

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ ШТАМІВ *RHIZOBIUM* НА ПОСІВАХ БОБОВИХ КУЛЬТУР

А.С. Левішко¹, І.І. Гуменюк¹, Є.Д. Ткач¹, Ю.В. Терновий², Ю.А. Кравчук²

¹ Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: alodua2@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4037-1730

e-mail: gumenyuk.ir@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6692-0171

e-mail: bio_eco@ukr.net; ORCID: 0000-0002-0666-1956

² Сквирська дослідна станція органічного виробництва ІАП НААН

(м. Сквир, Київська обл., Україна)

e-mail: ternowoj@i.ua; ORCID: 0000-0002-5829-5089

e-mail: doslidna_skvira@meta.ua

Уже багато років застосування бобово-ризобіальних систем та розробка ефективних, конкурентоспроможних мікробних препаратів є невід'ємною частиною органічного землеробства. Бобові культури потребують багато азоту для утворення бульбочок та подальшого синтезу білків. Доступний азот у ґрунті можна отримати з добрив та результатів фіксації вільного азоту ризобіями. Бобові рослини здатні використовувати N_2 з повітря у результаті симбіозу із бульбочковими бактеріями. Внесені органічні речовини також можуть бути використані бобовими рослинами як макроелементи незамінні для рослин, які ризобії використовують як джерело енергії. Метою цього дослідження було дослідити органічні добрива на основі симбіотичних бактерій, які впливають на ріст і врожайність сої та гороху. Польові випробування проводили на дослідних полях Сквирської дослідної станції органічного виробництва Інституту агроекології і природокористування НААН (Україна, Київська обл., м. Сквир) впродовж 2020–2021 рр. Культуру як швидкорослих бульбочкових бактерій *R. leguminosarum* bv. *viciae*, так і повільнорослих бактерій *V. jarrowicum* вирошували на манітно-дріжджовому середовищі впродовж 7 діб при 26–28°C. Азотофіксувальну активність кореневих бульбочок визначали ацетиленовим методом. У роботі наведено результати досліджень зі встановлення ефективності застосування нових штамів інокулянтів на посівах бобових культур сої сорту Моравія та гороху сорту Стартер в умовах Київської обл., Сквирської дослідної станції органічного виробництва Інституту агроекології і природокористування НААН. Було показано значний вплив нових штамів ризобій для інокуляції бобових культур на фенологічні показники та врожайність цих культур в умовах інтенсивних технологій. Встановлено позитивний ефект використання цих штамів на посівах бобових в умовах інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур у Правобережному Лісостепу України. Продемонстровано, що інокуляція бобових штамми *V. jarrowicum* EL 35 та *R. leguminosarum* bv. *viciae* PS 12 стимулює розвиток рослин упродовж їх вегетації та дає змогу отримати ефективні симбіотичні системи з високим рівнем азотофіксації, внаслідок якої можна одержати збільшення врожайності бобових культур від 16,2 до 20,4%.

Ключові слова: симбіотичні системи, *V. jarrowicum*, *R. leguminosarum* bv. *viciae*, інокуляція насіння, ризобії.

ВСТУП

Бобові є дуже важливими сільськогосподарськими культурами, оскільки містять багато білка. Високий вміст білка потребує багато азоту для їх росту. Наразі для збільшення росту та розвитку рослин використовують хімічні добрива. Постійне вне-

сення хімічних добрив сприяє отруюванню ґрунту та забруднює навколишнє середовище, тому необхідно шукати альтернативні добрива, які не мають побічних ефектів і не впливають негативно на навколишнє середовище. Альтернативним може бути використання біологічних добрив. Одним із видів таких добрив є препарати на основі симбіотичних бактерій *Rhizobium*, які здат-

