

<https://doi.org/10.15407/frg2022.03.233>

УДК 581.132:633.34:632.95

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ, ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ СОЄВО-РИЗОБІАЛЬНИХ СИСТЕМ ПРИ ЗАВЧАСНІЙ ОБРОБЦІ НАСІННЯ ФУНГІЦИДАМИ РІЗНОЇ ДІЇ

А.В. ЖЕМОЙДА, А.В. ХРАПОВА, С.В. ОМЕЛЬЧУК, С.К. БЕРЕГОВЕНКО,
О.Є. КОМІНАРЕЦЬ

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

Вивчення ефективності бобово-ризобіальних систем на фоні використання фунгіцидів дає змогу розглянути не тільки пряму дію протруйників на рослини чи азотфіксувальні мікроорганізми, а й розширює розуміння особливостей формування і функціонування складної взаємодії між макро- і мікросимбіонтами за екзогенних чинників впливу і, як наслідок, допомагає у розробці нових, ефективних елементів технології вирощування бобових культур. У вегетаційних умовах із ґрунтовою культурою ми дослідили особливості формування, функціонування та ефективність соєво-ризобіальних систем за завчасного (за 14 діб до посіву) протруювання насіння препаратами февер і стандак топ та інокуляції у день посіву бульбочковими бактеріями *Bradyrhizobium japonicum* PC08. Використовували мікробіологічні, фізіологічні та статистичні методи досліджень. З'ясовано, що застосування протруйників февер і стандак топ для обробки посівного матеріалу сприяло збільшенню висоти і вегетативної маси сої порівняно з контрольними рослинами або забезпечувало їх формування на рівні контрольних упродовж вегетаційного періоду. При цьому за впливу на рослини діючих речовин стандак топу фіксували істотніше підвищення досліджуваних показників, ніж у разі застосування феверу. Показано, що тільки у фазу бутонізації февер дещо пригнічував (на 32,3 %) формування кількості корневих бульбочок, однак не впливав на їхню масу. У фазі цвітіння й утворення бобів за використання фунгіцидів кількість і маса корневих бульбочок були на рівні контролю або перевищували його залежно від хімічного класу протруйника. Протягом онтогенезу рослин сої за завчасного (за 14 діб до посіву) використання фунгіцидів та інокуляції у день посіву *B. japonicum* PC08 встановлено ефективне функціонування симбіотичного апарату, що сприяло підвищенню зернової продуктивності рослин. За дії феверу і стандак топу врожай зерна сої був більшим порівняно з контрольними рослинами на 6,9 і 10,4 % відповідно. Отже, особливості дії фунгіцидів на формування, функціонування та ефективність соєво-ризобіальних систем визначаються стійкістю штаму до дії протруйника, умовами вирощування рослин, терміном обробки насіння, а також складом застосованого фунгіциду. Отримані нами результати підтвердили можливість використання аналітично селекціонованого фунгіцидостійкого штаму *B. japonicum* PC08 як біологічної основи бактеріальних добрив під сою для комплексного застосування у виробни-

Цитування: Жемойда А.В., Храпова А.В., Омельчук С.В., Береговенко С.К., Комінарець О.Є. Особливості формування, функціонування та ефективність соєво-ризобіальних систем при завчасній обробці насіння фунгіцидами різної дії. *Фізіологія рослин і генетика*. 2022. 54, № 3. С. 233–250. <https://doi.org/10.15407/frg2022.03.233>

чих умовах із препаратами февер і стандак топ за завчасного протруювання насіння (за 14 діб до посіву).

Ключові слова: *Glycine max* (L.) Merr, *Bradyrhizobium japonicum*, февер, стандак топ, бобово-ризобіальний симбіоз, азотфіксація, продуктивність.

На сьогодні одним із основних завдань і напрямів розвитку аграрного виробництва є пошук нових шляхів та способів підвищення врожайності й якості сільськогосподарської продукції. Важливу роль для біологічного землеробства відіграє симбіотична фіксація азоту бобовими рослинами, серед яких чільне місце за посівними площами в Україні посідає соя [1].

Фіксація бобовими культурами атмосферного азоту є потужним чинником підтримання родючості ґрунтів, економії азотних добрив, підтримання екологічної безпеки. Бобові рослини у симбіозі з ризобіями засвоюють 70—210 кг/га азоту щорічно, забезпечують у біологічний спосіб свої потреби в цьому елементі на 60—80 %. Обробка насіння біопрепаратами на основі високоактивних селекціонованих штамів специфічних бульбочкових бактерій підвищує азотфіксувальний потенціал бобово-ризобіального симбіозу на 15—50 % [2—4].

До основних чинників дії мікроорганізмів на рослини належать фіксація атмосферного азоту, оптимізація фосфорного живлення, стимулювання росту і розвитку рослин, пригнічення розвитку фітопатогенів, поліпшення живлення рослин, підвищення їхньої стійкості за стресових умов [5—7]. Використання інокулянтів, що містять сучасні високоєфективні культуроспецифічні штами ризобій із підвищеною життєздатністю у високих концентраціях, сприяє утворенню максимальної кількості бульбочок на кореневій системі рослин, впливає на перебіг фізіологічних і біохімічних процесів у рослинному організмі, мобілізує потенційні можливості, закладені в геномі природою і селекцією, сприяє підвищенню врожайності рослин, відтворенню родючості ґрунтів [8, 9]. Ефективність, екологічна безпечність, економічна доцільність, доступність і перспективність використання біологічних препаратів на основі бульбочкових бактерій забезпечують високу рентабельність і конкурентоспроможність рослинної продукції. Активна участь мікроорганізмів у накопиченні енергії й трансформації біогенних елементів підтримує життєдіяльність інших ланок біоценозу та функціонування екосистеми в цілому.

Отже, внаслідок симбіотичної азотфіксації бобові культури здатні формувати високі врожаї дешевого рослинного білка без застосування дорогих, енергоємних і екологічно небезпечних мінеральних азотних добрив [10].

Окрім цього у технологіях вирощування сільськогосподарських культур активно використовують хімічні засоби захисту рослин (ЗЗР) із фунгіцидною дією для ефективної боротьби з фітопатогенами [11]. Грибні, вірусні та бактеріальні хвороби не тільки кількісно знижують зернову продуктивність рослин, а й впливають на якість урожаю. Широке використання протруйників для обробки посівного матеріалу зумовлене їхніми відносно низькою вартістю, простотою використання та високою ефективністю. Застосування хімічних ЗЗР

ефективно обмежує розвиток збудників хвороб на початку вегетації та пригнічує їх у пізніші фази онтогенезу рослин [12, 13]. Більшість публікацій стосовно особливостей використання фунгіцидів у сільському господарстві присвячено висвітленню їхньої ефективності проти збудників хвороб грибної етіології [14]. Дослідники вивчають також дію протруйників на перебіг фізіолого-біохімічних процесів у рослинних клітинах [15–18]. У деяких працях зазначено, що фунгіциди можуть підвищувати захисну здатність самих рослин, а також сприяти їхній стійкості до різних чинників стресу [19]. Діючі речовини у складі протруйників поглинаються насінням і впливають на генерування супероксидних радикалів, чим і зумовлений їхній захисний ефект.

