

<https://doi.org/10.15407/frg2021.01.003>

УДК 633.34: 581.557: 632.4: 632.95: 581.132

ВИКОРИСТАННЯ ФУНГІЦИДІВ У ІНТЕГРОВАНІХ СИСТЕМАХ ЗАХИСТУ РОСЛИН СОЇ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ ЗА ІНОКУЛЯЦІЇ ЇЇ НАСІННЯ БУЛЬБОЧКОВИМИ БАКТЕРІЯМИ

С.Я. КОЦЬ, А.В. ПАВЛИЩЕ

*Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17
e-mail: zapadenka2015@gmail.com*

Наведено огляд вітчизняної та зарубіжної літератури щодо впливу різних хімічних речовин із фунгіцидними властивостями на перебіг фізіологічних і біохімічних процесів у рослинах сої за інокуляції її насіння бульбочковими бактеріями. Висвітлено значення сої в інтегрованих системах сільського господарства та дестабілізуючі чинники максимальної реалізації її генетичного потенціалу. Розглянуто вплив фунгіцидних препаратів та окремих їх складових на бульбочкові бактерії в чистій культурі, бобово-ризобіальний симбіоз, фотосинтетичний апарат, особливості відповіді рослинного організму на рівні окисно-відновних реакцій. Зазначено, що токсична дія фунгіцидів на бульбочкові бактерії залежить від штаму бактерій, діючої речовини, додаткових компонентів протруйника, його концентрації, температури зберігання, терміну взаємодії з бактеріями. Окреслено певні механізми негативного впливу фунгіцидів на бобово-ризобіальний симбіоз, які полягають в інгібуванні продукування рослинами фітоестрогенів, сповільненні синтезу фітогормонів і сидерофорів, порушенні регуляторної системи сигналіну між макро- й мікосимбіонтами, блокуванні активності генів нодуляції, зниженні рівня ризобіального *Nod*-фактора. Зроблено припущення, що різноспрямована дія протруйників на фотосинтетичний апарат рослини залежить від способу обробки, концентрації та самої діючої речовини фунгіцидів. Зазначено, що зміни активності антиоксидантних ферментів у рослинах сої свідчать про розвиток стрес-захисних реакцій на хімічну обробку. Висвітлено можливі способи зниження токсичного впливу фунгіцидів, які сприятимуть збереженню ефективності функціонування бобово-ризобіального симбіозу за сумісного застосування біопрепаратів і хімічних протруйників при вирощуванні сої.

Ключові слова: соя, фітопатогени, фунгіциди, бульбочкові бактерії, бобово-ризобіальний симбіоз, фотосинтез, антиоксидантні ферменти.

Здатність сої вступати у симбіотичні відносини з бульбочковими бактеріями і засвоювати атмосферний азот є важливим і актуальним чинником як у практичному, так і в науковому значенні. На сьогодні проведено багато досліджень, присвячених особливостям інокуляції насіння сої бульбочковими бактеріями, перспективності застосуван-

Цитування: Коць С.Я., Павлище А.В. Використання фунгіцидів у інтегрованих системах захисту рослин сої та їх вплив на фізіолого-біохімічні процеси за інокуляції її насіння бульбочковими бактеріями. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. 53, № 1. С. 3–28. <https://doi.org/10.15407/frg2021.01.003>

ня біопрепаратів на їх основі та практичним результатом ефективного функціонування бобово-ризобіального симбіозу [1–3]. Вони допомагають отримати високоякісний урожай, створюють основу для формування концепції економічно перспективного ведення та розвитку сільського господарства, а також для наукового пізнання перебігу фізіолого-біохімічних процесів залежно від впливу різних чинників на рослинний організм.

Одними з таких чинників є дія фізіологічно активних речовин із фунгіцидною активністю. В останні роки застосування фунгіцидів посідає одну з основних позицій в інтегрованих системах захисту рослин, що забезпечує мінімізацію захворювань, підвищення схожості насіння, стресостійкості і насінневої продуктивності. Однак їх вплив не обмежується тільки захистом від шкочинних організмів, а має ширший спектр дії, який часто залишається поза увагою.

На жаль сьогодні вивчення сумісності біопрепаратів і протруйників відстає від появи нових потенційно придатних для практики штамів мікроорганізмів, форм біопрепаратів і змін у технології виробництва протруйників. Протруйники (гербіциди, фунгіциди, інсектициди і т. д.) вже давно показали свою ефективність, а технології їх застосування відпрацьовані й закріпилися у вітчизняному сільському господарстві. Тому, якщо є сумніви в результативності сумісного застосування біологічних і хімічних засобів, на практиці перевагу, на жаль, віддають останнім.

Отже, нестача наукових праць, присвячених оцінюванню сумісності мікробіологічних і хімічних засобів для обробки насіння зернобобових культур може стати причиною скорочення застосування біопрепаратів, незважаючи на їх екологічність, економічність та ефективність у підвищенні врожайності. Слід зазначити, що вітчизняні публікації з цієї проблеми вельми нечисленні [4].

Виходячи з вищезазначеного, вкрай актуальним є комплексний розгляд і систематизація вже існуючої інформації щодо реакції рослинного організму на дію фунгіцидів і вирішення питання ефективності сумісного застосування біопрепаратів та хімічних протруйників у сучасних технологіях вирощування сої.

У зв'язку з цим метою нашої роботи був аналіз стану сучасних наукових досліджень щодо впливу фунгіцидів різного спектра дії на бульбочкові бактерії в чистій культурі, формування і функціонування бобово-ризобіального симбіозу, фотосинтетичного апарату листків та відповіді рослинного організму на рівні перебігу фізіолого-біохімічних процесів.

Унікальність сої як бобової культури. Соя посідає центральне місце у світі та в Україні зокрема серед зернобобових культур, є основним джерелом продовольчого й кормового білка, цінним попередником у сівозміні, а також важливим чинником росту економіки низки країн [5]. Із 1970-х років площі її посівів зросли найбільше порівняно з будь-якою іншою сільськогосподарською культурою і на сьогодні її вирощують майже на 6 % орних земель у світі [6, 7]. За підсумками минулого сезону виробництво соєвих бобів становило 59 % у структурі світового виробництва олійного насіння, тоді як ріпаку — 12 %, соняшнику — понад 9 %. Соя входить до п'ятірки найважли-

віших культур і посідає четверте місце після пшениці, рису і кукурудзи. Цю культуру вирощують у 75 країнах світу, найбільші площі нею засівають у США, Бразилії, Аргентині та Китаї. Отже, соя є однією з найприбутковіших і стратегічних культур, що її вирощують сільськогосподарські підприємства, та найгнучкішою з погляду методів виробництва, географічних регіонів поширення та універсальності кінцевого використання [8].

