ВПЛИВ ФУНГІЦИДІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНОКУЛЯЦІЇ СОЇ СТІЙКИМИ ДО ПЕСТИЦИДІВ БУЛЬБОЧКОВИМИ БАКТЕРІЯМИ

К. П. Кукол¹, Н. А. Воробей¹, П. П. Пухтаєвич¹,
Л. І. Рибаченко¹, Р. А. Якимчук^{1,2}

¹Інститут фізіології рослин і генетики НАН України
вул. Васильківська, 31/17; м. Київ, 03022, Україна; e-mail: katerinakukol@gmail.com

²Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини
вул. Садова, 2; м. Умань, Черкаська область, 20300, Україна

Мета. Оцінити ефективність інокуляції сої стійкими до пестицидів бульбочковими бактеріями *Bradyrhizobium japonicum* за впливу передпосівного протруювання насіння препаратами Максим XL, Стандак Топ та Февер і профілактичного обприскування рослин фунгіцидом Аканто Плюс. **Методи.** Фізіологічні, мікробіологічні, газохроматографічні, вегетаційного досліджу, статистичні. **Результати.** Відзначено нижчі за контроль та інші варіанти досліджу показники кількості та маси сформованих на коренях сої бульбочок упродовж вегетації за дії фунгіциду Феверу на основі протіокназолу. Протруйники Максим XL та Стандак Топ чинили менш виражений токсичний вплив на формування бобово-ризобіального симбіозу за участю стійкого до фунгіцидів Tn5-мутанта *B. japonicum* B78, якщо порівняти з Февером. Встановлено зниження рівня асиміляції N₂ на 10,9–41,1 % у фазу трьох листків за комбінованого застосування включених у дослідження протруйників насіння та бульбочкових бактерій щодо варіанту тільки з інокуляцією. Однак упродовж вегетаційного періоду негативний вплив препаратів фунгіцидної дії на функціонування бобово-ризобіального симбіозу знижувався. **Висновки.** В умовах модельного вегетаційного досліджу за сумісного застосування препаратів Стандак Топ та Февер і бактеризації відзначено зниження індивідуальної продуктивності рослин на 7,0 та 14,1 % відповідно. Комплексна дія протруйника Максим XL та інокуляція стійким до пестицидів транспозоновим мутантом *B. japonicum* B78 сприяла максимальному збільшенню урожаю — на 27,2 %. Отримані дані підтверджують доцільність підбору фунгіцидів та мікроорганізмів-азотфіксаторів для сумісного застосування з метою забезпечення високого господарського та захисного ефектів.

Ключові слова: Tn5-мутант *B. japonicum*, соя, фунгіциди, інокуляція, протруювання насіння, азотфіксувальна активність, продуктивність.

Вступ. Соя — головна зернобобова культура світового землеробства. Завдяки різноманітному хімічному складу зерна вона не має собі рівних за темпами росту виробництва. Одна з найбільш унікальних особливостей сої — здатність у симбіозі з азотфіксувальними бактеріями утворювати кореневі бульбочки і накопичувати біологічний азот [1]. Використання передпосівної обробки насіння бактеріальними препаратами як технологічного прийому у вирощуванні сої сприяє розвитку агрономічно корисної групи азот-

фіксувальних мікроорганізмів, підвищує стійкість рослин до абіотичних та біотичних чинників та сприяє підвищенню продуктивності [2].

Отримання високих урожаїв сільськогосподарських культур неможливе без надійного захисту від шкідливих організмів, серед яких значною шкодочинністю відзначаються хвороби, що уражують рослини на різних фазах росту і розвитку. У багатьох країнах світу домінує хімічний метод захисту рослин від збудників хвороб різної етіології [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У літературі є дані про несприятливі наслідки застосування хімічних засобів захисту рослин (ЗЗР) на основі карбендазиму і тираму (фунгіциди) та імазетапіру (гербіцид) на симбіоз бобових рослин із *Rhizobium leguminosarum*, *Sinorhizobium meliloti* і *Bradyrhizobium* sp. [4].

У Бразилії у лабораторних та польових експериментах досліджували можливість сумісної обробки насіння фунгіцидами (на основі беномілу, каптану, карбендазину, карбоксину, дифенококоназолу, тіабендазолу, тираму, толілфлуаніду) з інокуляцією сої активними штамами *Bradyrhizobium* sp. Відзначено негативний вплив на виживання бактерій на насінні внаслідок застосування вказаних препаратів. Зокрема, кількість життєздатних клітин ризобій скоротилася на 62 % через 2 години і на 95 % через добу після обробки посівного матеріалу. У варіантах з протруюванням встановлено зменшення кількості бульбочок на коренях, зниження рівня асиміляції N_2 та негативний вплив на показники урожайності культури [5].

