

ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СОЇ ЗА ЗАВЧАСНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ ФУНГІЦИДАМИ СТАНДАК ТОП І ФЕВЕР ТА ІНОКУЛЯЦІЇ РИЗОБІЯМИ В ДЕНЬ ПОСІВУ

С. Я. Коць, О. В. Кириченко, А. В. Павлище, Р. А. Якимчук

Інститут фізіології рослин і генетики НАН України
вул. Васильківська, 31/17; м. Київ, 03022, Україна; e-mail: azot@ifrg.kiev.ua

Зернова продуктивність сої значною мірою зумовлена комплексом факторів, зокрема ефективністю утворених із бульбочковими бактеріями симбіотичних систем, активністю ростових процесів та формуванням вегетативних і генеративних органів рослинами, а також їхньою адаптаційною пластичністю за дії різних чинників навколишнього середовища. У статті представлено результати дослідження особливостей формування продуктивності рослин сої за завчасного протруєння насіння фунгіцидами різних класів та інокуляції бульбочковими бактеріями в день посіву. **Мета.** Дослідити динаміку схожості насіння, формування вегетативних і генеративних органів та урожаю сої, функціонування соєво-ризобіального симбіозу, а також стан фотосинтетичної пігментної системи — вміст хлорофілів *a* і *b* та каротиноїдів у листках за завчасного протруєння насіння фунгіцидами Февер і Стандак Топ та бактеризацією *Bradyrhizobium japonicum* 634б у день посіву. **Методи.** Мікробіологічні, фізіологічні, біохімічні, статистичні. **Результати.** Фунгіциди не чинили токсичного впливу на проростання насіння, а за дії Феверу схожість насіння сої перевищувала показники контрольних рослин на 20 % (на 5-у добу після висіву) та на 7 % (на 8-у добу). Показано, що фунгіциди сприяли збільшенню висоти рослин, надземної маси та пришвидшували формування рослинами генеративних органів (квіток), проте суттєво не впливали на масу коренів. Встановлено, що фунгіциди за завчасної обробки насіння чинили виражену токсичну (інгібувальну) дію на соєво-ризобіальний симбіоз: процес бульбочкоутворення пригнічувався на початкових етапах формування симбіозу, активність азотфіксації була меншою щодо контрольних рослин на 48–80 % залежно від фази розвитку сої. Отже, вплив фунгіцидів Февер і Стандак Топ за завчасної обробки насіння та інокуляції в день посіву бульбочковими бактеріями характеризувався суттєвим пригніченням функціональної активності симбіотичного апарату в першу половину вегетації сої й поступовим її відновленням у період формування генеративних органів. Хоча фунгіциди пригнічують формування й функціонування бобово-ризобіального симбіозу, проте їхній позитивний вплив на саму рослину (схожість насіння, висота рослин, накопичення надземної маси, динаміка формування генеративних органів), а також здатність рослин на біохімічному рівні адаптуватися до дії стресового чинника (стабілізація вмісту фотосинтетичних пігментів у листках) дозволили сформувати урожай насіння сої на рівні контролю або дещо вище. **Висновки.** Встановлені нами фізіолого-біохімічні особливості реакції соєво-ризобіального симбіозу на дію різних за хімічним складом фунгіцидів необхідно враховувати у розробці нових стратегій захисту рослин від збудників хвороб різної етіології із залученням фізіологічно активних речовин із фунгіцидною активністю в поєднанні з інокуляцією.

Ключові слова: *Bradyrhizobium japonicum*, соя, симбіоз, фотосинтетичні пігменти, фунгіциди, продуктивність.

Вступ. Формування продуктивності сої та забезпечення максимальної реалізації її генетичного потенціалу значною мірою залежать від факторів навколишнього середовища, біологічних особливостей сорту та технологічних заходів вирощування культури [1; 2]. На сучасному етапі розвитку сільськогосподарського виробництва потужний вплив на рослинний організм чинять фізіологічно активні речовини із фунгіцидною активністю, які мінімізують захворювання, підвищують схожість насіння, стресостійкість рослин та їх насінневу продуктивність. Склад таких сполук постійно модифікується й удосконалюється, водночас на аграрному ринку невпинно зростає асортимент хімічних засобів захисту рослин, що зумовлено зменшенням ефективності будь-якого препарату за тривалого систематичного застосування за рахунок розвитку резистентності до нього основних шкідників та збудників хвороб [3]. Отже, виключаються препарати, що викликають віддалені екологічні наслідки, а їх асортимент поповнюється за рахунок діючих речовин із більш ефективним механізмом дії.

Фунгіциди являють собою високоселективні сполуки, які подібно до лікарських препаратів чинять двояку дію – впливають на певні ланки метаболізму патогена, важливі для його росту й розвитку, або стимулюють захисні механізми рослин [4]. Хоча фітотоксичні ефекти деяких класів фунгіцидів уже відомі, але мало робіт присвячено їхньому впливу на особливості формування продуктивності культурних рослин, перебіг їх основних фізіологічних та біохімічних процесів, і досить часто такі дослідження мають суперечливий характер [5–7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дія хімічних протекторних препаратів не обмежується тільки захистом рослин. Показана також їхня здатність впливати на ключові ланки метаболізму рослин, основний обмін речовин та індукувати утворення різних біомолекул, змінюючи фізіологічні параметри росту й розвитку рослин [8; 9]. Вважають, що захисний ефект хімічних речовин у складі протруйників може бути зумовлений їх опосередкованим впливом на генерацію активних форм кисню [10]. Підвищення захисної здатності рослин може відбуватися за рахунок синтезу фітоалексину

та лігніфікації клітинної стінки або стимуляції ферментів, що беруть участь у синтезі фенольних сполук [11]. Фунгіциди певних класів підвищують активність антиоксидантної системи рослин, сприяють уповільненню деградації хлорофілу та білків у листках, що дозволяє рослинам подовжувати фотосинтетичну активність і використовувати більше елементів живлення протягом пізніх стадій їхнього розвитку [12]. В інших роботах зазначено, що фунгіциди пригнічують ріст, формування генеративних органів, негативно впливають та змінюють азотний і вуглеводневий обмін у рослинному організмі [11]. Встановлено, що азоли можуть порушувати синтез гіберелінів і здійснювати ретардантний вплив на зернові культури (через гальмування процесу подовження міжвузля), а через порушення синтезу стерину — знижувати транспірацію рослин [13]. Збільшення використання пестицидів для обробки насіння погіршує біологічну фіксацію азоту через зниження життєздатності штамів азотфіксуювальних мікроорганізмів, а також впливає на морфологію колоній бактеріальних клітин, метаболізм нітрогену та його ремобілізацію до зерна сої [14]. Зазначають, що токсичність різних препаративних форм пестицидних протекторів для інокулянтів бульбочкових бактерій зростає зі збільшенням концентрації фунгіцидів і підвищенням температури бакових розчинів. Ступінь токсичності для бульбочкових бактерій не тільки і не стільки пов'язаний з діючими речовинами в їхньому складі, скільки з тими додатковими компонентами, які конкретний виробник додає до своєї марки фунгіциду для покращення його технологічних властивостей [15]. Також фунгіциди здатні призводити до затримки ростових процесів у паростках сої через порушення мітотичної активності меристем та змін у генетичному апараті клітин [16].

Перспективним залишається вивчення впливу протруйників на перебіг фізіологічних процесів, залучених до формування продуктивності сої, яка займає лідерські позиції серед інших сільськогосподарських культур як в Україні, так і за її межами.

Особливістю бобових культур, зокрема й сої, є здатність вступати у симбіотичні відносини із бульбочковими бактеріями і засвоювати азот у доступній для рослин формі, тим самим забезпечуючи свої потреби в

цьому елементі живлення на 50–70 %. Зернова продуктивність сої залежить від ефективного формування та функціонування соєво-ризобіального симбіозу, а також від ростових процесів, розвитку вегетативних і генеративних органів та здатності адаптуватися до дії абіотичних факторів впливу навколишнього середовища. Інокуляція насіння високоефективними та активними штамми бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium japonicum* забезпечує високий рівень азотфіксувальної здатності симбіотичних систем, що зі свого боку спричинює інтенсифікацію росту та розвитку сої і, як наслідок, підвищення її врожайності [17].