ні фіксувати азот із повітря. Перевагами використання цих бактерій як біологічного добрива є їх безпечність та відсутність побічних ефектів, ефективність використання без небезпеки забруднення навколишнього середовища, відносно дешеві ціни й відносно проста технологія, здатна покращити структуру ґрунту, а значить, підвищити врожайність сільськогосподарських культур. У польових умовах інокульовані штами ризобій мають менший рівень виживання порівняно з місцевими штамми. Для того, щоб випередити місцеві угруповання ризобій, важливим є не тільки мати високу ефективність бульбочкоутворення, але й підвищити їх компетентність у ґрунті, зокрема, ризосфері. Успішне використання бобових у сільському господарстві буде залежати від належного формування ефективного симбіозу із кореневими бульбочковими бактеріями. Важливим компонентом для збільшення використання бобових є інтеграція селекції та розвитку сортів із відповідними дослідженнями, що ведуть до відбору елітних штамів бульбочкових бактерій. Крім того, дослідження в цих областях підвищують переваги для фермерів за рахунок прогресу у застосуванні відповідних технологій інокуляції для внесення нових штамів бактерій у ґрунт із підвищеною здатністю до виживання. Ключовою ознакою симбіотичного зв'язку між бульбочковими бактеріями та бобовими рослинами є дуже високий ступінь специфічності, необхідний для ефективного утворення симбіотичних систем певної бобової рослини-живителя. Тому, особливо актуальним є виділення та впровадження нових ефективних штамів у якості біологічних препаратів для покращання росту, розвитку та урожайності бобових рослин [1; 2]. Одним із найперспективніших і дієвих, вважається застосування бобово-ризобіальних систем та розробка ефективних, конкурентоспроможних мікробних препаратів. Уже багато років такі препарати є невід'ємною частиною органічного землеробства. Також в інтенсивних технологіях, лише завдяки таким, можливим є без зниження досягнутого рівня сільськогосподарського

виробництва зменшити його собівартість, шкідливий вплив на навколишнє природне середовище і водночас досягти екологічно чистої продукції [2; 3]. Таким чином, інокуляція насіння бобових активними штамми ризобій дає можливість відмовитись від використання азотних добрив. Це допоможе не лише істотно зменшити собівартість вирощування цієї культури, але й знизити забруднення навколишнього середовища, яке формується внаслідок використання сполук азоту.

Ефективні симбіотичні системи здатні збагатити ґрунти біологічним азотом, покращити екологічну ситуацію, і, не лише позитивно вплинути на врожайність, але й на якість аграрної продукції. За майже сторічну історію використання біологічних добрив на бобових культурах їх економічна ефективність та біологічна безпека не викликає сумнівів. Однак, разом із тим, довготривале використання інокулянтів призвело до формування у ґрунтах алохтонних популяцій ризобій, які успішно конкурують із новими штамми комерційних продуктів за можливість інвазії у корені бобових рослин і формування бульбочок, проте, зазвичай поступаються їм за азотофіксувальним потенціалом і здатністю до підвищення врожаю.

Конкурентоспроможність штамів знаходиться під контролем як внутрішньої детермінанти — генотипу мікроорганізму, так і зовнішніх чинників, таких як фізіологія рослини-симбіонта, вплив абіотичних чинників, толерантність до пестицидів та агрохімікатів, які застосовуються в технологіях вирощування сільськогосподарської культури [1].

Тому, відбір високоефективних штамів, які адаптувались до локальних ґрунтово-кліматичних умов і набули стійкості до засобів живлення та захисту рослин є найперспективнішою стратегією підвищення ефективності мікробних інокулянтів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Бобові культури, як важлива складова сівозміни, вже давно набули значного поши-

рення і потреба в них лише зростає з року в рік [4]. Так, наприклад, лише гороху органічного виробництва, Україна вийшовши на ринки Європи, експортувала 6,7 тис. т, за даними 2019 р. [5]. Завдяки збільшенню площі під бобовими та значній кількості інокулянтів для них, часто з'являються повідомлення про нездатність штамів ризобій подолати конкуренцію, створену саме алохтонними популяціями бактерій. Тому, серед усіх науковців світу простежується постійний пошук ризобій вже адаптованих до місцевих умов, що будуть більш високоефективними, перспективними та конкурентоспроможними [6–10]. Так, наприклад, група бельгійських вчених розробила оптимальну стратегію інокуляції сої в регіонах із помірним кліматом. При цьому вони не лише відзначили, що штами *Bradyrhizobium diazoefficiens* найкраще адаптовані до згаданих кліматичних умов, але й показали вплив різних доз інокулянтів та термінів обробки насіння на ефективність сформованого симбіозу. W. Jarecki показав, що незважаючи на обробку насіння навіть високоефективними штамми їх дія може дуже сильно залежати від погодних умов [11; 12].