У результаті багаторічних досліджень впливу пестицидів на азотфіксувальну активність сої науковці дійшли висновку, що обробка насіння препаратами фунгіцидної дії (контактний + системний) перед застосуванням інокулянта зменшує кількість бульбочок на коренях сої, спричиняє зниження фіксації атмосферного азоту і може поставити під загрозу кількість отриманого врожаю, особливо за присутності у ґрунті Со і Мо [6].

Отримані вітчизняними науковцями результати показали, що обробка фунгіцидами з подальшою бактеризацією насіння переважно знижувала азотфіксувальну активність симбіотичного апарату сої, утвореного дослідженими промисловими штамами ризобій. Проте є можливість підібрати такі композиції фунгіциду і ризобій, за яких нітрогеназна активність підвищується [7].

Перспективним є виробництво біопрепаратів на основі стійких до хімічних засобів захисту рослин штамів бульбочкових бактерій. Так, наприклад, виділено толерантний до тебуконазолу ізолят *Rhizobium* MRP1, який за внесення у субстрат вказаної діючої речовини у концентраціях від 100 до 300 мкг на 1 кг та інокуляції насіння гороху забезпечував підвищення показників азотфіксації,

кількості насіння та білковості зерна проти неінокульованих рослин, вирощених в умовах фунгіцидного стресу [8]. Досліджуючи вплив беномілу та оксамілу за їх нанесення на насіння сої і сумісної інокуляції стійким штамом ризобій, автори дійшли висновку, що пестициди або інші антимікробні препарати та бульбочкові бактерії, стійкі до цих інгібіторів, можуть слугувати новим засобом для збільшення біологічної фіксації азоту [9].

З огляду на викладене виникає потреба в ретельному вивченні токсичної дії фунгіцидів на мікро- і макросимбіонти та на бобово-ризобіальні системи загалом за інокуляції та протруювання насіння і за обробки вегетуючих рослин фунгіцидами, оскільки в кінцевому підсумку це може вплинути на урожайність сої.

Мета досліджень. Дослідити ефективність інокуляції сої стійкими до пестицидів ризобіями за впливу передпосівного протруювання насіння препаратами Максим XL, Стандак Топ та Февер і профілактичного обприскування рослин фунгіцидом Аканто Плюс.

Матеріали та методи досліджень. Вегетаційний дослід проводили з рослиною сої (*Glycine max* (L.) Merr) сорту Алмаз, що занесений до Реєстру сортів рослин України з 2007 року.

У дослідженні використовували фунгіциди контактно-системної та системної дії з різними діючими речовинами (табл. 1).

Перед посівом оброблене фунгіцидами насіння інокулювали суспензією клітин Tn5-мутанта *B. japonicum* B78, отриманого методом транспозонового мутагенезу *Bradyrhizobium japonicum* 646 з *Escherichia coli* S17-1, що містить плазмиду pSUP5011::Tn5 *mob*.

Залучений у роботу Tn5-мутант за результатами проведених нами лабораторних дослідів проявив стійкість до виробничих норм фунгіцидів у чистій культурі. Він зберігається у колекції азотфіксувальних мікроорганізмів Інституту фізіології рослин і генетики НАН України.

Вирощували рослини у 15-кілограмових пластикових посудинах на вегетаційному майданчику ІФРГ НАН України. Субстратом для вирощування рослин слугував річковий пісок. Джерелом мінерального живлення була поживна суміш Гельригеля, збагачена мікроелементами молібденом, бором і міддю

Таблиця 1. Перелік і характеристики досліджуваних пестицидів

Назва	Діючі речовини	Норма витрат	Виробник
Максим XL, 035 FS, т. к. с.	флудіоксоніл 25 г/л + металаксил-М 10 г/л	1,0 л/т	Syngenta, Швейцарія
Февер 300 FS, т. к. с.	протіоконазол 300 г/л	0,2–0,4 л/т	Bayer CropScience AG, Німеччина
Стандак Топ т. к.	фіпроніл 250 г/л + тіофанат-метил 225 г/л + піраклостробін 25 г/л	1,0–2,0 л/т	BASF, Німеччина
Аканто Плюс, к. с.	пікоксістробін 200 г/л + ципроконазол 80 г/л	0,5–0,75 л/га	DuPont, США

та збіднена на азот — 0,25 норми (1 норма відповідає 708 мг $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ на 1 кг піску).