Застосування фунгіцидів на бобових культурах має певні особливості через здатність цих рослин до симбіозу з бульбочковими бактеріями. Актуальною залишається проблема необхідності поєднання процесів протруювання насіння та його інокуляції, оскільки фунгіциди можуть знижувати ефективність симбіозу бульбочкових бактерій з рослиною-хазяїном. Використання пестицидів як фізіологічно активних сполук зумовлює їхню негативну дію на симбіотичні відносини партнерів симбіозу, що призводить до зменшення частки біологічного азоту в урожаї [20–23]. Похідні сечовини (лінурон) і триазин (атразин, прометрин) блокують транспорт електронів при фотосинтезі та посилюють поглинання рослинами нітратного азоту, похідні феноксикислот (2,4-Д, 2М4Х) знижують вірулентність азотфіксувальних мікроорганізмів, а похідні ароматичних амінів (трефлан), діазину (базагран) інгібують активність нітрогенази [24]. Фунгіциди прямо чи опосередковано можуть впливати на фотосинтетичний апарат рослин, а оскільки енергетично процес фіксації азоту в симбіотичній системі забезпечується фотосинтезом, то може змінюватись і активність азотфіксації [25–27]. Ефект впливу хімічних ЗЗР на симбіоз визначається резистентністю вищих рослин, а також штамом бульбочкових бактерій. Стійкість ризобій до пестицидів надає їм переваг серед інших мікроорганізмів у природних умовах за наявності у ґрунті решток гербіцидів чи інших ксенобіотиків. Одним із механізмів стійкості до пестицидів для бульбочкових бактерій є їхня здатність до детрукції цих сполук до рівня нетоксичних [24].

На сьогодні існує величезна кількість системних і контактних фунгіцидів, які містять речовини різних хімічних класів: триазоли, стробілурини, фенілпіразоли, бензімідазоли, металаксил, феноли та ін. Характер впливу препаратів захисної дії залежить від хімічної природи речовин — ступеня токсичності окремих сполук, які входять до їхнього складу, від їх комбінації, а також від концентрації, норми, способу й терміну застосування препаратів [28–30]. Широке використання сумішевих фунгіцидів зумовлене поєднанням кількох діючих речовин різних класів, що розширює спектр їхнього впливу, посилює захисну дію, запобігає виникненню резистентних штамів, дає змогу використати можливості синергізму [12, 14].

Серед сучасних засобів захисту рослин від фітопатогенів для сої рекомендують використовувати февер і стандак топ. Февер — протруйник контактної-системної дії для захисту сої та кукурудзи від ши-

рокого комплексу хвороб. Поєднує ліпші фунгіцидні властивості протруйника з рiстрегулювальним ефектом. Він містить у своєму складі діючу речовину протіоконазол із нового підкласу триазолінтіонів із тривалою захисною, лікувальною та фунгіцидною дією. Вплив протіоконазолу полягає в інгібуванні диметилази — ферменту, який відповідає за біосинтез стеролів (будівельний матеріал клітин патогену), що порушує цілісність клітинних стінок грибів і призводить до їх загибелі. При застосуванні препарату на сої рослина добре формує корені, що дуже важливо, оскільки сприяє оптимальному вологозабезпеченню в посушливі роки і поліпшенню засвоєння елементів живлення, особливо азоту. Обробка февером знищує інфекцію на поверхні насіння, а також унаслідок своєї системності оздоровлює рослину, контролює приховану інфекцію.

Стандак топ — інноваційний протруйник для контролю основних захворювань сої, який поєднує в собі фунгіцидну та інсектицидну дію, впливає на фізіологічні процеси в рослинах. Діючі речовини — фіпроніл, тіофанатметил, піраклостробін. Виробники зазначають, що стандак топ сприяє кращому укоріненню рослин у ґрунті через пришвидшені ріст і розвиток кореневої системи, збільшення асиміляційної поверхні і, як наслідок, максимальне розкриття біологічного потенціалу культури.

Оскільки однією з необхідних складових технології вирощування сої є не тільки захист рослин від фітопатогенів, а й забезпечення оптимальних умов для формування та функціонування симбіотичних систем, важливим є ґрунтовний підхід до можливості поєднання процесів протруювання насіння та його бактеризації.

Зважаючи на зазначене, актуальним залишається питання щодо вивчення особливостей формування та функціонування бобово-ризобіального симбіозу за умов завчасного протруювання насіння фунгіцидами різних класів — февером і стандак топом та інокуляції стійким до фунгіцидів штамом PC08 *Bradyrhizobium japonicum* для збереження високої інтенсивності асиміляції N₂ і підвищення продуктивності рослин сої.

Метою нашого дослідження було вивчення особливостей формування, функціонування та ефективності соєво-ризобіальних систем у ґрунтовій культурі за завчасного (за 14 діб до посіву) протруювання насіння фунгіцидами февер і стандак топ.

Методика

Об'єктом дослідження були соєво-ризобіальні системи, утворені рослинами сої (*Glycine max* (L.) Merr.) ранньостиглого сорту Алмаз вітчизняної селекції з бактеріями *Bradyrhizobium japonicum* PC08 на фоні завчасного протруєння насіння фунгіцидами февер і стандак топ.

Сорт Алмаз отриманий методом гібридизації сортів Бельці 3/86-х та Fiskebv-840-5-3. Із 2007 р. занесений до Реєстру сортів рослин України, патент № 07105. Власниками патенту є Полтавська державна аграрна академія та Л.Г. Білявська. Сорт зернового типу використання, ранньостиглий, холодостійкий, посухостійкий,

стійкий до хвороб, має стабільний вегетаційний період тривалістю 100–105 діб [31].

Бульбочкові бактерії *Bradyrhizobium japonicum* PC08 із колекції штамів симбіотичних і асоціативних азотфіксувальних мікроорганізмів Інституту фізіології рослин і генетики НАН України (ІФРГ НАН України), що за результатами лабораторного тестування є стійкими в чистій культурі до впливу виробничої та подвійної виробничої норм протруйників февер і стандак топ [32]. Культури азотфіксувальних мікроорганізмів вирощували за 28 °С 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; дистильована вода — 1 л; рН 6,8–7,0 протягом 10 діб, змивали культуру стерильною водою, перемішували до однорідної суспензії і визначали кількість життєздатних (колонієутворювальних одиниць) бактерій класичним мікробіологічним методом розбавлянь та висіву на поживне середовище з наступним підрахунком колоній. Титр бактерій у суспензії становив 10^9 кл/мл.

У дослідах використовували фунгіциди з діючими речовинами різних хімічних класів: февер 300 FS, ТН — фунгіцид контактно-системної дії («Bayer Crop Science AG», Німеччина) з активною речовиною протіоконазол (300 г/л) із нового підкласу триазолінтіонів. Стандак топ («BASF», Німеччина) — протруйник з діючими речовинами фіпроніл (250 г/л, клас фенілпіразоли) + тіофанатметил (225 г/л, клас бензімідазоли) + піраклостробін (25 г/л, клас стробілуринів).

Насіння сої протруювали за 14 діб до посіву виробничими нормами феверу (0,3 л/т) і стандак топу (1,5 л/т). Інокулювали насіння бактеріальною суспензією протягом 1 год у день посіву.

Рослини вирощували на вегетаційному майданчику ІФРГ НАН України у 8-кілограмових посудинах Вагнера по 20 насінин у кожній посудині. Як субстрат застосовували ґрунтову суміш (дерново-підзолистий ґрунт : пісок — 3 : 1). Джерелом мінерального живлення для рослин слугувала поживна суміш Гельригеля, збіднена на азот (0,25 норми).

Схема досліду:

- 1) контроль (інокуляція насіння *B. japonicum* PC08 у день посіву);
- 2) февер (протруювання насіння февером за 14 діб до посіву + інокуляція насіння *B. japonicum* PC08 у день посіву);
- 3) стандак топ (протруювання насіння стандак топом за 14 діб до посіву + інокуляція насіння *B. japonicum* PC08 у день посіву).

Використовували мікробіологічні, фізіологічні та статистичні методи досліджень. Рослинний матеріал відбирали у фази бутонізації, цвітіння та утворення бобів.

Протягом вегетації рослин сої визначали накопичення вегетативної маси (надземної частини і кореня, г), ростові процеси (висота надземної частини, см), формування (за кількістю (штук) та масою (мг) кореневих бульбочок/рослину) і функціонування соєво-ризобіального симбіозу (фактична і питома азотфіксувальна активність), зернову продуктивність рослин.