Також існує інформація, що для кращого ефекту від обробки ризобіальними штамми треба використовувати ті, які мають більш високу толерантність до висихання на насінні або сумісні з додаванням певних осмопротекторів та відповідних адгезивів, які допомагають штамам бути більш стійкими до певних стресових факторів [13]. Тобто, зважаючи на неймовірну кількість чинників, що можуть впливати на створення симбіотичної системи, науковці не припиняють проводити пошук нових штамів-симбіонтів бобових рослин та постійно перевіряти їх вплив на рослини в польових умовах.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Польові випробування здійснювали на дослідних полях Сквирської дослідної станції органічного виробництва Інституту агроєкології і природокористування НААН

(Україна, Київська обл., м. Сквир) впродовж 2020–2021 рр.

Дослідні поля розташовані в геоморфологічному районі Придніпровського плато в підрайоні «б» першого агрокліматичного району Київської обл. Тип ґрунту дослідних полів — чорнозем типовий малогумусний, за гранулометричним складом крупнопилувато-середньосуглинковий. Фізико-хімічні властивості ґрунту Сквирської дослідної станції такі: вміст гумусу в шарі ґрунту 0–20 см сягає 3,0% (за Тюрином), легкогидролізованого азоту (за Корнфілдом) — 6,6 мг, рухомого фосфору — 147 мг/кг і обмінного калію — 152 мг/кг (за Чириковим). Реакція ґрунтового розчину слабокисла (рН=5,2).

У роботі використовували такі сільськогосподарські культури:

- соя сорт Моравія середньостиглий, (120–139 діб);
- горох сорту Стартер середньостиглий, (78–98 діб).

Для обробки насіння використовували штами *Bradyrhizobium japonicum* EL 35 та EL 11 і *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* PS 11 та PS 12 із колекції відділу агроєкології і біобезпеки Інституту агроєкології і природокористування НААН.

Відбір рослин для дослідження проводили у такі фізіологічно важливі для культури фази:

- **соя:** I відбір — фаза трьох справжніх листків; II відбір — фаза бутонізації; III відбір — фаза цвітіння;
- **горох:** I відбір фаза 7–8 пар листків; II відбір — фаза бутонізації; III відбір — початок утворення бобів.

Посів рослин здійснювали на глибині 3–5 см з розрахунку 100 кг/га, ширина міжрядь — 45 см. Повторність дослідів — триразова, облікова площа ділянок 25 м².

Насіння рослин сої перед посівом інокулювали азотофіксуючими бактеріями *B. japonicum* — штамми EL 35 та EL 11.

Насіння рослин гороху інокулювали азотофіксуючими бактеріями *R. leguminosarum* bv. *viciae* — штамми PS 11 та PS 12.

Культуру як швидкорослих бульбочкових бактерій *R. leguminosarum* bv. *viciae*, так

і повільнорослих бактерій *B. japonicum* вирощували на манітно-дріжджовому середовищі впродовж 7 діб при 26–28°C. Склад манітно-дріжджового середовища (г/л): K_2HPO_4 – 0,5; MgSO_4 – 0,2; NaCl – 0,1; CaCO_3 – сліди, дріжджовий екстракт – 1,0; маніт – 10,0 (рН 6,8–7,2). Інокуляційне навантаження на насіння становило 10^8 – 10^9 кл/мл.

Азотофіксувальну активність кореневих бульбочок визначали ацетиленовим методом [14]. Газову суміш аналізували на хроматографі «Agilent 6850». Визначення проводили у 5-кратній біологічній повторності.

Польові та лабораторні дослідження проводили за загальноприйнятими методиками [15; 16]. Облік урожаю насіння сої та гороху здійснювали вимірювально-ваговим методом з облікової ділянки.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У лабораторних дослідженнях нами було відібрано перспективні ізоляти ризобій, що за основними симбіотичними властивостями: вірулентністю, конкурентоспроможністю та азотофіксувальною активністю здатні конкурувати із мікроорганізмами, які використовують у виробництві іноземних комерційних інокулянтів та можуть бути основою нових більш ефективних біологічних добрив, адаптованих для використання в ґрунтово-кліматичних умовах України [1]. Ці мікроорганізми стали основою для створення колекції мікроорганізмів відділу агроєкології і біобезпеки Інституту агроєкології і природокористування НААН. Для перевірки їх ефективності було проведено низку польових досліджень із використанням інокулянтів, створених на їх основі на посівах бобових культур.