Природна потенційна родючість ґрунту та м'які кліматичні умови України сприяють тому, що у структурі європейських країн-виробників сої її частка найбільша — 45 %, що забезпечило їй восьме місце у світі [9, 10]. За офіційною статистикою, у структурі посівів 2019 р. соя досягла майже 6 % (1,6 млн га). Якщо у 2000 р. валовий збір зерна сої становив усього 64 тис. т, то у 2018 р. він досяг рекордних 4,5 млн т, а середня врожайність культури за цей період змінилась від 18 до 25 ц/га [11]. Вітчизняні сорти сої користуються значним попитом через порівняно низькі ціни та зручне географічне розміщення відносно основних країн-імпортерів цієї продукції: Італії, Туреччини, Іспанії, Греції, Єгипту [12].

Більшість соєвих бобів подрібнюють або переробляють на олію і шрот. Через високу концентрацію білка близько 98 % соєвого шроту використовують у кормах для худоби та аквакультури, 2 % усього світового виробництва сої споживає людина як їжу [6]. Її широке використання у кормових, харчових, лікарських і технічних цілях зумовлене унікальними біологічними характеристиками насіння: вмістом високоякісного жиру (18—23 %), наявністю вуглеводів (25—30 %), зокрема розчинних цукрів, (9—12 % маси насіння), великої кількості неорганічних (калій, фосфор, сірка, кальцій, залізо) та мінеральних речовин, мікроелементів (мідь, манган, бор, цинк, алюміній, барій, хром, кобальт, стронцій), ферментів (уреаза, ліпоксидаза, ліпаза, протеаза, катепсин, пероксидаза, каталаза, інвертаза, редуктаза, аскорбіназа та ін.) та вітамінів (A₁, B₁, B₂, B₆, E, K, PP) [5]. Важливою і специфічною ознакою сої як бобової культури є здатність до симбіозу з бульбочковими бактеріями роду *Rhizobium*, унаслідок чого засвоюється до 50—70 % молекулярного азоту в доступній для рослин формі. За оптимальних умов для симбіотичної азотфіксації рослини можуть фіксувати до 80—190 кг/га біологічного азоту, що поліпшує його баланс у ґрунті, зменшує обсяги використання мінеральних форм, істотно впливає на підвищення врожайності та рентабельності і робить сою одним із найліпших попередників для зернових культур [1, 2, 13].

Фітопатогенні організми як один з основних негативних стресових чинників біотичної природи. Як і виробництво інших економічно важливих сільськогосподарських культур виробництво сої постійно стикається з ускладненнями через різні абіотичні та біотичні чинники [14—16]. Одним із найнегативніших стресових чинників біотичної природи є ураження рослин фітопатогенними організмами, які спричиняють хвороби різної етіології в період від проростання до повної стиглості, зумовлюють зниження посівних якостей насіння і до 40 % втрат урожаю зерна. За високих температури й вологості повітря значного збитку виробництву сої завдають насамперед грибні хворо-

би, які знижують енергію проростання і схожість, зріджують посіви, ослаблюють ріст рослин, зменшують фотосинтетичну поверхню і продуктивність, погіршують якісні показники врожаю [2, 17, 18]. Однією з причин високої фітопатогенної активності грибів є їх здатність легко проникати в тканини рослин через продихи, клітини епідермісу, кутикулу, місця ушкодження градом, комахами, через механічне травмування та ін. Збудник фітомікозу порушує донорно-акцепторні зв'язки рослини-хазяїна і створює дефіцит асимілятів. Грибні патогени виділяють токсини й численні ферменти, що руйнують або розріджують вуглеводні полімери клітинних стінок. Під впливом фітомікозів змінюється спрямованість рослинного метаболізму, пригнічуються основні фізіолого-біохімічні процеси, відбуваються патологічні структурні перебудови, що обмежують продукційний процес або призводять до повної загибелі рослинного організму. Доволі часто соя інфікується одночасно кількома хворобами, що знижує врожайність її зерна на 15–20 % і більше, вміст білка — на 4–18 %, вміст жиру — на 1,6–5,6 % [2]. Вибір сорту, умови навколишнього середовища, історія хвороб, попередні культури та практика керування посівами — чинники, які можуть впливати на появу хвороб [19].

В Україні найпоширенішими хворобами, спричинюваними грибами, є: фузаріоз (*Fusarium oxysporum* Schl.) [18, 20], пероноспороз (*Peronospora manshurica* Sydow.) [21], септоріоз (*Septoria glycines* T. Hemmi) [22], аскохітоз (*Ascochyta sojaecola* Abramov) [23], церкоспороз (*Cercospora sojina* Hara) [21], кореневі гнилі [24]. Причини поширення ареалу патогенів: зростання посівних площ із недотриманням сівозміни [21, 24], надмірне насичення короткоротаційних сівозмін культурами, які виносять величезну кількість вологи та поживних речовин; ввезення, вирощування сортів, які не включені до Державного реєстру придатних для поширення в Україні та не адаптованих до кліматичних умов (вчасно не дозрівають, розтріскуються, вилягають і є джерелом інфекції для рекомендованих сортів); коливання температури повітря, тривалі опади під час дозрівання культури призводять до значного поширення хвороб й унеможливають збирання врожаю; використання однієї й тієї ж техніки без належної дезінфекції після збирання різних за рівнем ураження хворобами посівів [25].

Високі економічні та продовольчі втрати від ураження рослин фітопатогенами спричинюють потребу в захисті посівів [26]. Для запобігання поширенню хвороб застосовують низку методів: ранню сівбу, просторову ізоляцію від місць із багаторічними бобовими культурами; передпосівну обробку насіння біопрепаратами бульбочкових бактерій, регуляторами росту, дотримання належної густоти посівів, контроль за вологістю під час збирання врожаю; дотримання агротехнічних вимог до вирощування; постійну інтродукцію нових стійких сортів; обробку насіння та вегетуючих рослин біологічними й хімічними пестицидами [2, 27–29]. У комплексі заходів із захисту від збудників хвороб важливу роль відіграють фізіологічно активні речовини із фунгіцидною активністю. Обробка посівного матеріалу інсектицидними й фунгіцидними засобами є однією з основних ланок технологій вирощування сільськогосподарських культур [30].