Саме тому дослідження, пов'язані із комплексним аналізом впливу сполук із фунгіцидною активністю на перебіг основних фізіолого-біохімічних процесів у рослинному організмі, за інокуляції насіння бульбочковими бактеріями створюють передумови для визначення фітотоксичності сполуки щодо симбіотичних систем, а також сприятимуть розробці нових, ефективних стратегій вирощування та управління посівами бобових культур. Водночас вивчення динаміки схожості насіння, накопичення вегетативної маси рослин, ефективності функціонування бобово-ризобіального симбіозу, фотосинтетичних пігментів у листках та особливостей формування урожаю за впливу хімічних протруйників дозволить оцінити реакцію рослинного організму, можливі позитивні чи негативні наслідки від протруювання насіння фунгіцидами у поєднанні з інокуляцією ризобіями та сприятиме окресленню шляхів оптимальної реалізації потенціалу продуктивності бобових культур.

Метою нашої роботи було дослідити динаміку схожості насіння, формування вегетативних і генеративних органів та урожаю сої, функціонування соєво-ризобіального симбіозу, а також стан фотосинтетичної пігментної системи — вміст хлорофілів *a* і *b* та каротиноїдів у листках за завчасного протруювання насіння фунгіцидами Февер і Стандак Топ та бактеризацією *Bradyrhizobium japonicum* 6346 у день посіву.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження були симбіотичні системи, утворені рослинами сої (*Glycine max* (L.) Merr.) ранньостиглого сорту Алмаз вітчизняної селекції з бульбочковими бактеріями *B. japonicum*

6346 за завчасного протруєння насіння фунгіцидами Февер і Стандак Топ. Обробку насіння фунгіцидами здійснювали за 14 діб до посіву, використовуючи рекомендовану виробниками дозу, яка становила 0,3 і 1,5 л/т відповідно. Февер® 300 FS, ТН — фунгіцид контактної-системної дії («Bayer Crop Science AG», Німеччина) з активною речовиною протіокназол (300 г/л) із нового підкласу триазолінтіонів. Стандак Топ («BASF», Німеччина) — інноваційний протруйник для контролю основних хвороб і шкідників сої з діючими речовинами фіпроніл (250 г/л, клас фенілпіразолі) + тіофанатметил (225 г/л, клас бензімідазолі) + піраклостробін (25 г/л, клас стробілуринів) [18].

Для інокуляції насіння сої використовували бульбочкові бактерії *B. japonicum* 6346 — активний виробничий штам-стандарт із музейної колекції штамів симбіотичних та асоціативних азотфіксувальних мікроорганізмів Інституту фізіології рослин і генетики НАН України (ІФРГ НАН України). Для відновлення фізіологічної активності бульбочкові бактерії вирощували на агаризованому манітно-дріжджовому середовищі (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; дист. вода, рН 6,8–7,0 за 28 °С протягом 10 діб. Титр бактерій у суспензії становив 10^8 кл/мл. Насіння інокулювали протягом однієї години перед посівом. Рослини вирощували на вегетаційному майданчику ІФРГ НАН України у 9-кілограмових посудинах Вагнера (20 насінин / посудину, 6 посудин / варіант) на ґрунтовому субстраті (ґрунт дерново-підзолистий) із поживною сумішшю Гельрігеля, збідненою на азот (0,25 норми). До урожаю залишали по 6 рослин / посудину, 4 посудини / варіант. Схема досліду така:

1. Інокуляція *B. japonicum* 6346 (контроль).
2. Інокуляція *B. japonicum* 6346 + Февер.
3. Інокуляція *B. japonicum* 6346 + Стандак Топ.

Для розв'язання поставлених завдань застосовували мікробіологічні, фізіологічні, біохімічні методи досліджень. Протягом вегетації рослин сої визначали:

- схожість насіння сої в динаміці за кількістю сходів / посудину, одиниць;
- накопичення сирової вегетативної маси

(маса надземної частини і кореня, г);

– ростові процеси (висота надземної частини, см), активність формування квіток і бобів (за кількістю рослин, що утворили генеративні органи / посудину, шт.);

– формування (за кількістю (одиниць) та масою (мг) кореневих бульбочок / рослину) і функціонування соєво-ризобіального симбіозу (азотфіксувальна активність);

– зміни вмісту фотосинтетичних пігментів (каротиноїдів, хлорофілу *a* і *b*) у листках сої;

– зернову продуктивність рослин.

Азотфіксувальну активність визначали ацетиленовим методом Hardy [19] на газовому хроматографі Agilent GC System 6850 (США) і виражали у мікромолях C_2H_4 / рослину за годину — фактична активність. Визначення проводили в 6 біологічних повтореннях. Вміст фотосинтетичних пігментів визначали спектрофотометрично на приладі «Smart Spec Plus» (США) за довжини хвиль 480, 649 та 665 нм відповідно за методом Wellburn [20] і виражали в мг/г сирої маси листків. Визначення проводили у 18 біологічних та 3 аналітичних повтореннях.

Відбори рослин здійснювали у фази розвитку: примордіального листка (15-добові рослини), двох і трьох справжніх листків — початку бутонізації (25- та 30-добові денні рослини відповідно), цвітіння (35-добові рослини), активного плодоутворення (47-добові рослини) та повної стиглості насіння (100-добові рослини).

Результати статистично оброблено (*Stat-*

graphyc Plus) та представлено у вигляді середніх значень і їх похибок ($M \pm m$), відмінності між середніми значеннями обчислювали за критерієм ANOVA, їх вважали вірогідними за $p \leq 0,05$.

Результати досліджень. Насіння сої сорту Алмаз за інокуляції бульбочковими бактеріями *B. japonicum* 6346 і завчасної обробки фунгіцидами почало сходити на п'яту добу після висіву в ґрунт. Встановлено, що фунгіцид Февер протягом наступних чотирьох днів стимулював схожість насіння, яка перевищувала показники контрольних рослин на 20 % (на 5-у добу після висіву) та на 7 % (на 8-у добу). Стандак Топ пригнічував схожість насіння на 11 % і 13 % (відповідно на 5 і 6-у добу) щодо контрольних рослин із подальшим вирівнюванням до контрольних значень. Отже, максимальний вплив хімічних протруйників на схожість сої відзначено на початковому етапі проростання насіння за позитивної переваги у дії Феверу (до 31 %) проти Стандак Топу (рис. 1).

Показано, що Февер також сприяв росту рослин сої (табл. 1). У фазу трьох справжніх листків висота надземної частини була більшою за контрольні рослини на 12 %, а у фазу утворення бобів — на 13 %. Надземна маса за обробки цим фунгіцидом була на рівні щодо контрольних рослин або більшою на 16 % і 24 % у фазі двох справжніх листків і утворення бобів відповідно. Водночас маса кореня була на рівні контролю або переважала його на 24 %, за винятком рослин у фазу трьох справжніх листків.

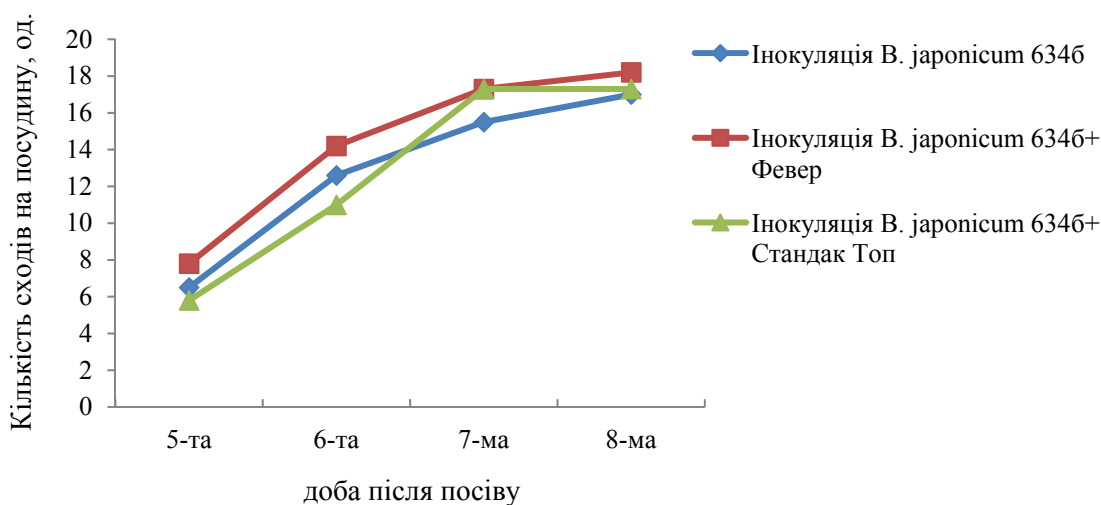


Рис. 1. Динаміка схожості сої за завчасного протруювання насіння фунгіцидами Февер і Стандак Топ та інокуляції бульбочковими бактеріями.

