

<https://doi.org/10.15407/frg2024.02.151>

УДК 581.557:633.34:631.847.211:632.95

ФОРМУВАННЯ І ФУНКЦІОНУВАННЯ СИМБІОЗУ СОЇ З БУЛЬБОЧКОВИМИ БАКТЕРІЯМИ ЗА ДІЇ ГОМОЛОГІЧНОГО ЛЕКТИНУ ТА ФУНГІЦИДІВ

С.В. ОМЕЛЬЧУК, Л.М. МИХАЛКІВ, О.В. КАРАУШУ

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

У вегетаційних умовах піщаної культури досліджували ефективність соєво-ризобіальних систем, утворених бактеріальною суспензією, що містила штам *Bradyrhizobium japonicum* PC07 та лектин насіння сої, із рослинами сої сорту Діадема Поділля за обробки насіння протруйниками максим ХЛ і стандак топ. Виявлено тенденцію до збільшення висоти рослин при внесенні лектину в бактеріальну суспензію як у варіанті без обробки фунгіцидами, так і за їх використання. Наростанню надземної маси у фазу утворення бобів сприяло застосування лектину на фоні обробки насіння фунгіцидом максим ХЛ. Встановлено, що на початкових етапах формування симбіозу досліджені протруйники, незалежно від наявності лектину в інокуляційній суспензії, сприяли утворенню бульбочок, тоді як маса бульбочок здебільшого була на рівні рослин контрольних варіантів. Застосування гомологічного лектину позитивно впливало на функціонування симбіозу в початкові фази розвитку рослин сої. За цієї умови протруєння насіння фунгіцидом максим ХЛ не чинило токсичної дії на даний процес, на відміну від стандак топу, де азотфіксувальна активність була меншою на 16,6 %. Проте в другій половині вегетації сої даний показник у варіанті зі стандак топом у фазі цвітіння й утворення бобів перевищував контрольні рослини відповідно на 36,8 і 21,8 %. У всіх досліджуваних варіантах виявлено тенденцію до підвищення маси зерна. Застосування лектину на фоні обробки фунгіцидами максим ХЛ і стандак топ сприяло підвищенню цього показника відповідно на 9,6 і 10,0 %. Отримані нами результати щодо впливу фунгіцидів і лектину на формування та функціонування симбіотичних систем і продуктивність сої підтверджують можливість їх використання у технології вирощування цієї культури.

Ключові слова: *Glycine max* (L.) Merr., *Bradyrhizobium japonicum*, симбіоз, максим ХЛ, стандак топ, азотфіксація, бульбочки, маса, зернова продуктивність.

Соя є стратегічно важливою культурою для України, про що свідчить стабільний внутрішній попит з боку власників тваринних ферм і компаній-переробників харчових продуктів, а також все більша ствердність нашої країни як одного із провідних експортерів соєвих бобів. Щороку її посівні площі зростають, особливо на тлі зниження посівів

Цитування: Омельчук С.В., Михалків Л.М., Караушу О.В. Формування і функціонування симбіозу сої з бульбочковими бактеріями за дії гомологічного лектину та фунгіцидів. *Фізіологія рослин і генетика*. 2024. 56, № 2. С. 151–165. <https://doi.org/10.15407/frg2024.02.151>

зернових за умов російської агресії. Зважаючи на економічну перспективність розвитку ринку соєвих бобів і соєвих продуктів, а також соціальну значущість даної культури, яка є важливим джерелом олії та цінного дешевого білка, дослідження шляхів підвищення її продуктивності на сьогодні набуває надзвичайної ваги [1, 2].

Бобово-ризобіальний симбіоз — потужне джерело збагачення ґрунтів корисними для рослин сполуками азоту, який екологічно безпечний та економічно доцільний [3]. При цьому азотфіксувальні мікроорганізми не лише покращують азотне живлення рослин, а й синтезують низку речовин, що стимулюють їхній ріст і розвиток. Як представник бобових культур соя в симбіозі з бульбочковими бактеріями фіксує атмосферний азот, забезпечуючи себе (на 65—85 %) й наступні у сівозміні культури сполуками азоту. Таким чином вона є цінним попередником за умови збирання її в оптимальні строки — використовує важкодоступні поживні речовини із нижніх ґрунтових горизонтів і залишає після себе в ґрунті 70—100 кг/га доступного азоту, 20—25 фосфору, 30—40 кг/га калію [4, 5]. Проте для забезпечення високої азотфіксувальної здатності соя потребує інокуляції високоактивними штамми бульбочкових бактерій. Передпосівна обробка насіння препаратами азотфіксувальних бактерій є обов'язковим агроприйомом у технології вирощування сої [5—8].

На жаль, з кожним роком зразки насіння сої, які досліджують на наявність збудників хвороб, характеризуються поступовим збільшенням ураженості [9, 10]. Тому однією із найважливіших складових технології вирощування сої є захист від фітопатогенів, а основним запобіжним заходом оздоровлення агроценозів — протруєння насіння препаратами фунгіцидної та бактерицидної дії, адже без застосування хімічних засобів захисту рослин втрати урожаю зерна цієї культури від хвороб різної етіології становлять до 40 % [11]. Однак хімічні засоби захисту рослин, у тому числі фунгіциди, значно знижують ефективність симбіозу бульбочкових бактерій із рослиною-хазяїном [12, 13]. У польових умовах майже неможливо відокремити їхню дію на шкідливі організми від дії на супутні нецільові об'єкти, зокрема на рослину чи представників ризосферної мікробіоти. Під час стримування розвитку фітопатогенних мікроорганізмів фунгіциди можуть негативно впливати як на природні популяції, так і на інтродуковані штамми бульбочкових бактерій, що знижує активність симбіотичної азотфіксації [6, 14, 15]. Поєднання протруєння насіння з інокуляцією ризобіями можливе за використання резистентних до фунгіцидів штамів або застосування малотоксичних для бактерій пестицидів. Особливо це актуально за поєднання протруєння насіння та бактеризації, оскільки фунгіцид безпосередньо впливає на ризобії, які є основою біопрепарату [15, 16—18]. Тому на сьогодні актуальною проблемою є зменшення токсичної дії фунгіцидів як на рослини, так і на створені за їх участі симбіотичні системи. В даному аспекті перспективними можуть бути лектини — білки неімунного походження, які беруть участь у захисті рослинного організму від біотичних та абіотичних стресів [8, 19, 20].