Відомо, що для збільшення кількості азотофіксувальних мікроорганізмів у ґрунті та відповідно для підвищення продуктивності бобових рослин, широко використовується передпосівна обробка насіння активними культурами бульбочкових бактерій. Цей тип мікроорганізмів здатний

впливати на рослину в процесі її росту та розвитку, покращуючи або погіршуючи не лише здатність до створення врожаю, але й ростові характеристики [17]. Тому, першим етапом наших досліджень став аналіз динаміки наростання вегетативної маси інокульованих рослин. Так, аналіз рослин сої показав, що у фазі 3-х справжніх листків (I відбір) будь-який із інокульованих варіантів мав достовірно вищу наземну масу, порівняно із контрольним (неінокульованим) варіантом. Однак, якщо інокуляція штамом EL 11 сприяла збільшенню наземної маси на 24%, то інокуляція штамом EL 35 на 45%. На нашу думку, значна різниця у вегетативній масі між варіантами з інокуляцією та контрольним варіантом пов'язана не лише із рістстимулювальними властивостями використаних мікроорганізмів, а й із низьким рівнем мінерального азоту, що присутній у ґрунті.

Аналіз маси рослин сої у фазі бутонізації (II відбір) показав, що ефективність інокуляції штамом EL 35 була значно вищою, порівняно із обробкою штамом EL 11. Так, вегетативна маса рослин сої у варіантах з інокулюванням штамом EL 35 перевищувала контроль на 94%. Ефективність цього штаму відносно EL 11 сягала 72%. Так, наземна маса рослин, оброблених ризобіями *B. japonicum* EL 11, залишалася вищою, порівняно із контрольним варіантом. Однак різниця була значно меншою, ніж у фазі бутонізації та становила 12%.

У фазі цвітіння сої (III відбір) виявлена раніше тенденція зберігалась. За виключенням варіанта із обробкою штамом EL 11. На цьому етапі наземна маса рослин виявилась меншою порівняно із контрольним варіантом на 8%. Однак різниця була статистично недостовірною.

Нижчий рівень наростання вегетативної маси за умов обробки штамом EL 11 є можливим наслідком його високої інфекційності та як результат, відтоку фотосинтетичних асимілятів на користь процесу створення симбіотичного апарату.

Щодо рослин гороху, то інокуляція обома штамми *R. leguminosarum* bv. *viciae* PS 11 та PS 12 однаковою мірою сприяла

збільшенню вегетативної маси рослин гороху.

Динаміка розвитку кореневої системи рослин сої мала іншу закономірність (на відміну від розвитку її вегетативної маси). Різниця між варіантами спостерігалась лише у першому відборі. Найбільшою була маса коренів у рослин інокульованих штамом *B. japonicum* EL 35 (всіх досліджуваних фаз розвитку рослин). Різниця між рослинами контрольного варіанта та інокульованими штамом *B. japonicum* EL 11 майже не було у I відборі. Однак, починаючи з II відбору всі рослини практично вирівнялись по масі кореня та різниці між варіантами не спостерігалось, незалежно від штаму яким проводилася обробка насіння.

Інокуляція рослин гороху сприяла поступовому та стабільному збільшенню маси кореня. Так, у III відборі (початок утворення бобів) обробка насіння гороху штамом *R. leguminosarum* bv. *viciae* PS 12 призводила до збільшення маси кореня на 56%, а за умов обробки *R. leguminosarum* bv. *viciae* PS 11 на 43%. Все це свідчить про позитивний вплив інокуляції обома використаними штамми, оскільки корінь є важливим органом рослини не лише для

закріплення рослини у ґрунті, але й у поглинанні з нього води з розчиненими у ній поживними речовинами необхідними для розвитку рослин.

Динаміка формування симбіотичного апарату (табл. 1) показала: контрольні рослини сої взагалі не утворили бульбочок, що є свідченням відсутності спонтанної інокуляції в ґрунті внаслідок відсутності в ньому цих мікроорганізмів. Контрольні ж рослини гороху утворили незначну кількість бульбочок, що є наслідком присутності в ґрунті алохтонних ризобій.

