культури в азотному живленні за рахунок мінеральних добрив [3, 4]. Тому передпосівна інокуляція насіння є не лише агротехнічним прийомом підвищення продуктивності, а й одним із практичних інструментів біологізації технології вирощування культури [5].

Доцільність даного заходу зумовлено можливістю збільшення частки саме біологічного азоту у живленні рослин. Це принципово важливо, оскільки надмірне використання мінеральних азотних добрив зумовлює підвищення ризику вимивання нітратів, евтрофікації водних екосистем, емісії оксиду азоту та порушення природного балансу ґрунтового азоту. Тому ефективна ризобіальна інокуляція може розглядатися як один із механізмів зниження ресурсомісткості та хімічного навантаження при вирощуванні сої [6, 7].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Низка експериментальних досліджень свідчить, що ефект передпосівної інокуляції біопрепаратами мікробного походження не обмежується лише активізацією формуванням бульбочок. Так, зокрема, M. N. O. Reis з співавторами [8] встановили, що мікробна інокуляція сої покращує ріст, мінеральне живлення та фізіологічний стан рослин культури. Відмічено також зміну показників фотосинтетичної діяльності та вмісту фотосинтетичних пігментів, що свідчить про можливість опосередкованого впливу речовин, продукованих мікроорганізмами, на функціонування фотосинтетичного апарату, зокрема, завдяки покращенню забезпечення рослин елементами живлення. Тобто біологічна фіксація молекулярного азоту та рістимулювальні речовини, продуковані мікроорганізмами, можуть формувати комплексний ефект, який проявляється не лише на рівні кореневої системи, а й у надземній частині рослин.

Важливим показником такого впливу є зміна у накопиченні фотосинтетичних пігментів. Хлорофіли є центральними компонентами фотосинтетичного апарату, тому їх вміст може характеризувати потенціал фотосинтетичної асиміляції та загальний функціональний стан листкового апарату [9, 10]. У свою чергу каротиноїди володіють фотопротекторною й антиоксидантною функціями, беручи участь у поглинанні високоактивної сонячної енергії та захисті фотосистем від окисного пошкодження. Саме тому зміни співвідношення та накопичення хлорофілів і каротиноїдів можуть бути інформативними показниками фізіологічної ефективності мікробної інокуляції [11].

Безпосередній зв'язок між передпосівною обробкою насіння сої та нагромадженням фотосинтетичних пігментів продемонстровано у дослідженні M. A. Khan з співавторами [12], де за умов інокуляції сої ризобактеріями авторами відмічено збільшення загального вмісту хлорофілу, хлорофілів *a* і *b* та каротиноїдів порівняно з неінокульованими рослинами у контрольному варіанті досліду. Також бактеризація насіння сприяла зниженню прояву окисного стресу та перекисного окиснення ліпідів. Отримані результати мають важливе значення, оскільки демонструють можливість використання мікроорганізмів для підтримання фотосинтетичного апарату рослин за несприятливих умов без додаткового хімічного навантаження на агроекосистему.

Іншими дослідженнями виявлено позитивний вплив *Pseudomonas pseudoalcaligenes* та *Bacillus subtilis* на фізіологічний стан сої. Встановлено, що бактеріальна інокуляція насіння сприяла збереженню вмісту хлорофілів та накопиченню каротиноїдів, що супроводжувалося зростанням стійкості рослин до стресових чинників. Ці дані демонструють можливість використання мікробних препаратів як заходу підвищення адаптивного потенціалу агроценозу, особливо за умов посилення абіотичних стресів у сучасних умовах [13].

Особливо показовими для обґрунтування дії ризобіальних інокулянтів є результати L. G. Moretti з співавторами [14], які вказують, що застосування біопрепаратів мікробного походження на основі бактерій родів *Bradyrhizobium* та *Azospirillum* покращувало фізіологічний стан сої та знижувало оксидативне пошкодження рослин за умов короткочасних посушливих періодів. Також обробка даними препаратами насіння супроводжувалося підвищенням вмісту хлорофілу *a*, хлорофілу *b*, відповідно суми хлорофілів, та каротиноїдів. Таким чином, симбіотичні та асоціативні мікроорганізми можуть одночасно підтримувати азотне живлення, фотосинтетичну активність та антиоксидантний захист рослин.