Таблиця 1. Висота та вегетативна маса (сира речовина) рослин сої за завчасного протруєння насіння фунгіцидами та інокуляції бульбочковими бактеріями

Варіанти	Висота рослин, см	Маса рослини, г	
		надземна	кореня
<i>Фаза двох справжніх листків, 25-добові рослини</i>			
Інокуляція <i>V. jaronicum</i> 634б (контроль)	–	3,81 ± 0,30	0,64 ± 0,06
Інокуляція <i>V. jaronicum</i> 634б + Февер	–	4,42 ± 0,45	0,73 ± 0,05
Інокуляція <i>V. jaronicum</i> 634б + Стандак Топ	–	3,56 ± 0,42	0,54 ± 0,04
<i>Фаза трьох справжніх листків – початку бутонізації, 30-добові рослини</i>			
Інокуляція <i>V. jaronicum</i> 634б (контроль)	23,3 ± 0,6	4,94 ± 0,18	3,12 ± 0,39
Інокуляція <i>V. jaronicum</i> 634б + Февер	26,2 ± 0,7	4,93 ± 0,49	2,23 ± 0,20
Інокуляція <i>V. jaronicum</i> 634б + Стандак Топ	30,5 ± 0,7	5,61 ± 0,27	2,14 ± 0,08
<i>Фаза цвітіння, 35-добові рослини</i>			
Інокуляція <i>V. jaronicum</i> 634б (контроль)	38,8 ± 1,7	10,19 ± 0,41	3,55 ± 0,25
Інокуляція <i>V. jaronicum</i> 634б + Февер	40,5 ± 1,4	10,23 ± 0,58	3,90 ± 0,33
Інокуляція <i>V. jaronicum</i> 634б + Стандак Топ	40,8 ± 1,1	9,01 ± 1,07	4,78 ± 0,39
<i>Фаза утворення бобів, 47-добові рослини</i>			
Інокуляція <i>V. jaronicum</i> 634б (контроль)	55,7 ± 3,6	15,45 ± 0,93	4,05 ± 0,44
Інокуляція <i>V. jaronicum</i> 634б + Февер	63,2 ± 1,8	19,21 ± 1,48	5,21 ± 0,44
Інокуляція <i>V. jaronicum</i> 634б + Стандак Топ	65,8 ± 0,6	17,76 ± 1,99	5,91 ± 0,35

Примітка: «–» — не визначали.

За обробки насіння Стандак Топом у фазу трьох справжніх листків зафіксовано збільшення висоти і надземної маси рослин сої щодо контрольних на 30 % і 13 % відповідно. Протягом наступного періоду вегетації ці показники були на рівні рослин у варіанті без обробки фунгіцидом. Маса кореня сої до фази цвітіння була від 16 % до 32 % меншою за рослини контрольного варіанту з подальшим збільшенням на 34 % і 45 % у фазу цвітіння та утворення бобів відповідно (табл. 1).

Встановлено, що на 34-у добу розвитку рослини почали формувати генеративні органи (квітки) (рис. 2). Відзначено, що Февер сприяв прискоренню цвітіння рослин, оскільки на 34 та 35-у добу вегетації сої кількість рослин, що утворили квітки, була на 8 % і 27 % відповідно більшою, ніж у варіанті з інокуляцією ризобіями без застосування фунгіциду. За використання Стандак Топу відзначено збільшення показника активності цвітіння (за кількістю рослин, що утворили генеративні органи) на 17 % лише на 35-у добу вегетації, тоді як в інші дні спостережень він був на рівні контрольних.

Фунгіциди за завчасної обробки насіння сої здійснювали суттєвий вплив на формування симбіотичного апарату (табл. 2). Кількість кореневих бульбочок за обробки Февером у фазу двох справжніх листків була на рівні рослин без протруєння. У фазу трьох справжніх листків – початку бутонізації нами відзначено доволі повільне зростання їх кількості (від 9,8 до 10,5 одиниць), тоді як у контрольних рослинах кількість бульбочок збільшилася від 11,3 до 25,5 одиниць, тим самим перевищуючи показники рослин у варіанті з застосуванням Феверу на 59 %. У фазу цвітіння сої відбулося поступове вирівнювання кількості кореневих бульбочок до рівня контролю та збільшення їх на 33 % у фазу утворення бобів. Водночас маса кореневих бульбочок була меншою за контрольні рослини на 36 % у фазу двох справжніх листків. Згодом, упродовж вегетації рослин, спостерігали вирівнювання показників маси кореневих бульбочок до значень рослин у контролі з перевищенням їх на 33 % у фазу утворення бобів.

Стандак Топ аналогічно Феверу не впливав на формування кількості кореневих

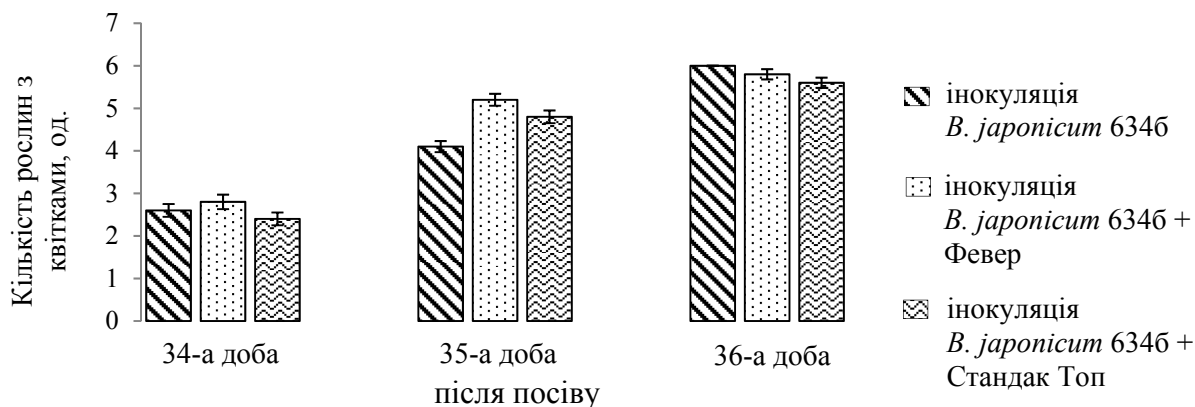


Рис. 2. Динаміка формування генеративних органів (квіток) рослинами сої за інокуляції ризобіями та завчасної обробки фунгіцидам.