Фунгіциди — один з ефективних засобів захисту сої від фітопатогенного ураження. Фунгіциди здатні специфічно пригнічувати або знищувати основні збудники захворювань сільськогосподарських культур [31]. Сучасні фунгіциди є ефективними високоселективними сполуками, які подібно до лікарських засобів діють на специфічні біохімічні ланки, що є важливими для росту і розвитку патогену, або стимулюють захисні механізми рослин [32].

До 1940-х років застосовували переважно неорганічні фунгіциди на основі таких сполук, як мідний купорос, сірка, хлорид фенілртуту, бордоська суміш та ін. Із 1940-х по 1970-ті роки було синтезовано і впроваджено у практику фунгіциди нових класів: дитіокарбамати, фталіміди, триазини, бензімідазоли та інші, які порівняно з фунгіцидами неорганічної природи були ефективнішими, менш фітотоксичними й простішими у використанні. Із 1970-х років застосовували фунгіциди класу триазолів, із 1990-х — стробілуринів, анілінопіримідинів та ін. [33]. Збільшення асортименту хімічних засобів захисту рослин зумовлено тим, що за тривалого систематичного застосування будь-якого засобу його ефективність зменшується через розвиток резистентності основних шкідників, збудників хвороб [31].

Фунгіциди класифікують за трьома основними принципами: залежно від характеру дії на збудників хвороб — захисні (профілактичні) і терапевтичні (лікувальні, викорінювальні, або куративні, знищувальні); призначення та хімічної природи [34]. Захисні фунгіциди здатні знищувати лише проростаючі спори фітопатогенних грибів на поверхні вегетуючих органів рослин. У цій стадії розвитку спори чутливі до фунгіциду. Діюча речовина потрапляє в росткову трубку патогену до його проникнення в тканини рослини-живителя, після цього захисні фунгіциди стають малоефективними [35]. Знищувальна (викорінювальна) дія фунгіцидів спричинює загибель збудника хвороби до виникнення перших симптомів захворювання, що не дає можливості патогену розвиватися й поширюватися в інші тканини та рослини, але завдана шкода рослині, що його живить, при цьому залишається [34].

Контактні фунгіциди не здатні проникати в тканини рослин, вони пригнічують спори і міцелій на поверхні листків, плодів, насіння тощо. Діючі речовини контактних фунгіцидів не переміщуються в рослинах у дозах, здатних пригнічувати розвиток фітопатогенів. Вони діють на збудників при безпосередньому контакті з репродуктивними органами (спорами) і запобігають зараженню рослин [36].

Трансламінальні фунгіциди проникають у тканини обробленого листкового апарату й переміщуються до певних меж (які змінюються залежно від засобу) в обробленій частині рослини. Принцип трансламінальної дії полягає у здатності засобу проникати в тканини, пересуваючись міжклітинними проміжками. Локально-системна дія інколи поєднується з контактною [37].

Системні фунгіциди проникають у тканини через надземні органи та кореневу систему рослин і насіння, переміщуються по судинній системі, запобігаючи ураженню тканин, віддалених від місця нанесення фунгіциду [38]. Застосування системних фунгіцидів дає змогу цілеспрямованіше захищати сільськогосподарські культури від інфек-

ційних хвороб. Здебільшого їх використовують у невеликих дозах. Через особливість механізму дії зменшується кількість обробок за вегетаційний період. На ефективність цих засобів менше впливають погодні умови (опади, сонячне світло) і менше значення мають щільність покриття, утримання, перерозподіл осадку хімічної речовини на рослинах, що є визначальними для ефективності контактних фунгіцидів. На відміну від контактних, засоби системної дії інколи називають внутрішньорослинними, або хомотерапевтичними. Вони проникають у рослини і засвоюються ними, переміщуються в безпечних концентраціях через кореневу систему, з насіння — в стебла, з одного листка — в інший і т. д. Системні фунгіциди під час інкубаційного періоду здатні обмежувати подальший розвиток збудників і їх спороутворення, тому спалаху хвороби можна запобігти на початку її розвитку, при виявленні перших симптомів [34, 36, 38].

Асортимент хімічних і біологічних засобів захисту рослин постійно змінюється: виключаються засоби, що зумовлюють віддалені екологічні наслідки, їх список поповнюється засобами з ефективним поєднанням нових механізмів дії у безпечних препаративних формах [38]. Вавріневич та співавт. [31] установили, що в структурі сучасного асортименту фунгіцидів найбільшу частку становлять сумішеві фунгіциди (26,3—39,3 %), за 13-річний період (із 1999 по 2012 рр.) їх кількість зросла у 5,5 раза. Серед фунгіцидів, які в складі препаративної форми містять одну діючу речовину, найпоширеніші триазоли й коназоли (14,9—31,4 %), бензімідазоли, імідазоли (9,8—14,7 %), карбамати, етилен-біс-дитіокарбамати (3,1—13,8 %), сполуки сірки, алюмінію, міді (6,1—11,1 %). Для соціально-гігієнічного моніторингу пріоритетними є засоби груп стробілуринів, триазолів, бензімідазолів, імідазолів, похідних неорганічних сполук [31]. Дедалі частіше на основі хімічних сполук системної дії виготовляють значну кількість комбінованих засобів, до складу яких входять компоненти з різними механізмом і спектром дії. На сьогодні актуальним є застосування фунгіцидів із високою активністю за низьких концентрацій [31]. Широке застосування сумішевих фунгіцидів зумовлене поєднанням кількох діючих речовин різних класів, що розширює спектр їх дії, підвищує захисну дію й запобігає появі резистентних штамів, використовує можливості синергізму [39]. Перелік пестицидів та агрохімікатів, дозволених до використання в Україні, динамічний і на сьогодні коливається в межах 2000—2500 засобів. У переважній більшості вони іноземного виробництва, що потребує ретельного їх дослідження науковцями і виробничниками [40]. Найчастіше застосовують засоби на основі хімічних сполук карбендазим (99,7 т) і тебуконазол (94,8 т) [41].

Фунгіциди як фізіологічно активні речовини крім своєї прямої дії — захисту сільськогосподарських культур від збудників хвороб — діють і на саму рослину, впливають на фізіологічні та біохімічні показники: інтенсивність фотосинтезу [42], дихання [43], регуляцію окисно-відновного балансу [44], процеси метаболізму рослин [45], що позначається на формуванні і функціонуванні симбіотичних систем сої [43].