Обробку насіння препаратами фунгіцидної дії здійснювали у день посіву, використовуючи їх робочі розчини, приготовані згідно з рекомендаціями виробників.

Для приготування інокуляційних суспензій біомасу бактерій змивали з поверхні агаризованого поживного середовища водою. Тривалість бактеризації насіння суспензією бактерій становила 60 хвилин. Інфекційне навантаження складало 10^9 кл./мл. У контролі інокулюване насіння не обробляли хімічними засобами захисту рослин. Повторність досліду — шестиразова.

Для дослідження азотфіксувальної активності (АФА), обліку кількості та маси кореневих бульбочок відбори рослин здійснювали у три фази: трьох листків, бутонізації – початку цвітіння та утворення бобів. Показники АФА визначали за відновленням ацетилену в етилен за методом Харді із співавт. [10] на газовому хроматографі «Agilent Technologies 6850 Network GC System».

Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали за загальноприйнятими методиками із залученням пакету програм Microsoft Excel 2016. У таблицях наведено середньоарифметичні дані та їх стандартні похибки.

Результати та їх обговорення. У результаті проведеного вегетаційного досліду, згідно зі схемою якого здійснювали протруєння насіння препаратами фунгіцидної дії та обприскування рослин по вегетації для захисту від збудників хвороб на фоні інокуляції насіння транспозоновим мутантом *B. japonicum* B78, встановлено, що бульбочки на коренях рослин сої утворилися на рос-

линах усіх варіантів, проте їх кількість та маса суттєво відрізнялися залежно від впливу діючих речовин препаратів (рис. 1; табл. 2).

За впливу протіоконазолу, що є діючою речовиною Феверу, кількість та маса бульбочок на коренях сої мали менші показники проти інших варіантів досліду впродовж усієї вегетації. Під час формування симбіозу рослинами сої та транспозоновим мутантом *B. japonicum* B78 кількість бульбочок за дії цього фунгіциду була меншою проти контрольного варіанту на 40,8 % (фаза трьох листків), 34,6 % (бутонізація – початок цвітіння) та 28,0 % (утворення бобів).

Інноваційний протруйник Стандак Топ чинив менш виражений токсичний вплив на формування бобово-ризобіального симбіозу, ніж препарат Февер. Однак вказаний препарат сприяв зменшенню кількості та маси кореневих бульбочок у досліді на початкових етапах формування симбіотичних систем. Було встановлено, що у цей період зменшення кількості бульбочок становило 40,5 %, а їх маса була вдвічі меншою, ніж на контрольних рослинах.

Негативним виявився вплив препарату Максим XL на показник маси бульбочок у фазу трьох справжніх листків. Проте вже у фазу бутонізації – початок цвітіння кількість бульбочок була на рівні контрольних рослин, а за масою значно перевищувала останні. У фазу утворення бобів у сформованих симбіотичних системах на фоні застосування протруйника Максим XL кількість бульбочок перевищувала контроль на 60 %, а їх маса була більшою у 2,3 раза.

Профілактичне обприскування вегетуючих рослин сої фунгіцидом Аканто Плюс здійснювали, коли симбіотичні системи були уже сформовані, тому негативного впливу на

Рис. 1. Бульбочки на коренях рослин сої, інокульованої транспозоновим мутантом *B. japonicum* B78 та обробки насіння протруйниками Стандак Топ, Максим XL і Февер (фаза трьох листків).

Таблиця 2. Кількість і маса кореневих бульбочок на рослинах сої за обробки фунгіцидами та інокуляції Tn5-мутантом *B. japonicum* B78 (у розрахунку на 1 рослину)

Варіант	Фаза					
	Трьох листків		Бутонізації – початку цвітіння		Утворення бобів	
	кількість, шт	маса, г	кількість, шт	маса, г	кількість, шт	маса, г
Обробка насіння						
<i>B. japonicum</i> B78 (контроль)	21,0 ± 1,0	0,177 ± 0,007	26,0 ± 2,0	0,195 ± 0,015	25,0 ± 1,4	0,363 ± 0,024
Максим XL + <i>B. japonicum</i> B78	19,5 ± 1,3	0,116 ± 0,008	25,0 ± 2,0	0,230 ± 0,016	40,0 ± 2,1	0,830 ± 0,042
Стандак Топ + <i>B. japonicum</i> B78	17,0 ± 0,9	0,143 ± 0,007	22,0 ± 1,0	0,303 ± 0,017	31,0 ± 2,0	0,413 ± 0,021
Февер + <i>B. japonicum</i> B78	12,5 ± 1,0	0,084 ± 0,006	17,0 ± 1,0	0,179 ± 0,012	18,0 ± 1,0	0,233 ± 0,017
Обприскування рослин по вегетації						
<i>B. japonicum</i> B78 + Аканто Плюс	Не досліджували		25,5 ± 1,91	0,220 ± 0,013	29,8 ± 2,2	0,400 ± 0,028