Таблиця 2. Формування симбіотичного апарату сої за інокуляції насіння бульбочковими бактеріями на фоні завчасного застосування фунгіцидів

Варіанти	Кореневі бульбочки сої		
	кількість, од.	маса, мг	маса однієї бульбочки, мг
<i>Фаза двох справжніх листків, 25-добові рослини</i>			
Інокуляція <i>B. japonicum</i> 634б (контроль)	11,3 ± 1,3	31,64 ± 3,52	2,94 ± 0,25
Інокуляція <i>B. japonicum</i> 634б + Февер	9,8 ± 1,3	20,37 ± 2,28	2,12 ± 0,10
Інокуляція <i>B. japonicum</i> 634б + Стандак Топ	12,3 ± 1,9	18,76 ± 3,54	1,56 ± 0,16
<i>Фаза трьох справжніх листків – початку бутонізації, 30-добові рослини</i>			
Інокуляція <i>B. japonicum</i> 634б (контроль)	25,5 ± 2,9	70,05 ± 7,63	2,78 ± 0,20
Інокуляція <i>B. japonicum</i> 634б + Февер	10,5 ± 1,4	56,74 ± 10,17	5,34 ± 0,45
Інокуляція <i>B. japonicum</i> 634б + Стандак Топ	16,8 ± 2,7	60,03 ± 7,87	4,05 ± 0,77
<i>Фаза цвітіння, 35-добові рослини</i>			
Інокуляція <i>B. japonicum</i> 634б (контроль)	26,7 ± 1,3	397,27 ± 37,62	14,91 ± 1,33
Інокуляція <i>B. japonicum</i> 634б + Февер	23,5 ± 2,7	378,58 ± 32,52	16,95 ± 1,69
Інокуляція <i>B. japonicum</i> 634б + Стандак Топ	17,8 ± 2,3	241,14 ± 29,15	13,96 ± 1,13
<i>Фаза утворення бобів, 47-добові рослини</i>			
Інокуляція <i>B. japonicum</i> 634б (контроль)	27,9 ± 1,4	924,29 ± 56,61	33,42 ± 2,10
Інокуляція <i>B. japonicum</i> 634б + Февер	37,2 ± 1,3	1225,00 ± 146,94	36,10 ± 4,30
Інокуляція <i>B. japonicum</i> 634б + Стандак Топ	31,0 ± 1,9	1183,33 ± 61,48	38,92 ± 3,10

бульбочок у фазу двох справжніх листків. Від фази трьох справжніх листків до цвітіння спостерігали пригнічення бульбочкоутворення щодо контрольних рослин (табл. 2). І лише під час утворення бобів кількість корневих бульбочок була на рівні рослин без обробки фунгіцидом. Також відзначено негативний вплив протруйника на масу бульбочок, яка була меншою (на 41 % і 39 % відповідно) за контрольні рослини у фазу двох справжніх листків та цвітіння. Під час утворення бобів цей показник перевищував конт-

рольні рослини на 28 %.

Отже, значний токсичний вплив на процеси формування симбіотичного апарату протруйники чинили на початкових фазах розвитку рослин сої, з дещо різним ступенем їхнього впливу залежно від діючої речовини застосованого фунгіциду. Водночас їхня негативна дія послаблювалась із часом, оскільки вже у період формування бобів рослини, насіння яких було протруєне фунгіцидами, активніше формували симбіотичні структури на коренях.

Протруєння насіння фунгіцидами Февер і Стандак Топ призвело до суттєвого пригнічення функціональної активності симбіотичних систем сої протягом вегетації (табл. 3).

Токсичний ефект Феверу проявлявся в зниженні нітрогеназної активності корневих бульбочок проти контрольних рослин на 63 %, 47 %, 57 % і 48 % відповідно до досліджуваних фаз розвитку сої (табл. 3). Стандак Топ чинив ще більший токсичний ефект і пригнічував здатність соєво-ризобіального симбіозу до засвоєння молекулярного азоту

на 80 %, 78 %, 79 % і 48 % відповідно.

Отже, вплив Феверу щодо функціонування бобово-ризобіального симбіозу був дещо м'якшим проти Стандак Топу. Негативна дія обох фунгіцидів зменшувалася з кожним наступним періодом розвитку рослин сої.

Показано, що на фоні завчасного протруєння насіння сої фунгіцидами в листках рослин відбувалися певні зміни в синтезі фотосинтетичних пігментів — хлорофілу та каротиноїдів (табл. 4).

Таблиця 3. Азотфіксувальна активність корневих бульбочок сої за завчасної обробки насіння фунгіцидами та інокуляції ризобіями в день посіву

Варіанти	Азотфіксувальна активність,	
	мкмоль C ₂ H ₄ / рослину за годину	% до контролю
<i>Фаза двох справжніх листків, 25-добові рослини</i>		
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б (контроль)	0,625 ± 0,104	100
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б + Февер	0,231 ± 0,031	-63
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б + Стандак Топ	0,123 ± 0,053	-80
<i>Фаза трьох справжніх листків – початку бутонізації, 30-добові рослини</i>		
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б (контроль)	1,938 ± 0,289	100
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б + Февер	1,023 ± 0,139	-47
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б + Стандак Топ	0,422 ± 0,080	-78
<i>Фаза цвітіння, 35-добові рослини</i>		
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б (контроль)	10,388 ± 1,655	100
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б + Февер	4,426 ± 0,599	-57
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б + Стандак Топ	2,146 ± 0,385	-79
<i>Фаза утворення бобів, 47-добові рослини</i>		
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б (контроль)	32,050 ± 1,434	100
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б + Февер	16,538 ± 1,062	-48
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б + Стандак Топ	16,535 ± 1,326	-48

Таблиця 4. Вміст фотосинтетичних пігментів у листках сої за завчасної обробки насіння фунгіцидами та інокуляції бульбочковими бактеріями в день посіву

Варіанти	Хлорофіл, мг / г сирої маси листків			Каротиноїди, мг / г сирої маси листків
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>	
<i>Фаза трьох справжніх листків – початку бутонізації, 30-добові рослини</i>				
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б (контроль)	4,11 ± 0,05	1,16 ± 0,04	5,27 ± 0,09	1,02 ± 0,01
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б + Февер	4,27 ± 0,03	1,02 ± 0,10	5,29 ± 0,13	1,11 ± 0,05
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б + Стандак Топ	3,67 ± 0,21	0,86 ± 0,07	4,53 ± 0,28	0,96 ± 0,09
<i>Фаза цвітіння, 35-добові рослини</i>				
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б (контроль)	4,72 ± 0,05	1,74 ± 0,13	6,46 ± 0,18	1,11 ± 0,06
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б + Февер	4,43 ± 0,08	1,79 ± 0,03	6,22 ± 0,11	0,99 ± 0,02
Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 634б + Стандак Топ	4,68 ± 0,09	1,81 ± 0,05	6,49 ± 0,14	1,04 ± 0,06

За обробки насіння фунгіцидом Февер вміст хлорофілу *b* у фазу трьох справжніх листків був на 13 % меншим від контрольних значень за рівних із контрольними рослинами показників вмісту хлорофілу *a* та суми $a + b$. Вміст каротиноїдів водночас збільшився на 8 %. У фазу цвітіння сої відзначено зниження на 7 % і 11 % вмісту хлорофілу *a* та каротиноїдів відповідно. Обробка насіння сої фунгіцидом Стандак Топ призвела до суттєвого дисбалансу вмісту пігментів у фазу трьох справжніх листків проти непротруєних рослин: хлорофілу *a* було менше на 11 %, хлорофілу *b* — на 26 %, каротиноїдів — на 6 %, суми хлорофілів — на 15 %. У фазу цвітіння показники вмісту фотосинтетичних пігментів у листках сої наближалися до контрольних значень із дещо вищим вмістом хлорофілу *b* (на 4 %) та каротиноїдів (на 5 %) (табл. 4).

Отже, у фазу розвитку трьох справжніх листків – початку бутонізації сої більш токсичний ефект на рівень фотосинтетичних пігментів у листках рослин спричинив Стандак Топ. Проте у фазу цвітіння нами відзначено стабілізацію вмісту хлорофілів і каротиноїдів, що може вказувати на певну адаптацію фотосинтетичного апарату сої до цього антропогенного чинника. За застосування Феверу не виявлено токсичної дії фунгіциду на фотосинтетичний апарат сої, зокрема на вміст зелених і жовтих фотосинтетичних пігментів у листках рослин, що може вказувати на повноцінну фотосинтетичну активність рослин і формування їхньої продуктивності.