У зв'язку із викладеним, метою наших досліджень було проаналізувати вплив фунгіцидів (стандак топу і максимуму XL) за вико-

ристання лектину на формування та функціонування симбіотичних систем і продуктивність сої.

Методика

Дослідження проводили на вегетаційному майданчику Інституту фізіології рослин і генетики НАН України (ІФРГ НАН України) в піщаній культурі. Рослини сої вирощували у 8-кілограмових посудинах Вагнера. Субстратом слугував річковий пісок. Джерелом мінерального живлення була поживна суміш Гельригеля, збіднена на азот (0,25 норми).

Об'єктом дослідження був соєво-ризобіальний симбіоз, утворений рослинами сої (*Glycine max* (L.) Merr.) сорту Діадема Поділля та бактеріями *Bradyrhizobium japonicum* PC07 за використання лектину сої на фоні протруєння насіння фунгіцидами максим XL, стандак топ.

Сорт Діадема Поділля отриманий методом самозапилення, занесений до Реєстру сортів рослин України із 2015 р. Власником патенту є Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН України. Сорт зернового типу використання, ранньостиглий, вміст сирого протеїну — 38,7 %, жиру — 18,8 %, має вегетаційний період тривалістю 105—115 діб, урожайність — 2,9—3,4 т/га.

Булбочкові бактерії *B. japonicum* штаму PC07 отримані шляхом аналітичної селекції в ІФРГ НАН України, зберігаються в Колекції симбіотичних та асоціативних азотфіксувальних мікроорганізмів Інституту фізіології рослин і генетики НАН України.

Бактерії культивували на твердому манітно-дріжджовому середовищі за температури 28 °С до початку стаціонарної фази росту (10 діб), після чого їх змивали із поверхні середовища стерильною водопровідною водою. В суспензію мікроорганізмів вносили лектин насіння сої («Лектинотест», Україна) до кінцевої його концентрації — 20 мкг/мл. Насіння, заздалегідь оброблене виробничими нормами фунгіцидів, інокулювали упродовж 1 год підготовленою суспензією ризобій із розрахунку 10⁶ бактеріальних клітин на насінину і висівали у піщаний субстрат.

Стандак топ («БАСФ», Німеччина) — інноваційний протруйник для контролю основних хвороб та шкідників сої. Єдиний препарат на ринку, що поєднує в собі фунгіцидну й інсектицидну дію та впливає на фізіологічні процеси в рослинах. Діюча речовина — фінпропіл (250 г/л) + тіофанатметил (225 г/л) + піраклостробін (25 г/л). За обробки насіння стандак топом спостерігається краще укорінення рослин у ґрунті завдяки прискореному росту й розвитку кореневої системи, збільшення асиміляційної поверхні, максимальне розкриття біологічного потенціалу культури. Стандак топ — безпечний для навколишнього середовища, одна його норма становить 1,0—2,0 л/т насіння на 9,0—8,0 л води. Ми робили розрахунки, беручи за норму 1,5 л/т насіння на 8,5 л води.

Максим XL («Сингента», Швейцарія) — препарат контактно-проникної дії. Його діючі речовини (флудіоксиніл, 25 г/л + металаксил М, 10 г/л) поширюються в ґрунті під час проростання насіння,

адсорбуються коренями, залишаються на їхній поверхні або поглинаються ними і діють за безпосереднього контакту зі збудниками хвороби. Одна норма максим XL становить 1,0 л/т насіння на 9,0 л води. Обидва препарати контролюють майже весь спектр корневих гнилей.

Схема досліду включала такі варіанти:

- 1) РС07 (контроль 1);
- 2) РС07 + лектин (контроль 2);
- 3) РС07 + максим XL;
- 4) РС07 + максим XL + лектин;
- 5) РС07 + стандак топ;
- 6) РС07 + стандак топ + лектин.

Рослинний матеріал для аналізу відбирали у фази трьох справжніх листків, початку бутонізації, цвітіння та початку утворення бобів. Повторність у варіантах досліду семиразова.

Упродовж вегетації сої досліджували масу надземної частини рослини і кореня, висоту рослини, кількість і масу бульбочок на корені, азотфіксувальну активність та зернову продуктивність. Азотфіксувальну активність визначали ацетиленовим методом [21, 22] на газовому хроматографі Agilent GC System 6850 (США).

Експериментальні дані оброблено статистично із залученням пакета програм Microsoft Excel 2019. У таблицях наведено середньоарифметичні дані та їхні стандартні похибки.

Результати та обговорення

Встановлено, що у фазу трьох справжніх листків у контрольному варіанті (2) інокуляція насіння сої бульбочковими бактеріями *B. japonicum* РС07 із додаванням лектину пригнічувала наростання надземної маси і маси кореня на 11,0 і 15,0 %, порівняно з рослинами контрольного варіанта (1), де лектин не використовували (табл. 1). Зменшення даних показників (4,1 і 17,5 %) порівняно з рослинами контролю (2) також було виявлено у варіанті з лектином на фоні протруєння насіння фунгіцидом стандак топ. При цьому відзначено позитивну тенденцію щодо висоти рослин у всіх варіантах.

У наступну фазу розвитку (початок бутонізації) протруєння насіння фунгіцидом максим XL пригнічувало наростання надземної маси і маси кореня порівняно з рослинами двох контрольних варіантів. Максимальні значення висоти виявлено у рослин сої, бактеризованої штамом РС07 із лектином, на фоні застосування фунгіциду максим XL (16,3 % порівняно з рослинами контролю (1)) і у варіанті, де насіння було протруєно стандак топом (16,7 % порівняно з рослинами контролю (1)).

