

<https://doi.org/10.15407/frg2022.01.052>

УДК 581.557:633.34:631.847.211:632.95

## РЕАЛІЗАЦІЯ СИМБІОТИЧНОГО І ПРОДУКТИВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СОЄВО-РИЗОБІАЛЬНИХ СИСТЕМ, УТВОРЕНИХ АНАЛІТИЧНО СЕЛЕКЦІОНОВАНИМИ ФУНГІЦИДОСТІЙКИМИ ШТАМАМИ БУЛЬБОЧКОВИХ БАКТЕРІЙ НА ФОНІ ЗАВЧАСНОГО ПРОТРУЄННЯ НАСІННЯ СТАНДАК ТОПОМ

С.В. ОМЕЛЬЧУК, О.В. КИРИЧЕНКО, А.В. ЖЕМОЙДА

*Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України  
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17  
e-mail: svitlana.omelchuk12@gmail.com*

У вегетаційних умовах із ґрунтовою культурою досліджували ефективність соєво-ризобіальних симбіотичних систем, утворених аналітично селекціонованими фунгіцидостійкими штамми *Bradyrhizobium japonicum* 6346 (стандарт) і РС08 із рослинами сої за обробки насіння за 7 діб до посіву протруйником стандак топ. За завчасної обробки насіння сої протруйник стандак топ пригнічував у першу половину вегетації рослин (включно до фази початку цвітіння) процеси формування та функціонування симбіотичних систем, утворених фунгіцидостійкими штамми *B. japonicum* 6346 і РС08. За інокуляції насіння штамом 6346 на фоні дії протруйника нодуляційна активність ризобій у фазу цвітіння сої ослаблювалась на 35 %, а штам РС08 — залишалась стабільною. Інтенсивність азотфіксації симбіотичних систем, утворених за участю обох штамів ризобій, зменшувалась на 30—32 %. З'ясовано, що штам *B. japonicum* РС08 за ступенем реалізації симбіотичного потенціалу на фоні застосування протруйника виявився ефективнішим за штам 6346. У фазу утворення бобів реалізація симбіотичного потенціалу соєво-ризобіальних систем, утворених обома штамми, на фоні дії протруйника стабілізувалася до рівня контрольних рослин (без протруєння насіння). Стандак топ за завчасної передпосівної обробки насіння з наступною бактеризацією штамми 6346 і РС08 у день посіву не чинив токсичної дії на вегетативний ріст і розвиток сої, формування генеративних органів та урожаю зерна. Симбіотичні системи сої з аналітично селекціонованими фунгіцидостійкими штамми *B. japonicum* 6346 і РС08 характеризувалися майже однаковими ступенями реалізації продуктивного потенціалу за незначної переваги системи, утвореної штамом *B. japonicum* РС08. Завчасне протруєння насіння сої стандак топом істотно не впливало на формування зернової продуктивності рослинами. Симбіотична система соя—*B. japonicum* РС08 на фоні дії протруйника за оцінкою реалізації симбіотичного і продуктивного потенціалів виявилася ефективнішою, ніж система соя—*B. japonicum* 6346. Отримані нами результати підтвердили можливість використання аналітично селекціонованого фунгіцидостійкого штамму *B. japonicum* РС08 як біологічної основи бактеріальних добрив під сою для комплексного застосування у виробничих умовах із протруйником стандак топ за обробки ним насіння за 7 діб до посіву.

Цитування: Омельчук С.В., Кириченко О.В., Жемойда А.В.. Реалізація симбіотичного і продуктивного потенціалу соєво-ризобіальних систем, утворених аналітично селекціонованими фунгіцидостійкими штамми бульбочкових бактерій на фоні завчасного протруєння насіння стандак топом. *Фізіологія рослин і генетика*. 2022. 54, № 1. С. 52—64. <https://doi.org/10.15407/frg2022.01.052>

**Ключові слова:** *Bradyrhizobium japonicum*, соєво-ризобіальний симбіоз, штами, стандак топ, протруєння, азотфіксація, зернова продуктивність.

Соє є перспективною зернобобовою культурою в Україні та світі з широким спектром використання її продуктів (зеленої маси, зерна). Валові збори зерна сої зростали до останнього часу екстенсивним, а не інтенсивним шляхом, тобто внаслідок розширення посівних площ, а не підвищення врожайності культури. Сьогодні відбувається поступовий перехід на нові технології вирощування цієї культури [1, 2]. Отримання високих урожаїв сільськогосподарських культур, у тому числі й сої, прямо залежить від мінерального живлення рослин, в якому провідну роль відіграє доступний рослинам азот [3]. Важливу функцію у формуванні високих урожаїв сої виконують бульбочкові бактерії *Bradyrhizobium japonicum*, які вступають у симбіотичні зв'язки з цією рослиною й забезпечують її біологічним азотом [3–5]. Однак за відсутності основних мікроелементів, зокрема заліза та молібдену, які входять до складу основного ферменту із перетворення молекулярного азоту — нітрогенази, змінюється екологічна функція сої і вона з культури, яка акумулює фіксований азот з атмосфери, перетворюється на культуру, що використовує азот ґрунту [6].

Селекція нових сортів сої, а також ослаблення активності до засвоєння азоту бульбочковими бактеріями, які тривалий час (20 років і більше) зберігалися в умовах чистої культури в музеї [7], зумовлює постійну необхідність у проведенні селекційних робіт із отримання нових штамів ризобій з високим ступенем реалізації симбіотичних властивостей (конкурентоспроможності, вірулентності, нодуляційної здатності, азотфіксувальної активності, ефективності у симбіозі з рослинами). Нині при виготовленні бактеріальних добрив для сої як біологічну основу найчастіше застосовують штам аналітичної селекції *Bradyrhizobium japonicum* 6346 (А.с. СРСР № 922104, кл. С 05 F 11/08, 1982), який є стандартним для сої упродовж останніх 40 років. Разом із цим оцінка симбіотичних характеристик нових штамів бульбочкових бактерій сої, отриманих протягом останніх десятиліть методом аналітичної селекції, що зумовлює їхню екологічну безпечність для людей і навколишнього середовища, дала підставу запропонувати нові штами як біологічні агенти при виготовленні бактеріальних добрив під соє (препарати ризоактив, ризостим тощо).