Азотфіксувальну активність (АФА) визначали ацетиленовим методом за Hardy [33] на газовому хроматографі Agilent GC System 6850 (США). Кількість етилену, що утворився з ацетилену за 1 год інкубації за дії нітрогенази інкубованого зразка виражали в молярних одиницях утвореного етилену на 1 рослину за 1 год: мкмоль C_2H_4 /(рослину · год) — фактична нітрогеназна активність симбіозу; мкмоль C_2H_4 /(г бульбочок · год) — питома нітрогеназна активність симбіозу. Продуктивність сої оцінювали у фазу повної стиглості за урожаєм зерна з посудини, який обліковували ручним збиранням із наступним його зважуванням, а також визначали структуру врожаю. Повторність у варіантах досліду восьмиразова.

У таблицях наведено середньоарифметичні значення та їхні стандартні похибки ($x \pm SE$). Вірогідність відмінностей між вибірками оцінювали методом однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA), де відмінності вважали значущими за $p < 0,05$ (з поправкою Бонферроні).

Результати та обговорення

Ростові процеси рослин характеризуються наростанням листової поверхні, динамікою збільшення висоти стебла, накопиченням маси кореня та надземної маси. Від їхнього розвитку залежить запас пластичних речовин, необхідних для утворення репродуктивних органів і формування врожаю. Тому вивчення процесів росту і розвитку рослин сої в онтогенезі дає більше інформації щодо здатності організму до саморегуляції за впливу несприятливих чинників навколишнього середовища й відображає особливості формування продуктивності сільськогосподарських культур.

Протягом вегетаційного періоду рослин сої, особливо в такі важливі фази розвитку, як бутонізація, цвітіння й утворення бобів, під час дослідження впливу протруйників на формування висоти рослин сої та її вегетативної маси було з'ясовано, що обрані нами фунгіциди дещо змінюють ці показники порівняно з контрольними рослинами, де насіння тільки інокулювали ризобіями. Певну відмінність встановлено і між дослідними рослинами за використання фунгіцидів різних хімічних класів (табл. 1).

У фазу бутонізації висота рослин сої за використання феверу і стандак топу була більшою порівняно з контрольними рослинами на 12,4 і 30,9 % відповідно. При цьому висота дослідних рослин сої за обробки насіння стандак топом була на 16,4 % більшою ніж за обробки февером. Надземна маса за дії феверу не відрізнялася від маси рослин, де насіння тільки інокулювали, однак за впливу стандак топу цей показник перевищував контрольний на 13,6 %. Маса коренів сої за обробки насіння фунгіцидами була на рівні контрольних рослин незалежно від хімічного класу протруйника (див. табл. 1).

У наступну фазу (цвітіння) висота рослин сої і надземна маса залишались в межах значення контрольних рослин незалежно від виду протруйника, яким обробляли насіння. Маса коренів за дії феверу була на рівні контрольних рослин. За використання стандак топу маса коренів сої збільшилась на 34,6 % порівняно з контрольними

ТАБЛИЦЯ 1. Вплив протруєння насіння фунгіцидами на висоту рослин і формування вегетативної маси сої сорту Алмаз на фоні інюкуляції *Vesicularisobium japonicum* PC08 ($\bar{x} \pm SE$, $n = 8$)

Варіант	Фаза розвитку рослин						Утворення бобів		
	Бутонізація		Цвітіння		Висота, см	Маса коренів, г	Надземна маса, г	Маса коренів, г	
	Висота, см	Надземна маса, г	Висота, см	Надземна маса, г					
Контроль	23,3±0,06 ^с	4,94±0,18 ^а	2,12±0,39 ^а	38,8±1,70 ^а	9,01±1,07 ^а	3,55±0,25 ^а	55,7±3,60 ^а	15,45±0,93 ^а	4,05±0,44 ^с
Февер	26,2±0,70 ^б	5,13±0,29 ^{а^б}	2,23±0,21 ^а	40,5±1,40 ^а	10,19±0,41 ^а	3,90±0,33 ^а	63,2±1,80 ^б	17,76±1,39 ^{а^б}	5,21±0,44 ^б
Стандак топ	30,5±0,70 ^с	5,61±0,27 ^б	2,14±0,08 ^а	40,8±1,10 ^а	10,43±0,58 ^а	4,78±0,39 ^б	65,8±0,60 ^с	19,21±1,48 ^б	5,91±0,35 ^б

Примітка: Тут і табл. 2—4: різні літери верхніх індексів ^{а, б, с} у таблиці вказують значення, які істотно відрізняються один від одного у межах одного стовпчика, у відповідну фазу розвитку сої внаслідок порівняння за допомогою тесту Тукі ($p < 0,05$) з поправкою Бонферроні.

рослинами і на 22,6 % щодо рослин із використанням февєру (див. табл. 1).

У фазу утворення бобів так само, як і у фазу бутонізації, висота рослин сої, насіння якої обробляли фунгіцидами, була більшою, ніж у рослин, де протруєники не використовували. При цьому досліджуваний показник зростав на 13,5 і 18,1 % за впливу февєру і стандак топу відповідно. Варто зазначити, що висота рослин за використання стандак топу була більшою на 4,1 % відносно рослин, насіння яких обробляли февєром. Надземна маса сої за дії февєру була на рівні контрольних рослин, за дії стандак топу — більшою на 24,3 %. Однак істотної різниці між дослідними рослинами не зафіксовано, оскільки показники були в межах похибки. Встановлено, що застосування протруєників позитивно впливало на масу коренів рослин сої. Порівняно з контрольними рослинами дія февєру збільшувала її на 28,6, а стандак топу — на 45,9 %, при цьому вірогідної різниці між дослідними рослинами не вивлено (див. табл. 1).

Отже, застосування протруєників февєру і стандак топ сприяло збільшенню висоти і вегетативної маси сої протягом вегетаційного періоду порівняно з контрольними рослинами або забезпечувало формування цих показників на рівні контрольних. При цьому стимулювальний вплив стандак топу на ріст рослин був сильнішим, ніж февєру.

Ми припустили, що позитивний вплив залучених у роботу протруєників на формування вегетативної маси сої зумовлений захистом рослин від хвороб унаслідок зменшення чисельності патогенних агентів на насінні, а також пов'язаний із властивостями діючих речовин, що входять до складу препаратів. Зокрема, піраклостробін (один зі складових стандак топу), який, як зазначено у літературі, впливає на фізіологічні процеси у рослинах, сповільнює старіння, підвищує стресостійкість та фотосинтетичну активність, сприяє

засвоєнню рослинами ґрунтового азоту [34]. Відомо, що піраклостробін позитивно впливає на кількість проліферуючих клітин в апікальних меристемах пагонів сої, помітно підвищує мітотичний індекс і тим самим пришвидшує ростові процеси у рослин [35], активує фотосинтез у листках пшениці, гальмує процес старіння листків через збільшення вмісту хлорофілу. В інших працях зазначено, що піраклостробін підвищує поглинання, відновлення та засвоєння нітратів, регулює рівень фітогормонів для подолання стресу, пом'якшує окиснювальний стрес рослин, і, як наслідок, сприяє формуванню високої врожайності культур [19]. Певні позитивні ефекти, що підтверджували вплив цієї речовини на фізіологічні процеси у рослин сої, відзначали і ми у своїх дослідженнях. Стандак топ, до складу якого входить піраклостробін, сильніше сприяв росту рослин та збільшенню вегетативної маси порівняно з февером.

У складі феверу міститься протіоконазол із класу триазолів. У свою чергу, триазоли характеризуються позитивним фізіолого-морфологічним впливом на рослини, чинять рістрегулювальну дію, сприяють формуванню потужних сходів, розвитку кореневої системи, збільшенню товщини пагонів тощо. Однак потрібно зважати на те, що за дії несприятливих чинників, таких як перезволоження ґрунту, нестача вологи, низькі польова схожість насіння та енергія проростання, азоли можуть чинити ретардантну дію [36, 37].