У фазу цвітіння протруєння насіння фунгіцидами з подальшою інокуляцією істотно не вплинуло на наростання надземної маси та висоту рослин (див. табл. 1). Інгібувальну дію протруйників спостерігали щодо маси кореня. Так, у варіанті з максимумом XL даний показник був на 14,1 %, а у варіанті зі стандак топом — на 12,2 % меншим порівняно до рослин контролю (1). Наростання надземної маси порівняно з контрольними рослинами варіанта (1) на 16,3 % і варіан-

Таблиця 1. Вплив фунгіцидів і лектину сої на формування вегетативної маси рослинами сої сорту /Лідема Поділья на фоні інокуляції *B. japonicum* PC07

Варіант	Фаза розвитку рослин											
	Трьох справжніх листків			Початок бутонізації			Цвітіння			Початок утворення бобів		
	надземна маса, г	маса кореня, г	висота, см	надземна маса, г	маса кореня, г	висота, см	надземна маса, г	маса кореня, г	висота, см	надземна маса, г	маса кореня, г	висота, см
Контроль 1, PC07	3,89 ± 0,22	0,69 ± 0,05	18,34 ± 0,69	7,03 ± 0,51	4,59 ± 0,31	27,17 ± 1,27	10,82 ± 0,73	5,83 ± 0,21	44,61 ± 2,06	19,25 ± 0,73	9,26 ± 0,68	116,29 ± 2,72
Контроль 2, PC07 + лектин	3,45 ± 0,21	0,59 ± 0,04	17,90 0,33	6,57 ± 0,32	4,47 ± 0,25	27,11 ± 0,91	11,02 ± 0,60	5,95 ± 0,43	46,01 ± 1,56	18,90 ± 0,64	9,71 ± 1,10	111,5 ± 4,08
PC07 + максим XL	4,02 ± 0,31	0,66 ± 0,06	19,80 ± 0,36	5,84 ± 0,37	3,83 ± 0,33	28,10 ± 0,82	9,96 ± 0,43	5,01 ± 0,44	44,60 ± 2,34	18,52 ± 0,91	8,86 ± 1,12	111,86 ± 2,34
PC07 + лектин + максим XL	3,65 ± 0,32	0,65 ± 0,09	20,70 ± 0,63	6,79 ± 0,41	4,39 ± 0,23	31,60 ± 0,52	10,73 ± 0,58	5,58 ± 0,25	45,56 ± 1,61	22,38 ± 1,12	9,74 ± 0,42	120,21 ± 1,60
PC07 + стандарт топ	3,68 ± 0,30	0,58 ± 0,03	20,91 ± 0,74	6,28 ± 0,32	4,62 ± 0,20	31,70 ± 1,00	10,98 ± 0,78	5,13 ± 0,31	44,77 ± 1,51	17,62 ± 0,98	8,48 ± 0,98	117,50 ± 3,45
PC07 + лектин + стандарт топ	3,31 ± 0,24	0,49 ± 0,05	20,40 ± 0,07	7,02 ± 0,32	4,65 ± 0,37	29,54 ± 1,15	11,27 ± 0,54	5,63 ± 0,36	45,96 ± 0,80	18,05 ± 1,37	9,84 ± 0,90	116,07 ± 1,86

та (2) на 18,4 % спостерігали у наступну фазу розвитку (початок утворення бобів) у варіанті, де насіння було протруєне фунгіцидом максим XL на фоні інокуляції PC07 із лектином. У цю фазу розвитку також відзначено збільшення висоти рослин у варіанті з лектином, де насіння було протруєно фунгіцидом максим XL, на 7,8 % порівняно з рослинами контролю (2).

Отже, застосування лектину за інокуляції насіння бульбочковими бактеріями *B. japonicum* PC07 дещо пригнічувало наростання надземної маси і маси кореня упродовж першої половини вегетації сої. Водночас виявлено тенденцію до збільшення висоти рослин упродовж всього вегетаційного періоду як у варіанті без обробки фунгіцидами, так і за їх використання. Наростання надземної маси у фазу утворення бобів зафіксовано за умови застосування лектину на фоні обробки насіння фунгіцидом максим XL. Починаючи з фази бутонізації використання лектину, як правило, знижувало негативний ефект фунгіцидів, насамперед максимуму XL, на показники маси сої.

За результатами дослідження процесу нодуляції (табл. 2) встановлено, що у фазу

ТАБЛИЦЯ 2. Вплив протруєння насіння фунгіцидами та застосування лектину сої на формування симбіозу сої сорту *Діадема* Поділья із бульбочковими бактеріями *B. japonicum* PC07

Варіант	Фаза розвитку рослини							
	Трьох справжніх листків		Початок бутонізації		Цвітіння		Початок утворення бобів	
	кількість бульбочок, шт./рослину	маса бульбочок, г/рослину	кількість бульбочок, шт./рослину	маса бульбочок, г/рослину	кількість бульбочок, шт./рослину	маса бульбочок, г/рослину	кількість бульбочок, шт./рослину	маса бульбочок, г/рослину
Контроль 1, PC07	9,00±0,91	0,08±0,01	9,30±0,50	0,17±0,03	29,57±2,34	0,85±0,09	37,28±1,82	1,53±0,13
Контроль 2, PC07 + лектин	15,00±1,34	0,11±0,02	16,00±1,20	0,26±0,04	22,57±1,95	0,89±0,11	31,57±1,79	1,58±0,23
PC07 + максим XL	16,75±0,75	0,12±0,01	17,86±1,61	0,35±0,04	27,86±2,32	0,73±0,12	61,57±1,86	1,65±0,24
PC07 + лектин + максим XL	13,25±1,43	0,11±0,02	25,43±2,28	0,38±0,04	26,86±2,00	0,96±0,08	46,29±3,50	2,02±0,20
PC07 + стандар топ	15,50±1,48	0,09±0,02	25,57±1,49	0,34±0,04	31,43±2,13	0,92±0,13	33,00±2,51	1,66±0,18
PC07 + лектин + стандар топ	24,00±1,73	0,09±0,01	25,83±1,48	0,43±0,03	34,72±0,97	0,99±0,08	44,14±3,33	1,91±0,21

трьох справжніх листків кількість утворених кореневих бульбочок на рослинах контрольного варіанта (2) із застосуванням лектину була на 66,7 % більшою порівняно з рослинами сої контрольного варіанта (1), інокульованої лише штамом PC07. У варіантах, де насіння було протруєне фунгіцидами з подальшою інокуляцією бульбочковими бактеріями PC07, виявлено збільшення кількості бульбочок на коренях сої на 86,1 % за обробки максим XL і на 72,2 % за обробки стандар топом. Найбільший показник кількості бульбочок порівняно з рослинами обох контрольних варіантів (у 2,7 і 1,6 рази відповідно) був у сої, інокульованої *B. japonicum* PC07 із лектином на фоні протруєння стандар топом, тоді як їхня маса залишилася на рівні контрольних рослин, як і в більшості варіантів. Виняток становив варіант із використанням максимуму XL на фоні інокуляції PC07, де маса бульбочок на коренях була більшою в 1,5 рази порівняно з рослинами контролю (1).