Перспективність використання мікробних препаратів підтверджується також іншими роботами. Зокрема, при дослідженні ко-інокуляції *Pseudomonas chlororaphis* H1 та *Bacillus altitudinis* Y1 виявлено покращення росту сої та зростання вмісту фотосинтетичних пігметів у листках.

Водночас ко-інокуляція сприяла формуванню ефективного мікробіому ризосфери, що є важливим з точки зору біологізації агровиробництва, оскільки ефективність мікробного препарату може визначатися не тільки безпосередньою взаємодією з рослиною, але й здатністю впливати на функціонування ґрунтової мікробіоти [15].

За іншими даними, комбіноване застосування *Bradyrhizobium japonicum* та *Enterobacter* супроводжувалося підвищенням вмісту хлорофілу *a*, зниженням концентрації малонового диальдегіду та пероксиду водню, а також активним ростом рослин. Це свідчить, що підтримання високого рівня фотосинтетичних пігментів може бути пов'язане не тільки з покращенням живлення, а й зі зменшенням інтенсивності окисного пошкодження клітинних структур [16].

Окремий напрям сучасних досліджень становить саме праймування насіння перед сівбою. Дослідженнями виявлено, що передпосівне праймування насіння сої бактеріями дещо нівелювало негативний вплив стресових чинників. Досліджені препарати характеризувалися комплексом властивостей, пов'язаних зі стимуляцією росту рослин, здатністю продукувати фітогормональні сполуки, тому обробка ними насіння сприяла активному росту рослин, накопиченню осмотично активних сполук та зростанню активності антиоксидантних ферментів [17].

Також цікаві результати стосовно передпосівної обробки насіння мікробними препаратами отримано іншими авторами. Так, при дослідженні впливу препаратів на основі *Bacillus megaterium* та *Bradyrhizobium japonicum*, виявлено їх позитивний вплив на схожість, розвиток кореневої та надземної частин рослин [18].

**Метою статті** є вивчення ефективності дії передпосівної бактеризації насіння сої препаратами бульбочкових бактерій (Різолік, Ризоактив, Різофікс та Оптімайз 400) на накопичення хлорофілу *a*, хлорофілу *b*, суми хлорофілів (*a*+*b*) та каротиноїдів.

**Матеріали та методи дослідження.** Дослідження за даною тематикою виконувалися у 2024–2026 рр. на баз використанням лабораторій та дослідних ділянок кафедри екології Уманського національного університету та кафедри агробіології та біохімії. Ефективність препаратів досліджували на сої сорту Медея. Дослід закладали у чотириразовій повторності із систематичним розташуванням ділянок. Схема досліду: Контроль (передпосівне замочування насіння водою); Різолік (3,0 л/т); Ризоактив (1,0 л/т); Різофікс (4,0 кг/т); Оптімайз 400 (1,8 л/т).

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем опідзолений важкосуглинковий з вмістом гумусу 3,5% та pH 6,2. Вміст рухомих сполук фосфору – 88 мг/кг, калію – 132 мг/кг (за Чириковим), легкогідролізованого азоту – 103 мг/кг (за Корнфілдом).

З метою визначення вмісту фотосинтетичних пігментів наважку свіжого листя сої у 100 мг, відібраного з верхнього ярусу ретельно розтирали у фарфоровій ступці з охолодженим 96%-м етиловим спиртом (у пропорції 1:10).

1 мл отриманої маси піддавали центрифугуванню впродовж 5 хвилин при 8000 об/хв та температурі 4 °С. Залишковий осад послідовно промивали чистим спиртом до повного знебарвлення та повторно центрифугували за тих самих умов. Усі отримані фракції об'єднували в один фінальний екстракт, що містив сумарну фракцію зелених і жовтих пігментів.

Спектрофотометричний аналіз витяжки проводили на приладі Leki SS1104 проти контролю (96%-й етиловий спирт). Оптичну густину розчину вимірювали за довжин хвиль, що відповідають пікам поглинання пігментів у спиртовому середовищі. Розрахунок концентрації речовин здійснювали за відповідними калібрувальними формулами для даного розчинника відповідно до методики [19]. Статистичну обробку отриманих данихвиконували у середовищі MS Excel.

