

## ФОРМУВАННЯ АЗОТФІКСУВАЛЬНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ СОРТІВ СОЇ СЕЛЕКЦІЇ ІНСТИТУТУ КОРМІВ ТА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ПОДІЛЛЯ НААН

**В.Ф. Петриченко<sup>1</sup>, С.Я. Кобак<sup>1</sup>, В.М. Чорна<sup>1</sup>, С.І. Колісник<sup>1</sup>,  
В.В. Лихочвор<sup>2</sup>, С.В. Пида<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН України,  
проспект Юності, 16, Вінниця, 21100, Україна  
e-mail: K05.05.854.01-iksgp@ukr.net

<sup>2</sup>Львівський національний аграрний університет,  
вул. Володимира Великого, 1, Дубляни, Жовківський р-н., Львівська обл., 80381, Україна

<sup>3</sup>Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка,  
вул. Максима Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027, Україна  
e-mail: spyda@ukr.net

**Метою** було дослідити формування азотфіксувального потенціалу та продуктивності різних сортів сої селекції Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН залежно від бактеризації на сірих лісових середньосуглинкових ґрунтах в умовах Лісостепу правобережного. **Методи.** Мікробіологічні, фізіологічні, біохімічні, газова хроматографія. Для визначення кількості та маси бульбочок використовували метод монолітів. **Результати.** Наведено результати досліджень впливу бактеріального препарату–інокулянту Оптімайз 200 (діюча основа – штам *Bradyrhizobium japonicum* 61A273) на динаміку формування та продуктивність соєво-ризобіального симбіозу за наявності в ґрунті фонових популяцій ризобій сої. Визначено азотфіксувальний потенціал та урожайність насіння сортів сої селекції Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН за дії бактеризації. Виявлено, що бактеризація біопрепаратом Оптімайз 200 підвищує ефективність симбіотичної системи сої і, як наслідок, забезпечує збільшення урожаю та поліпшення його якості. **Висновки.** Доведено, що в умовах Лісостепу правобережного на сірих лісових середньосуглинкових ґрунтах бактеризація насіння біопрепаратами на основі штамів *Bradyrhizobium japonicum* покращує формування та функціонування симбіотичного апарату сої навіть на фоні ґрунтової популяції бульбочкових бактерій. Бактеризація насіння сої сприяє збільшенню біологічно фіксованого азоту на 27-37 %, урожайності сої – на 38-47 % та вмісту сирого протеїну – до 38,8 %. Встановлена пряма залежність та сильні позитивні кореляційні зв'язки між кількістю біологічно фіксованого азоту та продуктивністю сортів сої.

**Ключові слова:** соя, сорт, бактеризація, Оптімайз 200, кількість та маса бульбочок, азотфіксувальна активність, кількість фіксованого біологічного азоту, урожайність, насіння, сирий протеїн.

Цінною сільськогосподарською культурою, яка займає провідне місце серед зернобобових, є соя. В останні роки спостерігається значне зростання посівних площ цієї культури в Україні, і у 2017 р. вони становили 1994 тис. га. Необхідно відмітити, що сорти сої мають генетичний потенціал урожайності 6,5-7,5 т/га, проте за останні 5 років рівень урожайності насіння сої у виробництві коливався від 1,62 до 1,98 т/га [1]. Це є свід-

ченням того, що не повністю досліджені процеси росту і розвитку рослин та умови реалізації потенціалу насінневої продуктивності сої. Багато дослідників [2, 3, 4] вважають, що сучасні технології вирощування сільськогосподарських культур досягли межі «насичення» за деякими аспектами: екологічному (забруднення зовнішнього середовища та пригнічення механізмів його саморегуляції), енергетичному (збільшення затрат неповноцінної (викопної) енергії на кожну додаткову одиницю продукції), продукційному (подальше збільшення доз добрив і хімічних препаратів призводить до пригнічення росту і розвитку ґрунтових мікроорганізмів та не забезпечує ефективного збільшення врожайності й показників якості насіння).

Відомо, що отримання високих врожаїв сільськогосподарських культур прямо залежить від забезпечення їх елементами мінерального живлення, серед яких основним є доступний азот. Недостатня забезпеченість азотом – один з основних чинників, який інгібує процеси росту і розвитку рослин. Низьке співвідношення N:C в рослинних організмах пов'язане з тим, що для рослин, здатних до активної асиміляції із атмосфери вуглекислого газу, можливості одержання азоту вельми обмежені. Як зазначає ряд авторів [5-7], парадоксальність цієї ситуації полягає в тому, що, страждаючи від азотного дефіциту, рослини «купаються» в азоті, наявному в навколишньому середовищі: атмосфера складається на 78 % із молекулярного азоту, а органічні речовини ґрунту (гумус, лігнін, хітин, пептиди) містять багато зв'язаного азоту. Проте він недоступний для рослин, оскільки в них відсутні ферментні системи для фіксації молекулярного азоту і деструкції ґрунтової органіки. Природний вихід із цього становища – кооперація рослин з мікроорганізмами, які мають нітрогеназу або ферменти для розщеплення азотовмісних компонентів ґрунту.