У відділі симбіотичної азотфіксації Інституту фізіології рослин і генетики НАН України (ІФРГ НАН України) за останні десятиліття методом аналітичної селекції було виділено понад 20 штамів азотфіксувальних мікроорганізмів із корневих бульбочок сої сорту Київська 27, яка росла на темно-сірому опідзоленому ґрунті (Уманський р-н, Черкаська обл., Україна), та досліджено їхні симбіотичні характеристики у вегетаційних і польових умовах [8]. Із них відібрано лише кілька (РС1-07, РС2-07, РС08, РС09, РС10, РС11), які за симбіотичними ознаками значно переважали стандартний штам 6346. Зокрема показано, що азотфіксувальна активність корневих бульбочок, утворених штамом РС08 на сої сорту Мар'яна, перевищувала у 2,7 раза, а на сорті Васильківська — 1,5 раза аналогічний показник за використання штаму 6346 [9]. Встановлено, що штам РС08 не

тільки за симбіотичними властивостями (азотфіксувальною активністю, вірулентністю, конкурентоспроможністю), а й за технологічністю (швидкістю наростання титру мікроорганізмів у культурі, збереження його протягом тривалого часу та ін.) відповідає вимогам, які ставляться до бульбочкових бактерій, що їх використовують при виготовленні бактеріальних препаратів [8].

Отже, бактеризація насіння бобових культур, у тому числі й сої, мікробними препаратами на основі високоактивних аналітично селекціонованих штамів специфічних бульбочкових бактерій, за допомогою якої можна підвищити азотфіксувальний потенціал бобово-ризобіальних симбіозів до 15—50 %, має бути обов'язковим агроприйомам у технологіях їх вирощування [10].

Разом із цим протруєння насіння бобових культур, без якого неможливо уявити сучасне сільськогосподарське виробництво — це один з основних чинників впливу на формування і функціонування бобово-ризобіального симбіозу. Хімічні засоби захисту рослин, у тому числі фунгіциди, здатні значно знизити ефективність симбіозу бульбочкових бактерій із рослиною-хазяїном [11]. У польових умовах практично неможливо віддиференціювати їхню дію на патогенні мікрорганізми чи рослину. Фунгіциди гальмують або пригнічують розвиток фітопатогенів і можуть негативно впливати як на природну мікробіоту [10, 12], так і на інтродуковані штами, що часто призводить до зниження активності симбіотичної азотфіксації [5, 10]. Однак без застосування хімічних засобів захисту рослин втрати урожаю зерна сої від хвороб різної етіології становлять до 40 % [13], тому однією з найважливіших складових технології вирощування сої є захист її насіння та вегетуючих рослин від фітопатогенів. Значної актуальності це питання набуває за необхідності поєднання процесів протруєння насіння та його бактеризації [5, 14—17], яке можливе лише за умов використання штамів, резистентних до фунгіцидів. Доведено, що в умовах чистої культури низка високоактивних, конкурентоспроможних і ефективних штамів (PC07, PC08, PC09, PC10, PC11) селекції ІФРГ НАН України були більшою чи меншою мірою резистентними до широкого спектра фунгіцидів різних класів (максим XL, стандак топ, февер, аканто плюс, бенорад) [18]. Такі штами можна використовувати для виготовлення бактеріальних інокулянтів під сою за умов всебічного дослідження їхньої ефективності у симбіозі з рослинами на фоні застосування різних хімічних протруєників [19, 20].

У зв'язку з цим, метою нашого дослідження було оцінювання ефективності соєво-ризобіальних симбіотичних систем, утворених аналітично селекціонованими фунгіцидостійкими штамми 6346 (стандарт) і PC08 із рослинами сої на фоні завчасної (за 7 діб до посіву) обробки насіння протруєником стандак топ.

## Методика

Об'єктом дослідження були соєво-ризобіальні симбіози, утворені рослинами *Glycine max* (L.) Merr. з бактеріями *B. japonicum* 6346 і

PC08 на фоні обробки насіння за 7 діб до посіву протруйником стандак топ.

У роботі використано рослини *Glycine max* L. Merr. сорту Алмаз вітчизняної селекції, який є ранньостиглим, має нейтральну фотоперіодичну реакцію, холодостійкий, посухостійкий; вегетаційний період становить 100—105 діб; сорт має підвищену стійкість до найпоширеніших хвороб і шкідників; на багатьох сортодільницях України він значно перевищив (на 5—8 ц/га) за врожайністю національні стандарти; зерно має високий вміст протеїну (37—39 %) та жиру олійного типу (25—26 %) [21].

Бульбочкові бактерії *Bradyrhizobium japonicum* 6346 і PC08, які зберігаються в колекції симбіотичних та асоціативних азотфіксувальних мікроорганізмів ІФРГ НАН України й за результатами лабораторного тестування є стійкими в чистій культурі до впливу виробничої та подвійної виробничої норм протруйника стандак топ [18]; культури азотфіксувальних мікроорганізмів вирощували протягом 10 діб за 28 °C у термостаті на твердому манітно-дріжджовому агарі (МДА) такого складу, г/л:  $K_2HPO_4$  — 0,5;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  — 0,4; NaCl — 0,1; маніт — 10,0; дріжджовий екстракт — 0,5; агар-агар — 16,0; дистильована вода — 1 л; рН 6,8—7,0; бактеріальну біомасу змивали стерильною водою, перемішували до однорідної суспензії й визначали кількість життєздатних (колонієутворювальних одиниць) бактерій класичним мікробіологічним методом розбавлянь і висіву на поживне середовище з наступним підрахунком колоній; титр бактерій у суспензії становив  $10^9$  кл/мл.