**Основні результати дослідження.** Експериментальні дані, отримані у 2024 році, засвідчили високу ефективність передпосівної інокуляції насіння сої мікробними препаратами, що забезпечує істотне зростання вмісту основних груп фотосинтетичних пігментів у листках рослин у фазі цвітіння у порівнянні з контрольним варіантом досліду. Аналіз динаміки накопичення пігментів виявив чітку закономірність зростання вмісту фотосинтетичних пігментів за дії досліджуваних біопрепаратів.

Зокрема, вміст хлорофілу *a* збільшився в усіх дослідних варіантах, від 2,34 мг/г сирої речовини у варіанті з Різоліком до найвищого значення за дії Оптімайз 400, де цей показник сягнув 2,53 мг/г проти 2,06 мг/г у контролі (при $НІР_{05}$ = 0,05) (рис. 1).

Аналогічна тенденція щодо вмісту пігменту простежувалася і для хлорофілу *b*, вміст якого за показника у контролі в 0,74 мг/г зріс до 0,76 мг/г у варіанті з Різоліком та досяг значення у 0,85 мг/г за обробки насіння препаратом Оптімайз 400 (при $НІР_{05}$=0,03). Сума хлорофілів (*a*+*b*) перевищувала показники контрольного варіанту досліду (2,80 мг/г) на 10,7–20,7% залежно від варіанту досліду: Різолік (3,10 мг/г); Ризоактив (3,23 мг/г); Різофікс (3,30 мг/г); Оптімайз 400 (3,38 мг/г) при $НІР_{05}$ = 0,07.

Важливим є також інтенсифікація синтезу каротиноїдів у листках сої за проведення інокуляції насіння культури, їх вміст зріс від 0,41 мг/г у контролі до 0,44–0,56 мг/г у дослідних варіантах при $НІР_{05}$ = 0,03.

Така залежність пігментоутворення від дії біопрепаратів вказує на оптимізацію функціонування фотосинтетичного апарату сої за рахунок покращення симбіотичного азотного живлення рослин мікроорганізмами. Схожі результати отримано й іншими дослідженнями, які експериментально підтверджують, що передпосівна обробка насіння мікробними препаратами крім активізації розвитку бульбочкових бактерій закладає підґрунтя більш активного накопичення основних фотосинтетичних пігментів [20].

Крім того, суттєве накопичення каротиноїдів підвищує адаптивність та стресостійкість посівів.

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

Таким чином, передпосівна інокуляція є екологічно доцільним агроприйомом, який мінімізує хімічне навантаження на ґрунт, зберігає природну мікробіоту та дозволяє біологізувати технологію вирощування бобових культур [21].

Результати досліджень, отримані у 2025 році, підтвердили ефективність передпосівної бактеризації насіння сої досліджуваними мікробними препаратами, виявивши закономірність формування фотосинтетичного апарату у фазі цвітіння, аналогічну 2024 року.

Тут зростання вмісту зелених пігментів щодо контролю у 2025 році складало від 12,0% у варіанті досліду із застосуванням для інокуляції насіння сої препарату Різолік до 21,9% за використання Оптімайзу 400 (рис. 2).

Щодо показника співвідношення хлорофілів *a/b*, то воно було в межах 2,98–3,11 для дослідних варіантів проти 2,78–2,79 у контролі. Це свідчить про формування більш потужних фотосистем під впливом покращеного симбіотичного азотного живлення.