Симбіоз бобових рослин з бульбочковими бактеріями – одна із найбільш ефективних систем біологічної азотфіксації, яка має важливе екологічне та практичне значення. У бобово-ризобіальному симбіозі досягається поєднання двох глобальних біохімічних процесів – азотфіксації та фотосинтезу, завдяки чому нормалізується азотно-вуглеводний баланс рослинного організму. Активізація агрономічно-корисних мікробних процесів у кореневій зоні рослин можлива двома способами: внесенням у ґрунт органічних та мінеральних добрив, які оптимізують діяльність або ригенної мікрофлори ґрунту, і збагаченням ґрунту високоефективними штамми азотфіксуювальних, фосфатмобілізувальних мікроорганізмів та мікроорганізмів-продуцентів рістрегулюючих і антибіотичних речовин [6-8].

Як відомо, позитивна роль зернобобових культур, в тому числі і сої, в сільському господарстві пов'язана з життєдіяльністю бульбочкових бактерій, з якими зазначені вище рослини знаходяться в тісних симбіотичних відносинах. Ця унікальна здатність дозволяє зернобобовим культурам засвоювати за вегетацію 130-390 кг/га азоту повітря, що забезпечує отримання дешевого рослинного білка без застосування дорогих і екологічно небезпечних мінеральних азотних добрив [1, 9-11]. Соя ж за оптимальних умов може біологічно фіксувати 180 кг/га та більше азоту, залишаючи після себе 25-40 кг/га його для наступних культур у сівозміні. Проте середні показники біологічної фіксації азоту культурою поки що

значно нижчі [10, 12].

Ефективність бактеризації залежить від характеру взаємовідносин макро- і мікросимбіонта в кожному окремому випадку, комплексу екологічних умов, достатнього забезпечення макро- та мікроелементами. Необхідно відмітити, що соя має високу сортову специфічність до штаму бульбочкових бактерій, спонтанне зараження якими на наших ґрунтах мало ефективне [1,13].

За даними Всеросійського інституту сільськогосподарської мікробіології бактеризація насіння зернобобових культур забезпечує достовірну прибавку урожаю зерна тільки в кожному третьому випадку [13]. Низьку ефективність інокуляції можна пояснити тим, що ґрунти, де вирощували зернобобові культури, містили велику кількість (від десятків до мільйонів життєздатних клітин в 1 г ґрунту) аборигенних популяцій бульбочкових бактерій. Подолати конкуренцію зі сторони спонтанних популяцій бульбочкових бактерій, які переважно формують до 100 % бульбочок і мають низький потенціал азотфіксації, можна шляхом інокуляції сої активними і висококонкурентними штамми ризобій, одержаними шляхом аналітичної селекції [14,15]. Крім того, симбіоз потрібно розглядати не тільки в розрізі культура – вид азотфіксувальних бактерій, але й сорт – штам ризобій.

За результатами досліджень Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН, які проводились упродовж 2001-2010 рр., виявлено, що найбільш адаптивними і комплементарними штамми бульбочкових бактерій сої в умовах Лісостепу правобережному на сірих лісових ґрунтах є: 71 -Т, 634 б, Х-2, № 36 та № 22, які забезпечили найвищу урожайність насіння сої сортів Феміда (2,36-2,43 т/га) та Агат (2,81-2,84 т/га), що більше на 10,3-13,6 % порівняно з варіантами без інокуляції [16-18].

Важливість комплементарності рослинно-мікробних асоціацій при формуванні симбіотичних відносин для покращення росту і розвитку бобових культур було показано низкою досліджень [19-22].

Проведені в останні десятиліття в Україні дослідження показали, що ґрунтові популяції ризобій різняться за щільністю та якісним складом і є досить гетерогенними. У результаті аналізу морфолого-культуральних, фізіолого-біохімічних та генетичних властивостей штамів ризобій сої, виділених із ґрунтів різних регіонів України, виявлені бульбочкові бактерії [1, 23, 24], які істотно відрізняються від типових повільнорослих симбіонтів сої виду *Bradyrhizobium japonicum*, описаних раніше [25]. Виділені штамми характеризуються підвищеною швидкістю росту і були умовно названі «штамами з інтенсивним ростом».

Крім цього, ученими Національної академії аграрних наук України встановлено сортові відмінності бобових рослин за інтенсивністю біологічної фіксації і на їх основі з використанням біотехнології, генетики і селекції створено понад 70 сортів бобових культур, у тому числі 44 сорти нового покоління, занесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, які характеризуються підвищеною інтенсивністю біологічної фіксації азоту в основних землеробських регіонах [26].

У зв'язку з цим обов'язковим елементом у технологіях вирощування бобових культур повинна бути передпосівна обробка насіння біопрепаратами на основі селекціонованих штамів специфічних ризобій, яка не

тільки підвищує продуктивність рослин, а й сприяє інтродукції у ґрунтові мікробоценози високоефективних штамів бульбочкових бактерій. Для підвищення продуктивності симбіотичної азотфіксації в агроценозах необхідно проводити селекцію сортів зернобобових культур і штамів бульбочкових бактерій, враховуючи конкретні ґрунтово-кліматичні і агротехнічні умови, а також створювати сприятливі умови для ефективного функціонування бобово-ризобіального симбіозу, що і складало мету наших досліджень.