Стандак топ («BASF», Німеччина) — інноваційний протруйник для контролю основних захворювань сої з діючими речовинами фіпроніл (250 г/л, клас фенілпіразоли) + тіофанатметил (225 г/л, клас бензімідазоли) + піраклостробін (25 г/л, клас стробілуринів), який поєднує фунгіцидну та інсектицидну дію, а також впливає на фізіологічні процеси в рослинах [22]; за обробки насіння стандак топом рослини ліпше укорінюються в ґрунті внаслідок пришвидшених росту і розвитку кореневої системи, збільшення асиміляційної поверхні листків, максимального розкриття біологічного потенціалу культури; стандак топ безпечний для навколишнього середовища [23]; для обробки насіння сої за 7 діб до посіву застосовували виробничу норму (1,5 л/т) цього протруйника; в день посіву протруєне (дослідні варіанти) та непротруєне насіння (контрольні варіанти) бактеризували ризобіальними інокулянтами протягом 1 год і висівали по 20 насінин у кожную посудину. Схема досліду така:

- 1) інокуляція насіння *B. japonicum* 6346;
- 2) інокуляція насіння *B. japonicum* 6346 + стандак топ;
- 3) інокуляція насіння *B. japonicum* PC08;
- 4) інокуляція насіння *B. japonicum* PC08 + стандак топ.

Рослини вирощували на вегетаційному майданчику ІФРГ НАН України у 8-кілограмових посудинах Вагнера. Як субстрат застосовували ґрунтову суміш (дерново-підзолистий ґрунт : пісок — 3 : 1). Джерелом мінерального живлення для рослин слугувала поживна суміш Гельригеля, збіднена на азот (0,25 норми). Ефективність соєво-ризобіальних симбіозів визначали за показниками наростання вегетатив-

ної маси рослин (зеленої маси і кореня), продуктивністю сої, а також бульбочкоутворювальною здатністю ризобій (за кількістю утворених на коренях бульбочок та їхньою масою) та азотфіксувальною активністю (АФА) симбіотичних систем. АФА визначали ацетиленовим методом за Харді та співавт. [24] на газовому хроматографі Agilent GC System 6850 (США). Кількість етилену, що утворився з ацетилену за 1 год інкубації за дії нітрогенази, виражали в молярних одиницях етилену на 1 рослину за 1 годину: мікромоль  $C_2H_4$ /(рослину • год) — фактична нітрогеназна активність симбіозу.

Рослинний матеріал відбирали після настання фаз початку цвітіння та утворення бобів. Продуктивність сої оцінювали у фазу повної стиглості за урожаєм зерна з посудини, а також визначали структуру урожаю. Повторність у варіантах досліду семиразова. Експериментальні дані оброблено статистично за загальноприйнятими методиками із залученням пакета програм Microsoft Excel 2019. У таблицях наведено середньоарифметичні дані та їхні стандартні похибки.

### Результати та обговорення

Показно, що стандак топ за завчасного (за 7 діб до посіву) протруєння насіння пригнічував процес формування кореневих бульбочок і їхню функціональну здатність, що виявлялось у зменшенні кількості симбіотичних структур на коренях рослин, а ще більшою мірою — в істотному зниженні їхньої нітрогеназної активності. Так, за інокуляції насіння штамом 6346 на фоні дії протруйника нодуляційна активність ризобій у фазу цвітіння сої ослаблювалась, оскільки на коренях рослин утворилось на 35 % менше бульбочок, ніж у варіанті без протруєння насіння. Функціональна активність такого симбіозу зменшилась на 32 %. За інокуляції насіння штамом РС08 на фоні дії протруйника нодуляційна здатність ризобій залишалася стабільною, однак азотфіксувальна активність симбіотичної системи була слабкішою на 30 % порівняно з рослинами варіанта без протруйника (табл. 1).

У наступну фазу вегетації рослин (утворення бобів) пригнічувальний ефект протруйника на процеси формування і функціонування симбіозів нівелювався, ми виявили позитивну тенденцію у зміні показників нодуляційної здатності ризобій (кількості та маси кореневих бульбочок), а також стабілізації функціональної активності нітрогенази цих симбіотичних систем на рівні контрольних. Так, за інокуляції насіння штамом 6346 на фоні дії стандак топу кількість бульбочок збільшилась на 64 %, а їхня маса та азотфіксувальна активність були на рівні контрольних рослин. За використання штаму РС08 як кількість кореневих бульбочок, так і їхня маса та функціональна активність не відрізнялись від цих показників контрольних рослин.

Отже, препарат стандак топ за завчасної (за 7 діб до посіву) обробки насіння сої у першу половину вегетації рослин (включно до фази цвітіння) пригнічував процеси формування та функціонування симбіотичних систем, утворених фунгіцидостійкими штамми ризобій 6346 і РС08. Істотно (на 30—32 %) пригнічувалось функціонуван-

РЕАЛІЗАЦІЯ СИМБІОТИЧНОГО І ПРОДУКТИВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

ТАБЛИЦЯ 1. Симбіотичний потенціал систем, утворених рослинами сої та аналітично селекціонованими ризобіями на фоні завчасного (за 7 днів до посіву) протруєння насіння стандак топом

Варіант	Нодуляційна здатність ризобій		Нітрогеназна активність симбіозу, мкМ С <sub>2</sub> Н <sub>4</sub> /(рослину • год)
	Кількість, шт.	Маса, г	
	бульбочок на рослині		
<i>Фаза початку цвітіння</i>			
<i>V. japonicum</i> 6346	23,0±2,0	0,39±0,04	13,70±1,26
<i>V. japonicum</i> 6346 + СТ	15,0±2,0*	0,35±0,06	9,34±1,12*
<i>V. japonicum</i> РС08	26,0±2,8	0,37±0,03	14,17±0,44
<i>V. japonicum</i> РС08 + СТ	27,0±2,6	0,39±0,04	10,26±0,45*
<i>Фаза утворення бобів</i>			
<i>V. japonicum</i> 6346	23,8±3,3	0,89±0,05	29,22±1,28
<i>V. japonicum</i> 6346 + СТ	38,0±2,1*	1,00±0,15	27,99±0,87
<i>V. japonicum</i> РС08	28,0±4,0	1,05±0,08	31,02±2,12
<i>V. japonicum</i> РС08 + СТ	30,4±2,9	0,95±0,05	32,26±1,69

Примітка. Тут і в табл. 2–4: СТ — стандак топ. \* — вірогідно відносно контролю ( $p \leq 0,05$ ).