нодуляційні процеси не зафіксовано. У фазу бутонізації – початку цвітіння кількість бульбочок за обробки цим препаратом із діючими речовинами пікоксістробін та ципроконазол була на рівні контрольних рослин, а за масою дещо перевищувала їх (табл. 2).

У результаті аналізу АФА встановлено зниження рівня асиміляції N_2 у рослин сої у фазу трьох листків за комбінованого застосування протруйників насіння та бульбочко-

вих бактерій щодо рослин варіанту тільки з інокуляцією (рис. 2). Однак упродовж вегетаційного періоду негативний вплив включених у дослідження препаратів фунгіцидної дії на функціонування бобово-ризобіальних симбіозів знижувався. Очевидно, що симбіотичні системи, утворені рослинами сої та транспозоновим мутантом *B. japonicum* B78, проявили стійкість до впливу діючих речовин протруйників, оскільки вже у фазу бутонізації

Рис. 2. Азотфіксувальна активність рослин сої, вирощеної за дії фунгіцидів та інокуляції Tn5-мутантом *B. japonicum* B78.

Фаза: 1 — трьох листків; 2 — бутонізації — початку цвітіння; 3 — утворення бобів.

нізація — початок цвітіння показники АФА мали вищі значення, ніж рослини, насіння яких не обробляли хімічними ЗЗР.

У фазу утворення бобів найбільш високою азотфіксувальною активністю (5,437 мкмоль C_2H_4 /(росл.×год)) характеризувалися сформовані за інокуляції *B. japonicum* B78 симбіотичні системи за комбінованого застосування інокулянта та препарату Максим XL на основі флудіоксонілу та металаксилу-М. У варіанті з обробкою насіння сої інноваційним протруйником з трьома діючими речовинами Стандак Топ у поєднанні з бактеризацією транспозоновим мутантом *B. japonicum* B78 виявлено підвищення рівня асиміляції N_2 у 2,9 раза проти контрольних рослин.

У варіантах із застосуванням профілактичного обприскування рослин від збудників хвороб препаратом Аканто Плюс АФА у період бутонізації — початку цвітіння була на рівні контрольних рослин, проте у кінці вегетації на 8,2 % перевищувала їх.

За інформацією виробника фунгіциду Аканто Плюс, його профілактичне застосування захищає рослини від мікозів, спричи-

нених численними некротрофами, які швидко уражують та знищують клітини, утворюючи плямистості. Складові препарату забезпечують уповільнення процесу утворення етилену для запобігання старінню рослин, захищаючи верхній та середній яруси листків. У нашому досліді після обприскування вегетуючих рослин фунгіцидом було відзначено, що вони через кілька діб мали більш інтенсивне зелене забарвлення, яке зберігалось тривалий час, внаслідок чого ці варіанти візуально вирізнялися.

У деяких літературних джерелах зазначено, що ефекти від застосування триазолів проявляються у вигляді інгібування біосинтезу етилену, внаслідок чого уповільнюється старіння листків сої та ріпаку, яке відбувається внаслідок змін гормонального балансу у клітинах і підтверджується збільшенням вмісту цитокінінів і зниженням рівнів абсцизової кислоти та етилену [11].

У результаті проведених досліджень встановлено зменшення величини показників наростання надземної маси рослин сої сорту Алмаз за застосування протруйників Стандак Топ і Февер. За обробки насіння

Стандак Топом вегетативна маса рослин була меншою, ніж у контрольних за даними трьох відборів на 6,7–11,9 %. У досліді внаслідок впливу на соєво-ризобіальний симбіоз протіокназолу, що є діючою речовиною Феверу, відзначено зниження показника наростання вегетативної маси рослин на 14,2 % (фаза трьох листків), 12,9 % (бутонізація – початок цвітіння) та 17,3 % (утворення бобів). За застосування для інокуляції насіння сої стійких до фунгіцидів бульбочкових бактерій та протруювання препаратом Максим XL відзначено стимулювальний ефект на ріст рослин упродовж вегетації, про що свідчать вищі за контроль та отримані за обробки іншими препаратами показники вегетативної маси рослин.

