



# Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК 633.34:631.53.01:631.67  
(477.7)

© 2022

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ БОБОВО- ЕНДОФІТНО-РИЗОБІАЛЬНОГО СИМБІОЗУ І ПРОДУКТИВНІСТЬ РІЗНИХ ЗА СКОРОСТИГЛІСТЮ СОЇ В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ ПІВДЕННОГО СТЕПУ УКРАЇНИ**

Г.О. Іутинська<sup>1</sup>, С.П. Голобородько<sup>2</sup>, Л.В. Титова<sup>3</sup>, О.Д. Дубинська<sup>4</sup>

<sup>1</sup>доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент НАН України

<sup>2</sup>доктор сільськогосподарських наук

<sup>3</sup>кандидат біологічних наук

<sup>4</sup>доктор філософії

<sup>1,3</sup>Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України  
вул. Академіка Заболотного, 154, м. Київ, 03143, Україна

<sup>2,4</sup>Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН  
вул. Маяцька дорога, 24, смт Хлібодарське Біляївського р-ну Одеської обл., 67667, Україна  
e-mail: <sup>1</sup>galyna.iutynska@gmail.com, <sup>2</sup>galoborodko1939@gmail.com,

<sup>3</sup>ltytova.07@gmail.com, <sup>4</sup>klenova-dubinskaelena76@ukr.net  
ORCID: <sup>1</sup>0000-0001-6692-2946, <sup>2</sup>0000-0002-6968-985X,

<sup>3</sup>0000-0003-3131-4355, <sup>4</sup>0000-0002-5572-0094

Надійшла 22.09.2022

**Мета.** Визначити формування симбіотичного та фотосинтетичного апаратів, ґрунтового мікробіоту і насінневу продуктивність різних за скоростиглістю сортів сої за інокуляції насіння бульбочковими й ендоефітними бактеріями в умовах зрошення Південного Степу України. **Методи.** Польові (визначення кількості бульбочок на коренях рослин, загальної листової поверхні, ефективності фотосинтезу, насінневої продуктивності сої), лабораторні (чисельність ґрунтових мікроорганізмів), статистичні. **Результати.** У середньому за 3 роки досліджень (2018–2020 рр.) площа листової поверхні за ендоефітно-ризобіальної інокуляції насіння Ризобіом<sup>К</sup> + *Bacillus* sp. 4 була більшою на 63,8–52,6% порівняно з неінокульованими рослинами. У кореневій зоні рослин за комплексної ендоефітно-ризобіальної інокуляції активізувався розвиток педотрофних, прототрофних, олігоазототрофних і азотофіксувальних мікроорганізмів. Комплексна інокуляція насіння сої стимулювала формування симбіотичної системи, зростали кількість бульбочок (на 60–65%) та їх маса (12–51%). У середньому за 3 роки за передпосівної обробки насіння Ризобіом<sup>К</sup> + *Bacillus* sp. 4 найбільша врожайність насіння сої сортів Діона становила 2,66 т/га, Аратта – 2,90 т/га. **Висновки.** Застосування

**бульбочкових та ендоефітних бактерій сої для комплексної інокуляції насіння ультраскоростиглого сорту Діона та середньораннього сорту Аратта сприяє активному розвитку рослин зі збільшеною листковою поверхнею та високою продуктивністю фотоасиміляції, стимулює ріст агрономічно корисних ґрунтових мікроорганізмів. Найвища врожайність насіння сої формувалася за передпосівної обробки насіння Ризобіном<sup>К</sup> + *Bacillus sp.4* і була на 28,5 – 31,8% більшою, ніж у контрольних варіантах.**

**Ключові слова:** інокуляція, бульбочкові й ендоефітні бактерії, листкова поверхня, симбіотичний апарат, урожайність.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202211-08>

Підвищення продуктивності агроценозів з використанням сучасних прогресивних методів вирощування сільськогосподарських рослин є актуальним завданням, особливо для забезпечення продовольчої безпеки України в період воєнного стану та післявоєнного відновлення економіки країни. У структурі посівних площ України соя — основна зернобобова культура, яка визначає рівень виробництва рослинного білка. Розширення її посівних площ зумовлено високими якісними показниками насіння (до 38–42% білка, 18–23 олії, 25–30 вуглеводів і 0,54–0,62% фосфору), невеликою енергоємністю вирощування та універсальністю використання культури. Зростаючий попит на міжнародному ринку на екологічно чистий рослинний білок та висока вартість мінеральних добрив сприяли зростанню її посівних площ [1]. Усвідомлення ролі мікроорганізмів у житті рослин стало науковим підґрунтям для вдосконалення енергоощадних технологій, що дає змогу зменшувати об'єми використання азотних і фосфорних мінеральних добрив при вирощуванні зернобобових культур [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Загально визнаним, енергоощадним і ефективним заходом підвищення насінневої продуктивності сої є застосування для передпосівної інокуляції насіння комплементарних штамів бульбочкових бактерій, які в симбіозі з рослиною фіксують атмосферний азот, що поліпшує живлення рослин, і продукують комплекс біологічно активних речовин [3–5]. В Україні мікробні препарати на основі вільно існуючих і симбіотичних азотофіксаторів широко використовують при вирощуванні зернових

і зернобобових культур [6]. Показано, що всебічна позитивна дія інокуляції насіння бобових культур бульбочковими бактеріями поліпшує азотне живлення рослин за рахунок фіксації атмосферного азоту, стимулювання росту та розвитку бобових через продукування ризобіями біологічно активних рістстимулювальних речовин, підвищення резистентності до стресових факторів навколишнього середовища [7]. Як показали дослідження, проведені на різних сортах сої (Романтика, Горлиця, Аліса), інокуляція насіння окремими штамми бульбочкових бактерій сої *Bradyrhizobium japonicum* або в комплексі з фосфатмобілізуючим штамом *Bacillus megaterium* сприяли істотному підвищенню врожайності культури [8]. Крім того, комплексна інокуляція насіння сої бульбочковими і фосфатмобілізуючими бактеріями знижувала ураження рослин альтернаріозом, пероноспорозом, фузаріозом і деякими бактеріозами [9].