Такі показники структури урожаю як кількість бобів, кількість і маса насінин на рослинах прямо залежать від інтенсивності фотосинтезу та надходження вуглеводів — продуктів фотосинтетичної діяльності рослин у період формування урожаю. Для створення високопродуктивних посівів сої важливими є оптимальні значення елементів структури врожаю кожного сорту та умови, за яких вони формуються. Тобто врожай визначається не одним елементом продуктивності, а їх комплексом. Аналіз формування насінневої продуктивності сої за завчасної обробки насіння фунгіцидами та інокуляції ризобіями в день посіву засвідчив, що антропогенні чинники (фунгіциди, ризобії) впливають на елементи структури врожаю, але водночас суттєво не змінюють загальної

насінневої продуктивності рослин.

Встановлено, що за завчасної обробки насіння фунгіцидом Февер та інокуляції бульбочковими бактеріями в день посіву кількість бобів на рослину була більшою за контрольні рослини на 9,5 %, кількість бобів у плодівузі — на 10,5 %, маса насінин на рослину — на 6,7 %, маса 1000 насінин — на 10,2 %. Урожай сої / посудину перевищував контроль на 5,2 % (табл. 5).

За обробки насіння Стандак Топом кількість бобів на рослину була більшою за контроль на 11,9 %, кількість бобів у плодівузі — на 15,8 %. Проте за рахунок суттєвого пригнічення процесу формування насіння (кількість насінин в 1 бобі й кількість насінин на рослину були меншими за контрольні на 10 % і 3,3 % відповідно) маса насінин на рослину та маса 1000 насінин, а також урожай сої із однієї посудини були на рівні контрольних значень.

Обговорення. Фунгіциди безпосередньо впливають як на фітопатогени [21], так і на рослини, викликаючи зміни у фізіологічно-біохімічних процесах рослинного організму [5], які можуть відобразитися на зерновій продуктивності. Серед таких ефектів визначають: ретардантний вплив, обумовлений пригніченням синтезу гіберелінів, зниження асиміляції CO_2 – газообміну, швидкості транспірації, провідності у стромках, зміни рівнів фотосинтетичних пігментів, регуляції окисно-відновного балансу, процесів метаболізму рослин [22; 23] тощо. Раніше у наших дослідженнях було відзначено, що фунгіциди за обробки насіння в день посіву пригнічували формування й функціонування симбіотичного апарату рослин сої, впливали на рівень фотосинтетичних пігментів у листках та зернову продуктивність [24].

Аналіз розвитку рослин сої та перебігу фізіологічно-біохімічних процесів за завчасного застосування фунгіцидів та інокуляції насіння в день посіву, проведений нами в цій роботі, показав, що рослини сої на ранніх етапах онтогенезу чутливі до дії протруйників, а ступінь їхньої реакції залежав від хімічних особливостей фунгіцидів та здатності рослин адаптуватися до дії цього антропогенного чинника. Насіння обробляли фунгіцидами різних хімічних класів, поширених на ринку України та рекомендованих для обробки сої проти широкого спектру збудників хвороб.

Таблиця 5. Структура урожаю сої за завчасної обробки насіння фунгіцидами та інокуляції ризобіями у день посіву

Показники	Варіанти		
	Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 6346 (контроль)	Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 6346 + Февер	Інокуляція <i>V. jarrowii</i> 6346 + Стандак Топ
Кількість, шт. ($M \pm m$, % до контролю)			
бобів / рослину	12,6 ± 0,9	13,8 ± 0,2 (+9,5)	14,1 ± 0,4 (+11,9)
плодовузлів / рослину	6,8 ± 0,2	6,2 ± 0,2 (-8,8)	6,1 ± 0,2 (-10,3)
бобів плодовузда	1,9 ± 0,1	2,1 ± 0,1 (+10,5)	2,2 ± 0,0 (+15,8)
насінин в 1 бобі	2,0 ± 0,0	1,9 ± 0,0 (-5,0)	1,8 ± 0,0 (-10,0)
насінин / рослину	23,9 ± 1,9	23,7 ± 0,9 (-0,8)	23,1 ± 0,1 (-3,3)
Маса, г ($M \pm m$, % до контролю)			
насінин / рослину	4,61 ± 0,19	4,92 ± 0,12 (+6,7)	4,66 ± 0,25 (+1,1)
насінин / посудину	27,78 ± 1,25	29,22 ± 0,58 (+5,2)	27,95 ± 1,61 (+0,6)
1000 насінин	195,73 ± 7,65	215,63 ± 3,84 (+10,2)	194,90 ± 6,53 (-0,4)
рослини	8,44 ± 0,39	8,80 ± 0,29 (+4,3)	8,23 ± 0,32 (-2,5)
$K_{\text{госп.}}$	0,55 ± 0,00	0,56 ± 0,02 (+1,8)	0,57 ± 0,01 (+3,6)

Різницю між дослідними рослинами, як щодо контролю, так і між собою було помітно вже в період формування сходів, де Февер стимулював схожість насіння, а Стандак Топ, навпаки — пригнічував її. Такий ефект зумовлено, ймовірно, саме хімічним класом сполуки, яка міститься в складі препарату Февер, адже триазоли характеризуються позитивним фізіолого-морфологічним впливом на рослини, що проявляється в рістрегулювальній дії — відбувається формування потужних сходів, розвиток кореневої системи, збільшення товщини пагонів тощо. Проте потрібно враховувати, що азоли за дії несприятливих чинників, таких як перезволоження ґрунту, нестача вологи, низька польова схожість насіння та енергія проростання — можуть здійснювати ретардантний вплив [22].

Від повноцінного розвитку листового апарату рослин (вегетативної маси надземної частини) значною мірою залежить фотосинтетичний потенціал, поглинання та використання сонячної енергії, накопичення органічної речовини та продуктивність сої. Високий урожай культури формується лише за оптимальних параметрів надземної та кореневої маси рослин. Бобові культури в період формування вегетативних органів та симбіотичного апарату є надзвичайно чутливими до

дії екзогенних факторів. У літературі існують дані про те, що бензимидазоли та дитокарбомати залежно від концентрації, пригнічують швидкість проростання рослин нуту, довжину кореня та пагона, впливають на фотосинтетичну активність (вміст хлорофілу), загальний вміст цукру, фенолу та активність антиоксидантних ферментів [25]. Зазначається, що системні фунгіциди, такі як бензимидазоли, алініди та піримідин є фітотоксичними, тоді як азоли стимулюють фотосинтез [26]. За порівняльного аналізу впливу фунгіцидів класу стробілуринів та триазолів на фізіологічні параметри сої, пшениці та ячменю за різного водозабезпечення показано, що стробілурини уповільнюють процес фотосинтезу та транспірації, а також знижують концентрацію міжклітинного вуглекислого газу [27]. У нашій роботі використано протруйники, які у своєму складі містять хімічні речовини класів триазолу — Февер, та стробілуринів — Стандак Топ, що буде досить показовим за аналізу реакцій рослинного організму на їх вплив, оскільки, як відомо з літературних джерел, фунгіциди в одних випадках сприяють збільшенню розмірів листової поверхні рослин, зростанню інтенсивності фотосинтезу та накопиченню сухої біомаси рослин, а в інших — призводять до зменшення вмісту хлорофілів, висту-

пають як регулятори росту та пригнічують фотосинтетичну активність.

Фунгіциди Февер і Стандак Топ за завчасного протруєння насіння позитивно вплинули на накопичення надземної маси і ростові процеси рослин (табл. 3) та формування генеративних органів (квіток) (рис. 2), що може бути зумовлено як захистом насіння від патогенів, так і можливими змінами у фотосинтетичній активності рослин, які відбуваються за рахунок рістрегулювальної дії певних компонентів хімічних препаратів [27]. Проте протруйники на початкових етапах розвитку сої (до фази цвітіння) дещо пригнічували формування маси кореня.

Для сої потужна коренева система є одним із важливих чинників формування ефективного бобово-ризобіального симбіозу. На коренях завдяки симбіозу рослин із ризобіями формуються кореневі бульбочки, в яких за рахунок функціонування ферментного комплексу нітрогенази відбувається процес фіксації азоту. Інтенсивність азотфіксації залежить від кількості та маси корневих бульбочок. У наших дослідженнях показано, що за дії фунгіцидів кількість і маса корневих бульбочок була значно меншою за контрольні рослини на початкових етапах формування симбіозу. Згодом ці показники вирівнювались і навіть перевищували у фазу утворення бобів контрольні значення. Зменшення кількості корневих бульбочок та їхньої маси у сої, очевидно, пов'язано з інгібувальним впливом протруйників на процес утворення бобово-ризобіального симбіозу, ймовірно, на етапі взаєморозпізнавання мікро- та макросимбіонтів.