Дія фунгіцидів на бульбочкові бактерії. Відомо, що одним із важливих елементів технології вирощування сої є бактеризація насіння [46—49]. Мікробні засоби на основі симбіотичних азотфіксувальних бактерій, які у симбіозі з бобовими рослинами набувають здатності фіксувати атмосферний азот у доступній для рослин формі, посідають особливе місце [50]. Ризобії, що входять до їх складу, здатні не лише поліпшувати азотне живлення бобових, а й слугують регуляторами росту рослин через здатність синтезувати широкий спектр біологічно активних речовин — амінокислот, гормонів та ін. Інокуляція позитивно впливає на реалізацію генетичного потенціалу рослин та їх продуктивність [1—3, 49].

Аналіз вітчизняної та закордонної літератури щодо впливу фунгіцидних засобів чи окремих їх складових на ризосферні мікроорганізми, у тому числі на бульбочкові бактерії, показав їх токсичність, що виявляється тією чи іншою мірою. За контакту ризобій сої на інокульованому насінні з такими поширеними фунгіцидними речовинами, як каптан і тирам (контактні фунгіциди), а також бенном, карбендазим, дифеноконазол і тебуконазол (системні фунгіциди), значно скорочується чисельність життєздатних бактерій. Однак не всі діючі речовини протруйників однаково токсичні для всіх видів і штамів ризобій.

Таріг та співавт. [51] встановили стійкість ризобій гороху до бензімідазолу. Є повідомлення, що різні марки протруйників і різні температурні режими при зберіганні бакових розчинів помітно впливають на виживаність бактерій у таких розчинах [52]. У низці праць показана здатність ризобій розкладати пестициди [4, 53]. В результаті вивчення впливу виробничих норм протруйників фунгіцидної дії на інтенсивність росту штриха чистих культур *Bradyrhizobium japonicum* і *Sinorhizobium fredii* в лабораторних умовах встановлено, що фунгіцид віал траст не впливав на інтенсивність росту штамів *S. fredii* і *B. japonicum* 648а, проте уповільнював до помірного ріст *B. japonicum* БМ-85 та СМ-42. Фундазол знижував інтенсивність росту всіх досліджених штамів, але не спричинював загибелі чистих культур ризобій. Засіб максим не впливав на ріст штамів швидкорослих бактерій *S. fredii* (КБ-11, ББ-55, ББ-49) і стимулював ріст штамів повільнорослих бактерій *B. japonicum* (648а, БМ-85, СМ-42) [54]. Досліджено чутливість бактерій *B. japonicum* до фунгіциду вітавакс і до кожного його компонента (тираму і карбоксилу). Згідно з результатами експериментів, бактерії *B. japonicum* чутливіші до вітаваксу, ніж до одного з його компонентів — тираму. При застосуванні тираму й карбоксилу в концентрації 0,5 % чисельність ризобій знижувалась відповідно на 60 і 83 % відносно контролю. Вітавакс (як комплекс зазначених діючих речовин) знижував кількість бактерій *B. japonicum* на 81 % [55]. Результати досліджень [56] показали, що до фунгіциду вітавакс чутливі штами *B. japonicum* УКМ В-6035 і УКМ В-6018, діаметри зон затримки росту газонів цих культур становили відповідно 14,5 та 25,7 мм. Подібні результати отримано у роботі [57], де встановлено, що збільшення концентрації фунгіциду призводило до зниження чисельності та зменшення діаметра колоній. Як зазначала Ковалевська, чутливість бульбочкових бактерій до дії пестицидів зменшується від

фунгіцидів, інсектицидів до гербіцидів, тобто, якщо концентрації гербіцидів, які інгібують ріст ризобій на синтетичних живильних середовищах у багато разів перевищують виробничі дози, то фунгіциди (наприклад, фундазол) у концентраціях, значно нижчих від виробничих, пригнічують ріст бульбочкових бактерій [58]. Стійкість ризобій до пестицидів надає їм переваги серед інших мікроорганізмів у природних умовах за наявності у ґрунті решток гербіцидів чи інших ксенобіотиків. Одним із механізмів формування стійкості до пестицидів у бульбочкових бактерій є їх здатність до деструкції цих сполук до нетоксичних рівнів. Встановлено, що інокуляція штамом-деструктором забезпечує стійкість рослин до прометрину [59].

Припускається, що токсичність фунгіцидів для бульбочкових бактерій пов'язана не тільки і не стільки з діючими речовинами в їх складі, скільки з тими додатковими компонентами (полімери-плівкоутворювачі, поверхнево-активні речовини, емульгатори, антисептики та ін.), які виробники додають у протруйник тієї чи іншої марки для поліпшення їхніх технологічних властивостей. Знаходження ризобій в одному розчині з протруйниками негативно позначилось на виживаності бактерій: чим довше витримувалась суміш, тим менше залишалось життєздатних ризобій. На них впливає також підвищення температури і концентрації фунгіциду [4].

Визначення стійкості бульбочкових бактерій до дії фунгіцидів різних класів дасть змогу запобігати можливим негативним наслідкам сумісного застосування хімічних і біологічних засобів на формування і функціонування бобово-ризобіального симбіозу у виробничих умовах.

Науковці відділу симбіотичної азотфіксації Інституту фізіології рослин і генетики (ІФРГ) НАН України в лабораторних умовах провели комплекс досліджень щодо впливу фунгіцидів різних класів та їх концентрацій на бульбочкові бактерії *B. japonicum*, отримані методами аналітичної селекції і транспозонового мутагенезу. Вивчено дію різних концентрацій препаратів максим XL 035 FS та ламардор 400 FS на ріст бульбочкових бактерій. Встановлено, що *B. japonicum* штам 6346 і Tn5-мутанти 21-2 і 9-1 мають доволі високу стійкість до досліджуваних фунгіцидів [60]. Доведено, що штами аналітичної селекції *B. japonicum* (6346, 646, 614, 631, 71m, M8, 48, AC15, 532C, PC07, PC08, PC10, PC11) різною мірою толерантні до діючих речовин препаратів стандак топ, февер, аканто плюс та максим XL за використання 1 і 2 виробничих норм. Стійкість ризобій до впливу хімічних засобів захисту рослин дає підставу рекомендувати всі досліджені культури *B. japonicum* для передпосівної бактеризації насіння сої сумісно з обробкою описаними фунгіцидами. При протруюванні насіння виробничою нормою фунгіциду бенорад рекомендовано використовувати штами *B. japonicum* 6346, 646, 631, 71m, 48, 532C, AC15, PC07, PC08, PC09, PC10, PC11. Подвійна норма для більшості штамів є токсичною за винятком *B. japonicum* 71m, PC07, PC10 [61, 63]. Показано, що діючі речовини із фунгіцидною активністю февер, стандак топ, аканто плюс, максим XL не чинять бактерицидної дії на клітини більшості Tn5-мутантів, отриманих унаслідок міжродової кон'югації між *Escherichia coli* S17-1 із різними