На сучасному етапі вивчення рослинно-мікробних систем значна увага приділяється дослідженню не лише симбіотичних, а й інших мікроорганізмів фітосфери, зокрема ендоефітних бактерій, які є в міжклітинному просторі тканин рослин. Ендоефіти здатні синтезувати і постачати рослині-хазяїну широкий спектр біологічно активних речовин стимулювальної дії [10, 11], а також антиоксиданти, феноли, терпеноїди, стероли, аміно- і жирні кислоти [12]. Рослини захищають ендоефітів від несприятливих умов навколишнього середовища та живлять їх фотоасимілянтами [13]. У деяких ендоефітних бактерій підтверджено здатність до фіксації атмосферного азоту [14–16]. Ендоефіти можуть збільшувати доступність фосфору

для рослин перетворенням нерозчинних фосфатів у доступні рослинам форми [12].

Питання співіснування в бобових рослинах азотофіксувальних бульбочкових бактерій та ендоефітів донині мало досліджене. Заслужують на увагу роботи щодо вивчення взаємодії бобових рослин з інокулянтами, до складу яких, крім бульбочкових бактерій, входять ендоефіти. Бульбочки багаті поживними речовинами, тому й населені великою кількістю ризобіальних і неризобіальних бактерій [17]. Експериментальні дані свідчать про підвищення врожайності бобових, поліпшення здоров'я рослин і формування симбіотичної системи за спільної інокуляції бульбочковими бактеріями разом з ендоефітними порівняно з інокуляцією лише ризобіями [18]. Автори [19] порівнювали вплив на рослини нуту комплексної інокуляції бульбочковими бактеріями нуту *Mesorhizobium ciceri* разом з ізолятами ендоефітних бактерій, виділених із бульбочок і коренів нуту (*Cicer arietinum*), гороху (*Pisum sativum*), люцерни (*Medicago sativa*) і з небобових рослин — пшениці (*Triticum aestivum*) і вівса (*Avena sativa*). В умовах вегетаційного досліді було показано, що комплексна інокуляція *Mesorhizobium ciceri* разом із деякими активними ендоефітними ізолятами сприяли підвищенню таких показників росту рослин, як кількість бульбочок, — у 3,9 раза, маса бульбочок — 4,5, суха маса коренів — 2,3, уміст азоту — у 5,3 раза порівняно з моноінокуляцією самими бульбочковими бактеріями. У вегетаційних досліді із квасолею [20] неризобіальні бульбочкові ендоефіти, виділені з бульбочок люцерни, за комплексної інокуляції з *V. japonicum* 123 позитивно впливали на формування симбіотичного апарату і показники росту квасолі порівняно з інокуляцією лише *V. japonicum* 123. Відомо про поодинокі досліді з комплексної інокуляції сої ризобіями разом з ендоефітами. З поверхнево стерилізованих соєвих бобів (*Glycine max* (L.) Merr.) було виділено ізоляти неризобіальних ендоефітних бактерій [21]. З них *Bacillus subtilis* NEB4 і *Bacillus thuringiensis* NEB5 збільшували масу сої за умов спільної інокуляції з *V. japonicum* порівняно з рослинами, інокульованими лише *V. japonicum*. За відсутності ризобій ендоефіти не впливали

на ріст сої. Зазначені вище дані з літератури стосуються переважно вегетаційних досліджень. Раніше нами з бульбочок сої різних генотипів було виділено ендоефітні бактерії неризобіальної природи [22]. У вегетаційних досліді було показано, що за передпосівної інокуляції насіння сої ендоефітами *Paenibacillus* sp.1 або *Bacillus* sp.4 збільшувалася надземна маса рослин, стимулювалися процеси утворення симбіотичної системи між рослинами та аборигенними ризобіями, що забезпечило підвищення азотофіксувальної активності і загальної біологічної активності ґрунту. У польових умовах на зрошуваних землях взаємодія рослин сої з комплексом бульбочкових і ендоефітних бактерій залишалася недослідженою.

**Мета досліджень** — визначити формування фотосинтетичного і симбіотичного апаратів, ґрунтову мікробіоту та насінневу продуктивність різних за скоростиглістю сортів сої за передпосівної інокуляції насіння бульбочковими й ендоефітними бактеріями в умовах зрошення Південного Степу України.

**Матеріали та методи досліджень.** Польові досліді проводили в умовах зрошення Південного Степу України на Асканійській державній сільськогосподарській дослідній станції Інституту зрошеного землеробства НААН (нині Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН). Ґрунт — темно-каштановий середньосуглинковий з глибиною гумусного шару 45–50 см. Уміст гумусу (за Тюрнімом) в орному шарі — 2,15%, легкогідролізованого азоту (за Корнфілдом) — 50 мг/кг ґрунту, рухомого фосфору (за Мачигінімом) — 24, обмінного калію — 400 мг/кг ґрунту. Найменша вологоємність шару 0–50 см — 22,6%; 0–70 см — 22; 0–100 см — 21,3%, вологість в'янення відповідно — 9,8; 9,7 і 9,5% до маси абсолютно сухого ґрунту.