Оскільки фунгіциди мали значний негативний вплив на формування симбіотичного апарату, як наслідок, ми відзначили й суттєві зміни в його функціонуванні. Протруйники пригнічували азотфіксувальну активність симбіотичних систем сої від 48 % до 80 %, якщо порівняти з контрольними рослинами. Впродовж всієї вегетації сої спостерігався більш інтенсивний токсичний вплив Стандак Топу проти Феверу. Відзначено, що токсичний вплив фунгіцидів поступово зменшувався з наступними фазами онтогенезу сої, що може бути спричинено як здатністю рослин адаптуватися до стресового чинника, так і періодом напіврозпаду хімічних сполук. Отже, вплив фунгіцидів Февер і Стандак Топ за

завчасної обробки насіння та інокуляції в день посіву бульбочковими бактеріями характеризувався суттєвим пригніченням функціональної активності симбіотичного апарату в першу половину вегетації сої і поступовим її відновленням у період формування генеративних органів.

Одним із важливих критеріїв оцінки реакції рослинного організму на стресори різної природи (біотичні, абіотичні та антропогенні чинники), зокрема й на дію хімічних засобів захисту рослин, може слугувати пігментний комплекс. Порушення фізіологічного стану рослин вже на початковому етапі викликає зміни у первинних стадіях фотосинтезу, що супроводжується, зокрема, певними змінами кількісної складової хлорофілу та його оптичних властивостей, а також каротиноїдів [28]. Існують дані, що беноміл викликає значне зменшення вмісту хлорофілу *a*, хлорофілу *b*, каротиноїдів та загального вмісту пігментів у рослинах соняшника. Аналогічні результати отримані за обробки винограду звичайного флудіоксонілом та карбендазіном [29]. Нами встановлено, що вміст фотосинтетичних пігментів (хлорофілу *a* і *b* та каротиноїдів) у фазу трьох справжніх листків сої за завчасної обробки насіння фунгіцидом Стандак Топ був меншим за контрольні значення, а у фазу масового цвітіння — на його рівні. Февер спричинив менш токсичну, а у фазу розвитку трьох справжніх листків — навіть активувальну дію на фотосинтетичний апарат рослин проти Стандак Топу. Зміна рівня фотосинтетичних пігментів у період вегетативного росту сої та його стабілізація в подальшому, коли рослина переходить до формування генеративних органів, може вказувати на адаптацію функціонування фотосинтетичного апарату за умов дії антропогенного фактору.

Відомо, що фотосинтетична активність суттєво впливає на такі елементи структури урожаю, як кількість бобів, кількість насінин у бобах, кількість і масу насінин, що зумовлено надходженням вуглеводів — продуктів фотосинтетичної діяльності рослин до генеративних органів у період їх формування [30]. Нами показано, що за завчасного протруєння Стандак Топом та інокуляції ризобіями в день посіву урожай насіння сої формувалася на рівні контрольних значень, тоді як за дії Февера отримано урожай дещо

вищий (на 5,2 %). Хоча в підсумку дослідження було встановлено, що Февер і Стандак Топ пригнічують формування й функціонування бобово-ризобіального симбіозу, проте їхній позитивний вплив на саму рослину (схожість насіння, висота рослин, накопичення надземної маси, динаміка формування генеративних органів), а також здатність рослин на біохімічному рівні адаптуватися до дії стресового чинника (стабілізація вмісту фотосинтетичних пігментів у листках) дозволило сформувати урожай насіння сої на рівні або дещо вище за контроль.

Висновки. Отже, не зважаючи на встановлений нами токсичний вплив фунгіцидів на процеси формування й функціонування соєво-ризобіального симбіозу, за рахунок комплексної дії протруйників на рослини (активація схожості насіння та розвиток сої протягом вегетації, стабілізація рівня фотосинтетичної системи в період формування генеративних органів) відбувається повноцінне формування врожаю насіння сої. Встановлені нами фізіолого-біохімічні особливості реакції соєво-ризобіального симбіозу на дію різних за хімічним складом фунгіцидів необхідно враховувати у розробці нових стратегій захисту рослин від збудників хвороб різної етіології із залученням фізіологічно активних речовин із фунгіцидною активністю в поєднанні з інокуляцією бульбочковими бактеріями. Отримані результати досліджень є цінними як з практичної, так і з теоретичної точки зору для вдосконалення шляхів підвищення продуктивності рослин сої за застосування азотфіксувальних бактерій та фунгіцидів для передпосівної обробки насіння цієї стратегічної для України зернобобової культури.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Вишнівський П. С., Фурман О. В. Продуктивність сої залежно від елементів технології вирощування в умовах правобережного Лісостепу України. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. Вип. 11(1). С 13–22. <http://dx.doi.org/10.31548/agr2020.01.013>
2. Jumrani K., Bhatia V. S. Impact of combined stress of high temperature and water deficit on growth and seed yield of soybean. *Physiol Mol Biol Plants*. 2018. № 24. Р. 37–50. <https://doi.org/10.1007/s12298-017-0480-5>
3. Pospelova G. D., Kovalenko N. P., Nepochenko N. I., Stepanenko R. O., Sherstiuk O. L. In-

fluence of fungicidal disinfectants on pathogenic complex and laboratory germination of soybean seeds. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*. 2021. № 1. Р. 72–79. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.08>

4. Писаренко В. М., Піщаленко М. А., Поспелова Г. Д., Горб О. О., Коваленко Н. П., Шерстюк О. Л. Інтегрований захист рослин. Полтава. 2020. 245 с.

5. Gorshkov A. P., Tsyganova A. V., Vorobiev M. G., Tsyganov V. E. The Fungicide Tetramet hylthiuram Disulfide Negatively Affects Plant Cell Walls, Infection Thread Walls, and Symbiosomes in Pea (*Pisum sativum* L.) Symbiotic Nodules. *Plants (Basel)*. 2020. № 9(11). Р. 1488. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.08>

6. Путилина Л. Н., Бартнев И. И., Лазутина Н. А. Изменение технологического качества сахарной свёклы в зависимости от обработки вегетирующих растений различными фунгицидами. *Сахар*. 2020. Вип. 5. С. 20–24. <https://doi.org/10.24411/2413-5518-2020-10503>

7. Kuryata V. G., Golunova L. A. Peculiarities of the formation and functioning of soybean rhizobial complexes and the productivity of soybean culture under the influence of retardant of paclobutrazol. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. № 8(3). С. 98–105.

8. Мостов'як І. І., Кравченко О. В. Формування фотосинтетичної продуктивності посівів сої за використання різних видів фунгіцидів та інокулянта у Правобережному Лісостепу України. *Вісник Уманського нац. ун-ту садівництва*. 2018. Вип. 2. С. 21–24.

9. Nason M. A., Farrar J., Bartlett D. Strobilurin fungicides induce changes in photosynthetic gas exchange that do not improve water use efficiency of plants grown under conditions of water stress. *Pest Management Science*. 2007. № 63(12). Р. 1191–1200. <https://doi.org/10.1002/ps.1443>

10. Колупаев Ю. Е., Карпец Ю. В. Активные формы кислорода, антиоксиданты и устойчивость растений к действию стрессоров. Киев : Логос, 2019. 277 с.

11. Dias M. Phytotoxicity: An Overview of the Physiological Responses of Plants Exposed to Fungicides. *Journal of Botany*. 2012. Р. 1–4. <https://doi.org/10.1155/2012/135479>

12. Lopez J. A., Rojas K., Swart J. The economics of foliar fungicide applications in winter wheat in Northeast Texas. *Crop Prot*. 2014. № 67. Р. 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.09.007>

13. Разанов С. Ф., Шевчук О. А. Обсяг застосування та екологічна оцінка хімічних засобів захисту рослин. *Збірник наукових праць ВНАУ «Сільське господарство та лісівництво»*. 2018. № 8. С. 102–117.