плазмідами-векторами і штамами *B. japonicum* 646 та 6346, і лише в окремих випадках ослаблюють інтенсивність їх розмноження [62]. Застосування для сої бактеріальних добрив, виготовлених на основі штамів Tn5-мутантів й *B. japonicum*, резистентних до сучасних фунгіцидів, сприятиме ослабленню наслідків хімічного стресу на формування та функціонування симбіотичних систем [62, 63].

Отже, рівень токсичного впливу фунгіцидів на бульбочкові бактерії залежить від низки чинників (штаму бактерій, діючої речовини і додаткових компонентів протруйника, його концентрації, температури зберігання, тривалості взаємодії з бактеріями), знання яких дасть змогу передбачити й запобігти можливим негативним наслідкам сумісного застосування хімічних і біологічних засобів на формування і функціонування бобово-ризобіального симбіозу у виробничих умовах. Резистентність вищих рослин і штаму бульбочкових бактерій визначають силу впливу пестицидів на симбіоз.

Формування і функціонування бобово-ризобіального симбіозу за дії хімічних засобів захисту рослин. Унаслідок симбіотичної азотфіксації бобові культури формують високі врожаї дешевого рослинного білка без застосування дорогих, енергомістких і екологічно небезпечних мінеральних азотних добрив [64]. Хоча дію фунгіцидів на ризобії і розглянуто в наукових працях, однак їх вплив на симбіотичні системи сої малодосліджений і в літературі представлений тільки окремими даними [53, 65, 66].

Використання пестицидів негативно впливає на симбіотичні відносини партнерів симбіозу, що призводить до зменшення частки біологічного азоту в урожаї [13]. Похідні сечовини (лінурон) і триазину (атразин, прометрин) блокують транспорт електронів при фотосинтезі та посилюють поглинання рослинами нітратного азоту, похідні феноксикислот (2,4-Д, 2М4Х) знижують вірулентність бульбочкових бактерій, а похідні ароматичних амінів (трефлан), діазину (базагран) інгібують активність нітрогенази [59].

Токсичність засобів, які застосовують для захисту рослин, залежить від терміну їх внесення. Наприклад, прометрин і трефлан найсильніше діють на рослини у початковій фазі розвитку. Зменшення зеленої маси рослин пов'язують з інгібуванням ростових процесів у них, що є причиною зниження швидкості інокуляційного процесу (зменшення кількості бульбочок та їх маси) [67]. Наприкінці вегетації негативна дія засобів нівелюється.

Встановлено, що кореневі бульбочки гороху дуже чутливі до фітотоксичної дії фунгіциду ТМТД, яка виявлялася у появі зони старіння, накопиченні крохмалю, набряку клітинних стінок зі втраченою електронною щільністю, потовщенні стінок інфекційних ниток, злитті симбіосом і деградації бактероїдів [68]. Є думка, що хімічні засоби захисту рослин (гербіциди) крім опосередкованої дії через рослини здійснюють і пряму дію на нітрогеназний комплекс. Установлено, що за інкубації бульбочок у розчинах гербіцидів трефлану і прометрину значно знижувалась активність нітрогенази [69].

Хоча фунгіциди захищають бобові рослини від фітопатогенів і підвищують продуктивність, однак при цьому вони знижують частку біологічного азоту в урожаї на 22–70 %, а іноді й повністю інгібують

симбіотичну азотфіксацію. Внаслідок їх дії пригнічується життєздатність, нодуляційна активність ризобій, а також азотфіксувальна активність симбіотичних систем [64, 70]. Виявлено, що 45 із 62 досліджених фунгіцидів інгібують флавоноїдний *NodD* рецептор, а також активування генів бульбочкоутворення під час симбіотичного процесу. Інший шлях опосередкованого пригнічення фунгіцидами життєдіяльності ризобій — сповільнення синтезу фітогормонів і сидерофорів [71]. Для зменшення інфекційного навантаження патогенними мікроорганізмами і збереження азотфіксувальної активності рекомендовано обробляти насіння протруйниками завчасно, а інокуляцію насіння бульбочковими бактеріями проводити в день посіву [72]. Досліджено вплив сумісного застосування сучасних фунгіцидних протруйників з інокулянтом на утворення азотфіксувальних бульбочок у рослин сої і показано, що фунгіцид максим КС (25 г/л—2,0 л/т) не чинить фітотоксичного впливу на формування корневих бульбочок, кількість яких відповідає контрольним значенням. Збільшенню їх кількості та маси сприяє сумісне застосування інокулянта із фунгіцидом хайкоут суперсоя (10 млрд кл/мл *Bradyrhizobium japonicum* + екстендер — 1,42 л/т). Обробка насіння ТМТД, ВСК (400 г/л—6,0 л/т) зменшує їх кількість та масу [73]. Доведено, що тирам у концентрації від 10 до 100 мкг/мл сприяє підвищенню нітрогеназної активності бобово-ризобіального симбіозу, однак за подальшого зростання концентрації фунгіциду азотфіксація інгібується [74]. Зазначається, що в разі попередньої обробки насіння фунгіцидом вітавакс 200ФФ формування і функціонування симбіотичних систем не пригнічуються. При використанні фунгіциду максим стар 025FS спостерігалась тенденція до зниження фактичної нітрогеназної активності бульбочок, а при обробці кінто дуо зафіксовано зменшення цього показника в 1,8 раза порівняно з варіантом бактеризації ековіталом [75]. Показано, що обробка тебуконазолом насіння сої, інокульованого дев'ятьма ізолятами *Bradyrhizobium*, сприяла підвищенню нітрогеназної активності симбіотичного апарату на 29 % відносно контрольного варіанта, за яким здійснювали тільки інокуляцію [52]. Існує думка, що асортимент фунгіцидів для ефективного захисту сої може бути розширений використанням сполук із класів триазолів і стробілуринів 4—5-го ступенів небезпечності у вигляді однокомпонентних або комбінованих засобів. Ці сполуки малотоксичні ($LD_{50} > 1000$ мг/кг), їх застосовують із меншими нормами витрат порівняно з фунгіцидами класу бензімідазолів, які широко використовують для захисту сільськогосподарських культур. Це дає змогу зменшити навантаження на агроценоз, знизити екотоксикологічний ризик для довкілля, а комбінація фунгіцидів із різними механізмами дії забезпечує розширення спектра дії засобів [76].