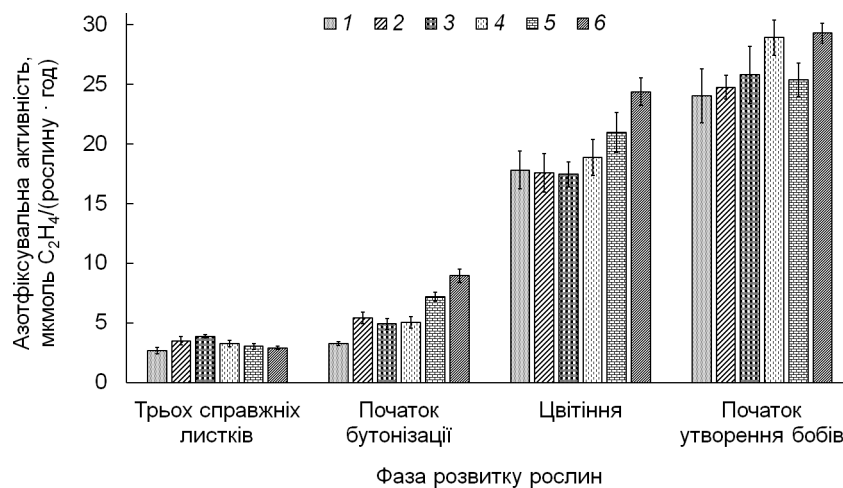
У наступну фазу розвитку (початок бутонізації) у рослин контрольного варіанта (2) кількість бульбочок і їхня маса перевищили показники контрольного варіанта (1) на 72,0 і

52,9 %, відповідно (див. табл. 2). У рослинах варіанта зі стандак топом і лектином у дану фазу розвитку показники кількості бульбочок і їх маси виявилися більшими порівняно до рослин контролю (2) на 61,4 і 65,4 %, відповідно. У варіанті з максимумом XL і лектином кількість бульбочок у сої та їхня маса також були більшими порівняно з рослинами контролю (2), відповідно на 58,9 і 46,2 %. Рослини варіанта з максимумом XL без лектину за показниками кількості бульбочок та їх маси перевищили рослини контрольного варіанта (1). У варіанті зі стандак топом без лектину кількість кореневих бульбочок у сої була більшою на 59,8 %, ніж на рослинах контролю (2), тоді як маса залишалася на рівні рослин контрольного варіанта.

У фазу цвітіння, як і фазу початку утворення бобів, кількість бульбочок на рослинах контрольного варіанта з лектином була меншою порівняно з рослинами контрольного варіанта без лектину відповідно на 23,7 і 15,4 % (див. табл. 2). У фазі цвітіння та утворення бобів рослини сої у варіанті з інокуляцією РС07 і лектином на фоні протруєння насіння фунгіцидом стандак топ формували кількість бульбочок на 17,4 і 18,4 % більшу порівняно до контрольних рослин (1), тоді як їхня маса залишалася на рівні рослин контрольного варіанта.

Отже, встановлено, що на початкових етапах формування симбіозу досліджені протруйники, незалежно від застосування лектину, сприяли утворенню бульбочок, тоді як їх маса, як правило, була на рівні рослин контрольних варіантів.

Азотфіксувальна активність бульбочок (АФА) у фазу трьох справжніх листків в рослин контрольного варіанта (2) перевищила АФА бульбочок рослин контрольного варіанта (1) на 30,2 % (рисунок). У симбіотичній системі сої, інокульованої штамом РС07 і обробленої



Вплив протруєння насіння фунгіцидами та застосування лектину сої на азотфіксувальну активність бульбочок сої сорту Діадема Поділля на фоні інокуляції *B. japonicum* РС07:

1 — контроль 1, РС07, 2 — контроль 2, РС07 + лектин, 3 — РС07 + максимум XL, 4 — РС07 + лектин + максимум XL, 5 — РС07 + стандак топ, 6 — РС07 + лектин + стандак топ

максимум XL, азотфіксація була на 44,8 % вищою порівняно до рослин контролю (1). Меншим порівняно до рослин контролю (2) на 16,6 % показник азотфіксації виявився у варіанті із застосуванням стандак топу на фоні інокуляції насіння сої штамом РС07 з лектином.

У наступну фазу розвитку (початок бутонізації) у рослин контрольованого варіанта (2) показник АФА на 66,8 % перевищував контроль (1). У рослинах варіанта зі стандак топом і лектином порівняно до рослин контрольованого варіанта (2) показник азотфіксації виявився більшим на 65,3 %, тоді як у варіанті з максимум XL і лектином був на його рівні. У наступні дві фази вегетації (цвітіння й утворення бобів) показники азотфіксації у рослин контрольованого варіанта з лектином були на рівні контрольованого варіанта (1).

Водночас застосування лектину на фоні використання обох протруйників сприяло активізації процесу азотфіксації бульбочками сої у фазу цвітіння і початку утворення бобів порівняно з відповідними варіантами із застосуванням фунгіцидів без лектину.

Таким чином, застосування лектину мало позитивний вплив на функціонування азотфіксуючого симбіозу на початкових фазах його розвитку. В цьому разі протруєння насіння фунгіцидом максимум XL не чинило токсичної дії на даний процес, а за використання стандак топу виявлено тенденцію до незначного зниження АФА (16,6 %). Проте в другій половині вегетації сої даний показник у варіанті зі стандак топом перевищував контрольні рослини відповідно на 36,8 і 21,8 % у фазу цвітіння й утворення бобів.