**Матеріали і методи.** Дослідження проводились упродовж 2013-2015 рр. в умовах Лісостепу правобережного на сірих лісових середньосуглинкових ґрунтах, які характеризувались вмістом гумусу 1,96 % в орному шарі ґрунту, реакцією ґрунтового розчину рН (сол.) 5,1-5,8, гідролітичною кислотністю в межах 1,86-2,16 мг-екв./100 г ґрунту. Ступінь насиченості основами – 75-80 %, сума вбирних основ – 18,8-30, 1 мг-екв./100 г ґрунту. Щільність ґрунту складала 1,32 г/см<sup>3</sup>. Вміст рухомого фосфору – 214 мг/кг, обмінного калію – 104 мг/кг (за Чириковим) та азоту, що легко гідролізується – 43,5 мг/кг (за Корнфільдом).

Матеріалом досліджень були сорти сої селекції Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН, зокрема КиВін – ранньостиглий, Княжна – середньо-ранньостиглий, Монада – середньостиглий та бактеріальний препарат Оптімайз 200 фірми «BASF», Німеччина. Норма внесення – 2,8 л/т насіння. Титр складав  $2 \times 10^9$  КУО бактерій/г препарату.

Бактеризацію насіння проводили за день до сівби препаратом Оптімайз 200 сільськогосподарського призначення, сертифікованого в Україні.

Дослідження проводили за щільної популяції бульбочкових бактерій сої, яка створювалась у попередні роки шляхом вирощування сої, бактеризованої різними штамми бульбочкових бактерій та бактеріальними препаратами – інокулянтами.

Оцінку роботи симбіотичного апарату здійснювали у відповідності до методичних вказівок [27,28].

Азотфіксувальну активність визначали ацетиленовим методом [29]. Нітрогеназну активність визначали на газовому хроматографі «Agilent GC system 6850» (США) з полуменево-іонізаційним детектором. Розділення газів проводили на колонці (Supelco Porapak N) за температури печі 55 °С і температури детектора 150 °С. Газоносієм був азот (50мл за 1хв). Об'єм аналізованої проби газової суміші становив 1мл. Як стандарт використовували чистий етилен (Sigma). Азотфіксацію виражали у наномолях утвореного етилену на 1 рослину за 1 годину (нмоль C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/(рослину за год.) – загальна азотфіксувальна активність (АА)).

Активний симбіотичний потенціал (АСП) розраховували за формулою

$$АСП = \frac{M_1 + M_2}{2} \cdot T, \text{ де}$$

АСП – активний симбіотичний потенціал, тис. кг дн./га; M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> – середня маса бульбочок із леггемоглобіном за період часу, кг/га, T – період між двома сусідніми строками визначення, діб.

Кількість біологічно фіксованого азоту визначали методом розрахунку біологічно фіксованого азоту за активним симбіотичним потенціалом

(АСП) та питомою активністю симбіозу (ПАС). Питому активність симбіозу (1 г азоту на 1 кг сирих бульбочок за добу) розраховують за формулою:

$$ПАС = \frac{N_1 - N_2}{АСП_1 - АСП_2}, \text{ де}$$

ПАС – питома активність симбіозу, гN/кг за добу;  $N_1$  і  $N_2$  – максимальне використання азоту рослинами бобових культур у відповідних варіантах досліду за окремі періоди або за вегетацію рослин, кг/га; АСП<sub>1</sub> і АСП<sub>2</sub> – це значення активного симбіотичного потенціалу у варіантах без та із застосуванням інокуляції насіння, кг×днів/га. У середньому за 2013-2015 рр. ПАС становила 5,22 гN/кг за добу.

Знаючи розміри АСП та ПАС, можна встановити кількість фіксованого азоту за будь-який проміжок часу. В подальшому кількість біологічно фіксованого азоту знаходили як добуток активного симбіотичного потенціалу та питомої активності симбіозу.

Облік урожаю зерна проводили методом суцільного збирання комбайном «Samro–130» і зважуванням з кожної ділянки з наступним відбором зразків зерна сої для визначення в лабораторії вмісту сирого протеїну і вологості. Математичну обробку результатів досліджень проводили методом дисперсійного та кореляційно-регресійного аналізу на персональному комп'ютері із використанням спеціальних пакетів прикладних програм типу MS Excel [30].

**Результати.** Показано, що найбільш інтенсивно бульбочки рожевого кольору наростали до фази кінець цвітіння, після чого їх кількість та маса різко знижувались до фази розвитку і досягання плодів і насіння (табл. 1). Зменшення у пізні фази росту і розвитку рослин зазначених вище показників пояснюють послабленням транслокації асимілятів із листків у корені та бульбочки внаслідок зниження здатності до переміщення фотоасимілятів [31-33].

Необхідно відмітити, що бактеризація насіння сої інокулянтном Оптімайз 200 позитивно впливала на показник кількості бульбочок, збільшуючи його у фазі кінець цвітіння порівняно з варіантом без обробки насіння на 22,1 (сорт Монада), 32,3 (сорт КиВін) та 32,4 % (сорт Княжна). Аналогічна закономірність спостерігалась і з масою цих бульбочок. Бактеризація насіння збільшувала зазначені показники відповідно на 36,0, 38,8 та 50,2 %. Крім цього, сорт Монада за бактеризації інокулянтном Оптімайз 200 мав переваги щодо кількості та маси бульбочок над сортами КиВін та Княжна впродовж онтогенезу. Зокрема, у фазі кінець цвітіння чисельність бульбочок на коренях сої сорту Монада була відповідно вищою на 11,6 та 4,4 %, формуючи на 9,8 та 6,4 % більшу масу (табл. 1).