Особливу увагу впливу фунгіцидних засобів на формування і функціонування бобово-ризобіального симбіозу приділили науковці відділу симбіотичної азотфіксації ІФРГ НАН України. Досліджено вплив передпосівної обробки насіння сої фунгіцидами на інтенсивність виділення етилену, процеси нодуляції та азотфіксації у різних за ефективністю симбіотичних системах на ранніх етапах онтогенезу. Встановлено, що незалежно від ефективності соєво-ризобіального

симбіозу найбільше етилену рослини виділяли у фази розвитку примордіальних листків і першого справжнього листка, що пов'язано із початковими процесами бульбочкоутворення — закладанням бульбочкових примордіїв та активним формуванням бульбочок на коренях сої. Отже, за дії фунгіцидів змінюються інтенсивність синтезу етилену рослинами сої, а також процеси нодуляції та азотфіксації, які залежать від ефективності сформованих соєво-ризобіальних систем та їх здатності реалізувати свій симбіотичний потенціал за відповідних умов вирощування [77]. Показано, що токсична дія ламардору (протіоконазол, 250 г/л + тебуконазол, 150 г/л) знаходиться на рівні токсичної дії рекомендованого під сою препарату максим XL 035 FS (флудіоксиніл, 25 г/л + металаксил М, 10 г/л) стосовно як рослин сої (схожість насіння, формування вегетативної маси, зернова продуктивність), так і симбіотичного апарату (кількість, маса та азотфіксувальна активність кореневих бульбочок), його можна використовувати у сучасних технологіях вирощування сої [60].

Ми встановили, що у вегетаційних умовах залежно від способу обробки (за 14 діб до посіву і в день посіву) та діючої речовини фунгіциди стандак топ, февер, бенорад, максим XL 035 FS, аканто плюс пригнічували процеси формування і функціонування бобово-ризобіального симбіозу сої на початкових етапах розвитку рослин і зміщували пік азотфіксувальної активності на пізніші фази онтогенезу (утворення бобів) [78], тоді як у польових умовах фунгіциди у більшості варіантів не погіршували симбіотичних характеристик і сприяли формуванню вегетативної маси [79]. Ми припустили, що менший пригнічувальний вплив фунгіцидів у польових умовах стосовно нодуляційної й азотфіксувальної активностей сої за обох способів обробки насіння порівняно з модельними вегетаційними умовами пов'язаний з розкладанням самих діючих речовин фунгіцидів, адаптацією метаболізму рослин до дії стресового чинника, сорбційними процесами у ґрунті та діяльністю вільноіснуючої мікрофлори ризосфери. Для зменшення токсичного впливу фунгіцидів на бобово-ризобіальний симбіоз рекомендовано завчасно протруювати насіння (за 14 діб до посіву) сої та обробляти рослини по вегетації.

Одним із механізмів негативного впливу фунгіцидів на бобово-ризобіальний симбіоз є інгібування продукування рослинами фітоестрогенів, які слугують атрактантами для ризобій, що має важливе значення для залучення симбіотичних бактерій. Висловлено припущення, що фунгіциди опосередковано інгібують життєдіяльність ризобій сповільненням синтезу фітогормонів і сидерофорів [71]. Негативний вплив засобів із фунгіцидною активністю на ефективність бобово-ризобіального симбіозу пов'язаний також із порушенням регуляторної системи сигналіngu між макро- і мікросимбіонтами, блокуванням активності генів нодуляції та зниженням рівня ризобіального *Nod*-фактора. Ослабити їх токсичний вплив можна зменшенням норм витрат, чітким контролем концентрацій і завчасною обробкою насіння з інокуляцією у день посіву.

Вплив протруйників на фотосинтез. Відомо, що функціонування рослинного організму як цілісної біологічної системи забезпечується єдністю та узгодженістю процесів пластичного й енергетичного об-

мінів [46], тому вплив протруйників не обмежується тільки дією на бобово-ризобіальний симбіоз сої, а виявляється й у змінах роботи фотосинтетичного апарату. Характер впливу екзогенних фізіологічно активних речовин, зокрема фунгіцидів, на інтенсивність фізіологічних процесів як у цілому рослинному організмі, так і в окремих його частинах має фазовий характер і змінюється протягом онтогенезу залежно від часу та умов їх застосування [1, 80, 81].

Показано, що залежно від основної діючої речовини фунгіциди класу бензімідазолів здатні інгібувати фотосинтез, зменшувати вміст хлорофілу, сприяти збільшенню вмісту каротиноїдів, дезорганізувати структуру хлоропластів, інгібувати транспорт електронів, інактивувати ФС II, посилювати флуоресценцію хлорофілу [42]. Виявлено, що азольні фунгіциди, що містять різні діючі речовини, можуть як пригнічувати, так і стимулювати інтенсивність фотосинтезу. Вони здатні індукувати закриття і відкриття продохів, підвищувати вміст хлорофілу і внутрішньоклітинну концентрацію CO_2 під час фотосинтезу. Азоли сповільнюють експресію генів, що кодують малу і велику субодиниці РБФК/О, а також швидкість транспорту електронів [82]. Важливо зауважити, що різні сорти однієї й тієї самої культури можуть демонструвати різноспрямовані зміни зазначених параметрів [42, 83]. Так, азоксистробін, який входить до складу фунгіциду амістар екстра, збільшує розміри листової поверхні рослин люпину, яка, у свою чергу, визначає фотосинтетичний потенціал і чисту продуктивність фотосинтезу, які збільшувалися відповідно в 1,07 і 1,09 раза відносно контролю. Підвищення чистої продуктивності фотосинтезу сприяло більшому накопиченню сухої біомаси рослин, що позначалося на показниках урожайності [84]. Визначено вміст хлорофілу в листках цукрових буряків, а також коефіцієнт продуктивності фотосинтезу залежно від обробки вегетуючих рослин різними фунгіцидами. Найвищий ефект отримано у варіанті з обробкою фунгіцидом із діючими речовинами піраклостробіном (62,5 г/л) та епоксиконазолом (62,5 г/л). Вміст хлорофілу в листках зростав на 13,9 %, коефіцієнт продуктивності фотосинтезу — на 67,9 % відносно контролю, що в підсумку сприяло формуванню високих показників урожайності [85].