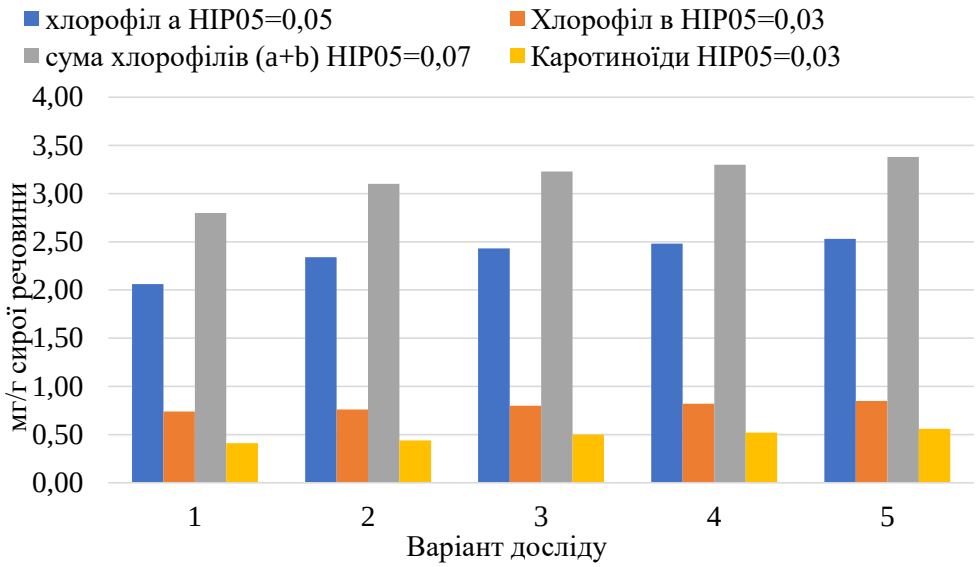



**Рис. 1. Вміст пігментів у листках сої за інокуляції насіння мікробними препаратами у фазі цвітіння 2024 р. (1. Обробка насіння водою (контроль); 2. Різолік; 3. Ризоактив; 4. Різофікс; 5. Оптімайз 400)**

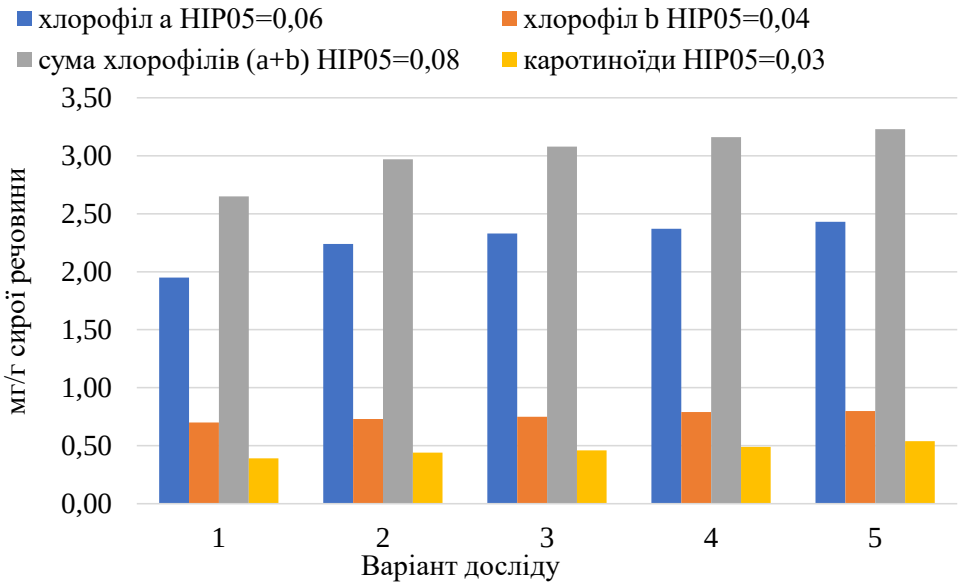



**Рис. 2. Вміст пігментів у листках сої за інокуляції насіння мікробними препаратами у фазі цвітіння 2025 р. (1. Обробка насіння водою (контроль); 2. Різолік; 3. Ризоактив; 4. Різофікс; 5. Оптімайз 400)**