ня нітрогеназного комплексу. При цьому штам РС08 за ступенем реалізації симбіотичного потенціалу за умов дії протруєнника виявився ефективнішим за штам 6346. У подальшому (фаза утворення бобів) реалізація симбіотичного потенціалу соєво-ризобіальних систем, утворених обома штамми на фоні дії стандак топу стабілізувалася до рівня контрольних рослин (без протруєння насіння).

Встановлено (табл. 2), що інокуляція насіння сої бульбочковими бактеріями *V. japonicum* 6346 і РС08 сприяла активному росту рослин протягом вегетації та формуванню вегетативної маси (листяного апарату та кореневої системи). Протруєння насіння стандак топом істотно не вплинуло на наростання надземної маси і маси коренів сої, однак позитивну тенденцію у їхній зміні ми виявили. Так, за інокуляції насіння штамом РС08 на фоні протруєння зелена маса сої у фазу цвітіння збільшилась на 12 %, маса кореня — на 15 % порівняно з рослинами варіанта без використання протруєнника. У результаті вимірювання висоти рослин *Glycine max* L. у досліді виявлено підвищення цього показника на 9 % у рослин бактеризованих штамом РС08 на фоні застосування протруєнника порівняно з контрольними. Рослини, насіння яких інокулювали штамом 6346 на фоні дії стандак топу, були вищими за контрольні на 13 % при тому, що їх надземна маса залишалась на рівні контрольних, а маса коренів була на 17 % меншою. У фазу утворення бобів зберігались закономірності розвитку рослин, виявлені нами у попередню фазу онтогенезу сої. Рослини у варіантах із протруєнням насіння ліпше росли: вони на 7 і 6 % були вищими за контрольні у разі застосування штамів 6346 і РС08 відповідно. Однак встановлені нами зміни за показниками вегетативного розвитку рослин сої у варіантах із протруєнням насіння були невірогідними.

ТАБЛИЦЯ 2. Вплив протруйника стандак топ за завчасної обробки насіння (за 7 діб до посіву) та інокуляції бульбочковими бактеріями в день посіву на формування вегетативної маси рослин сої

Варіант	Маса, г		Висота рослини, см
	надземної частини	кореня	
<i>Фаза початку цвітіння</i>			
<i>V. japonicum</i> 6346	10,80±0,63	3,38±0,31	53,0±2,39
<i>V. japonicum</i> 6346 + СТ	10,73±0,94	3,20±0,30	60,1±2,00
<i>V. japonicum</i> РС08	9,81±0,49	2,91±0,20	53,3±0,92
<i>V. japonicum</i> РС08 + СТ	10,98±0,55	3,23±0,29	57,5±1,79
<i>Фаза утворення бобів</i>			
<i>V. japonicum</i> 6346	17,01±1,06	4,63±0,34	80,8±2,57
<i>V. japonicum</i> 6346 + СТ	18,97±1,08	4,41±0,33	86,4±3,32
<i>V. japonicum</i> РС08	18,39±0,87	4,29±0,17	83,8±2,83
<i>V. japonicum</i> РС08 + СТ	18,53±1,09	4,62±0,20	88,6±2,61

Отже, протруйник стандак топ за завчасної передпосівної обробки насіння з наступною його бактеризацією штамами 6346 і РС08 у день посіву не чинив токсичної дії на вегетативний ріст і розвиток рослин сої протягом досліджуваних фаз онтогенезу.

Рослини сої за інокуляції насіння штамами 6346 і РС08 активно формували боби (табл. 3) у період генеративного розвитку. При цьому кількість бобів на рослинах обох варіантів (лише інокуляція без протруєння) була аналогічною (11 і 13 бобів відповідно до фаз онтогенезу), що може вказувати на однаковий рівень реалізації продуктивного потенціалу симбіотичних систем, утворених цими штамами.

Оцінка зернової продуктивності сої підтвердила це припущення (табл. 4), ми отримали урожай зерна сої з посудини в цих варіантах 33,54 і 34,03 г/посудину відповідно. За основними показниками структури врожаю (кількістю і масою насінин на рослині, масою 1000 насінин, індексом врожаю) не виявлено істотних відмінностей у варіантах із використанням штамів 6346 і РС08.

Протруєння насіння перед посівом стандак топом із подальшою інокуляцією штамами 6346 і РС08 майже не вплинули на здатність рослин сої до утворення генеративних органів (бобів), оскільки їхні кількості на рослинах дослідних і контрольних (без протруйника)

ТАБЛИЦЯ 3. Формування бобів рослинами сої за протруєння насіння за 7 діб до посіву стандак топом та інокуляції в день посіву аналітично селекціонованими штамами ризобій

Варіант	Кількість бобів на рослині, шт.	
	Фаза утворення бобів	Фаза повної стиглості зерна
<i>V. japonicum</i> 6346	10,9±0,5	13,0±0,9
<i>V. japonicum</i> 6346 + СТ	10,9±0,6	14,0±2,3
<i>V. japonicum</i> РС08	11,3±0,5	13,0±1,0
<i>V. japonicum</i> РС08 + СТ	12,0±0,6	13,6±2,6