В період генеративного розвитку рослини сої активно формували боби (табл. 3). У варіантах за інокуляції насіння штамом РС07 без лектину (контроль (1)) і з лектином (контроль (2)) кількість бобів істотно не різнилася, що може вказувати на однаковий рівень реалізації продуктивного потенціалу утворених ними симбіотичних систем. Протруєння насіння максимум XL із подальшою інокуляцією штамом РС07 із лектином і без лектину не вплинули на здатність рослин

ТАБЛИЦЯ 3. Вплив фунгіцидів і лектину сої на зернову продуктивність сої сорту Діадема Поділля, інокульованої В. *jarovisus* РС07

Варіант	Кількість бобів, шт./рослину	Кількість насінин, шт./рослину	Маса зерна, г/рослину	Маса зерна,	
				г/посудину	% до контролю 1
Контроль 1, РС07	11,18±0,51	21,14±0,76	4,84±0,11	33,91±0,84	—
Контроль 2, РС07 + лектин	11,89±0,83	22,29±0,57	5,02±0,06	35,12±0,35	+3,6
РС07 + максимум XL	11,79±0,15	22,39±0,42	5,07±0,09	35,51±0,41	+4,7
РС07 + лектин + максимум XL	11,96±0,24	23,56±0,82	5,50±0,15	38,49±0,55	+9,6
РС07 + стандак топ	12,00±0,39	23,78±1,13	5,09±0,12	35,61±0,82	+5,0
РС07 + лектин + стандак топ	13,43±0,62	23,91±0,60	5,52±0,20	38,62±0,38	+10,0

сої до утворення бобів, оскільки їхня кількість виявилася на рівні рослин контрольних варіантів. У варіанті, де насіння протруювали стандак топом з інокуляцією РС07 і лектином, показник кількості бобів на рослинах сої був на 13 % вищим порівняно до контролю (2). Також для рослин цього варіанта виявлено тенденцію до підвищення зернової продуктивності (до 10,0 %) та основних показників її структури: кількості й маси зерна на рослині (на 13,1 і 11,0 %, відповідно) порівняно з рослинами сої контрольного варіанта, інокульованої штамом РС07.

Отже, в усіх варіантах була тенденція до підвищення зернової продуктивності. Застосування лектину на фоні обробки насіння фунгіцидами максим ХЛ і стандак топ сприяло підвищенню маси зерна на 9,6 і 10,0 % відповідно, порівняно до контролю (1) (інокуляція насіння без використання протруйників і лектину).

Під час дослідження ми не виявили негативного впливу протруйників стандак топ та максим ХЛ на формування і функціонування симбіотичного апарату сої з бульбочковими бактеріями. В експериментах із чистою культурою бактерій [23] було показано, що штам *B. japonicum* РС 07, який ми використовували для інокуляції насіння сої, стійкий до 1 і 2 норм стандак топу, а також 1 норми максимуму ХЛ. Як видно, ці фунгіциди не пригнічували нодуляційну активність ризобій *B. japonicum* РС 07, навпаки, спостерігалось збільшення кількості бульбочок на коренях рослин сої, насіння якої обробляли обома протруйниками, порівняно з рослинами контрольного варіанта, у фазі трьох справжніх листків, початку бутонізації, а також на початку утворення бобів за використання максимуму ХЛ. До того ж зростала маса бульбочок на початку бутонізації за використання обох фунгіцидів.

Очевидно, такий ефект протруйників щодо формування симбіотичних структур сприяв також підвищенню азотфіксувальної активності симбіотичної системи сої, внаслідок чого виявлено істотне збільшення цього показника у варіантах, де застосовували максим ХЛ (фази трьох справжніх листків і початку бутонізації) чи стандак топ (початок бутонізації та цвітіння), порівняно з контролем без фунгіцидів. Водночас слід зазначити, що в іншому експерименті [24] спостерігали пригнічення процесів формування і функціонування бульбочок у першу половину вегетації сої через застосування стандак топу для обробки насіння за 7 діб до посіву (соя сорту Алмаз, штам *B. japonicum* 6346 та РС08). Внаслідок аналізу дії хімічних засобів захисту рослин за різних способів їх застосування на симбіотичні системи, утворені за участю активних штамів бульбочкових бактерій і бобових культур, Коць та Кукол [25] відзначили різноспрямований вплив пестицидів на кількість, масу кореневих бульбочок, рівень асиміляції ними молекулярного азоту, а також якісні та кількісні показники урожаю залежно від генотипів рослин і мікроорганізмів, складових хімічних препаратів, чинників навколишнього середовища. Наші дослідження ще раз підтвердили важливість правильного добору сорту рослини та штаму ризобій, а також відповідних для них протруйника і способу його використання для забезпечення оптимального формування й функціонування симбіотичної системи за певних умов вирощування.

За спільного застосування бактеріальних і хімічних препаратів важливим є пошук речовин, які б знижували пестицидний стрес для рослин і корисної мікрофлори. З цією метою нами було використано лектин насіння сої. Показано, що застосування цього фітогем-аглютиніну дає змогу регулювати рівень реалізації симбіотичного та продуктивного потенціалу бобово-ризобіальних симбіозів, при цьому експериментально доведена можливість використання фітолектинів для попередньої обробки насіння як додаткового біологічно активного компонента із широким спектром фізіологічної активності стосовно ризобіальних інокулянтів, а також для обробки рослин у посівах [19, 26—28]. Крім того, відома участь лектинів у регуляції адаптації рослин до стресів і можливість використання їх як захисних сполук за впливу абіотичних і біотичних чинників [26, 27, 29]. Вказані праці свідчать про перспективність вивчення біологічної активності фітолектинів для зниження хімічного тиску на екосистеми через нівелювання чи пом'якшення негативного впливу хімічних засобів захисту на рослини і симбіоз. Водночас дослідження впливу препаратів із фунгіцидною дією (февер, максимум XL, стандак топ) на формування і функціонування симбіотичного апарату сої сорту Алмаз за інокуляції ризобіями *V. japonicum* 6346, інкубованими із лектином, не виявило пом'якшення токсичного впливу пестицидів на симбіоз [30].