Со́я як бобова рослина формує підвищений урожай здебільшого внаслідок ефективного функціонування бобово-ризобіального симбіозу [2, 3]. На коренях у результаті симбіозу рослин із ризобіями формуються кореневі бульбочки, в яких функціонує ферментний комплекс нітрогенази і фіксується азот. Високі темпи азотфіксації в період репродуктивної фази підтримуються внаслідок збільшення кількості бульбочок й пізніше посилюються в процесі збільшення їхньої маси [7].

Хімічні засоби захисту рослин, у тому числі фунгіциди, значно знижують ефективність симбіозу бульбочкових бактерій із рослиноу-хазяїном. У багатьох дослідженнях показано, що фунгіциди різних класів чинять токсичний вплив на формування бобово-ризобіального симбіозу. Getachew, Abeble [38] вказували на різке зменшення утворення корневих бульбочок, а також зниження урожайності соєвих бобів унаслідок комбінованого впливу препаратів манкоцеб + ридоміл на життєздатність штамів SB-14 і SB-12. Campo et al. [39], вивчивши сумісність обробки насіння фунгіцидами каптан, тирам, беноміл та деякими іншими з наступною інокуляцією високоактивними штамми ризобій, спостерігав загибель 62 % бактерій усього через 2 год після початку експерименту і 95 % через 24 год. Mishra et al. [40] встановили високу чутливість бактерій *B. japonicum* до фунгіциду вітавакс. Виявлено, що тирам у концентрації від 10 до 100 мкг/мл сприяє підвищенню нітрогеназної активності бобово-ризобіального симбіозу, а подальше збільшення концентрації інгібує азотфіксацію. Раніше, в умовах модельного вегетаційного дослідження, де субстратом слугував промитий річковий пісок, а насіння обробляли фунгіцидами та інокулювали в день посіву, ми встановили, що фунгіциди значно при-

гнічують процеси нодуляції, азотфіксувальну активність кореневих бульбочок, інтенсивність фотосинтезу і транспірацію листків [41, 42].

Проведений аналіз формування бобово-ризобіального симбіозу у вегетаційних умовах на ґрунтово-піщаній культурі за завчасного застосування використаних нами фунгіцидів та інокуляції насіння фунгіцидостійким штамом *B. japonicum* PC08 у день посіву показав, що рослини сої в перші фази розвитку чутливіші до дії протруйників, а ступінь їхньої реакції залежить від хімічних особливостей фунгіцидів і здатності рослин адаптуватися до дії цього хімічного чинника.

У результаті досліджень встановлено, що у фазу бутонізації кількість утворених корневих бульбочок за дії феверу була меншою на 32,3 % щодо контрольних рослин, а за дії стандак топу — на їхньому рівні. Маса корневих бульбочок сої за обробки посівного матеріалу протруйниками залишалася у межах контролю (табл. 2). Надалі, у фазу цвітіння, за обробки насіння сої фунгіцидами, як кількість, так і маса корневих бульбочок були більшими порівняно з контрольними рослинами без значної різниці з дослідними рослинами: кількість бульбочок за дії феверу була на 32 % більшою за контрольну, маса — на 30 %, а за впливу стандак топу — на 50 і 36,4 % відповідно. У фазу утворення бобів февер сприяв формуванню кількості корневих бульбочок на рівні контрольних рослин, а їхня маса була більшою на 20,4 %. Застосування стандак топу забезпечувало збільшення кількості та маси бульбочок відповідно на 22,6 і 25,5 % щодо контрольних рослин. При цьому маса корневих бульбочок також була більшою на 4,3 % порівняно з рослинами, насіння яких оброблено февером (див. табл. 2).

Отже, встановлено, що тільки у фазу бутонізації февер дещо пригнічував формування кількості корневих бульбочок, однак не впливав на їхню масу. В наступні фази онтогенезу за використання фунгіцидів рослини формували кількість і масу корневих бульбочок більші, ніж у контрольних рослин, або на їх рівні залежно від хімічного класу протруйника. Стандак топ чинив більш виражений позитивний ефект на формування симбіотичного апарату порівняно з февером.

Функціонування бобово-ризобіального симбіозу сої було достатньо ефективним в умовах вегетаційного дослідження на ґрунтово-піщано-

ТАБЛИЦЯ 2. Вплив протруювання насіння фунгіцидами на формування кількості та маси бульбочок за інокуляції *Bradyrhizobium japonicum* PC08 ($\bar{x} \pm SE$, $n = 8$)

Варіант	Фаза розвитку рослин					
	Бутонізація		Цвітіння		Утворення бобів	
	кількість, шт/рослину	маса, мг/рослину	кількість, шт/рослину	маса, мг/рослину	кількість, шт/рослину	маса, мг/рослину
Контроль	15,5±2,9 ^b	56,74±6,17 ^a	17,8±2,3 ^a	291,14±29,15 ^a	27,9±1,4 ^a	980,3±16,0 ^a
Февер	10,5±1,4 ^a	60,03±7,87 ^a	23,5±2,7 ^b	378,58±32,52 ^b	31,0 ±1,9 ^{ab}	1180,0±16,0 ^b
Стандак топ	16,8±2,7 ^b	70,05±7,63 ^a	26,7±1,3 ^b	397,27±37,62 ^b	34,2±1,3 ^b	1230,2±15,0 ^c

му субстраті за інокуляції *Bradyrhizobium japonicum* PC08 та обробки фунгіцидами февер і стандак топ за 14 діб до посіву (табл. 3).

Показано, що за дії феверу у фазу бутонізації як фактична, так і питома нітрогеназна активність рослин сої була на рівні контрольних рослин. Стандак топ забезпечував її збільшення на 37 і 11 % відповідно. При цьому фактична азотфіксувальна активність була на 38,7 % вищою порівняно з рослинами, насіння яких обробляли февером.

У фазу цвітіння інтенсивність асиміляції N_2 симбіотичними системами, сформованими на фоні застосування протруйників, була вищою порівняно з контрольними рослинами, насіння яких інокулювали без попередньої обробки хімічними ЗЗР. За дії феверу фактична АФА була вищою за показники контрольних рослин на 38,9, питома — на 8,6 %, за дії стандак топу — на 55,4 і 15,9 % відповідно. Активність фіксації азоту при застосуванні стандак топу була вищою, ніж за обробки насіння февером: фактична — на 11,9, питома — на 15,9 %.

У фазу утворення бобів також відмічено високий рівень фіксації азоту за дії фунгіцидів. Февер підвищував фактичну нітрогеназну активність на 25,8 %, а питома була на рівні контрольних рослин. Стандак топ підвищував її на 35,5 і на 8 % відповідно. Фактична АФА також була вищою за дії стандак топу на 7,7 % порівняно з рослинами, насіння яких оброблене февером (див. табл. 3).

Отже, протягом онтогенезу рослин сої встановлено ефективне функціонування симбіотичного апарату на фоні завчасного (за 14 діб до посіву) використання фунгіцидів різних класів порівняно з контрольними рослинами. Слід зазначити, що азотфіксувальна активність за дії стандак топу була вищою, ніж за дії феверу.