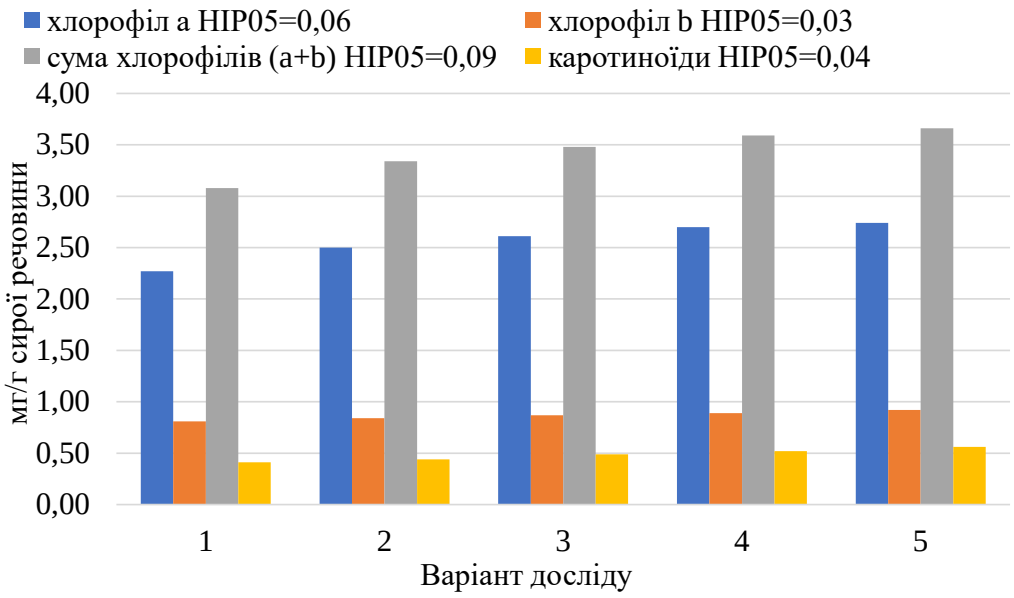



**Рис. 3. Вміст пігментів у листках сої за інокуляції насіння мікробними препаратами у фазі цвітіння, 2026 р. (1. Обробка насіння водою (контроль); 2. Різолік; 3. Ризоактив; 4. Різофікс; 5. Оптімайз 400)**

Також досить високою залишалася динаміка накопичення каротиноїдів, максимальний вміст яких у 2025 році також відмічено за дії препарату Оптімайз 400 – на 0,15 мг/г сирої речовини вище контролю.

Результати, отримані у фазі цвітіння 2026 року, продемонстрували найвищий за всі роки досліджень вміст основних фотосинтетичних пігментів, підтвердивши високу ефективність мікробної інокуляції насіння. Так, у контрольному варіанті вміст суми хлорофілів був на рівні у 3,08 мг/г, а каротиноїдів – 0,41 мг/г, що суттєво перевищує показники, отримані у менш сприятливі 2024 та 2025 роки. Передпосівна бактеризація насіння сої забезпечила подальше зростання у порівнянні з контролем суми хлорофілів на 8,4–18,8% залежно від варіанту досліду.

Динаміка вмісту каротиноїдів у 2026 році була також аналогічною попереднім рокам і їх вміст зростав від 0,41 у контролі до 0,44–0,56 мг/г сирої речовини у дослідних варіантах (рис. 3).

**Висновки.** Таким чином, передпосівна інокуляція насіння сої досліджуваними мікробними препаратами ефективно сприяла зростанню вмісту фотосинтетичних пігментів у листках рослин у порівнянні з контролем. Найвищу ефективність у щодо нагромадження вмісту фотосинтетичних пігментів відмічено у разі застосування препарату Оптімайз 400. Також вміст пігментів залежав від погодних умов року дослідження, про що свідчать найвищі досліджувані показники, отримані у 2026 році. Загалом, отримані результати підтверджують ефективність мікробної інокуляції насіння як агротехнологічного прийому біологізації технології вирощування сої.

**Подяки.** Автор висловлює вдячність Уманському національному університету за надання польової та лабораторної бази, а також організаційної підтримки під час проведення наукового дослідження.

**Фінансування дослідження.** Дослідження виконано без зовнішнього фінансування.

**Конфлікт інтересів.** Відсутній.

**Авторський внесок.** Пулик Н. В.: визначення концепції дослідження; підбір методів дослідження; забезпечення ресурсами та обладнанням; підготовка рукопису.

**Декларація використання генеративного штучного інтелекту.** Під час підготовки цього рукопису використовувався ChatGPT з метою впорядкування списку літератури.