Двофакторний польовий дослід закладено методом розщеплених ділянок, де головні ділянки (ділянки першого порядку, фактор А) — сорти сої: ультраскоростиглий Діона і середньоранній Аратта. Ділянки другого порядку (субділянки, фактор В) — передпосівна інокуляція насіння різними штамми бульбочкових та ендоефітних бактерій. Як інокулянти використано препарат Ризобін<sup>к</sup> (асоціація 3-х штамів бульбочкових

бактерій *B. japonicum* УКМ В-6018, УКМ В-6023 й УКМ В-6035) окремо або разом з одним з ендоситів, виділених з бульбочок сої, — *Paenibacillus* sp. 1, *Bacillus* sp. 4, *Brevibacillus* sp. 5, *Pseudomonas* sp. 6. Штами селекціоновані в Інституті мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України. Обробку насіння протруйником Максим XL 035 FS (25 г/л флудиоксоніл + 10 г/л мефеноксам, Syngenta, США) проводили за 5 днів до початку сівби з нормою витрати 1 л/т насіння, а комплексну інокуляцію рідким інокulantом на основі бульбочкових і ендоситних бактерій — у день сівби з нормою витрати 1 л/т насіння та бактеріальним навантаженням  $10^7$  кл./нас. У контрольному варіанті 1 насіння не обробляли, у контрольному варіанті 2 — змочували водою. Для захисту посівів від шкідників застосовували контактну-системний інсектицид Галіп (22,26% імідаклоприду + 4,45% біфентрину, Adama Ltd, Аргентина) — 0,2 л/га. Площа посівної ділянки — 60 м<sup>2</sup>, облікової — 17 м<sup>2</sup>, повторність досліду — 4-разова. Сівбу проводили в III декаді квітня сівалкою «Клен 1,5» із шириною міжрядь 45 см на глибину 3–4 см. Норма висіву насіння сортів Діона — 800000, Аратта — 600000 схожих насінин/га. Вегетаційні поливи здійснювали дощувальною машиною «Reinke». Рівень передполивної вологості ґрунту від сходів до початку цвітіння обох сортів сої в розрахунковому шарі 0–70 см підтримували на рівні 70–75% НВ, у критичний період, фазі цвітіння та формування бобів — 75–80% НВ, у період дозрівання бобів — 60–65% НВ. Облік урожаю за варіантами польового досліду виконували за 100%-го дозрівання насіння в бобах. Збирання врожаю проводили комбайном «Сампо-130». Структуру врожаю визначали за загальноприйнятою методикою польового досліду,

Загальну листову поверхню, фотосинтетичний потенціал і чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) визначали за методом [23].

Мікробіологічні аналізи ґрунту проводили методом посіву ґрунтової суспензії на агаризовані поживні середовища і виражали кількістю колоній утворювальних одиниць (КУО) у 1 г сухого ґрунту. Чисельність педотрофних бактерій визначали на ґрунтовому

агарі, олігоазототрофних — середовищі Ешбі, фосфатмобілізувальних — середовищі Муромцева, прототрофних — середовищі Красильникова, целюлозоруйнівних — на середовищі Гетчинсона [24].

Статистичний аналіз експериментальних даних польового досліду виконували методом дисперсійного й кореляційного аналізів [25]. Статистичну обробку результатів мікробіологічних аналізів здійснювали за програмним забезпеченням Excel.

**Результати досліджень.** Фотосинтетична продуктивність рослин залежить від асиміляційної поверхні, інтенсивності фотосинтезу, добового приросту вегетативної маси, коефіцієнта використання сонячної енергії тощо. Тому чим більша площа листової поверхні, тим швидше накопичується органічна речовина рослинами, що сприяє підвищенню врожайності з одиниці площі посіву.

Проведені дослідження свідчать про істотний вплив ендоситно-ризобіальної інокуляції насіння різних за скоростиглістю сортів сої на формування фотосинтетичного апарату в міжфазний період «початок гілкування — початок цвітіння» (табл. 1).

Приріст площі листової поверхні сорту Діона у варіанті з Ризобіном<sup>К</sup> порівняно з контрольними варіантами становив 3,3–9,2 тис. м<sup>2</sup>/га, у варіанті Ризобін<sup>К</sup> + *Paenibacillus* sp.1 — 3,8–9,0, Ризобін<sup>К</sup> + *Bacillus* sp.4 — 6,4–14,1, Ризобін<sup>К</sup> + *Brevibacillus* sp.5 — 7,3–12,1, Ризобін<sup>К</sup> + *Pseudomonas* sp.6 — 4,2–10,1 тис. м<sup>2</sup>/га.

Істотне зростання площі листової поверхні за комплексної інокуляції насіння встановлено і за вирощування сорту Аратта, яке порівняно з контрольними варіантами становило: Ризобін<sup>К</sup> — 2,9–7,2 тис. м<sup>2</sup>/га, Ризобін<sup>К</sup> + *Paenibacillus* sp.1 — 3,0–9,9, Ризобін<sup>К</sup> + *Bacillus* sp.4 — 3,1–10,6, Ризобін<sup>К</sup> + *Brevibacillus* sp.5 — 3,0–10,5, Ризобін<sup>К</sup> + *Pseudomonas* sp.6 — 0,8–8,6 тис. м<sup>2</sup>/га.

У міжфазний період «початок цвітіння — початок утворення бобів» площа листової поверхні за вирощування сортів Діона та Аратта у варіантах за інокуляції насіння бульбочковими й ендоситними бактеріями була: Ризобін<sup>К</sup> — 31,5 і 32,6 тис. м<sup>2</sup>/га, Ризобін<sup>К</sup> + *Paenibacillus* sp.1 — 31,3 і 35,3,

1. Фотосинтетична діяльність різних за скоростиглістю сортів сої за ендоефітно-ризобіальної інокуляції насіння в міжфазний період «початок гілкування — початок цвітіння» (середнє за 2018–2020 рр.)