Ми встановили, що хімічні препарати з фунгіцидними властивостями здатні знижувати інтенсивність фотосинтезу і транспірації, що може бути зумовлено безпосереднім впливом препарату на процеси асиміляції CO_2 , а також внаслідок закриття продохів, причому сильніше вони впливали за завчасної обробки, коли препарати довше діяли на насіння, могли більше накопичуватись у його внутрішніх тканинах і чинити подальший регуляторний вплив як фізіологічно активні речовини на процеси росту і розвитку рослин [78]. Ми дослідили зв'язок між азотфіксувальною активністю та інтенсивністю фотосинтезу рослин сої в онтогенезі за обробки речовинами із фунгіцидною активністю та інокуляції бульбочковими бактеріями, інкубованими з лектином, і довели, що ефективність взаємодії симбіотичного та фотосинтетичного апаратів рослин сої поступово збільшується від фази трьох справжніх листків до фази цвітіння. Спостерігається істотний кореляційний зв'язок між інтенсивністю

фотосинтезу і накопиченням сухої речовини в рослинах сої, який посилювався протягом вегетації, при цьому ефективність перетворення асимільованого вуглецю на суху речовину залишалася сталою. Водночас зв'язок між азотфіксувальною активністю і накопиченням сухої речовини слабшав [86]. Отримані результати дають змогу повніше оцінити роль цих двох головних складових продукційного процесу у формуванні біологічної продуктивності рослин сої.

Особливу увагу при вивченні дії фунгіцидів на рослини приділено триазолам, які широко представлені на ринку хімічних засобів захисту рослин. Триазоли є інгібіторами біосинтезу стеринів — підвищують вміст цитокінінів у листках, активують біосинтез хлорофілу і пришвидшують диференціацію хлоропластів [87]. Вони також характеризуються і ретардантними властивостями, які зумовлені пригніченням біосинтезу гібереліну [88—90]. Зазначається, що за проникнення в значній кількості у рослину триазоли можуть порушувати синтез гіберелінів і діяти як регулятори росту. Найтипівішим ефектом є гальмування процесу подовження міжвузлів у зернових культур (ретардантний ефект). Також порушується синтез стеринів, що призводить до зниження транспірації рослин. Зокрема триадименол і пропіконазол чинять певну рістрегулювальну дію; при обробці насіння зернових ці хімічні речовини порушують геотропізм первинного листка. Тебуконазол також чинить рістрегулювальний вплив, який за несприятливих умов (перезволоження ґрунту, нестача вологи, низькі польова схожість насіння й енергія проростання та ін.) може перейти у ретардантний. Такі ж властивості притаманні тритиконазолу, меншою мірою — іншим азолам [91].

Отже, фунгіциди в одних випадках сприяють збільшенню розмірів листової поверхні рослини, зростанню інтенсивності фотосинтезу та накопиченню сухої біомаси рослин, а в інших — зменшують вміст хлорофілів, слугують регуляторами росту, спричиняють ретардантний ефект. Така різноспрямована дія цих засобів залежить від способу обробки, концентрації і самої діючої речовини фунгіцидів.

Біохімічна відповідь рослинного організму на фунгіцидний вплив. Діючі речовини хімічних засобів захисту рослин характеризуються унікальною біологічною активністю щодо більшості об'єктів, тому їх можна вважати активними стресорами. Проникнувши в рослинні клітини, вони стимулюють вільнорадикальне окиснення, спричиняють низку небезпечних процесів: окиснювальну модифікацію білків і нуклеїнових кислот, окиснення ліпідів. В інактивації активних форм кисню, що первинно утворюються за дії стресового чинника, беруть участь пероксидази, каталази, поліфенолоксидази та ін. [92]. Детальне вивчення фізіологічних процесів на біохімічному рівні цікаве для оцінювання адаптації рослин до дії чинників, які індукують окиснювальний стрес.

При дослідженні ролі пероксидази у підвищенні стійкості рослин сої до негативних чинників встановлено, що використання гербіциду пульсар, діюча речовина якого є інгібітором синтезу низки амінокислот, знижує питому активність пероксидази у листках сої [92]. Природний стимулятор росту рослин біоларикс — засіб із високою фунгіцидною активністю — інтенсифікував обмінні процеси, що

підтверджено зростанням питомої активності пероксидази, і тим самим сприяв посиленню метаболічних процесів і зниженню стресового впливу гербіциду. Показано, що обробка рослин сої пестицидом алгоритм (діюча речовина кломазон, 480 г/л) призводить до зниження активності каталази і зростання активності пероксидази в листках сої. Отже, зміна активності ферментів-антиоксидантів за дії різних доз гербіцидів має адаптивний характер і дає можливість протистояти несприятливим умовам [93].

Встановлено, що позакоренева обробка озимої пшениці фунгіцидом амістар екстра окремо і в суміші з елементами живлення викликає зміни активності ферментів антиоксидантних систем: підвищує активність пероксидази і знижує активність каталази, що є показником розвитку стійкості рослин до несприятливих чинників довкілля [94]. Виявлено кореляційний зв'язок співвідношення активностей антиоксидантних ферментів пероксидаза/каталаза із зерною продуктивністю. Досліджено вплив проквіназиду та гідроксиду міді на структурні показники рослин озимої пшениці і показано, що фунгіциди підвищують активність антиоксидантної системи рослин, позитивно впливають на активність ферментів окисно-відновного характеру дії в рослинах як у фазу кушіння, так і у фазу бутонізації. У результаті підвищення активності ферментів можливе пришвидшення обмінних процесів і, як наслідок, швидше відбувається детоксикація гербіцидів у рослинах сої [95].

Зазначено, що фунгіциди здатні підвищувати активність антиоксидантної системи рослин, сприяти уповільненню деградації хлорофілу та білків у листках, унаслідок чого рослини продовжують фотосинтетичну активність у листках і використовують більше елементів живлення протягом пізніх фаз розвитку [96]. При дослідженні впливу препарату фітоцид на показники окисно-відновних процесів у проростках огірка й томатів встановлено, що за вирощування проростків у чашках Петрі активність аскорбатоксидази, пероксидази, поліфенолоксидази та каталази підвищується, а при вирощуванні рослин у ґрунті активність цих ферментів за дії фітоциду знижується [97].