РЕАЛІЗАЦІЯ СИМБІОТИЧНОГО І ПРОДУКТИВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

ТАБЛИЦЯ 4. Структура врожаю сої за інокуляції насіння аналітично селекціонованими штамми бульбочкових бактерій на фоні протруєння за 7 діб до посіву

Варіант	Кількість, шт.	Маса, г	Маса насінин/посудину, г	Маса 1000 насінин, г	Маса сухої речовини рослини, г	K <sub>госп.</sub>
	насінин/рослину					
<i>V. japonicum</i> 6346	20,3±1,1	4,18±0,20	33,54±2,47	208,20± ±2,52	8,17±0,34	0,51±0,01
<i>V. japonicum</i> 6346 + СТ	19,8±1,0	4,28±0,17	35,34±0,23	204,70± ±2,68	7,92±0,29	0,54±0,02
<i>V. japonicum</i> PC08	20,2±1,1	4,28±0,24	34,03±2,95	214,73± ±3,96	7,87±0,46	0,54±0,01
<i>V. japonicum</i> PC08 + СТ	22,2±1,1	4,67±0,23	37,39±1,33	212,67± ±1,94	8,33±0,41	0,56±0,02

варіантів були аналогічними. Зернова продуктивність рослин також була на рівні контрольних. При цьому за використання штаму PC08 на фоні дії стандак топу виявлено тенденцію до підвищення врожаю зерна сої (на 10 %) та основних показників його структури: кількості й маси насіння на рослині (на 10 і 9 % відповідно), маси сухої речовини рослини (на 6 %) та індексу врожаю (на 4 %). Однак ці зміни показників зернової продуктивності сої були невірогідними.

Отже, симбіотичні системи сої з аналітично селекціонованими фунгіцидостійкими штамми 6346 і PC08 характеризуються майже однаковими ступенями реалізації продуктивного потенціалу за незначного переважання системи, утвореної штамом PC08. Завчасне (за 7 діб до посіву) протруєння насіння сої стандак топом істотно не впливало на формування зернової продуктивності рослинами. При цьому симбіотична система соя—*V. japonicum* PC08 на фоні дії протруєнника за оцінкою реалізації продуктивного потенціалу виявилась ефективнішою за систему, утворену за участю *V. japonicum* 6346.

При дослідженні ефективності інокуляції сої стійкими до пестицидів штамми *V. japonicum* PC07 і PC10 на фоні протруєння насіння препаратами максим XL, стандак топ і февер у вегетаційних умовах із піщаною культурою показано [19, 25] різний ефект впливу протруєників на симбіоз. Так, за дії максимуму XL кількість і маса бульбочок, маса надземної частини рослин і коренів сої перевищували показники контрольних рослин. АФА симбіотичної системи, сформованої за участю штаму PC07, знижувалася у фазу трьох справжніх листків, залишалась на рівні контролю у фазу бутонізації—початку цвітіння, а у фазу утворення бобів — перевищувала його. Токсичну дію на соєво-ризобіальний симбіоз чинив протруєник февер: кількість бульбочок зменшувалась до 30 %, надземна маса — до 19 %, маса коренів — до 21 %. Нітрогеназна активність симбіозу (до фази утворення бобів) також була меншою за контрольний показник у разі застосування феверу і стандак топу. Однак дослідники зазначили, що стандак топ чинив слабкішу інгібувальну дію, ніж февер. За дії протруєників стандак топ і максим XL та інокуляції ризобіями PC07 і PC10 зернова продуктивність сої зросла на 9,5—25,8 %, що зумовлено толерантністю симбіотичних систем, утворених стійкими до фун-



гіцидів штамами. На основі отриманих результатів автори запропонували використовувати аналітично селекціоновані фунгіцидостійкі штами бульбочкових бактерій PC07 і PC10 для виготовлення бактеріальних добрив з метою їх застосування комплексно з протруйниками стандак топ і максимум XL [25].

Загалом, для забезпечення сільськогосподарських культур екологічно безпечним і дешевим асимільованим азотом та захисту рослин від фітопатогенів у агрофітоценозах необхідно дотримуватись усіх регламентів застосування хімічних і біологічних засобів, аналізувати наявну інформацію щодо їхньої сумісності за комплексних обробок, ефективності використання речовин різного походження для захисту інтродукованих мікроорганізмів від впливу низки абіотичних стресових чинників [21].

Отже, згідно з результатами наших досліджень, протруйник стандак топ за завчасної (за 7 діб до посіву) обробки насіння сої у першу половину вегетації рослин (включно до фази цвітіння) пригнічував процеси формування та функціонування симбіотичних систем, утворених стійкими до фунгіцидів штамами *V. japonicum* 634б і PC08. За інокуляції насіння штамом 634б на фоні дії протруйника нодуляційна активність ризобій у фазу цвітіння сої ослаблювалась на 35 %, а штаму PC08 — залишалась стабільною. Значне пригнічення (на 30—32 %) виявлено також і щодо функціонування нітрогеназного комплексу обох симбіотичних систем. Штам *V. japonicum* PC08 за ступенем реалізації симбіотичного потенціалу за умов дії протруйника виявився ефективнішим за штам 634б. У подальшому (фаза утворення бобів) реалізація симбіотичного потенціалу соєво-ризобіальних систем, утворених обома штамами на фоні дії стандак топу, стабілізувалась до рівня контрольних рослин (без протруєння насіння). Стандак топ за завчасної передпосівної обробки насіння з наступною бактеризацією штамами 634б і PC08 у день посіву не чинив токсичної дії на вегетативний ріст і розвиток сої, формування генеративних органів і врожаю зерна рослинами. Симбіотичні системи сої з аналітично селекціонованими фунгіцидостійкими штамами *V. japonicum* 634б і PC08 характеризувалися майже однаковими ступенями реалізації продуктивного потенціалу за незначної переваги системи, утвореної штамом *V. japonicum* PC08. Завчасне протруєння насіння сої стандак топом істотно не впливало на формування зернової продуктивності рослинами. При цьому симбіотична система соя—*V. japonicum* PC08 на фоні дії протруйника за оцінкою реалізації продуктивного потенціалу виявилася ефективнішою за систему соя—*V. japonicum* 634б. Отже, отримані нами результати підтвердили можливість використання аналітично селекціонованого стійкого до фунгіцидів штаму *V. japonicum* PC08 як біологічної основи бактеріальних добрив під сою на фоні застосування хімічних засобів захисту рослин, зокрема препарату стандак топ за 7 діб до посіву насіння.

#### ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Дем'яненко В.В. Ключові елементи сучасної технології вирощування сої. *Агроскоп Інтернешнл*. 2014. 1. С. 13–19.

2. Kulkarni K.P., Tayade R., Asekova S., Song J.T., Shannon J.G., Lee J.D. Harnessing the potential of forage legumes, alfalfa, soybean, and cowpea for sustainable agriculture and global food security. *Frontiers in plant science*. 2018. **9**. P. 1314. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01314>
3. Prusiński J., Baturó-Cieśniewska A., Borowska M. Response of Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) to Mineral Nitrogen Fertilization and *Bradyrhizobium japonicum* Seed Inoculation. *Agronomy*. 2020. **10**, N 9. P. 1300. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091300>
4. Ciampitti I.A., Salvagiotti F. New insights into soybean biological nitrogen fixation. *Agronomy Journal*. 2018. **110**, N 4. P. 1185–1196. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.06.0348>
5. Мостов'як І.І., Кравченко О.В. Симбіотичний апарат сої на фоні використання різних видів фунгіцидів та мікробного препарату. *Таврійський науковий вісник*. 2019. **108**. С. 72–77. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.108.10>
6. Волкогон В.В., Комок М.С. Ефективність симбіозу бульбочкових бактерій з рослинами сої. *Бюл. Інституту зернового господарства*. 2010. **39**. С. 89–93.
7. Воробей Н., Кукол К., Пухтаєвич П., Коць С. Пошук, збереження та відтворення різноманіття агрономічно-корисної ґрунтової мікробіоти. Стратегії інноваційного розвитку природничих дисциплін: досвід, проблеми і перспективи. Матеріали II Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конференції. (Кропивницький, 21 бер. 2019). Кропивницький, 2019. С. 189–190.
8. Маліченко С.М., Омельчук С.В., Маменко П.М., Коць С.Я. Ефективність, конкурентоспроможність і технологічність нових аналітично селекціонованих штамів бульбочкових бактерій сої. *Фізіологія і біохімія культ. рослин*. 2013. **45**, № 1. С. 53–60.
9. Пат. № 7875 на корисну модель Штам бактерій *Bradyrhizobium japonicum* PC08 (ІМВ-В7399) для одержання бактеріального добрива під сою: Коць С.Я., Маліченко С.М., Маменко Р.М., Воробей Н.А., Якимчук Р.А., пат. 7875. Україна. МПК C05F 11/00, C12N 1/00, заявл. 30.01.2012. Опубл. 25.03.2013. Бюл. № 6.
10. Вознюк С.В., Титова Л.В., Ратушинська О.В., Іутинська Г.О. Формування та функціонування симбіотичних систем та мікробіоценозу ризосфери сої за використання різних фунгіцидів. *Мікробіологічний журнал*. 2016. **78**, № 4. С. 59–70.
11. Борзенкова Г.А. Оптимизация технологии предпосевного протравливания и возможности его сочетания с инокуляцией для защиты сои от семенной инфекции. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2014. **1**, № 9. С. 22–30.
12. Roman D.L., Voiculescu D.I., Filip M., Ostafe V., Isvoran A. Effects of Triazole Fungicides on Soil Microbiota and on the Activities of Enzymes Found in Soil: A Review. *Agriculture*. 2021. **11**, N 9. P. 893. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090893>
13. Сергієнко В.Г., Миколаєвський В.П. Моніторинг хвороб сої в Лісостепу України. *Карантин і захист рослин*. 2014. **10**, № 11. С. 9–11.
14. Миколаєвський В.П., Сергієнко В.Г., Титова Л.В. Розвиток хвороб та продуктивність сої різних сортів за обробки насіння мікробними препаратами. *Агробіологія*. 2016. **2**. С. 96–103.
15. Саенко Г.М., Бушнева Н.А. Совместимость фунгицидных протравителей сои с инокулянтами. Масличные культуры. *Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2018. **3**, № 175. С. 124–127. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2018-3-175-124-127>
16. Silva K., Silva E.E., Farias E.D.N.C., Silva C.J., Albuquerque C.N.B., Cardoso C. Agronomic efficiency of *Bradyrhizobium* pre-inoculation in association with chemical treatment of soybean seeds. *African Journal of Agricultural Research*. 2018. **13**, N 14. P. 726–732. <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13016>
17. Rodrigues T.F., Bender F.R., Sanzovo A.W.S., Ferreira E., Nogueira M.A., Hungria M. Impact of pesticides in properties of *Bradyrhizobium* spp. and in the symbiotic performance with soybean. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2020. **36**, N 11. P. 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02949-5>
18. Воробей Н.А., Кукол К.П., Коць С.Я. Оцінка токсичності впливу фунгіцидів на бульбочкові бактерії *Bradyrhizobium japonicum* в чистій культурі. *Мікробіологічний журнал*. 2020. **82**, № 3. С. 45–54. <https://doi.org/10.15407/microbiolj82.03.045>