Встановлено відмінності у дії протруйників на формування кореневої системи сої у досліді. Найбільш виражений токсичний вплив, внаслідок якого відзначено зниження маси коренів у фазах трьох листків та бутонізації – початку цвітіння, проявляв препарат Февер.

У фазу утворення бобів корені рослин контрольного варіанту мали меншу масу, якщо порівняти з тими, що зазнавали дії пестицидів за різних методів їх використання. Це може свідчити про зменшення токсичного впливу діючих речовин хімічних ЗЗР на рослини через певний проміжок часу після їх застосування.

Урожайність сої є основним показником ефективності застосованих у вирощуванні рослин технологічних прийомів. Як відомо, обробка насіння сої біопрепаратами зумовлена не тільки їх позитивним впливом на рівень урожайності, але й можливістю забезпечення різною мірою рослин атмосферним азотом, який зв'язується ферментивним шляхом у бульбочках на коренях залежно від впливу ряду біотичних, абіотичних та антропогенних факторів. У результаті проведених досліджень встановлено, що комплексна дія протруйника Максим XL та інокуляції стійкими в чистій культурі до пестицидів бульбочковими бактеріями *B. japonicum* B78 завдяки стійкості утворених симбіотичних систем до діючої речовини препарату зумовлювала максимальне збільшення урожаю в умовах вегетаційних дослідів на 27,2 %.

За комплексного застосування препарату Стандак Топ та бактеризації відзначено зни-

ження продуктивності рослин на 7,0 %, що вірогідно свідчить про інгібуючий ефект діючих речовин протруйника на фізіолого-біохімічні процеси в клітинах макросимбіонта, оскільки негативний вплив на рівень асиміляції N₂ утвореними симбіотичними системами виявлено лише у фазі трьох справжніх листків.

За сумісного застосування обробки насіння Февером з інокуляцією негативний вплив на симбіотичну систему відобразився й на рівні урожайності культури. Так, за дії цього фунгіциду маса насіння з однієї рослини становила 1,83 г, що на 14,1 % менше за контрольні (табл. 3).

Таблиця 3. Продуктивність рослин сої за обробки фунгіцидами та інокуляції Tn5-мутантом *B. japonicum* B78

Варіант	Маса насіння на 1 рослину, г	+/- до контролю, %
Передпосівне протруювання насіння		
<i>B. japonicum</i> B78 (контроль)	2,13 ± 0,13	–
Максим XL + <i>B. japonicum</i> B78	2,71 ± 0,13	+27,2
Стандак Топ + <i>B. japonicum</i> B78	1,98 ± 0,09	–7,0
Февер + <i>B. japonicum</i> B78	1,83 ± 0,10	–14,1
Обприскування рослин по вегетації		
<i>B. japonicum</i> B78 + Аканто Плюс	1,94 ± 0,09	–8,9

У літературі є дані про те, що продовження активного функціонування листків у оброблених фунгіцидом Амістар Тріо рослин (на основі пропіконазолу, азоксістробіну та ципроконазолу) не зумовлювало підвищення урожайності пшениці. Дослідники пояснюють це тим, що у рослин після обприскування вказаним фунгіцидом знижується інтенсивність фотосинтезу [12]. У нашому досліді після обприскування рослин сої Аканто Плюс, у складі якого також є ципроконазол, відзначали більш тривале функціонування листового апарату, проте внаслідок впливу діючих речовин на інтенсивність фотосинтезу і транспірації листків застосування препарату не забезпечувало підвищення продукти-

вності рослин.

Відомо, що одним з критеріїв екотоксикологічної оцінки препаратів для вибору оптимального варіанту захисту культури від комплексу шкідників є швидкість їх детоксикації в агроценозі. Під впливом абіотичних і біотичних факторів відбувається детоксикація пестицидів, яку розглядають як процес зменшення початкового токсичного потенціалу (вмісту) за рахунок процесів їх трансформації і транслокації [13]. Тобто зменшення токсичного потенціалу препаратів і відсутність їх негативного впливу, зокрема і на окремі морфометричні параметри рослин, може бути пов'язано з детоксикацією діючих речовин наприкінці вегетації.

Швидкість детоксикації пестицидів залежить від їх полярності (фізико-хімічних властивостей): неполярні розпадаються в об'єктах агроценозу зі швидкістю 0,02 частини за добу, малополярні — 0,03–0,05 частини за добу. Періоди напіврозпаду (T50) для неполярних становлять від 34 до 30 діб, для малополярних — від 23 до 14 діб. Отже, визначивши полярність сполук, знаючи норму їх витрати, можна прогнозувати поведінку пестицидів у навколишньому середовищі і за константою швидкості детоксикації моделювати динаміку цього процесу в об'єктах агроценозів, що дає можливість уникнути забруднення навколишнього середовища [13].