У нашому дослідженні застосування лектину як компонента інокуляційної суспензії підвищувало нодуляційну активність ризобій у період трьох справжніх листків—початку бутонізації та сприяло збільшенню маси бульбочок на початку бутонізації, але вже під час цвітіння, навпаки, призводило до зниження кількості бульбочок на коренях рослин. На фоні використання максимуму XL лектин у фазу трьох справжніх листків і на початку утворення бобів пригнічував нодуляційну активність ризобій, тоді як на фоні використання стандак топу, навпаки, спостерігалось підвищення цього показника. Таким чином, застосування лектину нівелювало негативний вплив стандак топу на нодуляційну активність ризобій на початку утворення бобів. Слід відзначити позитивний вплив лектину на азотфіксуючу активність симбіозу у період трьох справжніх листків—початку бутонізації у варіанті без використання фунгіцидів, а також підвищення (в межах похибки досліду) активності фіксації азоту у другу половину вегетації (цвітіння—початок утворення бобів) на фоні використання максимуму XL. У варіанті застосування лектину і фунгіциду стандак топу відзначено збільшення активності азотфіксації у період початок бутонізації—початок утворення бобів, порівняно до варіанта використання стандаку топу без лектину.

Щодо впливу лектину на ріст рослин, зауважимо, що з початком бутонізації проявлялася тенденція до збільшення надземної маси рослин за його використання на фоні застосування фунгіцидів порівняно до варіантів без гемаглютиніну. У цьому разі на початку утворення бобів обробка лектином протруєного максимумом XL насіння забезпечувала істотне збільшення надземної маси і висоти рослин.

Таким чином, застосування лектину може підсилювати виявлений в даному дослідженні стимулювальний вплив фунгіцидів на но-

дуляційну активність ризобій і азотфіксувальну активність симбіотичних систем, а також пом'якшувати чи повністю нівелювати гальмівний вплив протруйників на ростові процеси сої. При цьому дія лектину залежить від фази розвитку рослин і типу протруйника. В результаті застосування лектину на фоні обробки насіння фунгіцидами максим XL і стандак топ забезпечувалось підвищення (хоч і не завжди вірогідне) показників структури урожаю (кількість бобів, кількість насінин, маса зерна), а також приріст маси зерна сої на 8,4 і 8,5 %, порівняно до варіантів лише із відповідними фунгіцидами.

Отже, комплексне оцінювання отриманих результатів щодо впливу фунгіцидів максим XL, стандак топ і лектину на симбіотичні характеристики бактерій і продуктивність соєво-ризобіального симбіозу свідчить про позитивну дію лектинової складової на ефективність симбіозу сої із бульбочковими бактеріями, а також про можливість використання вказаних фунгіцидів для обробки насіння сої з подальшою інокуляцією його бактеріальною суспензією, що містить штам РС07 та лектиновий компонент, у технології вирощування даної культури.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Казакова І.В., Кондратюк Н.В. Ефективність виробництва сої та розвиток ринку соєвих продуктів в Україні і світі. *Ефективна економіка*. 2015. № 5.
2. УСАВ: У 2023 році посівні площі під зерновими в Україні скоротяться на 45 %, а валовий збір — на 60 %. *Юридична газета*. 2022, 16 грудня.
3. Коць С.Я., Моргун В.В., Патыка В.Ф., Даценко В.К., Кругова Е.Д., Кириченко Е.В., Мельникова Н.Н., Михалкив Л.М. Биологическая фиксация азота: бобово-ризобияльный симбиоз. Т. 1. Киев: Логос, 2010. 508 с.
4. Соя у сівозміні: найкращі варіанти. *Агроном*. 2021.
5. Хаблак С. Сучасні зміни в технології вирощування сої. *Агроном*. 2023.
6. 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. *Мікробіол. журн.* 2016. 78, № 4. С. 59—70. http://nbuv.gov.ua/UJRN/MicroBiol_2016_78_4_7
7. Алексеенко Н.В. Вплив антифунгальних препаратів на ефективність симбіозу ризобій з рослинами нуту. Наукові праці Південного філіалу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет». *С-г науки*. Вип. 130. Сімферополь, 2010. С. 203—208.
8. Коць С.Я., Моргун В.В., Патыка В.Ф., Маличенко С.М., Маменко П.Н., Киризий Д.А., Михалкив Л.М., Береговенко С.К., Мельникова Н.Н. Биологическая фиксация азота: бобово-ризобияльный симбиоз. Т. 2. Киев: Логос, 2011. 523 с.
9. Tu C.M. Effect of some pesticides on *Rhizobium japonicum* and pathogens of soybean. *Chemosphere*. 1982. N 10. P. 1027—1028. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(82\)90076-5](https://doi.org/10.1016/0045-6535(82)90076-5)
10. Дерев'янський В.П. Поширення хвороб та продуктивність сої. Вплив мікробіологічних препаратів на зниження інтенсивності ураження посівів. *Карантин і захист рослин*. 2007. № 5. С. 11—14.
11. Сергієнко В.Г., Миколаєвський В.П. Моніторинг хвороб сої в Лісостепу України. *Карантин і захист рослин*. 2014. 10, № 11. С. 9—11.
12. Борзенкова Г.А. Оптимизация технологии предпосевного протравливания и возможность его сочетания с инокуляцией для защиты сои от семенной инфекции. *Зернобобов. крупян. культ.* 2014. 1, № 9. С. 22—30.
13. Santos A.B. Effect of fungicides on the symbiosis between Bradyrhizobium strains and peanut. *Pesquisa Agr. Trop.* 2021. 51, e69089. <https://doi.org/10.1590/1983-40632021v5169089>