У фазі 3-х справжніх листків сої (I відбір) кількість та маса бульбочок за умов інокуляції обома штамми були приблизно однакові. Починаючи з II відбору ми спостерігали значне збільшення кількості бульбочок у варіанті з інокуляцією штамом *B. japonicum* EL 11. Найбільша кількість бульбочок на сої була утворена за умов інокуляції штамом *B. japonicum* EL 11, але їх маса була нижчою, це вказує на їх, імовірно, меншу активність. Тобто, штам *B. japonicum* EL 11 проявив себе як високоінфекційний, але слабоактивний. Штам *B. japonicum* EL 35 утворив меншу кількість бульбочок, але їх маса була більшою.

Таблиця 1. Маса та кількість бульбочок сої та гороху, інокульованої відповідними штамми *B. japonicum* та *R. leguminosarum* bv. *viciae* різної ефективності

Варіант	Маса бульбочок (г/рослину) / Кількість бульбочок (шт./рослину)		
	I відбір	II відбір	III відбір
Соя			
Контроль соя (без інокуляції)	—	—	—
Соя + <i>B. japonicum</i> EL 35	0,11 ± 0,001 / 27,57 ± 0,87	0,26 ± 0,02 / 23,57 ± 4,08	0,43 ± 0,01 / 24,57 ± 2,71
Соя + <i>B. japonicum</i> EL 11	0,09 ± 0,003 / 28,14 ± 2,79	0,19 ± 0,004 / 56,71 ± 2,38	0,33 ± 0,02 / 76,42 ± 9,52
Горох			
Контроль горох (без інокуляції)	0,06 ± 0,001 / 1,41 ± 0,001	0,11 ± 0,001 / 7,61 ± 0,001	0,07 ± 0,001 / 4,11 ± 0,001
Горох + <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i> PS 11	0,12 ± 0,002 / 29,33 ± 1,79	0,36 ± 0,02 / 54,14 ± 2,71	0,44 ± 0,01 / 20,11 ± 1,29
Горох + <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i> PS 12	0,11 ± 0,001 / 31,13 ± 1,81	0,41 ± 0,02 / 51,11 ± 2,28	0,39 ± 0,01 / 18,12 ± 1,01

Інокуляція насіння рослин гороху обома штамми *R. leguminosarum* bv. *viciae* однаковою мірою стимулювала утворення великої кількості й маси бульбочок упродовж усіх трьох відборів. Також ми спостерігаємо, що контрольні рослини гороху утворили незначну кількість бульбочок, завдяки інфікуванню, так званими «дикими расами», алохтонних популяцій ризобій присутніх у ґрунті.

Дослідження динаміки симбіотичних систем сої показало, що найефективнішою виявилася інокуляція насіння штамом *B. japonicum* EL 35. Тобто, не зважаючи на меншу кількість бульбочок, їх більша вага стала показником їх ефективності. Наше припущення щодо штамів *B. japonicum* EL 11, який утворив багато дрібних бульбочок і проявив себе як високоінфекційний, але менш активний, підтвердилося.

Вивчення біологічної ефективності (азотофіксувальної активності) інокуляції гороху штамми *R. leguminosarum* bv. *viciae* PS 11 та *R. leguminosarum* bv. *viciae* PS 12 показало позитивний ефект від їх застосування на рослинах гороху (табл. 2). Однак, азотофіксувальна активність симбіотичних систем гороху за використання препарату на основі штамів *R. leguminosarum* bv. *viciae* PS 12 була вищою, ніж за використання штамів *R. leguminosarum* bv. *viciae* PS 11 і

перевищувала на 34,7% відповідно. Також, ми спостерігаємо, що бульбочки, які утворилися на контролі внаслідок спонтанної інокуляції, мають дуже низьку азотофіксувальну активність.

За час вирощування рослин у польових умовах головним критерієм оцінки дії будь-якого чинника є урожайність культури. Так, у табл. 2 відображено приріст урожаю у рослин інокульованих відповідними для них штамми ризобій. Найбільший приріст урожайності сої був за умов інокуляції штамом *B. japonicum* EL 35 і сягав 20,4%. Обробка менш ефективним штамом *B. japonicum* EL 11 дала приріст у 18,6%. Обробка насіння гороху *R. leguminosarum* bv. *viciae* PS 11 та *R. leguminosarum* bv. *viciae* PS 12 також показала свою високу ефективність та продемонструвала приріст урожаю, порівняно із контролем, 16,2 і 18,9% відповідно (табл. 3).