14. Rodrigues T. F., Bender F. R., Sanzo-

- vo 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(11). P. 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02949-5>
15. Laktionov Y. V., Kosulnikov Y. V., Yachno V. V., Kozhemyakov A. P. Determination of toxicity of various preparative forms of pesticidal fungicides for nodule bacteria inoculants. In *E3S Web of Conferences*. 2020. P. 224. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022404032>
16. Мельничук Ф. С., Марченко О. А., Ретьман М. С. Цитотоксична дія фунгіцидних протруйників на проростки сої. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2015. 5. 1–13.
17. Коць С. Я., Пухтаєвич П. П. Інокуляція насіння сої: чим, як і коли. *Пропозиція. Біопрепарати у захисті насіння та рослин*. 2019. Вип. 2. С. 14–17.
18. Plant protection products — Bayer, Basf, Syngenta, Dupon, Avgust. Product catalog. URL: <http://www.demetra-agra.com.ua>
19. Hardy R., Burns R., Holsten R. Application of the acetylene-ethylene assay for measurement of nitrogen fixation. In: *Soil. Biol. Biochem.* 1973, № 5(1), P. 41–83. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(73\)90093-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(73)90093-X)
20. Wellburn A. The spectral determination of chlorophylls a and b as well as total carotenoids using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*. 1994. № 144(3). P. 307–313. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)
21. Santos S. F. D., Carvalho E. R., Rocha D. K., Nascimento R. M. Composition and volumes of slurry in soybean seeds treatment in the industry and physiological quality during storage. *Journal of Seed Science*. 2018. № 40. P. 67–74. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v40n1185370>
22. Кур'ята В. Г., Рогач В. В., Буйна О. І., Кушнір О. В., Буйний О. В. Вплив гібереллової кислоти та тебуконазолу на формування листкового апарату та функціонування донорно-акцепторної системи рослин овочевих пасльонових культур. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2017. Вип. 8(2). P. 162–168. <https://doi.org/10.15421/021726>
23. Borzykh O., Tsurkan O., Chervyakova L., Panchenko T. Effect of fungicides on the enzymatic activity of the antioxidant system and the chlorophyll content in lupine plants during seed dressing. *Quarantine and plant protection*. 2020. № 7–9. P. 3–6. <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2020.7-9.3-6>
24. Кириченко Е. В., Павлице А. В., Омельчук С. В., Жемойда А. В., Коць С. Я. Физиологические аспекты ответа соево-ризобиального симбиоза на действие фунгицидов Стандак Топ и Февер. *Stiinta agricola*. 2020. Вип. 2. С. 59–72. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4320984>
25. Singh G., Sahota H. K. Impact of benzimidazole and dithiocarbamate fungicides on the photosynthetic machinery, sugar content and various antioxidative enzymes in chickpea. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2018. № 132. P. 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.09.001>
26. Petit A. N., Fontaine F., Vatsa P. Fungicide impacts on photosynthesis in crop plants. *Photosynth Res*. 2012. № 111. P. 315–326. <https://doi.org/10.1007/s11120-012-9719-8>
27. Mishra G., Kumar N., Giri K., Pandey S. In vitro interaction between fungicides and beneficial plant growth promoting *Rhizobacteria*. *Africal journal of Agricultural Research*. 2013. № 8(45). P. 5630–5633. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1526>
28. Гарновський М. Г., Янковський Я. Ю. Оптичні методи аналізу фізіологічного стану рослин для задач сільського господарства та екологічного моніторингу. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2012. Вип. 23(1). С. 127–130.
29. Garcia P. C., Rivero R. M., Ruiz J. M. The role of fungicides in the physiology of higher plants: Implications for defense responses. *Bot. Rev.* 2003. № 69. P. 162. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2003\)069\[0162:TROFIT\]2.0.CO](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2003)069[0162:TROFIT]2.0.CO)
30. Прядкина Г. А., Шадчина Т. М., Стасик О. О., Киризий Д. А. Фотосинтез и продуктивность растений. Киев : Логос, 2015.

Отримано 10.09.2021

FORMING SOYBEAN PRODUCTIVITY UPON SEED PRE-TREATMENT WITH FUNGICIDES STANDAK TOP AND FEVER AND INOCULATION WITH RHIZOBIA ON THE DAY OF SOWING

S. Ya. Kots, O. V. Kyrychenko, A. V. Pavlyshche, R. A. Yakymchuk

Institute of Plant Physiology and Genetics, NAS of Ukraine, Kyiv
e-mail: azot@ifrg.kiev.ua

*Soybean grain productivity is largely due to a complex of factors, in particular, the efficiency of symbiotic systems formed with nodule bacteria, the activity of growth processes and the formation of vegetative and generative organs by plants, as well as their adaptive plasticity under various environmental factors. The article presents the results of studying the peculiarities of the formation of soybean plant productivity upon seed pre-treatment with fungicides of different classes and inoculation with nodule bacteria on the day of sowing. **Objective.** To study the dynamics of seed germination, formation of vegetative and generative organs and soybean harvest, functioning of soybean-rhizobial symbiosis, as well as the state of photosynthetic pigment system — content of chlorophyll a and b and carotenoids in the leaves upon seed pre-treatment with fungicides Fever and Standak Top and bacterization with *Bradyrhizobium japonicum* 634b on the day of sowing. **Methods.** Microbiological, physiological, biochemical, statistical. **Results.** Fungicides did not exert toxicity in terms of seed germination, and soybean seed germination under the action of Fever exceeded parameters in the control plants by 20 % (at Day 5 after sowing) and by 7 % (at Day 8). It has been shown that fungicides increased plant height, aboveground mass and accelerated the formation of generative organs (flowers) by plants but did not significantly affect root mass. It was found that fungicides had a pronounced toxic (inhibitory) effect on soybean-rhizobial symbiosis upon seed pre-treatment: the process of nodule formation was suppressed in the initial stages of symbiosis, nitrogen fixation activity was lower than in the control plants by 80–48 % depending on soybean development phase. Thus, the effect of fungicides Fever and Standak Top upon seed pre-treatment and inoculation with nodule bacteria on the day of sowing was characterized by significant suppression of functional activity of the symbiotic apparatus in the first half of soybean vegetation and its gradual recovery during formation of generative organs. Although fungicides inhibit the formation and functioning of legume-rhizobial symbiosis but their positive effect on the plant itself (seed germination, plant height, aboveground mass accumulation, dynamics of generative organ formation), as well as the ability of plants to adapt to stress at the biochemical level (stabilization of the content of photosynthetic pigments in the leaves) allowed to form a crop of soybean seeds at or slightly above the level of control. **Conclusion.** Physiological and biochemical features of the reaction of soybean-rhizobial symbiosis to the action of different fungicides that we had established must be taken into account in developing new strategies to protect plants from pathogens of various aetiologies with the involvement of physiologically active substances having fungicidal activity in combination with inoculation.*

Key words: *Bradyrhizobium japonicum*, soybean, symbiosis, photosynthetic pigments, fungicides, productivity.