Треба враховувати, що у польових умовах негативний ефект від впливу речовин хімічного синтезу, що застосовують для передпосівної обробки насіння сої, ослаблюється внаслідок перебігу обмінних процесів у ґрунті та діяльності вільноіснуючої мікрофлори. Зі свого боку, в контрольованих умовах вегетаційних дослідів токсичність хімічних ЗЗР стосовно рослин і бактерій-азотфіксаторів проявляється сильніше у зв'язку із відсутністю різноманіття мікробіому у субстраті вирощування рослин.

У роботі Вознюк С. В. зі співавторами [7] показано, що обробка насіння фунгіцидом Вітавакс 200 ФФ призводила до зниження азотфіксувальної активності промислових штамів ризобій у симбіозі з соєю у 3–5 разів. Інокуляція насіння *B. japonicum* УКМ В-6035 сприяла зниженню негативного

впливу фунгіциду Максим Стар 025 FS на нітрогеназну активність симбіотичного апарату.

Інші дослідники у результаті проведених польових експериментів на лучних черноземних ґрунтах встановили, що застосування препаратів Максим, Круїзер та Новосил для передпосівної обробки насіння сої сприяло зростанню показників асиміляції азоту, підвищенню приросту надземної маси на 13–88 %, коренів — на 17–133 %, маси бульбочок — в 1,5–2,5 рази і накопиченню органічної речовини у ґрунті — в 1,3–2,2 рази [14]. Науковці ІФРГ НАН України вивчали вплив різних способів застосування екзогенного лектину в комплексі з обробкою насіння фунгіцидами Февер і Стандак Топ на симбіотичні системи соя – *B. japonicum*. Встановили, що протруювання насіння фунгіцидами призводить до пригнічення функціонування симбіотичних систем сої у фазу трьох справжніх листків. Водночас у пізніші фази розвитку (цвітіння, формування бобів) ці препарати виявляли стимулювальну дію на активність бобово-ризобіальних систем [15]. Отже, дані літературних джерел та результати наших досліджень підкреслюють актуальність і доцільність подальших пошуків шляхів вдосконалення елементів технології вирощування сої для забезпечення формування та функціонування ефективного бобово-ризобіального симбіозу та захисту рослин від фітопатогенів.

Висновки і перспективи. В умовах вегетаційних дослідів визначено, що для забезпечення високих показників азотфіксувальної активності та підвищення індивідуальної продуктивності рослин сої ефективним є застосування протруєння насіння препаратом Максим XL із бактеризацією стійким до пестицидів у чистій культурі транспозоновим мутантом *B. japonicum* В78.