Отримані результати показали, що використання для інокуляції сої штамів *B. japonicum* EL 35 та для інокуляції гороху штамів *R. leguminosarum* bv. *viciae* PS 12 стимулює розвиток рослин упродовж їх вегетації. Така обробка дає можливість отримати симбіотичні системи з високим рівнем фіксації атмосферного азоту, внаслідок якої можна отримати істотний приріст урожайності цих бобових культур.

Таблиця 2. Динаміка симбіотичних систем сої та гороху, утворених за участю відповідних штамів *B. japonicum* та *R. leguminosarum* bv. *viciae* різної ефективності

Варіант	Азотофіксувальна активність, мкмоль C ₂ H ₄ /(рослину · год)		
	I відбір	II відбір	III відбір
Соя			
Контроль соя (без інокуляції)	—	—	—
Соя + <i>B. japonicum</i> EL 35	0,14 ± 0,009	0,92 ± 0,130	1,49 ± 0,214
Соя + <i>B. japonicum</i> EL 11	0,09±0,001	0,59±0,001	0,89±0,001
Горох			
Контроль горох (без інокуляції)	0,06 ± 0,001	0,11 ± 0,16	0,83 ± 0,16
Горох + <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i> PS 11	1,11 ± 0,19	1,39 ± 0,19	2,13 ± 0,19
Горох + <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i> PS 12	1,81 ± 0,23	2,27 ± 0,23	2,87 ± 0,23

Таблиця 3. Ефективність інокуляції сої та гороху відповідними штамми *B. japonicum* та *R. leguminosarum* bv. *viciae*

Варіант	Урожай, ц/га	Приріст урожаю порівняно з контролем	
		ц/га	%
Соя			
Контроль соя (без інокуляції)	32,8 ± 1,2	—	—
Соя + <i>B. japonicum</i> EL 35	39,5 ± 1,3	6,7	20,4
Соя + <i>B. japonicum</i> EL 11	38,9 ± 0,7	6,1	18,6
Горох			
Контроль горох (без інокуляції)	26,5±1,1	—	—
Горох + <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i> PS 11	30,8±1,4	4,3	16,2
Горох + <i>R. leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i> PS 12	31,5±1,2	5	18,9

ВИСНОВКИ

Використання для інокуляції сої штаму *B. japonicum* EL 35 та для інокуляції гороху штаму *R. leguminosarum* bv. *viciae* PS 12 стимулює розвиток рослин упродовж їх вегетації та дає змогу отримати симбіотичні системи з високим рівнем азотофіксації. Дослідження динаміки симбіотичних систем сої показало, що найефективнішою виявилася інокуляція насіння штамом *B. japonicum* EL 35, не зважаючи на втричі меншу кількість бульбочок їх вага була більшою на 39,6%. Азотофіксувальна ж

активність симбіотичних систем гороху за використання препарату на основі штаму *R. leguminosarum* bv. *viciae* PS 12 була вищою, ніж за використання штаму *R. leguminosarum* bv. *viciae* PS 11 і перевищувала на 34,7%. Натомість за вирощування рослин у польових умовах головним критерієм оцінки дії сформованих симбіотичних систем є урожайність культури, нами було охарактеризовано приріст урожайності в дослідженнях цих бобових культур — від 16,2 до 20,4% відповідно.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гуменюк І.І., Левішко А.С., Ткач Є.Д., Мазур С.О. Скринінг та характеристика перспективних штамів *Bradyrhizobium japonicum*, адаптованих до агрокліматичних умов України. *Мікробіологія в сучасному сільськогосподарському виробництві: Матеріали XIV наукової конференції молодих вчених* (м. Чернігів, 27–28 жовт. 2020 р.). Чернігів, 2020. С. 82–85.
2. Глянько А.К., Ищенко А.А., Филинова Н.В. Бобово-ризобіальний симбіоз: некоторые современные знания. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Сер.: Біологія*. 2017. Вип. 3. С. 6–22. DOI: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhnaui_biol_2017_3_3
3. Волкогон В.В. Мікробіологічні аспекти оптимізації азотного удобрення сільськогосподарських культур. Київ: Аграрна наука, 2007. 144 с.
4. Тертична О.В., Селінний М.М., Рябуха Г.І. та ін. Оцінювання ефективності взаємодії хімічних та біологічних препаратів за передпосівної обробки сої. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 3. С. 54–60. DOI: <http://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2021.240322>
5. Терновий Ю.В., Городиська І.М., Ліщук А.М. та ін. Вплив біологічних препаратів на урожайність та посівні якості гороху посівного (*Pisum sativum* L.) за органічного насінництва. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 3. С. 72–81. DOI: <http://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2021.240324>
6. Симочко Л.Ю., Дем'янюк О.С. Мікробіом ґрунту культурних рослин за різних агротехнологій. *Агроекологічний журнал*. 2018. № 2. С. 82–93. DOI: <http://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2018.157862>