Під час симбіотичного процесу фунгіциди можуть інгібувати флавоноїдний *NodD* рецептор, а також експресію генів бульбочкоутворення [43]. Інший шлях, яким хімічні ЗЗР опосередковано пригнічують життєдіяльність азотфіксувальних мікроорганізмів — це сповільнення синтезу фітогормонів і сидерофорів [44]. Одним із механізмів негативного впливу фунгіцидів на бобово-ризобіальний симбіоз також є інгібування продукування рослинами фітоестрогенів, які

ТАБЛИЦЯ 3. Фактична і питома азотфіксувальні активності (АФА) корневих бульбочок сої сорту Алмаз за завчасної обробки насіння фунгіцидами та інокуляції *Bradyrhizobium japonicum* PC08 ($x \pm SE$, $n = 4$)

Варіант	Фаза розвитку рослин					
	Бутонізація		Цвітіння		Утворення бобів	
	Фактична АФА	Питома АФА	Фактична АФА	Питома АФА	Фактична АФА	Питома АФА
	мкмоль C_2H_4					
рослину • год	г бульбочок • год	рослину • год	г бульбочок • год	рослину • год	г бульбочок • год	
Контроль	1,038±0,289 ^a	18,290±1,068 ^a	10,388±1,655 ^a	35,078±1,920 ^a	29,050±1,434 ^a	29,630±1,085 ^a
Февер	1,025±0,139 ^a	18,060±2,084 ^{ab}	14,426±0,599 ^b	38,106±0,934 ^b	36,538±1,062 ^b	30,964±1,577 ^{ab}
Стандак топ	1,422±0,080 ^b	20,300±0,860 ^b	16,146±0,885 ^c	40,642±0,605 ^c	39,353±1,326 ^c	31,990±0,305 ^b

є атрактантами для ризобій, що важливо для «притягнення» бактерій до макросимбіонта. У попередніх наших дослідженнях за інокуляції *Bradyrhizobium japonicum* 6346 та обробки насіння фунгіцидами у день посіву при вирощуванні рослин у модельних умовах на піщаному субстраті було підтверджено значний інгібувальний вплив протруйників як на процес формування, так і на функціонування бобово-ризобіального симбіозу. Цей вплив сильніше виявлявся у початковій фазі розвитку рослин сої до фази бутонізації, а в окремих випадках навіть до фази цвітіння, з подальшим поступовим його зменшенням. Завчасна, за два тижні до посіву, обробка насіння менш токсична для симбіотичного апарату сої порівняно з протруюванням сумісно з інокуляцією в день посіву. Показано, що передпосівна обробка посівного матеріалу препаратами фунгіцидної дії може призвести до зменшення піка азотфіксувальної активності в пізніші фази онтогенезу (утворення бобів) [42]. Зменшення токсичного впливу фунгіцидів з наростанням біомаси рослини пов'язували з часом піврозпаду хімічних сполук, а також активізацією захисних систем рослини проти дії ксенобіотика.

У результаті вирощування рослин у модельному досліді з піщаним субстратом без впливу інших чинників чітко визначено вплив хімічних засобів захисту рослин фунгіцидної дії на формування і функціонування бобово-ризобіального симбіозу з урахуванням різних термінів обробки насіння протруйниками. Ми дослідили також рівень реалізації симбіотичного потенціалу соєво-ризобіальних систем, утворених аналітично селекціонованими фунгіцидостійкими штамми *B. japonicum* 6346 (стандарт) і *B. japonicum* PC08, на фоні протруєння насіння за 7 діб до посіву у вегетаційних умовах із ґрунтовою культурою [45]. Встановлено, що за завчасної обробки насіння сої протруйник стандак топ пригнічував у першу половину вегетації рослин (включно до фази початку цвітіння) процеси формування і функціонування симбіотичних систем, утворених фунгіцидостійкими штамми *B. japonicum* 6346 і PC08. При цьому інтенсивність азотфіксації симбіотичних систем, утворених за участю обох штамів ризобій, зменшувалась на 30–32 %. У фазу утворення бобів реалізація симбіотичного потенціалу соєво-ризобіальних систем, утворених обома штамми, на фоні дії протруйника стабілізувалася до рівня контрольних рослин (без протруєння насіння). Симбіотична система соя—*B. japonicum* PC08 на фоні дії протруйника за оцінкою реалізації симбіотичного і продуктивного потенціалів виявилася ефективнішою, ніж система соя—*B. japonicum* 6346 [45].

За використання ґрунтової культури для вирощування рослин і обробки насіння фунгіцидами за 14 діб до посіву та бактеризації *B. japonicum* PC08 у день посіву ми зафіксували ефективне функціонування бобово-ризобіального симбіозу. За протруєння посівного матеріалу февером і стандак топом спостерігали посилення азотфіксувальної активності порівняно з рослинами, де насіння тільки інокулювали бульбочковими бактеріями. Ми припускаємо, що цьому сприяли як період піврозпаду хімічних сполук, активізація захисних систем рослини проти дії стресового чинника, захист від фітопатогенів, використання фунгіцидостійкого штаму бульбочкових бактерій,

ТАБЛИЦЯ 4. Структура врожаю сої сорту Алмаз, інокуюваної *Bradyrhizobium japonicum* PC08, за обробки фунгіцидами ($\bar{x} \pm SE$, $n = 8$)

Варіант	Кількість, шт.	Маса, г	Маса насінин/посудину, г	Маса сухої речовини рослини, г	Маса 1000 насінин, г
	насінин/рослину				
Контроль	23,9±1,9 ^a	4,61±0,17 ^a	27,66±1,25 ^a	8,23±0,32 ^a	195,73±4,65 ^a
Февер	23,7±0,9 ^a	4,93±0,08 ^b	29,58±0,58 ^b	8,80±0,29 ^a	196,63±3,84 ^a
Стандак топ	25,1±0,9 ^a	5,09±0,05 ^c	30,54±1,21 ^b	8,44±0,39 ^a	194,90±3,53 ^a

а також пом'якшення токсичного впливу протруйників унаслідок перебігу обмінних процесів у ґрунті та діяльність вільноіснуючої мікрофлори ризосфери.

Проаналізувавши структуру врожаю, ми встановили, що за дії феверу і стандак топу кількість насінин на рослину, маса сухої речовини і маса 1000 зернин були на рівні контрольних рослин. При цьому маса насінин на рослину і маса насінин на одну посудину за дії феверу були на 6,9 %, а за дії стандак топу — на 10,4 % більшими щодо контрольних рослин (табл. 4).

Отже, встановлено, що февер і стандак топ за обробки насіння сої за 14 діб до посіву при вирощуванні у вегетаційних умовах із ґрунтовою культурою сприяють ефективному формуванню і функціонуванню бобово-ризобіального симбіозу й позитивно впливають на саму рослину (висота рослин, накопичення вегетативної маси), що дає змогу сформувати вищий урожай зерна сої, ніж у контрольному варіанті, за обробки февером — на 6,9, а за обробки стандак топом — на 10,4 %. Таким чином, особливості дії фунгіцидів на формування, функціонування та ефективність соєво-ризобіальних систем у кожному окремому випадку визначаються штамом бульбочкових бактерій, умовами вирощування рослин, а також хімічним складом застосованого пестициду. Встановлені фізіологічні зміни в рослинному організмі за передпосівної обробки насіння фунгіцидними препаратами необхідно враховувати при вирощуванні сої за інтенсивною технологією з використанням широкоживаних протруйників та інокуляції для забезпечення ефективного функціонування симбіотичних систем і максимальної реалізації генетичного потенціалу бобових культур.

Отримані нами результати підтвердили можливість використання аналітично селекціонованого фунгіцидостійкого штаму *B. japonicum* PC08 як біологічної основи бактеріальних добрив під сою для комплексного застосування у виробничих умовах із фунгіцидами февер і стандак топ при завчасному протруюванні насіння (за 14 діб до посіву).