14. 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: review. *Agriculture*. 2021. **11**, N 9. P. 893. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090893>
15. Мостов'як І.І., Кравченко О.В. Симбіотичний апарат сої на фоні використання різних видів фунгіцидів та мікробного препарату. *Тавр. наук. вісн.* 2019. **108**. С. 72—77. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.108.10>
16. 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.
17. 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. *Afr. J. Agric. Res.* 2018. **13**, N 14. P. 726—732. <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13016>
18. 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 J. Microbiol. Biotechnol.* 2020. **36**, N 11. P. 1—16. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02949-5>
19. Kyrychenko O.V., Kots S.Ya., Khrapova A.V., Omelchuk S.V. Biological activity of soybean seed lectin at the spraying of *Glycine max* plants against the background of seed treatment with pesticide containing fiprolin, thiophanate -methyl., pyraclostrobin as active substances and rhizobial bacterization. *Regul. Mech. Bio.* 2022. **13**, N 2. P. 12—20. <https://doi.org/10.15421/022215>
20. Arfaonil A., Sifi B., Boudabous A. et al. Identification of Rhisobium isolates possessing antagonistic activity against Fusarium oxysporum sp. ciceris, the causal agent of Fusarium wilt of chickpea. *J. Plant Pathol.* 2006. **88**, N 1. P. 67—75.
21. Hardy R.W.F., Holsten R.D., Jackson E.K., Burns R.C. The acetylene-ethylene assay for N₂ fixation; laboratory and field evaluation. *Plant Physiol.* 1968. **43**. P. 1185—1207.
22. Крикунець В.М. Ацетиленвідновний метод у дослідженнях з фізіології бобово-ризобіального симбіозу. *Фізіологія і біохімія культ. растений*. 1993. **25**, № 5. С. 419—430.
23. Воробей Н.А., Кукол К.П., Коць С.Я. Оцінка токсичності впливу фунгіцидів на бульбочкові бактерії *Bradyrhizobium japonicum* в чистій культурі. *Мікробіол. журнал*. 2020. **82**, № 3. С. 45—54. <https://doi.org/10.15407/microbiolj82.03.045>
24. Омельчук С.В., Кириченко О.В., Жемойда А.В. Реалізація симбіотичного і продуктивного потенціалу соєво-ризобіальних систем, утворених аналітично селекціонованими фунгіцидостійкими штамами бульбочкових бактерій на фоні вчасного протруєння насіння стандак топом. *Фізіологія рослин і генетика*. 2022. **54**, № 1. С. 52—64. <https://doi.org/10.15407/frg2022.01.052>
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>
26. Веселовська Л.І., Михалків Л.М., Коць С.Я. Вплив екзогенного лектину на ефективність симбіозу *Glycinemax* — *Bradyrhizobium japonicum* в умовах посухи. *Фізіологія растений и генетика*. 2013. **45**, № 4. С. 319—326.
27. Kots S.Ya., Mykhalkiv L.M., Mamenko P.M., Volkogon M.V. The study of alfalfa — *Sinorhizobium meliloti* symbiosis productivity under different water conditions and the influence of the legume seed lectin. *J. Agric. Sci. Technol.* B 1. 2011. N 3. P. 454—457.
28. Кириченко О.В. Фітолектини та діазотрофи — поліфункціональні компоненти комплексних біологічних композицій. *Biotechnol. Acta*. 2014. **7**, № 1. С. 40—53. <https://doi.org/10.15407/biotech7.01.040>
29. Melnykova N.M., Mykhalkiv L.M., Mamenko P.M., Kots S.Ya. The areas of application for plant lectins. *Biopol. Cell*. 2013. **29**, N 5. P. 357—366. <https://doi.org/10.7124/bc.00082A>
30. Павлише А.В., Маменко Т.П., Рибаченко Л.І., Коць С.Я. Вплив фунгіцидів на формування, функціонування та пероксидазну активність кореневих бульбочок сої за інокуляції ризобіями, інкубованими з лектином. *Мікробіол. журн.* 2018. **80**, № 5. С. 76—89. <https://doi.org/10.15407/microbiolj80.05.076>

Отримано 22.01.2024

REFERENCES

1. Kazakova, I.V. & Kondratiuk, N.V. (2015). The efficiency of soybean production and the development of the soybean products market in Ukraine and the world. *Efektivna ekonomika*, No. 5.
2. UCAB: In 2023, the area sown under cereals in Ukraine will decrease by 45 %, and the gross harvest — by 60 % (2022, December, 16). *Yurydychna gazeta*.
3. Kots, S.Ya., Morhun, V.V., Patyka, V.F., Datsenko, V.K., Krugova, E.D., Kyrychenko, O.V., Melnikova, N.N. & Mykhalkiv, L.M. (2010). Biological fixation of nitrogen: legume-rhizobial symbiosis. Vol. 1. Kiev: Logos [in Russian].
4. Soybean in crop rotation: the best options. (2021, February, 18). *Agronom*.
5. Hablak, S. (2023, January, 25). Modern changes in soybean cultivation technology. *Agronom*.
6. 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. zhurn.*, 78, No. 4, pp. 59-70 [in Ukrainian].
7. Alekseenko, N.V. (2010). The effect of antifungal drugs on the effectiveness of rhizobia symbiosis with chickpea plants. *Naukovi pratsi Pivdenного filialu Natsionalного universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukr. Krymskyi agrotehnol. un-t silskogosp. nauky*, 130, pp. 203-208 [in Ukrainian].
8. Kots, S.Ya., Morhun, V.V., Patyka, V.Ph., Malichenko, S.M., Mamenko, P.N., Kiriziy, D.A., Mykhalkiv, L.M., Berehovenko, S.K. & Melnikova, N.N. (2011). Biological fixation of nitrogen: legume-rhizobial symbiosis. Vol. 2. Kiev: Logos [in Russian].
9. Tn, C.M. (1982). Effect of some pesticides on *Rhizobium japonicum* and pathogens of soybean. *Chemosphere*, No. 10, pp. 1027-1039. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(82\)90076-5](https://doi.org/10.1016/0045-6535(82)90076-5)
10. Derevyanskyi, V.P. (2007). Disease prevalence and productivity of soybeans. The effect of microbiological preparations on reducing the intensity of damage to crops. *Karantyn i zakhyst roslyn*, No. 5, pp. 11-14 [in Ukrainian].
11. Sergienko, V.G. & Mykolaevskyi, V.P. (2014). Soybean diseases monitoring in the forest-steppe of Ukraine. *Karantyn i zakhyst roslyn*, 10, No. 11, pp. 9-11 [in Ukrainian].
12. 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. *Zernob. krup. kult.*, 1, No. 9, pp. 22-30 [in Russian].
13. Santos, A.B. (2021). Effect of fungicides on the symbiosis between *Bradyrhizobium* strains and peanut. *Pesqui Agr. Trop.*, 51, e69089. <https://doi.org/10.1590/1983-40632021v51e69089>
14. 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: review. *Agricult.*, 11, No. 9, 893. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090893>
15. Mostoviak, I.I. & Kravchenko, O.V. (2019). Symbiotic apparatus of soya under the application of different types of fungicides and microbial preparation. *Tavr. nauk. visn.*, 108, pp. 72-77 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.108.10>
16. Mykolaievsky, V.P., Sergienko, V.G. & Tytova, L.V. (2016). Diseases development and productivity of soybean at the seeds treatment by microbial formulations. *Ahrobiol.*, 2, pp. 96-103 [in Ukrainian]. http://nbuv.gov.ua/UJRN/agr_2016_2_18
17. 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. *Afr. J. Agric. Res.*, 13, No. 14, pp. 726-732. <https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13016>
18. 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 J. Microbiol. Biotechnol.*, 36, No. 11, pp. 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02949-5>
19. Kyrychenko, O.V., Kots, S.Ya., Khrapova, A.V. & Omelchuk, S.V. (2022). Biological activity of soybean seed lectin at the spraying of *Glycine max* plants against the background of seed treatment with pesticide containing fiprolin, thiophanate-methyl, pyra-