Загалом вплив хімічних засобів захисту рослин на формування та функціонування бобово-ризобіального симбіозу у кожному окремому випадку залежить від діючих речовин препаратів та штамів ризобій, якими обробляли насіння. У зв'язку з цим у виробничих умовах бажано застосовувати препарати фунгіцидної дії спільно з мікробними, біоагенти яких проявляють резистентність до діючих речовин пестицидів.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В., Іванюк С. В., Корнійчук О. В., Колісник С. І., Кобак С. Я. ... Захарова О. М. Соя. Вінниця : Діло, 2016. 400 с.
2. Петриченко В. Ф., Коць С. Я. Симбіотичні системи у сучасному сільськогосподарському виробництві. *Вісн. НАН України*. 2014. № 3. С. 57–66.
3. Марков І. Л., Башта О. В., Гентош Д. Т., Глим'язний В. А., Дерменко О. П., Черненко Є. П. Фітопатологія. К. : Ліпа-К, 2017. 548 с.
4. Niewiadomska A., Klama J. Pesticide side effect on the symbiotic efficiency and nitrogenase activity of *Rhizobiaceae* bacteria family. *Pol. J. Microbiol.* 2005. 54 (1). С. 43–48.
5. Campo R. J., Araujo R. S., Hungria M. Nitrogen fixation with the soybean crop in Brazil: Compatibility between seed treatment with fungicides and bradyrhizobial inoculants. *Symbiosis*. 2009. 48 (1–3). С. 154–163. <https://doi.org/10.1007/BF03179994>
6. Campo R. J., Hungria M. Compatibilidade de uso de inoculantes e fungicidas no tratamento de sementes de soja. Londrina: Embrapa Soja. 2000. 32 с.
7. 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.
8. Ahemad M., Khan M. S. Effect of tebuconazole-tolerant and plant growth promoting *Rhizobium* isolate MRP1 on pea – *Rhizobium* symbiosis. *Scientia horticulturae*. 2011. 129 (2). С. 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.036>
9. Hossain A. K. M., Alexander M. Enhancing growth and nitrogen uptake by soybeans using pesticides. *Plant and Soil*. 1984. № 81. С. 133–141. <https://doi.org/10.1007/BF02206902>
10. 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. С. 1185–1207. <https://doi.org/10.1104/pp.43.8.1185>
11. Fletcher R. A., Gilley A., Davis T. D., San-khla N. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. *Horticultural Reviews*. 2000. 24. С. 55–138. <https://doi.org/10.1002/9780470650776.ch3>
12. Иванов А. А., Шабнова Н. И., Дунаева Ю. С., Кособрухов А. А. Увеличение продолжительности жизни листьев пшеницы при обработке растений фунгицидом. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2013. 45 (2). С. 164–172.
13. Черв'якова Л. М., Балюх О. В., Панченко Т. П. Екотоксикологічна оцінка застосування пестицидів для захисту сільськогосподарських культур від шкідників і хвороб способом протруювання насіння. *Захист і карантин рослин*. 2014. 60. С. 465–472.
14. Якименко М. В., Бегун С. А. Совместное применение штаммов ризобий и некоторых препаратов для предпосевной обработки семян сои. *Земледелие*. 2016. 6. С. 46–48.
15. Павлище А. В., Жемойда А. В., Кірізій Д. А., Рибаченко Л. І. Функціонування симбіотичного і фотосинтетичного апаратів сої за впливу протруйників фунгіцидної дії та екзогенного лектину. *Физиология растений и генетика*. 2019. 51 (6). С. 517–528. <https://doi.org/10.15407/frg2019.06.517>

Отримано 08.05.2020

EFFECT OF FUNGICIDES ON THE EFFICIENCY OF SOYBEAN INOCULATION WITH PESTICIDE-RESISTANT NODULE BACTERIA

K. P. Kukol¹, N. A. Vorobey¹, P. P. Pukhtaievych¹,
L. I. Rybachenko¹, R. Ya. Yakymchuk^{1,2}

¹Institute of Physiology of Plants and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv
e-mail: katerinakukol@gmail.com

²Uman State Pedagogical University named after Pavlo Tychyna, Uman

Objective. Evaluate the efficiency of soybean inoculation with pesticide-resistant nodule bacteria *Bradyrhizobium japonicum* under the influence of pre-sowing seed dressing with Maxym XL, Standak Top and Fever and preventive spraying of plants with the fungicide Akanto Plus. **Methods.** Physiological, microbiological, gas chromatographic, vegetation experiment, statistical. **Results.** The number and weight of nodules formed on soybean roots during the growing season under the action of the prothioconazole-based fungicide Fever were reported to be lower compared with the control and other variants of experiment. Pesticides Maxym XL and Standak Top had a less pronounced toxic effect on the formation of legume-rhizobial symbiosis with the participation of fungicide-resistant *B. japonicum* B78 Tn5 mutant compared to Fever. A decrease in the level of N₂ assimilation by 10.9–41.1 % in the three-leaf phase was found with the combined use of seed pesticides and nodule bacteria included in the study, relative to the variant with inoculation only. However, during the growing season, the negative effect of fungicidal preparations on the functioning of legume-rhizobial symbiosis decreased. **Conclusion.** Under the conditions of the model vegetation experiment with the concomitant use of Standak Top and Fever and bacterization, a decrease in individual plant productivity by 7.0 and 14.1 %, respectively, has been reported. The complex action of the pesticide Maxym XL and inoculation with pesticide-resistant *B. japonicum* B78 transposon mutant, contributed to the maximum increase in yield by 27.2 %. The obtained data confirm the expediency of selection of fungicides and nitrogen-fixing microorganisms for concomitant use to ensure high economic and protective effects.

Key words: *B. japonicum* Tn5 mutants, soybean, fungicides, inoculation, seed dressing, nitrogen-fixing ability, productivity.