Це підтверджує попередні дослідження вчених, а саме: обробка насіння сої бактеріальними препаратами – інокулянтами покращує нодуляційну здатність бульбочкових бактерій, збільшуючи кількість та масу активних бульбочок відповідно на 32-55 % та 28-145 % за щільної фонової популяції ризобій [34].

Про ефективність обробки насіння бобових культур біопрепаратами свідчать не лише показники кількості та маси сформованих на коренях

бульбочок, але і їх азотфіксувальна активність. Дослідження показали, що найбільшою активністю соєво-ризобіальні симбіози характеризувалися у фазі цвітіння (табл. 2). Сортові особливості рослин сої впливали на фіксацію молекулярного азоту протягом вегетації. В сорту Монада показники нітрогеназної активності були дещо вищими порівняно з сортами КиВін та Княжна протягом трьох років дослідження. Найнижчий показник АА симбіотичних систем сортів сої виявлено у 2015 році, що зумовлено погодними умовами. Найбільшу середню по роках азотфіксувальну активність виявлено у зазначеній вище фазі в рослин сорту Монада за передпосівної обробки насіння препаратом Оптімайз 200. За бактеризації насіння досліджуванім інокулянтном симбіотичні системи сортів КиВін та Княжна відзначалися нижчою АА порівняно із сортом Монада на 18,2 та 10,8 %. Очевидно, сорти Монада та Княжна в умовах Лісостепу правобережного на сірих лісових середньосуглинкових ґрунтах були найбільш комплементарними до *Bradyrhizobium japonicum* 61A273, який входить до складу інокулянту Оптімайз 200, що відповідно вплинуло на показник АА. На фоні щільної популяції місцевих рас бульбочкових бактерій сої сорт КиВін проявляв найвищу АА.

**Таблиця 1**

**Динаміка кількості (шт./рослину) та маси (мг/рослину) бульбочок на коренях сої (у середньому за 2013-2015 рр.)**

Сорт	Інокуляція	Фаза росту і розвитку							
		бутонізація		повне цвітіння		кінець цвітіння		розвиток і досягання плодів і насіння	
		шт.	мг	шт.	мг	шт.	мг	шт.	мг
Монада	Без обробки	13,0	61,1	21,2	499,1	28,5	537,2	14,7	82,6
	Оптімайз 200	17,7	70,6	30,9	588,5	38,4	730,3	24,2	107,9
КиВін	Без обробки	11,0	47,8	16,0	432,3	26,0	479,2	14,2	73,2
	Оптімайз 200	15,2	65,6	27,5	576,0	34,4	665,2	20,1	93,8
Княжна	Без обробки	12,7	57,6	15,1	493,8	27,8	457,1	16,8	85,1
	Оптімайз 200	16,9	64,8	28,0	570,3	36,8	686,5	22,4	105,0
НІР <sub>0,05</sub>		0,7	2,8	1,1	24,0	1,5	27,0	0,9	4,2

**Таблиця 2**

**Азотфіксувальна активність симбіотичних систем сортів сої у фазу цвітіння, нмоль C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> / (рослину за год.), \*M ± m**

Сорт	Інокуляція	Азотфіксувальна активність (АА)				Приріст АА, нмоль C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> / (рослину за год.)
		2013 р.	2014 р.	2015 р.	Середнє значення	
Монада	Без обробки	0,81±0,04	0,83±0,05	0,64±0,02	0,76	–
	Оптімайз 200	5,52±0,14	5,56±0,15	4,73±0,09	5,27	4,51
КиВін	Без обробки	1,11±0,06	1,23±0,05	0,72±0,03	1,02	–
	Оптімайз 200	4,36±0,09	4,73±0,12	3,84±0,08	4,31	3,29
Княжна	Без обробки	0,56±0,02	0,64±0,03	0,42±0,02	0,54	–
	Оптімайз 200	5,06±0,11	5,11±0,12	3,93±0,08	4,70	4,16

Примітка: \*M ± m – довірчий інтервал середньої арифметичної на 5%-му рівні значущості

Кількість симбіотично фіксованого азоту залежить не тільки від маси рожевих бульбочок з леггемоглобіном, активності симбіотичних систем, але і від періоду їх функціонування. Суттєвим показником, який характеризує роботу симбіотичного апарату є загальний симбіотичний потенціал. Тривалість загального симбіозу визначається від появи перших бульбочок на коренях сої до повного їх розпаду.

Виявлено вплив сортових особливостей рослин сої та бактеризації насіння інокулянтном Оптімайз 200 на тривалість загального соєво-ризобіального симбіозу. Найбільшим періодом симбіозу характеризувався середньостиглий сорт Монада порівняно з ранньостиглим сортом КиВін та середньо-ранньостиглим сортом Княжна як без обробки насіння, так і за його бактеризації (табл. 3). Бактеризація насіння збільшила тривалість симбіозу на 2-3 доби.