- clostrobins as active substances and rhizobial bacterization. Regul. Mech. Biosyst., 13, No. 2, pp. 12-20. <https://doi.org/10.15421/022215>
20. Arfaoui, A., Sifi, B., Boudabous, A., Hadrami, I.El. & Cherif, M. (2006). Identification of *Rhizobium* isolates possessing antagonistic activity against *Fusarium oxysporum* sp. Ciceris, the causal agent of Fusarium wilt of chickpea. J. Plant Pathol., 88, No. 1, pp. 67-75.
 21. 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 Physiol., 43, pp. 1185-1207.
 22. Krykunets, V.M. (1993). Acetylene-reduction method in research of the physiology of legume-rhizobial symbiosis. (1993). Fiziol. biohim. kult. rast, 25, No. 5, pp. 419-430 [in Ukrainian].
 23. Vorobey, N.A., Kukol, K.P. & Kots, S.Ya. (2020). Fungicides toxicity assessment on *Bradyrhizobium japonicum* nodule bacteria in pure culture. Mikrobiol. Zhurn., 82, No. 3, pp. 45-54 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/microbiolj82.03.045>
 24. Omelchuk, S.V., Kyrychenko, O.V. & Zhemojda, A.V. (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. Fiziol. rast. genet., 54, No. 1, pp. 52-64 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2022.01.052>
 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. Fiziol. rast. genet., 53, No. 3, pp. 240-261 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2021.03.240>
 26. Veselovska, L.I., Mykhalkiv, L.M. & Kots, S.Ya. (2013). The influence of exogenous lectin on the effectivity of *Glycine max*—*Bradyrhizobium japonicum* symbiosis under drought conditions. Fiziol. rast. genet., 45, No. 4, pp. 319-326 [in Ukrainian].
 27. Kots, S.Ya., Mykhalkiv, L.M., Mamenko, P.M. & Volkogon, M.V. (2011). The study of Alfalfa — *Sinorhizobium meliloti* symbiosis productivity under different water conditions and the influence of the legume seed lectin. J. Agric. Sci., B1, No. 3, pp. 454-457.
 28. Kyrychenko, O.V. (2014). Phytolectins and diazotrophs are the polyfunctional components of the complex biological compositions. Biotechnol. Acta, 7, No. 1, pp. 40-53 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/biotech7.01.040>
 29. Melnykova, N.M., Mykhalkiv, L.M., Mamenko, P.M. & Kots, S.Ya. (2013). The areas of application for plant lectins. Biopolym. Cell, 29, No. 5, pp. 357-366. <https://doi.org/10.7124/bc.00082A>
 30. Pavlyshche, A.V., Mamenko, T.P., Rybachenko, L.I. & Kots, S.Ya. (2018). Influence of fungicides on the formation, functioning and peroxidase activity of root soybean nodules at inoculation by rhizobia, incubated with lectin. Mikrobiol. zhurn., 80, No. 5, pp. 76-89 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/microbiolj80.05.076>

Received 22.01.2024

FORMATION AND FUNCTIONING OF SOYBEAN SYMBIOSIS WITH NODULE BACTERIA UNDER THE INFLUENCE OF HOMOLOGOUS LECTIN AND FUNGICIDES

S.V. Omelchuk, L.M. Mykhalkiv, O.V. Karaushu

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

The effectiveness of soybean-rhizobial systems formed by a bacterial suspension, containing *Bradyrhizobium japonicum* RS07 strain and soybean seed lectin, with soybean plants of the Diadema Podillia variety was studied under conditions of pot experiment with a sand culture, after seed treatment with Maxim XL and Standak Top seed protectants. A tendency to increase the plant height was revealed when lectin was added to the bacterial suspension both in the variant without treatment with fungicides and with their use. The growth of above-ground mass in the stage of bean formation was facilitated by the use of lectin against the background of treatment with the fungicide Maxim XL. It was established that at the initial

stages of the symbiosis formation, the tested protectants, regardless of the presence of lectin in the inoculation suspension, favorably influenced the nodules formation, while the nodules mass was mainly at the control levels. The use of a homologous lectin had a positive effect on the symbiosis functioning at the initial stages of soybean plant development. At the same time, the treatment of seeds with the fungicide Maxim XL did not have a toxic effect on this process, in contrast to Standak Top, where the nitrogen-fixing activity was lower by 16.6 %. However, in the second half of the soybean vegetation, this index under the Standak Top application exceeded the control plants by 36.8 and 21.8 % at the flowering and bean formation stages, respectively. In all studied treatments, a tendency to increase the grain productivity was revealed. The use of lectin on the background of treatment with fungicides Maxim XL and Standak Top contributed to an increase in the grain weight by 9.6 and 10.0 %, respectively. The obtained results regarding the effect of fungicides and lectin on the formation and functioning of symbiotic systems, and soybean productivity confirm the possibility of their use in the cultivation technology of this crop.

Key words: *Glycine max* (L.) Merr., *Bradyrhizobium japonicum*, symbiosis, Maxym XL, Standak Top, nitrogen fixation, nodules, weight, grain productivity.

ORCID

С.В. ОМЕЛЬЧУК — S.V. Omelchuk <https://orcid.org/0009-0007-1265-1862>

Л.М. МИХАЛКІВ — L.M. Mykhalkiv <https://orcid.org/0000-0001-7488-4804>

О.В. КАРАУШУ — O.V. Karaushu <https://orcid.org/0000-0003-1009-6184>