Сорт (А)	Бактеріальні препарати (В)	Площа листової поверхні, тис. м <sup>2</sup> /га			Тривалість періоду, дб	Фотосинтетичний потенціал, тис. м <sup>2</sup> /га·дб	Приріст сухої надземної маси, т/га	Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м <sup>2</sup> за добу
		початок періоду	кінець періоду	середнє значення				
Діона	1	11,4	22,3	16,85	26	438,1	6,79	1,55
	2	11,9	22,7	17,30	26	449,8	7,03	1,56
	3	15,2	31,5	23,35	26	607,1	10,29	1,69
	4	15,7	31,3	23,50	26	611,0	10,00	1,64
	5	18,3	36,4	27,35	26	711,1	11,93	1,68
	6	19,2	34,4	26,75	26	695,5	11,09	1,59
Аратта	7	16,1	32,4	24,25	26	630,5	11,70	1,85
	1	10,8	25,4	18,10	40	724,0	8,93	1,23
	2	11,8	27,4	19,60	40	784,0	9,95	1,27
	3	14,7	32,6	23,65	40	946,0	12,24	1,29
	4	14,8	35,3	25,05	40	1002,0	12,93	1,29
	5	14,9	36,0	25,45	40	1018,0	13,13	1,29
	6	14,8	35,9	25,35	40	1014,0	12,94	1,28
	7	12,6	34,0	23,30	40	932,0	12,43	1,25

Примітка. 1 — контроль 1 (без обробки насіння); 2 — контроль 2 (обробка насіння водою); 3 — Ризобін<sup>К</sup>; 4 — Ризобін<sup>К</sup> + *Paenibacillus* sp.1; 5 — Ризобін<sup>К</sup> + *Bacillus* sp.4; 6 — Ризобін<sup>К</sup> + *Brevibacillus* sp.5; 7 — Ризобін<sup>К</sup> + *Pseudomonas* sp. 6. (Для табл. 1–4 і рисунка).

Ризобін<sup>К</sup> + *Bacillus* sp.4 — 36,4 і 36,0, Ризобін<sup>К</sup> + *Brevibacillus* sp.5 — 34,3 і 35,9, Ризобін<sup>К</sup> + *Pseudomonas* sp. 6 — 32,4 і 34,0 тис. м<sup>2</sup>/га (табл. 2).

Максимальна площа листової поверхні сортів сої Діона та Аратта формувалася в міжфазний період «початок утворення бобів — початок дозрівання бобів», яка у варіанті з Ризобіном<sup>К</sup> досягала 36,6 та 39,5 тис. м<sup>2</sup>/га, з композицією Ризобін<sup>К</sup> + *Paenibacillus* sp.1 — 37,2 та 45,8, Ризобін<sup>К</sup> + *Bacillus* sp.4 — 42,1 та 47,3, Ризобін<sup>К</sup> + *Brevibacillus* sp.5 — 39,3 та 44,7, Ризобін<sup>К</sup> + *Pseudomonas* sp. 6 — 33,6 та 39,8 тис. м<sup>2</sup>/га відповідно.

Визначення фотосинтетичної діяльності різних за скоростиглістю сортів сої за комплексної інокуляції насіння бульбочковими та ендоефітними бактеріями показало, що в міжфазний період «початок гілкування — початок цвітіння» найбільша площа листової поверхні в середньому за роки досліджень була сформована в сої сорту

Діона у варіанті з композицією Ризобін<sup>К</sup> + *Bacillus* sp.4 (18,3–36,4 тис. м<sup>2</sup>/га), що сприяло приросту сухої надземної маси (11,93 т/га). Максимальну чисту продуктивність фотосинтезу в цей міжфазний період встановлено у варіантах: Ризобін<sup>К</sup> — 1,69 г/м<sup>2</sup> за добу, Ризобін<sup>К</sup> + *Bacillus* sp.4 — 1,68 і Ризобін<sup>К</sup> + *Pseudomonas* sp. 6 — 1,85 г/м<sup>2</sup> за добу (див. табл. 1).

У міжфазний період «початок цвітіння — початок утворення бобів» фотосинтетичний потенціал (ФП) у сорту Аратта досягав 1041,2 тис. м<sup>2</sup>/га у варіанті Ризобін<sup>К</sup> + *Bacillus* sp.4 проти 824,2 тис. м<sup>2</sup>/га у сорту Діона (див. табл. 2). Мінімальну ЧПФ у зазначеному міжфазному періоді встановлено в контрольних варіантах обох сортів сої: контроль 1 — 2,06 та 1,45 г/м<sup>2</sup> за добу, контроль 2 — 2,08 та 1,49 г/м<sup>2</sup> за добу відповідно. Максимальну ЧПФ у міжфазний період «початок цвітіння — початок утворення бобів» спостерігали у варіанті з інокуляцією насіння сої сорту Діона композицією

**2. Фотосинтетична діяльність різних за стиглістю сортів сої при ендоефітно-ризобіальній інокуляції насіння в міжфазний період «початок цвітіння — початок утворення бобів» (середнє за 2018–2020 рр.)**