Активний симбіотичний потенціал є акумулюючим показником маси бульбочок і тривалості їх функціонування та визначає вплив окремих факторів на бобово-ризобіальний симбіоз. За оптимальних умов симбіозу активний симбіотичний потенціал у зернобобових культур досягає 25 тис. одиниць [1, 21, 35].

Найбільший показник активного симбіотичного потенціалу відмічений у сорту Монада за проведення бактеризації насіння Оптімайзом 200, у сортів КиВін та Княжна в аналогічних варіантах він був відповідно на 7,5 та 8,8 % нижчим. Бактеризація насіння збільшувала зазначений показник на 27,7 (сорт Монада), 36,6 (сорт КиВін) та 29,6 % (сорт Княжна).

Виявлено, що величина і тривалість роботи симбіотичного апарату сої залежала від сорту та бактеризації, що в кінцевому результаті значно вплинуло на кількість біологічно фіксованого азоту її посівами (табл. 3).

**Таблиця 3**

**Показники характеристики симбіотичних систем у сортів сої  
(у середньому за 2013-2015 рр.)**

Сорт	Інокуляція	Тривалість симбіозу, доба	АСП, тис. кг-діб/га	Кількість біологічно фіксованого азоту, кг/га
Монада	Без обробки	78	17,7	93,1
	Оптімайз 200	81	22,6	114,3
КиВін	Без обробки	76	15,3	82,1
	Оптімайз 200	79	20,9	112,2
Княжна	Без обробки	77	15,9	84,0
	Оптімайз 200	79	20,6	111,1
НІР <sub>0,05</sub>			0,8	4,5

Бактеризація насіння інокулянтном Оптімайз 200 забезпечила збільшення кількості фіксованого азоту – на 21-30 кг/га або 23-37 %. Найбільшу кількість азоту фіксували посіви середньостиглого сорту Монада. Зазначений сорт характеризувався найтривалішим періодом симбіозу, високими показниками азотфіксувальної активності симбіотичних систем та АСП, що відповідно вплинуло на кількість біологічно фіксованого азоту його посівами.

Свідченням високої ефективності інокуляції насіння сої є не лише збільшення показника біологічно фіксованого азоту, але й рівня урожайності та якості насіння різних сортів культури. Встановлено високий приріст урожаю зерна сої усіх досліджуваних сортів та вмісту в ньому сирого протеїну за бактеризації насіння інокулянтном Оптімайз 200 (табл. 4).

**Таблиця 4**  
**Урожайність сортів сої, т/га (у середньому за 2013-2015 рр.)**

Сорт	Інокуляція	Урожайність, т/га	Приріст урожаю зерна		Вміст сирого протеїну, %
			т/га	%	
Монада	Без обробки	1,72	–	–	33,7
	Оптімайз 200	2,39	0,67	38,9	37,5
КиВін	Без обробки	1,45	–	–	34,2
	Оптімайз 200	2,13	0,68	46,9	38,8
Княжна	Без обробки	1,55	–	–	34,3
	Оптімайз 200	2,14	0,59	38,1	37,5
НІР <sub>0,05</sub>		0,8			1,6

**Обговорення.** За даними літератури застосування високоефективних у симбіозі з сучасними сортами зернобобових культур штамів бульбочкових бактерій підвищує їх продуктивність на 10-30 % і збільшує вміст білків у зерні на 2-6 % навіть за наявності в ґрунті популяцій аборигенних і/або раніше інтродукованих бульбочкових бактерій [7, 8, 36]. Зокрема, у сої за інокуляції насіння бактеріальними препаратами урожайність насіння підвищувалась на 0,23-0,32 т/га, а в Криму через відсутність спонтанних бульбочкових бактерій – близько 0,9 т/га. Разом зі зростанням урожайності культури збільшувався вміст білків у насінні на 1,5-3,0 %, при цьому додатковий збір сирого протеїну становив до 240 кг/га. Визначення біологічної цінності білків, зокрема, за амінокислотним складом показало, що інокуляція насіння бульбочковими бактеріями сприяла зростанню кількості глютамінової кислоти [6, 11].

Одержані нами результати вивчення азотфіксувальної активності показали, що використання у досліді препарату Оптімайз 200 є ефективним і відмічалось високою азотфіксувальною активністю (табл. 2). Місцеві популяції бульбочкових бактерій, які спонтанно інокулювали корені рослин сої, сформували значну кількість і відповідно масу бульбочок, але характеризувалися низькою азотфіксувальною активністю. Інтродукований штам бульбочкових бактерій сої 61A237, що входить до складу препарату Оптімайз 200 у симбіозі з різними сортами проявляв високу нітрогеназну активність, що відповідно вплинуло на насінневу продуктивність рослин та якість їх урожаю. Найбільшу урожайність насіння (1,72-2,39 т/га) відмічено у сорту Монада як без бактеризації насіння, так і за обробки його бактеріальним препаратом Оптімайз 200. Бактеризація насіння збільшила рівень урожайності насіння сої у сорту Монада на 38,9 %, у сортів КиВін та Княжна відповідно на 46,9 та 38,1 %.

Вміст сирого протеїну у насінні сої також зріс за бактеризації насіння препаратом Оптімайз 200 у сортів Монада на 3,8 %, КиВін – 4,6 %, Княжна – 3,2 % (табл. 4).