7. Chibebaabe A.M. et al. Isolation, characterization and selection of indigenous *Bradyrhizobium* strains with outstanding symbiotic performance to increase soybean yields in Mozambique. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2017. Vol. 246. P. 291–305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.017>
8. Shahzad F. et al. Microbiological studies on *Rhizobium leguminosarum* isolated from pea (*Pisum sativum* L.). *Bangladesh Journal of Botany*. 2019. Vol. 48. № 4. P. 1223–1229. DOI: <https://doi.org/10.3329/bjb.v48i4.49079>
9. Zilli J.É. et al. Biological N₂ fixation and yield performance of soybean inoculated with *Bradyrhizobium*. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2021. Vol. 119. P. 323–336. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-021-10128-7>
10. Suproniene S. et al. Selection of *Rhizobium* strains for inoculation of Lithuanian *Pisum sativum* breeding lines. *Symbiosis*. 2021. Vol. 83. P. 193–208. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13199-021-00747-7>
11. Pannecouque J. et al. Temperature as a key factor for successful inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* spp. under cool growing conditions in Belgium. *The Journal of Agricultural Science*. 2018. Vol. 156. Is. 4. P. 493–503. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859618000515>
12. Jarecki W. Reaction of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) to seed inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* bacteria. *Plant, Soil and Environment*. 2020. Vol. 66. № 5. P. 242–247. DOI: <https://doi.org/10.17221/201/2020-PSE>
13. Chen W.F., Wang E.T., Ji Z.J. and Zhang J.J. Recent development and new insight of diversification and symbiosis specificity of legume rhizobia: mechanism and application. *Journal of Applied Microbiology*. 2020. Vol. 131. P. 553–563. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.14960>
14. Hardy R.W.F., Holsten R.D., Jackson E.K. and Burns R.C. The acetylene — ethylene assay for N₂ fixation: laboratory and field evaluation. *Plant Physiology*. 1968. Vol. 43. № 8. P. 1185–1207.
15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
16. Трибель С.О., Сігарьова Д.Д., Секун М.П. Методики вивчення і застосування пестицидів. Київ: Світ, 2001. 448 с.
17. Alemneh A.A., Zhou Y., Ryder M.H. and Denton M.D. Mechanisms in plant growth-promoting rhizobacteria that enhance legume — rhizobial symbioses. *Journal of Applied Microbiology*. 2020. Vol. 129. P. 1133–1156. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.14754>