Сорт (А)	Бактеріальні препарати (В)	Площа листкової поверхні, тис. м <sup>2</sup> /га			Тривалість періоду, діб	Фотосинтетичний потенціал, тис. м <sup>2</sup> /га·діб	Приріст сухої надземної маси, т/га	Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м <sup>2</sup> за добу
		початок періоду	кінець періоду	середнє значення				
Діона	1	22,3	25,7	24,00	21	504,0	10,41	2,06
	2	22,7	26,9	24,80	21	520,8	10,85	2,08
	3	31,5	36,6	34,05	21	715,0	17,10	2,39
	4	31,3	37,2	34,25	21	719,2	18,85	2,62
	5	36,4	42,1	39,25	21	824,2	17,18	2,08
	6	34,3	39,3	36,80	21	722,8	17,32	2,40
Аратта	7	32,4	33,6	33,00	21	693,0	15,63	2,25
	1	25,4	31,0	28,20	25	705,0	10,24	1,45
	2	27,4	33,8	30,60	25	765,0	11,37	1,49
	3	32,6	39,5	36,05	25	901,2	15,05	1,67
	4	35,3	45,8	40,55	25	1013,7	18,64	1,84
	5	36,0	47,3	41,65	25	1041,2	18,42	1,77
	6	35,9	44,7	40,30	25	1007,5	18,54	1,84
	7	34,0	39,8	36,90	25	922,5	16,12	1,75

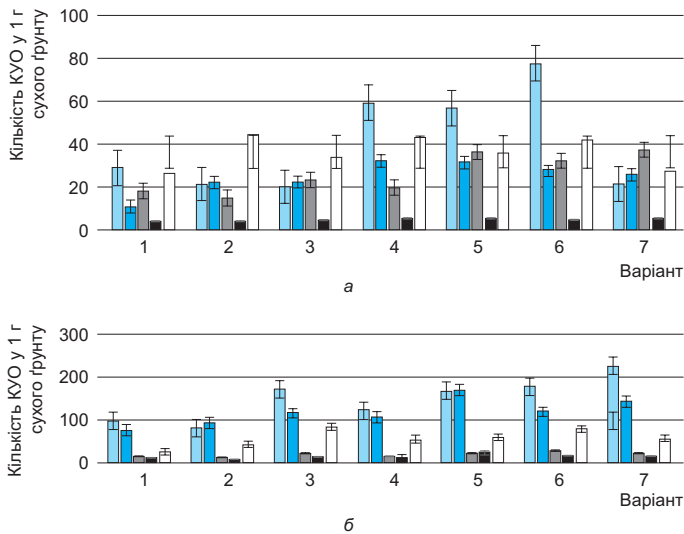
Ризобін<sup>К</sup> + *Paenibacillus* sp.1 — 2,62 г/м<sup>2</sup> за добу.

Проведення комплексної інокуляції насіння штамми бульбочкових та ендоефітних бактерій істотно впливало й на фотосинтетичну діяльність середньораннього сорту Аратта. Найбільша площа листкової поверхні в міжфазний період «початок цвітіння — початок утворення бобів» цього сорту формувалася у варіанті Ризобін<sup>К</sup> + *Bacillus* sp.4 — 36,0–47,3 тис. м<sup>2</sup>/га та варіанті Ризобін<sup>К</sup> + *Brevibacillus* sp.5 — 35,9–44,7 тис. м<sup>2</sup>/га. Чиста продуктивність фотосинтезу у варіанті з інокуляцією Ризобіном<sup>К</sup> + *Bacillus* sp.4 була 1,77 г/м<sup>2</sup> за добу, у варіантах із Ризобіном<sup>К</sup> + *Paenibacillus* sp.1 та Ризобіном<sup>К</sup> + *Brevibacillus* sp.5 — 1,84 г/м<sup>2</sup> за добу.

Збільшення асиміляційної поверхні листя та зростання ефективності фотосинтезу сприяли збагаченню кореневої зони рослин фотоасимілянтами, які з кореневими ексудатами потрапляли в ґрунт. Це створювало умови для розвитку мікроорганізмів, що беруть участь у таких важливих ґрунтових процесах, як трансформація гумусу

(педотрофи), азоту (олігоазототрофи), фосфору (фосфатмобілізувальні), розкладання рослинних залишків (целюлозоруйнівні). Результати визначення чисельності зазначених вище агрономічно корисних мікроорганізмів підтвердили позитивний вплив ендоефітно-ризобіальної інокуляції на їхній розвиток (рисунок).

Педотрофні бактерії беруть участь у трансформації водорозчинних компонентів органічної речовини ґрунту. Чисельність педотрофів у середньому за роки досліджень (2018–2020 рр.) у кореневій зоні рослин за умов ендоефітно-ризобіальної інокуляції була значно вищою порівняно з неінокульованими рослинами. Так, у кореневій зоні ультраскоростиглого сорту Діона кількість педотрофних бактерій була вищою, ніж у контрольних варіантах у 1,2–1,4 раза, у кореневій зоні середньораннього сорту Аратта — у 1,3–1,9 раза, причому найвища чисельність бактерій була у варіанті Ризобін<sup>К</sup> + *Bacillus* sp.4, де перевищувала значення в контрольних варіантах у 2,2 раза. Отримані дані свідчать про те, що коренева зона інокульованих рослин



Чисельність мікроорганізмів еколого-трофічних груп у ризосферному ґрунті сої сортів Діона (а) і Аратта (б) (середнє за 2018–2020 рр.): ■ — олігоазотрофні, млн; ■ — прототрофні, млн; ■ — целюлозоруйнівні, тис.; ■ — педотрофні, млн; ■ — фосфатмобілізувальні, млн

збагачена водорозчинними фракціями органічної речовини.

Важливу роль в азотному режимі ґрунту відіграють олігоазотрофні бактерії, деякі представники яких здатні до фіксації молекулярного азоту, що сприяє збагаченню завоюваними формами азоту. У кореневій зоні сої обох сортів найбільшу чисельність олігоазотрофних бактерій (у 1,8–2,8 раза більшу за контрольні значення) було відзначено у варіантах з інокуляцією Ризобіном<sup>к</sup> разом з *Brevibacillus* sp.5 або *Paenibacillus* sp.1.