Крім цього, встановлено сильні позитивні зв'язки між кількістю біологічно фіксованого азоту та урожайністю насіння сої ( $r = 0,981$ ) та вмістом сирого протеїну ( $r = 0,913$ ). Ці залежності описуються наступними рівняннями регресії:

$Y = 0,025X - 0,5888$ , де  $Y$  – урожайність, т/га,  $X$  – кількість біологічно фіксованого азоту, кг/га

$Y = 0,135X + 22,589$ , де  $Y$  – вміст сирого протеїну в насінні, %,  $X$  – кількість біологічно фіксованого азоту, кг/га

Таким чином, доведено, що в умовах Лісостепу правобережного на сірих лісових середньосуглинкових ґрунтах інокуляція насіння бактеріальними препаратами–інокулянтами на основі *Bradyrhizobium japonicum* покращує формування та функціонування симбіотичного апарату сої навіть на фоні ґрунтової популяції бульбочкових бактерій. Крім цього, сприяє збільшенню біологічно фіксованого азоту на 27-37 %, рівня урожайності сої – на 38-47 % та вмісту сирого протеїну – на 3,2-4,6 %.

Встановлена пряма залежність та сильні позитивні зв'язки між кількістю біологічно фіксованого азоту та продуктивністю сої.

## ФОРМИРОВАНИЕ АЗОТФИКСИРУЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА И ПРОДУКТИВНОСТИ СОРТОВ СОИ СЕЛЕКЦИИ ИНСТИТУТА КОРМОВ И СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ПОДОЛЬЯ НААН

**В.Ф. Петриченко<sup>1</sup>, С.Я. Кобак<sup>1</sup>, В.М. Черная<sup>1</sup>, С.И. Колесник<sup>1</sup>,  
В.В. Лихочвор<sup>2</sup>, С.В. Пыда<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Институт кормов и сельского хозяйства Подолья НААН Украины,  
проспект Юности, 16, Винница, 21100, Украина

<sup>2</sup>Львовский национальный аграрный университет,

ул. Владимира Великого, 1, Дубляны, Жовковський р-н., Львовская обл., 80381, Украина

<sup>3</sup>Тернопольский национальный педагогический университет им. Владимира Гнатюка, 46027,  
ул. Максима Кривоноса, 2, Тернополь, 46027, Украина

### Резюме

**Целью** было исследовать формирование азотфиксирующего потенциала и продуктивности различных сортов сои селекции Института кормов и сельского хозяйства Подолья НААН в зависимости от бактериализации на серых лесных среднесуглинистых почвах в условиях Лесостепи правобережной. **Методы.** Микробиологические, физиологические, биохимические, газовая хроматография. Для определения количества и массы клубеньков использовали метод монолитов. **Результаты.** Приведены результаты исследований влияния бактериального препарата – инокулянта Оптимайз 200 на основе штамма 61A273 *Bradyrhizobium japonicum* на динамику формирования и продуктивность соево-ризобиального симбиоза при наличии в почве фоновых популяций ризобий сои. Определены азотфиксирующий потенциал и урожайность семян сортов сои селекции Института кормов и сельского хозяйства Подолья НААН под действием бактериализации. Выявлено, что бактериализация биопрепаратом Оптимайз 200 способствует эффективности симбиотической системы сои и, как следствие, увеличению уровня урожайности и качества ее семян. **Выводы.** Доказано, что в условиях Лесостепи правобережной на серых лесных среднесуглинистых почвах бактериализация семян биопрепаратами на основе штаммов *Bradyrhizobium japonicum* улучшает

формирование и функционирование симбиотического аппарата сои даже на фоне почвенной популяции клубеньковых бактерий. Бактеризация семян сои способствует увеличению биологически фиксированного азота на 27-37%, уровня урожайности сои – на 38-47% и содержания сырого протеина – до 38,8%. Установлена прямая зависимость и сильные положительные связи между количеством биологически фиксированного азота и показателями продуктивности сортов сои.

*Ключевые слова:* соя, сорт, бактеризация, Оптимайз 200, количество и масса клубеньков, количество фиксированного биологического азота, урожайность, семена, сырой протеин.

## FORMATION OF THE NITROGEN-FIXING POTENTIAL AND PRODUCTIVITY OF SOYBEAN VARIETIES SELECTED AT THE INSTITUTE OF FEEDS AND AGRICULTURE OF PODILLIA OF NAAS

*V.F. Petrychenko<sup>1</sup>, S.Ya. Kobak<sup>1</sup>, V.M. Chorna<sup>1</sup>, S.I. Kolisnyk<sup>1</sup>,  
V.V. Likhochvor<sup>2</sup>, S.V. Pyda<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>Institute of Feeds and Agriculture of Podillia of the National Academy of Agrarian Sciences  
of Ukraine, 16 Yunotsi Avenue, Vinnitsa, 21100, Ukraine*

*<sup>2</sup>Lviv National Agrarian University,*

*Volodymyra Velykoho Str., Dubliany, Zhovkiv district, Lviv region, 80381, Ukraine*