19. Кукол К.П., Воробей Н.А., Пухтаєвич П.П., Коць С.Я. Ефективність інокуляції сої біопрепаратами на основі стійких до фунгіцидів штамів ризобій за впливу протруйників насіння. *Фізіологія рослин і генетика*. 2020. **52**, № 6. С. 494–506. <https://doi.org/10.15407/frg2020.06.494>
20. Кукол К.П., Воробей Н.А., Пухтаєвич П.П., Рибаченко Л.І., Якимчук Р.А. Вплив фунгіцидів на ефективність інокуляції сої стійкими до пестицидів бульбочковими бактеріями. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2020. **31**. С. 26–35. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.31.26-35>
21. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2018 рік. URL: <https://sops.gov.ua/geestr-sortiv-roslin> (Дата звернення: 05.02.2022).
22. Ящук В.У., Іванов Д.В., Кривошея Р.М., Цибульняк Ю.О., Корецький А.П. Перелік пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. Київ: Юніверс Медіа, 2018. 1040 с.
23. Plant protection products — Bayer, Basf, Syngenta, Dupon, Avgust. Product catalog. URL: <http://www.demetra-agra.com.ua> (Дата звернення: 05.02.2022).
24. Hardy R.W.F., Holsten R.D., Jackson E.K., Burns R.C. The acetylene-ethylene assay for N<sub>2</sub> fixation: laboratory and field evaluation. *Plant Physiology*. 1968. **42**, N 8. P. 1185–1207. <https://doi.org/10.1104/pp.43.8.1185>
25. Коць С.Я., Кукол К.П. Вплив пестицидів на бульбочкові бактерії у чистій культурі та реалізацію їх симбіотичного потенціалу. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. **53**, № 3. С. 240–261. <https://doi.org/10.15407/frg2021.03.240>

Отримано 10.02.2022

## REFERENCES

1. Demianenko, V.V. (2014). Key elements of modern soybean growing technology. *Ahroskop Interneshnl*, 1, pp. 13-19 [in Ukrainian].
2. Kulkarni, K.P., Tayade, R., Asekova, S., Song, J.T., Shannon, J.G. & Lee, J.D. (2018). Harnessing the potential of forage legumes, alfalfa, soybean, and cowpea for sustainable agriculture and global food security. *Frontiers in plant science*, 9, p. 1314. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01314>
3. Prusiński, J., Baturó-Cieśniewska, A. & Borowska, M. (2020). Response of Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) to Mineral Nitrogen Fertilization and *Bradyrhizobium japonicum* Seed Inoculation. *Agronomy*, 10, No. 9, p. 1300. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091300>
4. Ciampitti, I.A. & Salvagiotti, F. (2018). New insights into soybean biological nitrogen fixation. *Agronomy Journal*, 110, No. 4, pp. 1185-1196. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.06.0348>
5. Mostoviak, I.I. & Kravchenko, O.V. (2019). Symbiotic apparatus of soya under the application of different types of fungicides and microbial preparation. *Tavriys'kyi naukovy visnyk*, 108, pp. 72-77. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.108.10> [in Ukrainian].
6. Volkohon, V.V. & Kosmos, M.S. (2010). Efficacy of symbiosis of nodule bacteria with soybean plants. *Biuletyn instytutu zernovoho hospodarstva*, 39, pp. 89-93 [in Ukrainian].
7. Vorobey, N.A., Kukol, K.P., Pukhtaevych, P.P. & Kots, S. (2019, March). Search, preservation and reproduction of a variety of agronomically useful soil microiota. Strategies for innovative development of natural sciences: experience, problems and prospects. *Mat-ly II Vseukr. nauk.-prakt. Internet-konf.* (pp. 189-190), Kropyvniyskiy [in Ukrainian].
8. Malichenko, S.M. Omelchuk, S.V., Mamenko, P.M. & Kots, S.Ya. (2013). Efficiency, competitiveness and technological effectiveness of new analytically selected strains of soybean nodule bacteria. *Fiziologia i biokhimiya kult. rastenij*, 45, No. 1, pp. 53-60 [in Ukrainian].
9. Pat. 7875 UA, IPC C05F 11/00, C12N 1/00, Bacterial strain *Bradyrhizobium japonicum* PC08 (IMB-B7399) for bacterial fertilizer under soybeans, Kots, S. Ya., Malichenko, S.M., Mamenko, P.M., Vorobey, N.A., Yakymchuk, R.A., Publ. 25.03.2013. *Bul. No. 6* [in Ukrainian].