Для створення оптимального поживного режиму ґрунту слід забезпечити рослини доступними формами фосфору. Фосфатмобілізувальні мікроорганізми здатні солюбілізувати нерозчинні фосфати та орґанофосфати в доступні рослинам форми. У кореневій зоні сої сорту Діона за умов застосування всіх досліджуваних комплексних інокулянтів кількість фосфатмобілізувальних мікроорганізмів перевищувала контрольні значення в 1,1–1,6 раза. У кореневій зоні інокульованих рослин сорту Аратта чисельність фосфатмобілізувальних мікроорганізмів була статистично вірогідно вищою, ніж у рослин контрольних варіантів,

а при застосуванні комплексної інокуляції насіння бульбочковими бактеріями разом із *Bacillus* sp.4 вона перевищувала контрольні в 2,1–2,7 раза.

Мікроорганізми не лише поліпшують поживний режим ґрунту, а й здатні синтезувати комплекс біологічно активних сполук (амінокислоти, органічні кислоти, вітаміни, фітогормони), які стимулюють ріст рослин, підвищують їхню резистентність до патогенів і стресостійкість. До таких мікроорганізмів належать прототрофні бактерії. Проведені дослідження виявили найбільш активний розвиток прототрофів у кореневій зоні сої обох сортів за інокуляції насіння комплексом Ризобіну<sup>к</sup> з *Bacillus* sp.4 або *Brevibacillus* sp. 5. У зазначених варіантах чисельність прототрофів у середньому за роки досліджень перевищувала значення в контрольних варіантах у кореневій зоні рослин сої сортів Діона в 1,8–2,5 раза, Аратта — в 1,6–2 рази. Процеси гумусоутворення починаються з розкладання рослинних решток. У цьому провідну роль відіграють целюлозоруйнівні мікроорганізми, які, здійснюючи деструкцію целюлозних компонентів рослинних залишків, сприяють синтезу прогумусових сполук. У кореневій

**3. Вплив ендоефітно-ризобіальної інокуляції насіння на формування кількості й маси бульбочок на кореневій системі різних за стиглістю сортів сої (середнє за 2018–2020 рр.)**

Сорт (А)	Бактеріальні препарати (В)	Кількість і маса кореневих бульбочок на 1 рослині у фазі			
		гілкування		утворення бобів	
		кількість бульбочок, шт.	маса бульбочок, г	кількість бульбочок, шт.	маса бульбочок, г
Діона	1	20	0,34	31	0,78
	2	22	0,43	33	0,89
	3	27	0,61	54	1,22
	4	29	0,60	60	1,24
	5	33	0,68	68	1,35
	6	32	0,66	47	1,20
	7	27	0,62	48	1,17
HIP <sub>05</sub>		3,60	0,10	10,15	0,16
Аратта	1	20	0,32	37	1,06
	2	22	0,45	39	1,18
	3	26	0,51	46	1,35
	4	24	0,53	51	1,31
	5	35	0,59	58	1,47
	6	27	0,59	49	1,19
	7	25	0,47	53	1,43
HIP <sub>05</sub>		3,61	0,07	5,64	0,11

**4. Урожайність насіння різних за скоростиглістю сортів сої за ендоефітно-ризобіальною інокуляцією насіння в умовах зрошення Південного Степу України (середнє за 2018–2020 рр.)**

Сорт (А)	Бактеріальні препарати (В)	Урожайність, т/га				Приріст до контролю 1	
		2018	2019	2020	середнє	т/га	%
Діона	1	1,89	2,42	1,84	2,05	–	–
	2	1,90	2,45	1,85	2,07	–	–
	3	2,13	2,79	2,23	2,38	0,33	16,1
	4	2,19	3,15	2,29	2,54	0,45	21,9
	5	2,29	3,33	2,35	2,66	0,61	29,8
	6	2,05	2,90	2,20	2,38	0,33	16,1
	7	2,03	2,89	2,16	2,36	0,31	15,1
Аратта	1	1,90	2,54	1,85	2,10	–	–
	2	1,92	2,54	1,86	2,11	–	–
	3	2,03	2,72	2,32	2,36	0,26	12,4
	4	2,08	2,95	2,06	2,36	0,26	12,4
	5	2,55	3,16	2,98	2,90	0,80	38,1
	6	2,27	2,96	2,29	2,51	0,41	19,5
		2,34	2,92	2,30	2,52	0,42	20,0

А. Оцінка істотності часткових відмінностей: HIP<sub>05</sub> (А) — 0,16 т/га; HIP<sub>05</sub> (В) — 0,11 т/га; В. Оцінка істотності середніх (головних) ефектів: HIP<sub>05</sub> (А) — 0,06 т/га; HIP<sub>05</sub> (В) — 0,08 т/га.

зоні рослин, насіння яких було оброблено Ризобіном<sup>К</sup>, кількість мікроорганізмів, здатних руйнувати целюлозу, підвищувалася порівняно з неінокульованими у сортів Діона в 1,3, Аратта — 3,1 рази.

Комплексна передпосівна інокуляція насіння бульбочковими й ендоефітними бактеріями істотно впливала на формування симбіотичного апарату (кількість і масу бульбочок) на кореневій системі досліджуваних сортів сої (табл. 3). У фазі гілкування на коренях обох сортів формувалася майже однакова кількість і маса бульбочок. При цьому максимальна їх кількість була у варіанті з інокуляцією насіння бульбочковими бактеріями препарату Ризобін<sup>К</sup> разом з *Bacillus* sp. 4 й переважала контрольні показники на 50–75%. У фазі утворення бобів кількість і маса бульбочок на коренях дослідних рослин зросли майже вдвічі щодо показників попередньої фази онтогенезу, зокрема у варіанті з комплексом Ризобіну<sup>К</sup> з *Bacillus* sp.4 у сортів Діона – у 2,1 та 2 рази, Аратта — 1,7 та 2,5 рази відповідно. При цьому спостерігалось й формування добре розвиненої кореневої системи обох сортів

сої з боковим галузненням додаткових корінців і досить великої кількості бульбочок на них.