**References**

1. Hryhorieva, O.M., Cheriachukin, M.I., & Almaieva, T.M. (2020). Tekhnolohiia vyroshchuvannia soi z elementamy biolohizatsii v umovakh ryzykovanoho zemlerobstva Pravoberezhnoho Stepu Ukrainy [Biologized technology of soybean growing under conditions of risky agriculture of the Right-Bank Steppe of Ukraine]. *Zernovi Kultury*, 4(1), 87–95. https://doi.org/10.31867/2523-4544/0110 [in Ukrainian].

2. Tytova, L.V., & Dubinska, O.D. (2020). Produktyvnist sortiv soi zalezhno vid inokuliatsii nasinnia bulbochkovymy y endofitnymy bakteriiamy v umovakh zroshennia Pivdennoho Stepu Ukrainy [Productivity of soybean varieties depending on seed inoculation with nodule and endophytic bacteria under irrigation conditions of the Southern Steppe of Ukraine]. *Peredhirne ta Hirske Zemlerobstvo i Tvarynnytstvo*, 67(2). 228–239. https://doi.org/10.32636/01308521.2020-(67)-2-15 [in Ukrainian].

3. Vorobei, N.A., Kukol, K.P., Pukhtaievych, P.P., & Kots, S.Ia. (2023). Kompleksna inokuliatsiia soi bulbochkovymy bakteriiamy *Bradyrhizobium japonicum*

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

yak zasib optymizatsii symbiotychnoi azotfiksatsii [Complex inoculation of soybean with nodule bacteria *Bradyrhizobium japonicum* as a means of optimizing symbiotic nitrogen fixation]. *Silskohospodarska Mikrobiolohiia*, 38, 29–39. https://doi.org/10.35868/1997-3004.38.29-39 [in Ukrainian].

4. Kukol, K.P., Vorobei, N.A., Pukhtaievych, P.P., & Kots, T.A. (2024). Efektyvnist zavchasnoi inokuliatsii nasinnia soi stiikymy do funhitsydiv ryzobiiamy ta obrobky protruinykamy [Efficiency of early inoculation of soybean seeds with fungicide-resistant rhizobia and treatment with seed dressing agents]. *Fiziolohiia Roslyn i Henetyka*, 56(1), 74–86. https://doi.org/10.15407/frg2024.01.074 [in Ukrainian].

5. Kozar, S.F., Pyshchur, I.M., & Nesterenko, V.M. (2015). Vplyv *Bradyrhizobium japonicum* i *Azospirillum brasilense* na vertykalnu mihratsiiu spoluk biohennykh elementiv za vyroshchuvannia soi [The influence of *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense* on the vertical migration of biogenic element compounds under soybean cultivation]. *Silskohospodarska Mikrobiolohiia*, 21, 39–43. https://doi.org/10.35868/1997-3004.21.39-43 [in Ukrainian].

6. Sharma, P., Bhatt, A., & Kanwar, R. (2022). Influence of seed biopriming with microbial inoculants on seed quality parameters in soybean (*Glycine max* [L.] Merril). *Legume Research*, 45(9), 1171–1177. https://doi.org/10.18805/LR-4318

7. Fiuza, D.A.F., Vitorino, L.C., Souchie, E.L., et al. (2022). Effect of rhizobacteria inoculation via soil and seeds on *Glycine max* L. plants grown on soils with different cropping history. *Microorganisms*, 10(4), 691. https://doi.org/10.3390/microorganisms10040691

8. Reis, M.N.O., Vitorino, L.C., Lourenço, L.L., & Bessa, L.A. (2022). Microbial inoculation improves growth, nutritional and physiological aspects of *Glycine max* (L.) Merr. *Microorganisms*, 10(7), 1386. https://doi.org/10.3390/microorganisms10071386

9. Hadzovskyi, H.L., Novytska, N.V., & Martynov, O.M. (2019). Vmist khlorofilu v lystkakh roslyn ta urozhainist soi za vnesennia khelatnykh mikrodobryv [Chlorophyll content in plant leaves and soybean yield under the application of chelated micronutrient fertilizers]. *Tavriiskyi Naukovyi Visnyk*, 105, 34–38. https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/105_2019/105_2019.pdf?utm_source [in Ukrainian].