REFERENCES

1. Petrychenko, V. F., Lykhochvor, V. V., Ivaniuk, S. V., Kornichuk, O. V., Kolisnyk, S. I., Kobak, S. Ya. ... Zakharova, O. M. (2016). *Soja* [Soybean]. Vinnytsia: Dilo [in Ukrainian].
2. Petrychenko, V. F., & Kots, S. Ya. (2014). Symbiotychni systemy u suchasnomu silskohospodarskomu vyrobnytstvi [Symbiotic systems in modern agricultural manufacture]. *Visnyk NAN Ukrainy — Bulletin of the NAS of Ukraine*, 3, 57–66 [in Ukrainian].
3. Markov, I. L., Bashta, O. V., Gentosh, D. T., Glymiaznyi, V. A., Dermenko, O. P., & Chernenko, Ye. P. (2017). *Fitopatologiya* [Phytopathology]. Kyiv: Lira-K [in Ukrainian].
4. Niewiadomska, A., & Klama, J. (2005). Pesticide side effect on the symbiotic efficiency and nitrogenase activity of *Rhizobiaceae* bacteria family. *Pol. J. Microbiol*, 54 (1), 43–48.
5. Campo, R. J., Araujo, R. S., & Hungria, M. (2009). Nitrogen fixation with the soybean crop in Brazil: Compatibility between seed treatment with fungicides and bradyrhizobial inoculants. *Symbiosis*, 48(1–3), 154–163. <https://doi.org/10.1007/BF03179994>
6. Campo, R. J., & Hungria, M. (2000). Compatibilidade de uso de inoculantes e fungicidas no tratamento de sementes de soja. Londrina: Embrapa Soja [in Spanish].
7. Vozniuk, S. V., Tytova, L. V., Ratushinska, O. V., & Iutynska, G. O. (2016). Formuvannia ta funktsionuvannia symbiotychnykh system ta mikrobiotsenozu ryzosfery soji za vykorystannia riznykh fungitsydiv [Formation and functioning of symbiotic system and rhizosphere microbiocenosis of soybean under various fungicides application]. *Microbiol Z. — Microbiology Journal*, 78(4), 59–70 [in Ukrainian].

8. Ahemad, M., & Khan, M. S. (2011). Effect of tebuconazole-tolerant and plant growth promoting *Rhizobium* isolate MRP1 on pea — *Rhizobium* symbiosis. *Scientia horticulturae*, 129(2), 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.036>
9. Hossain, A. K. M., & Alexander, M. (1984). Enhancing growth and nitrogen uptake by soybeans using pesticides. *Plant and Soil*, 81, 133–141. <https://doi.org/10.1007/BF02206902>
10. 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, 1185–1207. <https://doi.org/10.1104/pp.43.8.1185>
11. Fletcher, R. A., Gilley, A., Davis, T. D., & Sankhla, N. (2000). Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. *Horticultural Reviews*, 24, 55–138. <https://doi.org/10.1002/9780470650776.ch3>
12. Ivanov, A. A., Shabnova, N. I., Dunayeva, Yu. S., & Kosobryukhov, A. A. (2013). Uvelicheniye prodolzhitel'nosti zhizni list'ev pshenicy pri obrabotke rasteniy fungitsidom [The increase in the life span of wheat leaves when treating plants with fungicide]. *Fiziologiya i biokhimiya kul'turn. rasteniy* — *Physiology and biochemistry of cultivated plants*, 45(2), 164–172 [in Russian].
13. Chervyakova, L. N., Balyuh, O. V., Panchenko, T. P., & Bublik, L. I. (2014). Ekotoksychologichna otsinka zastosuvannia pestytsydiv dlia zakhystu silskogospodarskykh kultur vid shkidnykh i khvorob sposobom protruivannia nasinnia. [Ekotoxicological assess the application of pesticides to protect crops from pests and diseases by seed treatment method]. *Zakhyst i karantyn Roslyn* — *Quarantine and plant protection*, 60, 465–472 [in Ukrainian].
14. Yakimenko, M. V., & Begun, S. A. (2016). Sovmestnoye primeneniye shtammov rizobiy i nekotorykh preparatov dlya predposevnoy obrabotki semyan soji [Combined Application of soybean *Rhizobium* strains and some preparation for Pre-sowing Treatment of Soybean Seeds]. *Zemledeliye* — *Agriculture*, 6, 46–48 [in Russian].
15. Pavlyshche, A. V., Zhemojda, A. V., Kiri-ziy, D. A., & Rybachenko, L. I. (2019). Funktsionuvannia symbiotychnogo i fotosyntetychnogo aparativ soyi za vplyvu protruinykh funhitsydney dii ta ekzohennoho lektynu [The functioning of the symbiotic and photosynthetic apparatus of soya under the influence of chemical agents with fungicidal action and exogenic lectin]. *Fisiol. rast. genet.* — *Genetics and plant physiology*, 51(6), 517–528 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2019.06.517>

Received 08.05.2020