Дослідженнями встановлено, що проведення комплексної інокуляції насіння бульбочковими й ендоефітними бактеріями позитивно впливало на підвищення врожайності сої (табл. 4). У середньому за 3 роки досліджень (2018–2020 рр.) приріст урожаю сорту Діона за інокуляції насіння бульбочковими й ендоефітними бактеріями різних варіантів польового дослідження порівняно з контролем 1 був 15,1–29,8%. При вирощуванні середньораннього сорту Аратта приріст урожаю також був досить високим і за наведеними варіантами польового дослідження досягав 12,4–38,1%.

Найнижчу врожайність насіння обох досліджуваних сортів сої отримано в контрольних варіантах у сортів Діона — 2,05 та 2,07 т/га, Аратта — 2,10 та 2,11 т/га відповідно.

Найвищу врожайність обох сортів сої отримано за інокуляції насіння композицією Ризобін<sup>К</sup> + *Bacillus* sp.4, за вирощування сортів Діона в середньому за 2018–2020 рр. вона становила 2,66 т/га, Аратта — 2,90 т/га.

## Висновки

Застосування енергоощадної технології з використанням комплексної інокуляції бульбочковими й ендоефітними бактеріями насіння сої ультраскоростиглого сорту Діона й середньораннього сорту Аратта сприяє активному розвитку рослин зі збільшеною листковою поверхнею і підвищеною продуктивністю фотосинтезу. За умов ендоефітно-ризобіальної інокуляції насіння в кореневій зоні рослин активізується розвиток у ґрунті мікроорганізмів, які позитивно впливають на

азотний і фосфорний режими ґрунту й беруть участь у трансформації гумусу та розкладанні корневих решток. Найбільша врожайність насіння обох сортів сої формувалася за передпосівної обробки насіння Ризобіном<sup>К</sup> + *Bacillus* sp.4. У сортів Діона без застосування мінеральних азотних добрив у середньому за 3 роки досліджень вона становила 2,66 т/га, Аратта — 2,90 т/га, що на 28,5–38,1% більше, ніж у контрольних варіантах.

Iutynska H.<sup>1</sup>, Goloborodko S.<sup>2</sup>, Tytova L.<sup>3</sup>, Dubynska O.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>, <sup>3</sup>D.K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of NAS of Ukraine, 154 Academician Zabolotny Str., Kyiv, 03143, Ukraine, <sup>2</sup>, <sup>4</sup>Institute of Climate-oriented Agriculture of NAAS, 24 Mayatska doroha Str., vil. Naddniproianske, Biliayevskiy district, Kherson oblast, 73483, Ukraine; e-mail:

<sup>1</sup>galyna.iutynska@gmail.com, <sup>2</sup>galoborogko1939@gmail.com, <sup>3</sup>ltytova.07@gmail.com <sup>4</sup>klenova-dubinskaelena76@ukr.net; ORCID: <sup>1</sup>0000-0001-6692-2946, <sup>2</sup>0000-0002-6968-985X, <sup>3</sup>0000-0003-3131-4355, <sup>4</sup>0000-0002-5572-0094

**The efficiency of legume-endophyte-rhizobial symbiosis and productivity of soybean varieties of different maturing speeds under the**

**irrigation conditions of the Southern Steppe of Ukraine**

**Goal.** To determine the formation of symbiotic and photosynthetic apparatus, soil microbiota, and seed productivity of soybean varieties of different precociousness after seed inoculation with nodule and endophytic bacteria under irrigation conditions of the Southern Steppe of Ukraine. **Methods.** Field (determination of the number of nodules on plant roots, total leaf surface, photosynthesis efficiency, soy seed productivity), laboratory (number of soil microorganisms), statistical. **Results.** On average, over 3 years of research (2018–2020), the leaf surface area after endophytic rhizobial inoculation of seeds with Ryzobin<sup>K</sup> + *Bacillus* sp. 4 was greater by 63.8–52.6% compared to non-inoculated plants. In the root zone of plants, the development of pedo-trophic, proto-trophic, oligo-nitrogen-trophic, and nitrogen-fixing microorganisms was activated during complex endophyte-rhizobial inoculation. Complex inoculation of soy seeds stimulated the

formation of a symbiotic system, the number of nodules increased by 60–65%, and their weight — by 12–51%. In an average of 3 years, during the pre-sowing treatment of seeds with Ryzobin<sup>K</sup> + *Bacillus* sp. 4, the highest yield of soy seeds of Diona was 2.66 t/ha, and Aratta variety — was 2.90 t/ha. **Conclusions.** The use of nodule and endophytic soy bacteria for complex inoculation of seeds of the ultra-early variety Diona and the mid-early variety Aratta contributes to the active development of plants with an increased leaf surface and high photo assimilation productivity, stimulates the growth of agronomically useful soil microorganisms. The highest yield of soybean seeds was formed by the pre-sowing treatment of seeds with Ryzobin<sup>K</sup> + *Bacillus* sp.4 and was 28.5–31.8% higher than in the control variants.