10. Chaika, T.O., & Korotkova, I.V. (2025). Vplyv peredposivnoi obrobky nasinnia soi biopreparatamy na vmist fotosyntetychnykh pihmentiv i vrozhainist za umov nestiikoho zvolozhennia y orhanichnoho zemlerobstva [Effect of pre-sowing treatment of soybean seeds with biopreparations on photosynthetic pigment content and yield under unstable moisture conditions and organic farming]. *Ahrobiolohiia*, 1, 188–198. https://doi.org/10.33245/2310-9270-2025-195-1-188-198 [in Ukrainian].

11. Huliaieva, H.B., Zhytkevych, N.V., Hnatiuk, T.T., et al. (2023). Physiological and biochemical changes in soybean plants caused by iodine-selenium chelates and phytopathogenic bacteria. *Mikrobiolohichnyi Zhurnal*, 85(2), 13–25. https://doi.org/10.15407/microbiolj85.02.013

12. Khan, M.A., Sahile, A.A., Jan, R., et al. (2021). Halotolerant bacteria mitigate the effects of salinity stress on soybean growth by regulating secondary metabolites and molecular responses. *BMC Plant Biology*, 21, 176. https://doi.org/10.1186/s12870-021-02937-3

13. Yasmin, H., Naeem, S., Bakhtawar, M., et al. (2020). Halotolerant rhizobacteria *Pseudomonas pseudoalcaligenes* and *Bacillus subtilis* mediate systemic tolerance in hydroponically grown soybean (*Glycine max* L.) against salinity stress. *PLoS ONE*, 15(4), e0231348. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231348

14. Moretti, L.G., Crusciol, C.A.C., Bossolani, J.W., et al. (2021). Beneficial microbial species and metabolites alleviate soybean oxidative damage and increase grain yield during short dry spells. *European Journal of Agronomy*, 127, 126293. https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126293

15. Zhang, W., Mao, G., Zhuang, J., & Yang, H. (2023). The co-inoculation of *Pseudomonas chlororaphis* H1 and *Bacillus altitudinis* Y1 promoted soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] growth and increased the relative abundance of beneficial microorganisms in rhizosphere and root. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1079348. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1079348

16. Agha, M.S., Haroun, S.A., Abbas, M.A., et al. (2023). Growth and metabolic response of *Glycine max* to the plant growth-promoting *Enterobacter Delta* PSK and *Bradyrhizobium japonicum* under salinity stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42, 5816–5830. https://doi.org/10.1007/s00344-023-10967-4

17. Dubey, A., Ahmad, M., Kumar, A., et al. (2024). Seed bio-priming with ACC deaminase-producing bacterial strains alleviates impact of drought stress in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Rhizosphere*, 30, 100873. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2024.100873

18. Tamindžić, G., Miljaković, D., Ignjatov, M., et al. (2024). Impact of simultaneous nutrient priming and biopriming on soybean seed quality and health. *Plants*, 13(18), 2557. https://doi.org/10.3390/plants13182557

19. Bessonova, V.P. (2006). *Praktykum z fiziolohii roslyn* [Practical course in plant physiology]. Dnipropetrovsk: RVV DDAU, 316. https://dspace.dsau.dp.ua/items/a9db9b8b-aa28-4a25-99e5-e90de410d8d2 [in Ukrainian].

20. Novytska, N.V., & Dzhemesiuk, O.V. (2017). Formuvannia urozhainosti soi pid vplyvom inokuliatsii ta pidzhyvlennia [Formation of soybean yield under the influence of inoculation and fertilization]. *Visnyk Poltavskoi DerzhavnoiAhrarnoiAkademii*, 1–2, 43–47. https://doi.org/10.31210/visnyk2017.1-2.09 [in Ukrainian].

21. Pyda, S.V., Chernik, I.V., & Tryhuba, O.V. (2024). Dynamika vmistu fotosyntetychnykh pihmentiv u lystkakh *Cicer arietinum* L. za vplyvu bakterialnykh preparativ [Dynamics of photosynthetic pigment content in leaves of *Cicer arietinum* L. under the influence of bacterial preparations]. *Ukrainskyi Zhurnal Pryrodnychykh Nauk*, 1, 46–55. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.5 [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 18.09.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 14.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 24.11.2026