*<sup>3</sup>Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University,*

*2 Maxyma Kryvonosa Str., Ternopil, 46027, Ukraine*

### Summary

**The purpose** of our research was to investigate the nitrogen fixing potential formation and different soybean varieties productivity selected at the Institute of Forage and Agriculture of Podillya NAAS depending on bacterization in gray forest mid-loamy soils under the conditions of the right-bank Forest-Steppe. **Methods.** Microbiological, physiological, biochemical, gas chromatography. The method of monoliths was used to determine the number and mass of nodule bacteria. **Results.** The research results revealed an effect of the bacterial preparation, namely inoculant Optimize 200 based on strain 61A273 *Bradyrhizobium japonicum*, on the dynamics of formation and productivity of soybean-rhizobia symbiosis under availability of the background populations of soybean rhizobia in the soil are presented. The nitrogen-fixing potential and yield of soybean seed selected at the Institute of Feeds and Agriculture of Podillia of NAAS under the effect bacterization is determined. It is established that bacterization with bio-agent Optimize 200 promotes the effectiveness of the soybean symbiotic system and, as a consequence, the increasement in seed yield and quality. **Conclusions.** It is proved that seed bacterization with bio-agents based on the strain *Bradyrhizobium japonicum* under conditions of the right-bank Forest-Steppe on the gray forest mid-loamy soils improved the formation and functioning of a symbiotic soybean apparatus, even on the background of the soil population of nodule bacteria. Soybean seed bacterization contributed for getting up the level of biologically fixed nitrogen on 27-37%, soybean yield – 38-47% and the crude protein maintenance – up to 38,8%. Straight dependence and strong positive correlations of the amount of biologically fixed nitrogen and the productivity of soybean varieties have been established.

*Keywords:* soybean, variety, bacterization, Optimize 200, number and mass of nodules, amount of fixed biological nitrogen, yield, seed, crude protein.

1. Soya: monograph / Petrichenko VF, Likhchvor VV, Ivanyuk SV, Korniychuk OV, Kolisnik SI, Kobak SYa, Zadorozhny VC, Chornolat IP, Kulik MF, Obertyuk YuV, Voronetsk IS, Patyka VP, Gnatyuk TT, Alekseev AO, Kalinichenko AV, Kots SYa, Berehovenko SK, Zakharova OM. - L 65 Vinnitsa: «Dilo», 2016. - 400 p. Ukrainian.
2. Gadzalo YM, Patyka NV, Zarishnyak AS. [Agro-biology of the rhizosphere of plants: monograph]. - K. - Agrarian Science, 2015.- 386 pp. Ukrainian.
3. Tarariko YuA. [Formation of stable agroecosystems]. - K. : DIA. 2007. - 560 p. Ukrainian.
4. Protasov NI. [Ways of optimizing anthropogenic loads on agrobiocenoses aimed at ecologically clean production]. Basic directions of ecologically clean crop production: Abstracts of the Republican Conference; 1992; Horki, 1992. P. 25-24. Russian.
5. Tikhonovich IA., Provorov NA. [Symbiosis of plants and microorganisms: molecular genetics of agrosystems of the future]. Saint Petersburg: Publishing House of St. Petersburg University; 2009. – 210 p. Russian.
6. Patyka VP, Tikhonovich IA, Filipiev ID, Gamayunova VV, Andrusenko II. [Microorganisms and alternative farming]. Kiev: Harvest; 1993. – 176 p. Ukrainian.
7. Kots SY, Morgun VV, Patyka VF et al. [Biological fixation of nitrogen: bean-rhizobial symbiosis]. Kiev: Logos; 2010. 508 p. Ukrainian.
8. Kots' SYa, Morgun VV, Patyka VF, Malichenko SM, Mamenko P.N, Kiriziy DA, Mikhalkiv LM, Beregoenko SK, Melnikova NN. [Biological fixation of nitrogen: legume-rhizobial symbiosis: monograph in 4 tons]. - T. 2. - K. : Logos, 2011. - 523 p. Ukrainian.
9. Kozhemiakov AP. [Productivity of nitrogen fixation in agrocenoses]. Microbiological Journal. 1997; 59 (4):28-22. Russian.
10. Babych OO, Petrychenko VF, Adamen FF. [The problem of photosynthesis and biological nitrogen fixation by leguminous crops]. Bulletin of Agrarian Science. 1996; 2:39-34. Ukrainian.
11. Patyka VP, Pasechnik LA, Zhytkevych NV, Gnatyuk T.T., Gulyaev GB, Krut VV, Zubachov SR, Halimonik PM, Shevchenko SA, Zhadan VP, Alekseev OO. [Gel preparation risofobite for pre-sowing inoculation of soybean seeds. Guidelines]; for ed. Academician of the National Academy of Sciences of the Russian Academy of Sciences. Kyiv: Print Kvik; 2017. 16 p. Ukrainian.
12. Patyka VP, Kyrylenko LV, Alekseev OA, Zakharova OM, Gnatyuk TT. [Influence of biopreparations, phytopathogenic microorganisms on the microbial soil of the rhizosphere and the efficiency of the functioning of the symbiotic system of tuber bacteria - soybean, goat's milk]. Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Series: Biology. - 2017. - p.123-132. Ukrainian.
13. Tikhonovich IA, Provorov NA. [Ways of using adaptive potential of the system “plant-microorganism” for the construction of highly productive agrophytocenoses]. Agricultural Biology. 1993; 5:46-36. Russian.
14. Tikhonovich IA, Provorov NA. [Genetics of symbiotic nitrogen fixation with the basics of breeding]. Saint Petersburg: Science; 1998.- 194 p. Russian.
15. Tikhonovich IA, Proverov NA. [Symbiosis of plants and microorganisms: molecular genetics of agro-systems of the future]. St. Petersburg: Publishing house S.-Petersburg. U-ta, 2009 – 210p. Russian.