**Key words:** inoculation, nodule and endophytic bacteria, leaf surface, symbiotic apparatus, productivity.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202211-08>

**Бібліографія**

1. Бабич А.О., Побережна А.А. Селекція, виробництво, торгівля і використання сої у світі. Київ: Аграрна наука, 2011. 548 с.
2. Прус Л.І. Вплив агротехнічних заходів на продуктивність сої. *Агроекологічний журнал*, 2017. № 1. С. 62–67.
3. Wongdee J., Yuttavanichakul W., Longthonglang A. et al. Enhancing the Efficiency of Soybean Inoculant for Nodulation under Multi-Environmental Stress Conditions. *Pol. J. Microbiol.* 2021. V. 70. № 2. P. 257–271. doi: 10.33073/pjm-2021-024
4. Mili V., Mrkovacki N., Popović M., Đorđe Malenčić D. Nodule efficiency of three soybean genotypes inoculated by different methods. *Rost. Vyroba*. 2002. V. 48. № 8. P. 356–360. doi:10.17221/4380-PSE
5. Yuan K., Reckling M., Artigas Ramirez M.D. et al. Characterization of Rhizobia for the Improvement of Soybean Cultivation at Cold Conditions in Central Europe. *Microb. Environ.* 2020. V. 35. № 1. P. 1–13. doi: 10.1264/jsme2.ME191245
6. Волкогон В.В. Мікробіологічні аспекти оптимізації азотного удобрення сільськогосподарських культур. Київ: Аграрна наука, 2007. 143 с.
7. Патица В.П., Гнатюк Т.Т., Булеца Н.М., Кириленко Л.В. Біологічний азот у системі землеробства. *Землеробство*. 2015. Вип. 2. С. 12–20.
8. Tytova L.V., Brovko I.S., Kizilova A.K. et al. Effect of complex microbial inoculants on the number and diversity of rhizospheric microorganisms and the yield of soybean. *Int. J. Microb. Res.* 2013. V. 4. № 3. P. 267–274.
9. Миколаєвський В.П., Сергієнко В.Г., Титова Л.В. Вплив інокулянтів на формування симбіотичних систем, розвиток хвороб та продуктивність сої різних сортів. *Мікробіологія і біотехнологія*. 2016. № 3. С. 57–68.
10. Suzuki S., He Y.X., Oyaizu H. Indole-3-acetic acid production in *Pseudomonas fluorescens* HP72 and its association with suppression of creeping bentgrass brown patch. *Curr Microbiol.* 2003. V. 47. № 47. P. 138–143.
11. Patten C.L., Glick B.R. Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Applied and Environmental Microbiology*. 2002. V. 68. P. 3795–3801.
12. Forchetti G., Masciarelli O., Alemanno S. et al. Endophytic bacteria in sunflower (*Helianthus annuus* L.): isolation, characterization, and production of jasmonates and abscisic acid in culture medium. *Appl. Microb. Biotechnol.* 2007. V. 76. P. 1145–1152.
13. Sturz A.V., Christie B.R., Nowak J. Bacterial Endophytes: Potential Role in Developing Sustainable Systems of Crop Production. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2010. V. 19. № 1. P. 1–30. doi: 10.1080/07352680091139169
14. Ludwig-Müller J. Plants and endophytes: equal partners in secondary metabolite production? *Biotechnol. Letters*. 2015. V. 37. P. 1325–1334. doi: 10.1007/s10529-015-1814-4
15. Hill A., Crossman S.M. Characterization of N<sub>2</sub> — fixing bacteria associated with sweet potato roots. *Canadian Journal of Microbiology*. 1983. V. 29. P. 860–862.
16. Hurek T., Handley L.L., Reinhold-Hurek B.,

Piché Y. Azoarcus grass endophytes contribute fixed nitrogen to the plant in an unculturable state. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2002. V. 15. P. 233–242.

17. Dudeja S.S., Giri R., Saini R. et al. Interaction of endophytic microbes with legumes. *Journal of Basic Microbiology*. 2012. V. 52. № 3. P. 248–260. doi: 10.1002/jobm.201100063

18. Sturz A.V., Christie B.R., Matheson B.G., Nowak J. Biodiversity of endophytic bacteria which colonize red clover nodules, roots, stems and foliage and their influence on host growth. *Biol. Fertil. Soils*, 1997. V. 25. P. 13–19. doi: 10.1007/s003740050273

19. Saini R., Kumar V., Dudeja S.S., Pathak D.V. Beneficial Effects of Inoculation of Endophytic Bacterial Isolates from Roots and Nodules in Chickpea. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*. 2015. V. 4. № 10. P. 207–221.

20. Stajkovic O., Delic D., Josic D. et al. Improvement of common bean growth by co-inoculation with *Rhizobium* and plant growth promoting bacteria. *Romanian Biotechnological Letters*. 2011.

V. 16. № 1. P. 5919–5926.

21. Hallmann J.A., Quadt-Hallmann W.F., Mahaffee A. W., Kloepper J.W. Endophytic bacteria in agricultural crops. *Can. J. Microbiol*. 1997. V. 43. P. 895–914. doi: 10.1139/m97-131

22. Бровко І.С., Титова Л.В., Іутиньська Г.О. Вплив ендофітних бактерій на формування соєво-ризобіального симбіозу і ризосферне мікробне угруповання. *Мікробіологія і біотехнологія*. 2015. № 4. С. 36–45. doi: 10.18524/2307-4663.2015.4(32).57460

23. Ничипорович А.А., Строгонова Л.Е., Чмора С.Н., Власова М.П. *Фотосинтетическая деятельность растений в посевах*. Москва: Изд. АН СССР, 1961. 136 с.

24. Гудзь С.П., Гнатуш С.О., Білінська І.С. *Мікробіологія: практикум, тести*. Львів: Львівськ. нац. ун-т ім. Івана Франка, 2012. 227 с.

25. Ушкаренко В.О., Вожегова Р.А., Голобородько С.П., Коковіхін С.В. Статистичний аналіз результатів польових дослідів у землеробстві. Херсон: Айлант, 2013. 378 с.