REFERENCES

1. Gumeniuk, I.I., Levishko, A.S., Tkach, Ye.D. & Mazur, S.O. (2020). Skryning ta charakterystyka perspektyvnykh shtamiv *Bradyrhizobium japonicum*, adaptovanykh do agroklimatychnykh umov Ukrainy [Screening and characterization of promising strains of *Bradyrhizobium japonicum*, adapted to the agro-climatic conditions of Ukraine]. *Mikrobiologiya v suchasnomu silskogospodarskomu vyrobnyctvi: materialy XIV naukovoji konferenciji molodych vchenych [Microbiology in modern agricultural production: materials of the XIV scientific conference of young scientists]*. (pp. 82–85). Chernihiv [in Ukrainian].
2. Glyan'ko, A.K., Y'shhenko, A.A. & Fylynova, N.V. (2017). Bobovo-ryzobialnyj symbioz: nekotorye sovremennye znany'a [Leguminous-rhizobial symbiosis: some modern knowledge]. *Visnyk Charkivskogo nacionalnogo agrarnogo universytetu. Seriya: Biologiya — Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series: Biology*, 3, 6–22 [in Russian].
3. Volkogon, V.V. (2007). *Mikrobiologichni aspekty optymizaciji azotnoho udobrennya silskogospodarskykh kultur [Microbiological aspects of nitrogen fertilization optimization of agricultural crops]*. Kyiv: Agrarna Nauka [in Ukrainian].
4. Tertychna, O.V., Selinnyi, M.M., Ryabukha, G.I. et al. (2021). Otsiniuvannia efektyvnosti vzaiemodii khimichnykh ta biolohichnykh preparativ za peredposivnoi obrobky soi [Evaluation of the effectiveness of the interaction of chemical and biological drugs in pre-sowing treatment of soybeans]. *Ahroekolohichniy zhurnal — Agroecological journal*, 3, 54–60. DOI: <http://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2021.240322> [in Ukrainian].
5. Ternovij, Yu.V., Horodyska, I.M., Lishchuk, A.M. et al. (2021). Vplyv biologichnykh preparativ na urozhajnist' ta posivni yakosti goroxu posivnogo (*Pisum sativum* L.) za organichnogo nasynnyctva [Influence of biological preparations on yield and sowing qualities of sown peas (*Pisum sativum* L.) under organic seed production]. *Agroekolohichniy zhurnal — Agroecological journal*, 3, 72–81. DOI: <http://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2021.240324> [in Ukrainian].
6. Symochko, L.Yu. & Demyanyuk, O.S. (2018). Mikrobiom gruntu kulturnykh roslyn za riznykh ahrotekhnolohii [Soil microbiome of cultivated plants by different agricultural technologies]. *Ahroekolohichniy zhurnal — Agroecological journal*, 2, 82–93. DOI: <http://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2018.157862> [in Ukrainian].
7. Chibebaabe, A.M. et al. (2017). Isolation, characterization and selection of indigenous *Bradyrhizobium* strains with outstanding symbiotic performance to increase soybean yields in Mozambique *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 246, 291–305 [in English].
8. Shahzad, F. et al. (2019). Microbiological studies on *Rhizobium leguminosarum* isolated from pea (*Pisum sativum* L.). *Bangladesh Journal of Botany*, 48 (4), 1223–1229. DOI: <https://doi.org/10.3329/bjb.v48i4.49079> [in English].
9. Zilli, J.É. et al. (2021). Biological N₂ fixation and yield performance of soybean inoculated with *Bradyrhizobium*. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 119,

- 323–336. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-021-10128-7> [in English].
10. Suproniene, S. et al. (2021). Selection of *Rhizobium* strains for inoculation of Lithuanian *Pisum sativum* breeding lines. *Symbiosis*, 83, 193–208 [in English].
11. Pannecoucq, J. et al. (2018). Temperature as a key factor for successful inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* spp. under cool growing conditions in Belgium. *The Journal of Agricultural Science*, 156 (4), 493–503. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859618000515> [in English].
12. Jarecki, W. (2020). Reaction of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) to seed inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* bacteria. *Plant, Soil and Environment*, 66 (5), 242–247. DOI: <https://doi.org/10.17221/201/2020-PSE> [in English].
13. Chen, W.F., Wang, E.T., Ji, Z.J. & Zhang, J.J. (2020). Recent development and new insight of diversification and symbiosis specificity of legume rhizobia: mechanism and application. *Journal of Applied Microbiology*, 131, 553–563. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.14960> [in English].
14. Hardy, R.W.F., Holsten, R.D., Jackson, E.K. & Burns, R.C. (1968). The acetylene – ethylene assay for N₂ fixation: laboratory and field evaluation. *Plant Physiology*, 43 (8), 1185–1207 [in English].
15. Dospikhov, B.A. (1985). *Metodyka polevogo opyta (s osnovamy statystycheskoj obrabotky rezultatov issledovaniy) [Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]*. Moscow: Agropromizdat [in Russian].
16. Tribel, S.O., Sigaryova, D.D. & Sekun, M.P. (2001). *Metodyky vyprobuvannya i zastosuvannya pestydydiv [Methods of testing and application of pesticides]*. Kyiv: Svit [in Ukrainian].
17. Alemneh, A.A., Zhou, Y., Ryder, M.H. & Denton, M.D. (2020). Mechanisms in plant growth-promoting rhizobacteria that enhance legume – rhizobial symbioses. *Journal of Applied Microbiology*, 129, 1133–1156. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.14754> [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 03.01.2022