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Ільків Л.А., Степанисько Я.В. Економічні аспекти виробництва сої в Україні. *Colloquium-journal*. 2021. 33, № 120. С. 6—8. <https://doi.org/10.24412/2520-6990-2021-33120-6-8>
2. Вишнівський П.С., Фурман О.В. Продуктивність сої залежно від елементів технології вирощування в умовах правобережного Лісостепу України. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2020. 11, № 1. С. 13—22. <https://doi.org/10.31548/agr2020.01.013>

3. Коць С.Я., Пухтаєвич П.П. Інокуляція насіння сої: чим, як і коли. *Пропозиція. Біопрепарати у захисті насіння та рослин*. 2019. 2. С. 14–17.
4. Мазур В.А., Гончарук І.В., Дідур І.М., Панцирева Г.В., Телекало Н.В., Купчук І.М. Інноваційні аспекти технологій вирощування, зберігання і переробки зернобобових культур. Вінниця: Нілан-ЛТД, 2021. 180 с.
5. Saha A., Mandal S. Nutritional benefit of soybean and its advancement in research. *Sustainable Food Production*. 2019. 5. P. 6–16. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/SFP.5.6>
6. Коць С.Я. Біологічна фіксація азоту: досягнення та перспективи розвитку. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. 53, № 2. С. 128–159. <https://doi.org/10.15407/fg2021.02.128>
7. 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-ризобиальный симбиоз. В 4 т. Киев: Логос, 2011. Т. 2. 523 с.
8. Ciampitti I.A., Salvagiotti F. New insights into soybean biological nitrogen fixation. *Agronomy Journal*, 2018. 110, N 4. P. 1185–1196. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.06.0348>
9. Khan M.N., Ijaz M., Ali Q., Ul-Allah S., Sattar A., Ahmad S. Biological Nitrogen Fixation in Nutrient Management. In: Hasanuzzaman M. (eds). *Agronomic Crops*. 2019. 2. P. 127–147. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9783-8_8
10. Чехова І.В. Формування та розвиток ринку олійних культур: теорія, методологія, практика: монографія. Київ: Аграрна наука, 2021. 144 с.
11. Haq I.U., Sarwar M.K., Faraz A., Latif M.Z. Synthetic chemicals: Major component of plant disease management. *Plant disease management strategies for sustainable agriculture through traditional and modern approaches*. 2020. 13. P. 53–81. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35955-3_4
12. Baibakova E.V., Nefedjeva E.E., Suska-Malawska M., Wilk M., Sevriukova G.A., Zheltobriukhov V.F. Modern fungicides: mechanisms of action, fungal resistance and phytotoxic effects. *Annual Research and Review in Biology*. 2019. 32, N 3. P. 1–16. <https://doi.org/10.9734/arrb/2019/v32i330083>
13. Писаренко В.М., Пішालенко М.А., Поспелова Г.Д., Горб О.О., Коваленко Н.П., Шерстюк О.Л. Інтегрований захист рослин. Полтава, 2020. 245 с.
14. 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.
15. Gorshkov A.P., Tsyganova A.V., Vorobiev M.G., Tsyganov V.E. The fungicide tetramethylthiuram disulfide negatively affects plant cell walls, infection thread walls, and symbiosomes in pea (*Pisum sativum* L.) symbiotic nodules. *Plants*. 2020. 9, N 11. P. 1488. <https://doi.org/10.3390/plants9111488>
16. Swoboda C., Pedersen P. Effect of fungicide on soybean growth and yield. *Agronomy Journal*. 2009. 101. P. 352–356. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0150>
17. Junior L.D.B., Ferrari J.L., Dario G., Triboni Y.D.B., Raetano C.G. Physiological potential and initial development of soybean plants as a function of seed treatment. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*. 2019. 49. P. 1–6. <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v49i55076>
18. Mamenko T., Kots S., Patyka V. Realization of protective and symbiotic properties of soybeans using fungicide seed treatment. *Agricultural Science and Practice*. 2021. 8, N 2. P. 24–36. <https://doi.org/10.15407/agrisp8.02.024>
19. Kanungo M., Joshi J. Impact of Pyraclostrobin (F-500) on crop plants. *Plant Science Today*. 2014. 1, N 3. P. 174–178 <https://doi.org/10.14719/pst.2014.1.3.60>
20. Sartori F.F., Pimpinato R.F., Tornisiolo V.L., Engroff T.D., Jaccoud-Filho D.S., Menten J.O., Dorrance A.E., Dourado-Neto D. Soybean seed treatment: how do fungicides translocate in plants? *Pest management science*. 2020. 76, N 7. P. 2355–2359. <https://doi.org/10.1002/ps.5771>
21. Мостов'як І.І., Кравченко О.В. Симбіотичний апарат сої на фоні використання різних видів фунгіцидів та мікробного препарату. *Таврійський науковий вісник*. 2019. 108. С. 72–77. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.108.10>
22. Araujo R.S., Cruz S.P.D., Souchie E.L., Martin T.N., Nakatani A.S., Nogueira M.A., Hungria M. Preinoculation of soybean seeds treated with agrichemicals up to 30 days

- before sowing: Technological innovation for large-scale agriculture. *International Journal of Microbiology*. 2017. **5914786**. P. 10–12. <https://doi.org/10.1155/2017/5914786>
23. Rodrigues T.F., Bender F.R., Sanzovo A.W.S., Ferreira E., Nogueira M.A., Hungria M. Impact of pesticides in properties of *Bradyrhizobium* spp. and in the symbiotic performance with soybean. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2020. **36**, N 11. P. 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02949-5>
 24. Алексеев О.О. Вплив екологічних факторів на розвиток і продуктивність бобово-ризобіального симбіозу. *Сільське господарство та лісівництво. Екологія та охорона навколишнього середовища*. 2016. **4**. С. 187–196.
 25. Amaro A.C.E., Baron D., Ono E.O., Rodrigues J.D. Physiological effects of strobilurin and carboxamides on plants: an overview. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2020. **42**, N 4. <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2991-x>
 26. 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>
 27. 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**, N 12. P. 1191–1200. <https://doi.org/10.1002/ps.1443>
 28. Lamichhane J.R., You M.P., Laudinot V., Barbetti M.J., Aubertot J. Revisiting sustainability of fungicide seed treatments for field crops. *Plant Disease*. 2020. **104**, N 3. P. 610–623. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-19-1157-FE>
 29. Shahid M., Khan M.S., Zaidi A. Fungicide toxicity to legumes and its microbial remediation: A current perspective. *Pesticides in Crop Production: Physiological and Biochemical Action*. 2020. **213496167**. P. 15–33. <https://doi.org/10.1002/9781119432241.ch2>
 30. Carvalho E.R., Rocha D.K., Andrade D.B.D., Pires R.M.D.O., Penido A.C., Reis L.V. Phytotoxicity in soybean seeds treated with phytosanitary products at different application times. *Journal of Seed Science*. 2020. **42**, N e202042036. P. 1–12. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v42237847>
 31. Biliavska L.H., Prysiazniuk O.I. A model of early-maturing soybean variety. *Novitni agrotehnologii*. 2018. **6**. P. 1–15 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.21498/na.6.2018.165365>
 32. Воробей Н.А., Кукол К.П., Коць С.Я. Оцінка токсичності впливу фунгіцидів на бульбочкові бактерії *Bradyrhizobium japonicum* в чистій культурі. *Мікробіологічний журнал*. 2020. **82**, № 3. С. 45–54. <https://doi.org/10.15407/microbiolj82.03.045>
 33. Hardy R.W.F., Holsten R.D., Jackson E.K., Burns R. C. The acetylene-ethylene assay for nitrogen fixation: laboratory and field evaluation. *Plant Physiology*. 1968. **43**, N 8. P. 1185–1207. <https://doi.org/10.1104/pp.43.8.1185>
 34. Mel'nikova E.S. The use of fungicidal disinfectants on potatoes in the conditions of the Central Chernozem region. *Zashchita kartofelya*. 2020. **1**. P. 9–10.
 35. 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**. С. 1–13.
 36. 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. **8**, № 2. С. 162–168. <https://doi.org/10.15421/021726>
 37. 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>
 38. Getachew Z., Abeble L. Effect of seed treatment using Mancozeb and Ridomil fungicides on *Rhizobium* strain performance, nodulation and yield of soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Agriculture and Natural Resources*. 2021. **4**, N 2. P. 86–97. <https://doi.org/10.3126/janr.v4i2.33674>