REFERENCES

1. Vyshnivskiy, P. S. & Furman, O. V. (2020). Produktivnist soi zalezno vid elementiv tekhnologii vyroshchuvannya v umovakh pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Soybean productivity depending on elements of growing technology in the right-bank Forest-steppe of Ukraine]. *Roslynyystvo ta grun-*

toznavstvo — Plant and Soil Science, 11(1), 13–22 [in Ukrainian]. <http://dx.doi.org/10.31548/agr2020.01.013>

2. Jumrani, K. & Bhatia, V. S. (2018). Impact of combined stress of high temperature and water deficit on growth and seed yield of soybean. *Physiol Mol Biol Plants*, 24, 37–50. <https://doi.org/10.1007/s12298-017-0480-5>

3. Pospelova, G. D., Kovalenko, N. P., Nechiporenko, N. I., Stepanenko, R. O. & Sherstiuk, O. L. (2021). Influence of fungicidal disinfectants on pathogenic complex and laboratory germination of soybean seeds. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 72–79. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.08>
4. Pysarenko, V. M., Pishchalenko, M. A., Pospelova, H. D., Horb, O. O., Kovalenko, N. P. & Sherstiuk, O. L. (2020). *Intehrovanyi zakhyst roslyn* [Integrated plant protection]. Poltava [in Ukrainian].
5. Gorshkov, A. P., Tsyganova, A. V., Vorobiev, M. G. & Tsyganov, V. E. (2020). The Fungicide Tetramet hylthiuram Disulfide Negatively Affects Plant Cell Walls, Infection Thread Walls, and Symbiosomes in Pea (*Pisum sativum* L.) Symbiotic Nodules. *Plants (Basel)*, 9(11), 1488. <https://doi.org/10.3390/plants9111488>
6. Putylyna, L. N., Bartenev, Y. Y. & Lazutyna, N. A. (2020). Izmenenie tehnologicheskogo kachestva saharnoj svyokly v zavisimosti ot obrabotki vegetiruyushhih rastenij razlichnymi fungicidami [Changes in the technological quality of sugar beets depending on the treatment of vegetative plants with various fungicides]. *Sahar — Sugar*, 5, 20–24 [in Russian]. <https://doi.org/10.24411/2413-5518-2020-10503>
7. Kuryata, V. G. & Golunova, L. A. (2018). Peculiarities of the formation and functioning of soybean rhizobial complexes and the productivity of soybean culture under the influence of retardant of paclobutrazol. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(3), 98–105.
8. Mostoviak, I. I. & Kravchenko, O. V. (2018). Formuvannya fotosyntetychnoi produktyvnosti posiviv soi za vykorystannia riznykh vydiv funhitydiv ta inokulianta u Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Formation of photosynthetic productivity of soybean crops for the use of different types of fungicides and inoculants in the right-bank forest-steppe of Ukraine]. *Visnyk Umanskoho nats. un-tu sadivnytstva — Bulletin of Uman national university of horticulture*, 2, 21–24 [in Ukrainian].
9. Nason, M. A, Farrar, J. & Bartlett, D. (2007). Strobilurin fungicides induce changes in photosynthetic gas exchange that do not improve water use efficiency of plants grown under conditions of water stress. *Pest Management Science*, 63(12), 1191–1200. <https://doi.org/10.1002/ps.1443>
10. Kolupaev, Yu. E. & Karpets, Yu. V. (2019). *Aktivnyye formy kisloroda. antioksidanty i ustoychivost rasteniy k deystviyu stressorov* [Reactive oxygen species, antioxidants and plants resistance to influence of stressors]. Kyiv: Logos [in Russian].
11. Dias, M. (2012). Phytotoxicity: An Overview of the Physiological Responses of Plants Exposed to Fungicides. *Journal of Botany*, 1–4. <https://doi.org/10.1155/2012/135479>
12. Lopez, J. A., Rojas, K. & Swart, J. (2014). The economics of foliar fungicide applications in winter wheat in Northeast Texas. *Crop Prot.*, 67, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.09.007>
13. Rasanov, S. F., Shevchuk, O. V. 2018. Obshchast zastosuvannya ta ekolohichna otsinka khimichnykh zasobiv zakhystu roslyn. [Application content and ecotoxic assessment of chemical plant protection products]. *Zbirnyk naukovykh prats VNAU “Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo” — Scientific journal of VNAU “Agriculture and forestry”*, 8, 102–117. [in Ukrainian].
14. 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(11), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02949-5>
15. Laktionov, Y. V., Kosulnikov, Y. V., Yachno, V. V., & Kozhemyakov, A. P. (2020). Determination of toxicity of various preparative forms of pesticidal fungicides for nodule bacteria inoculants. In *E3S Web of Conferences*, 224, EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022404032>
16. Melnichuk, F., Retman, M., Marchenko, O. (2015). Tsytotoksychna diia funhitydnykh protrunyktiv na prorostky soi. [Cytotoxic effect of fungicide seed treatments on soybean seedlings]. *Naukovi dopovidi Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy — Scientific reports of NULES of Ukraine*, 5, 1–13. [in Ukrainian].
17. Kots, S. Ya. & Pukhtaievych, P. P. (2019). Inokulatsiia nasinnia soi: chym, yak i koly [Soybean seed inoculation: what, how and when]. *Propozytsiia. Biopreparaty u zakhysti nasinnia ta roslyn — Proposal. Biological preparations in the protection of seeds and plants*, 2, 14–17 [in Ukrainian].
18. Plant protection products — Bayer, Basf, Syngenta, Dupon, Avgust. Product catalog. URL: <http://www.demetra-agra.com.ua>
19. Hardy, R., Burns, R. & Holsten, R. (1973). Application of the acetylene-ethylene assay for measurement of nitrogen fixation. *Soil. Biol. Biochem.*, 5(1), 41–83. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(73\)90093-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(73)90093-X)
20. Wellburn, A. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b as well as total carotenoids using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*. 144(3), 307–313. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)
21. Santos, S. F. D., Carvalho, E. R., Rocha, D. K. & Nascimento, R. M. (2018). Composition and volumes of slurry in soybean seeds treatment in the industry and physiological quality during storage. *Journal of Seed Science*, 40, 67–74. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v40n1185370>

22. Kuriata, V. H., Rohach, V. V., Buina, O. I., Kushnir, O. V. & Buinyi, O. V. (2017). Vplyv hiberelovoi kysloty ta tebukonazolu na formuvannia lystkovoho aparatu ta funktsionuvannia donorno-akseptornoj systemy roslyn ovochevykh paslonovykh kultur. [Impact of gibberelic acid and tebuconazole on formation of the leaf system and functioning of donor – acceptor plant system of solanaceae vegetable crops]. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 8(2), 162–168 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/021726>
23. Borzykh, O., Tsurkan, O., Chervyakova, L. & Panchenko, T. (2020). Effect of fungicides on the enzymatic activity of the antioxidant system and the chlorophyll content in lupine plants during seed dressing. *Quarantine and plant protection*, 7–9, 3–6. <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2020.7-9.3-6>
24. Kyrychenko, E. V., Pavlyshche, A. V., Omelchuk, S. V., Zhemoida, A. V. & Kots, S. Ya. (2020). Phyziolohycheskye aspekty otveta soevoryzobyalnoho symbyoza na deistvye funhytsydov Standak Top y Fever [Physiological aspects of the response of soybean-rhizobial symbiosis to the action of fungicides Standak Top and Fever]. *Stiinta agricola*, 2, 59–72 [in Russian]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4320984>
25. Singh, G. & Sahota, H. K. (2018). Impact of benzimidazole and dithiocarbamate fungicides on the photosynthetic machinery, sugar content and various antioxidative enzymes in chickpea. *Plant Physiology and Biochemistry*, 132, 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.09.001>
26. Petit, A. N., Fontaine, F. & Vatsa, P. (2012). Fungicide impacts on photosynthesis in crop plants. *Photosynth Res*, 111, 315–326. <https://doi.org/10.1007/s11120-012-9719-8>
27. Mishra, G., Kumar, N., Giri, K. & Pandey, S. (2013). In vitro interaction between fungicides and beneficial plant growth promoting Rhizobacteria. *Africal journal of Agricultural Research*, 8(45), 5630–5633. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1526>
28. Tarnovskyi, M. H. & Yankovskyi, Ya. Yu. (2012). Optychni metody analizu fiziolohichnoho stanu roslyn dlia zadach silskoho hospodarstva ta ekolohichnoho monitorynhu [Optical methods of analysis of physiological condition of plants for problems of agriculture and ecological monitoring]. *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii*, 23(1), 127–130 [in Ukrainian].
29. Garcia, P. C., Rivero, R. M. & Ruiz, J. M. (2003). The role of fungicides in the physiology of higher plants: Implications for defense responses. *Bot. Rev*, 69, 162. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2003\)069\[0162:TROFIT\]2.0.CO](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2003)069[0162:TROFIT]2.0.CO)
30. Pryadkina, G. A., Shadchina, T. M., Stasik, O. O. & Kiriziy, D. A. (2015) *Fotosintez i produktivnost rasteniy* [Photosynthesis and plant productivity]. Kyiv: Logos [in Russian].

Received 10.09.2021