10. Vozniuk, S.V., Tytova, L.V., Ratushinska, O.V. & Iutynska, G.O. (2016). Formation and functioning of symbiotic systems and rhizosphere microbiocenosis of soybean under various fungicides application. *Mikrobiol. Z.*, 78, No. 4, pp. 59-70 [in Ukrainian].
11. Borzenkova, G.A. (2014). Optimization of technology of preseedling treatment and possibility of its combination with inoculation for protection of soya against contamination with seed infection. *Zernobobovyie i krupyanyie kulturyi*, 1, No. 9, pp. 22-30 [in Russian].
12. Roman, D.L., Voiculescu, D.I., Filip, M., Ostafe, V. & Isvoran, A. (2021). Effects of Triazole Fungicides on Soil Microbiota and on the Activities of Enzymes Found in Soil: A Review. *Agriculture*, 11, No. 9, p. 893. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090893>
13. Sergienko, V.G. & Mykolaevskiy, V.P. (2014). Soybean diseases monitoring in the Forest-Steppe of Ukraine. *Karantyn i zakhyst Roslyn*, 10, No. 11, pp. 9-11 [in Ukrainian].
14. Mykolaievsky, V.P., Sergienko, V.G. & Tytova, L.V. (2016). Diseases development and productivity of soybean at the seeds treatment by microbial formulations. *Ahrobiolohiia*, 2, pp. 96-103 [in Ukrainian].
15. Saenko, G.M. & Bushneva, N.A. (2018). Compatibility of fungicide dressers and inoculators on soybean. *Nauchno-tehnicheskiiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur*, 3, No. 175, pp. 124-127. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2018-3-175-124-127> [in Ukrainian].
16. Silva, K., Silva, E.E., Farias, E.D.N.C., Silva, C.J., Albuquerque, C.N.B. & Cardoso, C. (2018). Agronomic efficiency of Bradyrhizobium pre-inoculation in association with chemical treatment of soybean seeds. *African Journal of Agricultural Research*, 13, No. 14, pp. 726-732. <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13016>
17. Rodrigues, T.F., Bender, F.R., Sanzovo, A.W.S., Ferreira, E., Nogueira, M.A. & Hungria, M. (2020). Impact of pesticides in properties of Bradyrhizobium spp. and in the symbiotic performance with soybean. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36, No. 11, pp. 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02949-5>
18. Vorobey, N.A., Kukol, K.P. & Kots, S.Ya. (2020). Fungicides toxicity assessment on Bradyrhizobium japonicum nodule bacteria in pure culture. *Mikrobiolohichnyy zhurnal*, 82, No. 3, pp. 45-54. <https://doi.org/10.15407/microbiolj82.03.045> [in Ukrainian].
19. Kukol, K.P., Vorobey, N.A., Pukhtaievych, P.P. & Kots, S.Ya. (2020). Efficacy of soybean inoculation by biopreparations based on fungicide-resistant rhizobium strains under seed treaters impact. *Fiziolohiia roslyn i henetyka*, 52, No. 6, pp. 494-506. <https://doi.org/10.15407/frg2020.06.494> [in Ukrainian].
20. Kukol, K.P., Vorobey, N.A., Pukhtaievych, P.P., Rybachenko, L.I. & Yakymchuk, R.A. (2020). Effect of fungicides on the efficiency of soybean inoculation with pesticide-resistant nodule bacteria. *Silskohospodarska mikrobiolohiia*, 31, pp. 26-35. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.31.26-35> [in Ukrainian].
21. State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine in 2018. Retrieved from <https://sops.gov.ua/reestr-sortiv-roslyn> [in Ukrainian].
22. Yaschuk, V.U., Ivanov, D.V., Krivosheya, R.M., Tsibulnyak, Yu.O. & Koretskiy, A.P. (2018). The list of pesticides and agrochemicals permitted for use in Ukraine. Kyiv: Yunivest Media [in Ukrainian].
23. Plant protection products – Bayer, Basf, Syngenta, Dupon, Avgust. Product catalog. Retrieved from <http://www.demetra-agra.com.ua> [in Ukrainian].
24. Hardy, R.W.F., Holsten, R.D., Jackson, E.K. & Burns, R.C. (1968). The acetylene-ethylene assay for N<sub>2</sub> fixation: laboratory and field evaluation. *Plant Physiol.*, 42, No. 8, pp. 1185-1207. <https://doi.org/10.1104/pp.43.8.1185>
25. Kots, S.Ya. & Kukol, K.P. (2021). The effect of pesticides on nodule bacteria in pure culture and on realization of their symbiotic potential. *Fiziolohiia roslyn i henetyka*, 53, No. 3, pp. 240-261. <https://doi.org/10.15407/frg2021.03.240> [in Ukrainian].

Received 10.02.2022

REALIZATION OF SYMBIOTIC AND PRODUCTIVITY POTENTIAL OF SOYBEAN-RHIZOBIA SYSTEMS FORMED BY ANALYTICALLY SELECTED FUNGICIDE RESISTANT STRAINS OF NODULE BACTERIA UNDER PRELIMINARY TREATMENT OF SEEDS WITH STANDAK TOP

*S.V. Omelchuk, O.V. Kyrychenko, A.V. Zhemojda*

Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine  
31/17 Vasylkivska, St., Kyiv, 03022, Ukraine  
e-mail: svitlana.omelchuk12@gmail.com

The efficacy of the soybean-rhizobia symbiotic systems formed by analytically selected fungicide resistant strains of *Bradyrhizobium japonicum* 634b, PC08 and soybean plants when the seeds were treated with fungicide Standak Top 7 days before sowing was studied in pot experiments using soil as a substrate. Standak Top inhibited the formation and functioning of symbiotic systems formed by fungicide resistant strains of *B. japonicum* 634b and PC08 during the first part of plant growth season (before beginning of flowering). The nodulation activity of *B. japonicum* 634b at flowering stage was reduced by 35 % while the fungicide and rhizobia were used for seed treatment. At the same time the nodulation activity of *B. japonicum* PC08 was stable. It was shown that the nitrogen fixation activity of the symbiotic systems formed by both rhizobial strains was decreased by 30–32 %. It was established that the strain *B. japonicum* PC08 was more effective under application of the fungicide than the strain *B. japonicum* 634b according to the realization of their symbiotic potential. At budding stage, the realization of symbiotic potential of the soybean-rhizobia systems formed by both strains under the effect of fungicide reached the same level as was observed in control plants (without seed treatment with fungicide). Standak Top had no toxic effect on the development of soybean plants including growth, formation of reproductive organs and grain yield while the seeds were treated with the fungicide before sowing followed by inoculation with the strains of *B. japonicum* 634b and PC08 on the day of sowing. The symbiotic systems of soybean formed with the analytically selected fungicide resistant strains *B. japonicum* 634b and PC08 had almost equal level of the realization of potential productivity with a slight advantage for the systems formed by the strain *B. japonicum* PC08. Soybean seed pretreatment with Standak Top did not influence significantly on plant seed productivity. The symbiotic system of soybean—*B.japonicum* PC08 under influence of the fungicide was more effective than the symbiotic system of soybean—*B.japonicum* 634b according the level of realization of symbiotic potential and productivity. Our results showed that analytically selected fungicide resistant strain *B. japonicum* PC08 can be used as a biological background for bacterial fertilizers in order to use these fertilizers in agriculture together with Standak Top under the treatment of seeds by the fungicide 7 days before sowing.

*Key words:* *Bradyrhizobium japonicum*, soybean-rhizobia symbiosis, strains, Standak Top, fungicide treatment, nitrogen fixation, grain productivity.