39. 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**. P. 154–163. <https://doi.org/10.1007/BF03179994>
40. Mishra G., Kumar N., Giri K., Pandey S. In vitro interaction between fungicides and beneficial plant growth promoting *Rhizobacteria*. *African journal of Agricultural Research*. 2013. **8**, N 45. P. 5630–5633. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1526>
41. Кириченко Е.В., Павлище А.В., Омельчук С.В., Жемойда А.В., Коць С.Я. Физиологические аспекты ответа соево-ризобияльного симбиоза на действие фунгицидов Стандак Топ и Февер. *Știința agricolă*. 2020. **2**. С. 59–72. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4320984>
42. Павлище А.В., Кірізій Д.А., Коць С.Я. Реакція симбіотичних систем сої на дію фунгіцидів за різних способів обробки. *Фізіологія рослин і генетика*. 2017. **49**, № 3. С. 237–247. <https://doi.org/10.15407/frg2017.03.237>
43. Fox J.E., Gullledge J., Engelhaupt E., Burow M.E., McLachlan J.A. Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and host plants. *PNAS*. 2007. **24**. P. 10282–10287. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611710104>
44. Bikrol A., Saxena N., Singh K. Response of *Glycine max* in relation to nitrogen fixation as influenced by fungicide seed treatment. *African Journal of Biotechnology*. 2005. **4**, N 7. P. 667–671. <https://doi.org/10.5897/AJB2005.000-3122>
45. Омельчук С.В., Кириченко О.В., Жемойда А.В. Реалізація симбіотичного і продуктивного потенціалу соево-ризобіальних систем, утворених аналітично селекціонованими фунгіцидостійкими штамами бульбочкових бактерій на фоні завчасного протруєння насіння стандак топом. *Фізіологія рослин і генетика*. 2022. **54**, № 1. С. 52–64. <https://doi.org/10.15407/frg2022.01.052>

Отримано 12.05.2022

REFERENCES

1. Ilkiv, L.A. & Stepanus'ko, Ya.V. (2021). Economic aspects of soybean production in Ukraine. *Colloquium-journal*, 33, No. 120, pp. 6-8 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.24412/2520-6990-2021-33120-6-8>
2. Vyshnivskiy, P.S. & Furman, O.V. (2020). Soybean productivity depending on elements of growing technology in the right-bank forest-steppe of Ukraine. *Plant and Soil Science*, 11, No. 1, pp. 13-22 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31548/agr2020.01.013>
3. Kots, S.Ya. & Pukhtaievych, P.P. (2019). Soybean seed inoculation: what, how and when. *Propozytsiia. Biopreparaty u zakhysti nasinnia ta roslyn*, 2, pp. 14-17 [in Ukrainian].
4. Mazur, V.A., Honcharuk, I.V., Didur, I.M., Pantsyreva, H.V., Telekalo, N.V. & Kupchuk, I.M. (2021). Innovative aspects of technologies for growing, storing and processing legumes. *Vinnytsia: Nilan-LTD* [in Ukrainian].
5. Saha, A. & Mandal, S. (2019). Nutritional Benefit of Soybean and Its Advancement in Research. *Sustainable Food Production*, 5, pp. 6-16. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/SFP.5.6>
6. Kots, S.Ya. (2021). Biological nitrogen fixation: achievements and prospects. *Fiziol. rast. genet.*, 53, No. 2, pp. 128-159 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2021.02.128>
7. Kots, S.Ya., Morgun, V.V., Patyka, V.P., Malichenko, S.M., Mamenko, P.M., Kiriziy, D.A., Mykhalkiv, L.M., Beregovenko, S.K. & Melnikova, N.N. (2011). Biological nitrogen fixation: legume-rhizobial symbiosis. Vol. 2. Kyiv: Logos [in Russian].
8. Ciampitti, I.A. & Salvagiotti, F. (2018). New insights into soybean biological nitrogen fixation. *Agronomy Journal*, 110, No. 4, pp. 1185-1196. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.06.0348>
9. Khan, M.N., Ijaz, M., Ali, Q., Ul-Allah, S., Sattar, A. & Ahmad, S. (2019). Biological Nitrogen Fixation in Nutrient Management. In: Hasanuzzaman M. (eds.). *Agronomic Crops*. Springer, Singapore, 2, pp. 127-147. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9783-8_8
10. Chekhova, I.V. (2021). Formation and development of the market of oilseeds: theory, methodology, practice: monograph. Kyiv: Agrarian Science [in Ukrainian].
11. Haq, I.U., Sarwar, M.K., Faraz, A. & Latif, M.Z. (2020). Synthetic chemicals: Major component of plant disease management. In *Plant disease management strategies for sus-*

- tainable agriculture through traditional and modern approaches, 13, pp. 53-81. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35955-3_4
12. Baibakova, E.V., Nefedjeva, E.E., Suska-Malawska, M., Wilk, M., Sevriukova, G.A. & Zheltobriukhov, V.F. (2019). Modern Fungicides: Mechanisms of Action, Fungal Resistance and Phytotoxic Effects. *Annual Research & Review in Biology*, 32, No. 3, pp. 1-16. <https://doi.org/10.9734/arrb/2019/v32i330083>
 13. Pysarenko, V.M., Pishchalenko, M.A., Pospelova, H.D., Horb, O.O., Kovalenko, N.P. & Sherstiuk, O.L. (2020). Integrated plant protection. *Poltava* [in Ukrainian].
 14. Rasanov, S.F. & Shevchuk, O.V. (2018). Application content and ecotoxic assessment of chemical plant protection products. *Scientific journal of VNAU «Agriculture and forestry»*, 8, pp. 102-117 [in Ukrainian].
 15. Gorshkov, A. P., Tsyganova, A. V., Vorobiev, M. G. & Tsyganov, V. E. (2020). The fungicide tetramethylthiuram disulfide negatively affects plant cell walls, infection thread walls, and symbiosomes in pea (*Pisum sativum* L.) symbiotic nodules. *Plants*, 9, No. 11, pp. 1488. <https://doi.org/10.3390/plants9111488>
 16. Swoboda, C. & Pedersen, P. (2009). Effect of Fungicide on Soybean Growth and Yield. *Agronomy Journal*, 101, pp. 352-356. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0150>
 17. Junior, L.D.B., Ferrari, J.L., Dario, G., Triboni, Y.D. B. & Raetano, C.G. (2019). Physiological potential and initial development of soybean plants as a function of seed treatment. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 49, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v49i55076>
 18. Mamenko, T., Kots, S. & Patyka, V. (2021). Realization of protective and symbiotic properties of soybeans using fungicide seed treatment. *Agricultural Science and Practice*, 8, No. 2, pp. 24-36. <https://doi.org/10.15407/agrisp8.02.024>
 19. Kanungo, M. & Joshi, J. (2014). Impact of Pyraclostrobin (F-500) on Crop Plants. *Plant Science Today*, 1, No. 3, pp. 174-178. <https://doi.org/10.14719/pst.2014.1.3.60>
 20. Sartori, F.F., Pimpinato, R.F., Tornisielo, V.L., Engroff, T.D., Jaccoud-Filho, D.S., Menten, J.O., Dorrance, A.E. & Dourado-Neto, D. (2020). Soybean seed treatment: how do fungicides translocate in plants? *Pest management science*, 76, No. 7, pp. 2355-2359. <https://doi.org/10.1002/ps.5771>
 21. Mostoviak, I.I. & Kravchenko, O.V. (2019). Symbiotic apparatus of soya under the application of different types of fungicides and microbial preparation. *Taurida Scientific Herald*, 108, pp. 72-77 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.108.10>
 22. Araujo, R.S., Cruz, S.P.D., Souchie, E.L., Martin, T.N., Nakatani, A.S., Nogueira, M.A. & Hungria, M. (2017). Preinoculation of soybean seeds treated with agrichemicals up to 30 days before sowing: Technological innovation for large-scale agriculture. *International Journal of Microbiology*, No. 5914786, pp. 10-12. <https://doi.org/10.1155/2017/5914786>
 23. Rodrigues, T.F., Bender, F.R., Sanzovo, A.W.S., Ferreira, E., Nogueira, M.A. & Hungria, M. (2020). Impact of pesticides in properties of Bradyrhizobium spp. and in the symbiotic performance with soybean. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36, No. 11, pp. 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02949-5>
 24. Alekseev, O.O. (2016). Influence of ecological factors on development and productivity of bean-rhizobial symbiosis. *Agriculture and forestry. Ecology and environmental protection*, 4, pp. 187-196 [in Ukrainian].
 25. Amaro, A.C.E., Baron, D., Ono, E.O. & Rodrigues J.D. (2020). Physiological effects of strobilurin and carboxamides on plants: an overview. *Acta Physiologiae Plantarum*, 42, pp. 4. <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2991-x>
 26. 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, pp. 166-173. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.09.001>
 27. 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, No. 12, pp. 1191-1200. <https://doi.org/10.1002/ps.1443>
 28. Lamichhane, J.R., You, M.P., Laudinot, V., Barbetti, M.J. & Aubertot, J. (2020). Revisiting sustainability of fungicide seed treatments for field crops. *Plant Disease*, 104, No. 3, pp. 610-623. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-19-1157-FE>