16. Babych OO, Kolisnik SI, Kobak SY. et al. [Theoretical substantiation and ways of optimization of the varietal technology of soybean cultivation under the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine]. In: Petrychenko V.F., editor. Feeds and Feed Production. Vinnytsia: IE Horbachuk I.P.; 2011, P. 113-121. Ukrainian.
17. Petrychenko VF, Babych OO, Kolisnyk SI. et al. [Scientific fundamentals of modern technologies for the cultivation of high protein crops]. Bulletin of Agrarian Science. 2003; 10:19-15. Ukrainian.
18. Kolisnyk SI, Kobak SY. Inoculation as an element of energy saving in the cultivation technology of grain legumes under conditions of the Forest-Steppe of Ukraine. In: Renewable energy and energy efficiency. Proceedings of the international scientific conference; 2012 May 28-30; Jelgava, Latvia, 2012. p. 32-29. Ukrainian.
19. Robinson A.C. Host selection for effective *Rhizobium trifolii* by red clover and subterranean clover in the field. Austr. J. Agric. Res. 1969; 20:1060-1053.
20. Aliksieiev OO, Patyka VF. Influence of biological products of the microbiom soil in the rhizosphere of *Glicine max (L) Merr.* SCIENSE AND WORLD. International scientific journal. – 2016. – II. –12(40). – P.54-58. Ukrainian.
21. Kots SY, Berehovenko SK, Kyrychenko EV, Melnykova NN. [Features of interaction of plants and nitrogen-fixing microorganisms]. Kyiv: Naukova dumka; 2007. 315 p. Ukrainian.
22. Khurana AL, Sharma PK, Dudeja SS. Influence of host, moisture and native rhizobial population on nodule occupancy in chickpea (*Cicer arietinum*). Zentralbl. Mikrobiol. 1991; 146 (2):141-137.
23. Krutylo DV, Volkova IV. [Serological diversity of soybean nodule bacteria in the soils of Ukraine]. Agroecological Journal. 2012; 4:71-66. Ukrainian.
24. Krutylo DV, Zotov VC. [Genotype analysis of soybean nodule bacteria in the soils of Ukraine]. Ecological Genetics. 2013; 4:95-86. Ukrainian.
25. Brenner DJ, Krieg NR, Staley JT, editors. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. The Proteobacteria. Part A + B + C. 2<sup>nd</sup> ed. Editor-in-chief Garrity G.M. New York, NY: Springer SBM; 2005; 2.
26. Petrychenko VF, Babych AO, Ivanyuk SV. et al. [Soybean: State and perspective of the development in the Ukraine]. Legume Perspectives. 2013; 1:37. Ukrainian.
27. Posypanov HS. [Methods of studying biological nitrogen fixation in the air: Reference book]. Moscow: Agropromizdat; 1991. – 221 p. Russian.
28. [Experimental Soil Microbiology: Monograph] VV. Volkogon, OV. Nadckernichna, LM. Tokmakova and others; for sciences Ed. VV. Volkogon. - K : Agrar. Sciences., 2010. - P. 154-156. Ukrainian.
29. Hardy RWF, Holsten RD, Jackson EK, Burns RC. The acetylene–ethylene assay for N<sub>2</sub> fixation: Laboratory and Field Evaluation. Plant Physiol. 1968; 43:1185-1207.
30. Dospikhov BA. [Methodology of the field experiment]. Moscow: Agropromizdat; 1985.- 351 p. Russian.
31. Babych OA, Petrychenko VF. [Application of a systematic approach when researching the processes of photosynthesis and biological nitrogen fixation in soybean agrobiocenoses]. Bulletin of Agrarian Science. 1994; 9:20-11. Ukrainian.
32. Petrychenko VF, Babych OO, Kolisnyk SI. et al. [Pre-sowing soybean seed treatment]. The Guide of Ukrainian Grain Growers. 2009:246-244. Ukrainian.

33. Komok MS, Volkohon VV, Kosenko LV. [Efficiency of symbiosis of nodule bacteria with soybean plants depending on the type of bio-agent]. *Agricultural Microbiology*. 2010; 11:21-7. Ukrainian.
34. Posypanov HS. [Basic directions of research on symbiotic nitrogen fixation]. *Proceedings of Moscow Agricultural Academy named after Timiriazev*. 1988; 5: 101-110. Russian.
35. Tolkachev NZ. [Legume-rhizobia symbiosis as the basis of ecologically safe technologies of legume crop cultivation]. In: *Proceedings of the International scientific conference "Sustainable Development of Agroecosystems"*; September 17-20, 2002; Vinnytsia, 2002. P. 169-167. Ukrainian.
36. Petrychenko VF, Kaminskyi VF, Patyka VP. [Leguminous crops and sustainable development of agroecosystems]. In: Petrychenko V.F., editor. *Feeds and Feed Production*. Vinnytsia: PE "Publishing house "Thesis"; 2003. P. 3-6. Ukrainian.

Отримано 25.06.2018