29. Shahid, M., Khan, M.S. & Zaidi, A. (2020). Fungicide toxicity to legumes and its microbial remediation: A current perspective. *Pesticides in Crop Production: Physiological and Biochemical Action*, 213496167, pp. 15-33. <https://doi.org/10.1002/9781119432241.ch2>
30. Carvalho, E.R., Rocha, D.K., Andrade, D.B.D., Pires, R.M.D.O., Penido, A.C. & Reis, L.V. (2020). Phytotoxicity in soybean seeds treated with phytosanitary products at different application times. *Journal of Seed Science*, 42, No. e202042036, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v42237847>
31. Biliavska, L.H. & Prysiazhniuk, O.I. (2018). A model of early-maturing soybean variety. *Novitni agrotehnologii*, 6, pp. 1-15 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.21498/na.6.2018.165365>
32. Vorobey, N.A., Kukol, K.P. & Kots, S.Ya. (2020). Fungicides toxicity assessment on *Bradyrhizobium japonicum* nodule bacteria in pure culture. *Mikrobiolohichnyy zhurnal*, 82, No. 3, pp. 45-54 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/microbiolj82.03.045>
33. Hardy, R.W.F., Holsten, R.D., Jackson, E.K. & Burns, R.C. (1968). The acetylene-ethylene assay for nitrogen fixation: laboratory and field evaluation. *Plant Physiology*, 43, No. 8, pp. 1185-1207. <https://doi.org/10.1104/pp.43.8.1185>
34. Mel'nikova, E.S. (2020). The use of fungicidal disinfectants on potatoes in the conditions of the Central Chernozem region. *Zashchita kartofelya*, 1, pp. 9-10 [in Russian].
35. Melnichuk, F., Retman, M. & Marchenko, O. (2015). Cytotoxic effect of fungicide seed treatments on soybean seedlings. *Scientific reports of NULES of Ukraine*, 5, pp. 1-13 [in Ukrainian].
36. Kuriata, V.H., Rohach, V.V., Buina, O.I., Kushnir, O.V. & Buinyi, O.V. (2017). 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, No. 2, pp. 162-168 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/021726>
37. 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, pp. 3-6. <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2020.7-9.3-6>
38. Getachew, Z. & Abeble, L. (2021). Effect of seed treatment using Mancozeb and Ridomil fungicides on *Rhizobium* strain performance, nodulation and yield of soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 4, No. 2, pp. 86-97. <https://doi.org/10.3126/janr.v4i2.33674>
39. 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, pp. 154-163. <https://doi.org/10.1007/BF03179994>
40. Mishra, G., Kumar, N., Giri, K. & Pandey, S. (2013). In vitro interaction between fungicides and beneficial plant growth promoting *Rhizobacteria*. *African journal of Agricultural Research*, 8, No. 45, pp. 5630-5633. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1526>
41. Kyrychenko, E.V., Pavlyshche, A.V., Omelchuk, S.V., Zhemoida, A.V. & Kots, S.Ya. (2020). Physiological aspects of the response of soybean-rhizobial symbiosis to the action of fungicides Standak Top and Fever. *Știința agricolă*, 2, pp. 59-72 [in Russian] <https://doi.org/10.5281/zenodo.4320984>
42. Pavlyshche, A.V., Kiriziy, D.A. & Kots, S.Ya. (2017). The reaction of symbiotic soybean systems to the action of fungicides under various treatment. *Fiziol. rast. genet.*, 49, No. 3, pp. 237-247 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2017.03.237>
43. Fox, J.E., Gullledge, J., Engelhaupt, E., Burow, M.E. & McLachlan, J.A. (2007). Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and host plants. *PNAS*, 24, pp. 10282-10287. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611710104>
44. Bikrol, A., Saxena, N. & Singh, K. (2005). Response of *Glycine max* in relation to nitrogen fixation as influenced by fungicide seed treatment. *African Journal of Biotechnology*, 4, No. 7, pp. 667-671. <https://doi.org/10.5897/AJB2005.000-3122>
45. Omelchuk, S.V., Kyrychenko, O.V. & Zhemoida, 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>

Received 12.05.2022

FEATURES OF FORMATION, FUNCTIONING AND EFFICIENCY OF SOYBEAN-RHIZOBIAL SYSTEMS AT EARLY TREATMENT OF SEEDS BY FUNGICIDES OF VARIOUS ACTION

A.V. Zhemojda, A.V. Khrapova, S.V. Omelchuk, S.K. Berehovenko, O.Ye. Kominarets

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

Studying the effectiveness of legume-rhizobial systems against the background of fungicides, allows us to consider not only the direct effect of pesticides on plants or nitrogen-fixing microorganisms, but also expands understanding of the formation and functioning of complex interactions between macro- and microsymbionts under exogenous factors and as a result helps to develop new, effective elements of technology for growing legumes. Therefore, the aim of the work was to investigate the peculiarities of the formation, functioning and efficiency of soybean-rhizobial systems in pot experiment conditions in the soil culture at early (14 days before sowing) seed treatment with preparations fever and standak top and inoculation *Bradyrhizobium japonicum* PC08 in the day of sowing. Microbiological, physiological and statistical research methods were used. It was found that the use of pesticides fever and standak top for seed treatment helped to increase the height and vegetative mass of soybeans compared to control plants or ensure their formation at the control level during the growing season. At the same time, a more significant increase in the studied indicators was observed under the influence of the active substances of the standak top in comparison with fever. It is shown that only in the budding stage fever somewhat inhibited the formation of the number of root nodules (on 32.3 %), but did not affect their mass. In the stage of flowering and formation of beans with the use of fungicides, the number and weight of root nodules were at the level of control or exceeded it, depending on the chemical class of the pesticide. During the ontogenesis of soybean plants with early (14 days before sowing) use of fungicides and inoculation on the day of sowing *B. japonicum* PC08 established effective functioning of the symbiotic apparatus, which contributed to the full formation of grain productivity of plants. Under the action of fever and standak top, the soybean grain yield was higher compared to control plants by 6.9 and 10.4 %, respectively. Thus, the peculiarities of fungicides effect on the formation, functioning and effectiveness of soybean-rhizobial systems are determined by the resistance of the strain to the pesticide, plant growing conditions, seed treatment time, and the composition of the fungicide used. Our results confirmed the possibility of using analytically selected fungicide-resistant strain of *B. japonicum* PC08 as a biological basis of bacterial fertilizers for soybeans for complex use under industrial conditions with preparations fever and standak top with early seed treatment (14 days before sowing).

Key words: *Glycine max* (L.) Merr, *Bradyrhizobium japonicum*, fever, standak top, legume-rhizobial symbiosis, nitrogen fixation, productivity.