В досліджах інших авторів спостерігалось сповільнення окисно-відновних процесів у рослинах за використання фунгіциду амістар екстра, що пов'язали зі зняттям інфекційного навантаження в рослин у перші дні його використання [98].

Виявлено різний характер активності ферментів каталази і пероксидази в пагонах і коренях проростків пшениці, що залежав від різного ступеня активування антиоксидантної системи за дії фунгіцидних засобів, а саме 1,3-аміносульфіду, похідного бісаміну, тіосечовини, а також засобів бісол, біодукс, купробісан [99].

Ми довели, що обробка насіння сої фунгіцидами (февер, максимум XL) сумісно з інокулянтном (штам *B. japonicum* 6346) індукувала підвищення рівня ферментів із пероксидазною активністю (супероксиддисмутази, аскорбатпероксидази, гваяколпероксидази) та сприяла збереженню ефективності роботи симбіотичного апарату [100]. За обробки насіння ризобіями, інкубованими з лектином, у комплексі з фунгіцидами февер, максимум XL і стандак топ зафіксовано підвищення активності супероксиддисмутази, аскорбатпероксидази у різних

органах рослин сої (бульбочках, коренях і листках), а також зниження активності гваяколпероксидази у рослинах сої у фазу трьох справжніх листків як типову стресзахисну реакцію у відповідь на обробку фунгіцидами й бульбочковими бактеріями, інкубованими з лектином [101].

Отже, розкриття особливостей формування захисних реакцій у симбіозі бобових рослин зі штамми бульбочкових бактерій сприятиме пошуку ефективних симбіотичних систем, здатних реалізувати свій адаптивний потенціал за дії фунгіцидів, а розширення і поглиблення досліджень у цьому напрямі дасть змогу вдосконалити існуючі та створити нові фізіолого-біохімічні засоби регуляції їх адаптаційної здатності за стресових умов.

Сучасні засоби з фунгіцидною активністю здатні впливати на метаболізм не тільки патогенних грибів, а й рослин, причому така дія може бути як позитивною, так і негативною. Особливо показовою є дія фунгіцидів на бобові культури, оскільки в цьому разі йдеться не тільки про їх прямиий вплив на рослини чи азотфіксувальні мікроорганізми, а й на складну функціональну взаємодію між макро- і мікросимбіонтами. Комплексний підхід при розробці і впровадженні науково обґрунтованої системи захисту від шкочинних мікроорганізмів дасть змогу не тільки контролювати значну кількість захворювань, а й сприятиме максимальній реалізації генетичного потенціалу продуктивності сучасних сортів сої з врахуванням їх фізіолого-біохімічних особливостей, зокрема здатності до створення симбіозу з бульбочковими бактеріями.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Коць С.Я., Моргун В.В., Патыка В.Ф., Маличенко С.М., Маменко П.Н., Киризий Д.А., Михалкив Л.М., Береговенко С.К., Мельникова Н.Н. Биологическая фиксация азота. Бобово-ризобияльный симбиоз. В 4 т. Киев: Логос, 2011. Т. 2. 523 с.
2. Петриченко В.Ф., Лихочвор В.В., Іванюк С.В., Корнійчук О.В., Колісник С.І., Кобак С.Я., Задорожний В.С., Чернолата Л.П., Кулик М.Ф., Обертюх Ю.В., Воронешка І.С., Патыка В.П., Гнатюк Т.Т., Алексеев О.О., Калініченко А.В., Коць С.Я., Береговенко С.К., Захарова О.М. Соя. Вінниця: Діло, 2016. 400 с.
3. Иутинская Г.А., Пономаренко С.П., Андреюк Е.И., Антипчук А.Ф., Бабаянц О.В., Белявская Л.А., Бровко И.С., Валагурова Е.В., Галкин А.П., Галкина Л.А., Гладун А.А., Грицаенко З.М., Драгозов И.В., Мусатенко Л.И., Петрук Т.В., Пиндрус А.А., Терек О.И., Титова Л.В., Цыганкова В.А., Ху Вень Ксю, Яворская В.К., Ямборко Н.А. Биорегуляция микробно-растительных систем. Киев: Ничлава, 2010. 464 с.
4. Косульников Ю.В., Лактионов Ю.В. О факторах, влияющих на токсичность протравителей семян для симбиотических азотфиксаторов в составе биопрепаратов. *Сельскохозяйственная биология*. 2018. 53, № 5. С. 1037—1044. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.5.1037rus>
5. Diers B., Specht J., Rainey K.M., Cregan P., Song Q., Ramasubramanian V., Graef G., Nelson R., Schapaugh W., Wang D., Shannon G., McHale L., Kantartzi S.K., Xavier A., Mian R., Stupar R.M., Michno J.-M., Charles An Y.-Q., Goettel W., Ward R., Fox C., Lipka A.E., Hyten D., Cary T., Beavis W.D. Genetic Architecture of Soybean Yield and Agronomic Traits. *G3: Genes, Genomes, Genetics*. 2018. 8, N 10. P. 3367—3375. <https://doi.org/10.1534/g3.118.200332>
6. Hartman G.L., West E.D., Herman T.K. Crops that feed the World 2. Soybean — worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. *Food Security*. 2011. 3, N 1. P. 5—17. <https://doi.org/10.1007/s12571-010-0108-x>

7. Bandara A.Y., Weerasooriya D.K., Bradley C.A., Allen T.W., Esker P.D. Dissecting the economic impact of soybean diseases in the United States over two decades. *PLoS One*. 2020. **15**, N 4. P. e0231141. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231141>
8. Пасічник О.І. Виробництво сої та соєвої олії в Україні. Актуальні проблеми ефективного соціально-економічного розвитку України: пошук молодих: Збірник наукових праць ІХ Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції. (Вінниця, 23 квітня 2020). Вінниця, 2020. С.173—178.
9. Соломон Ю.В. Органічна соя як перспективний напрям еко-інновацій. Перспективи еко-інноваційного розвитку сільськогосподарського виробництва: Матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції (Полтава, 22 червня 2020). Полтава, 2020. С. 144—146.
10. Побоченко Л.М., Троян В.В. Структура та динаміка світового ринку продовольства. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2018. **21**. С. 103—112.
11. Маслак О.М. Прибуткова соя. *The Ukrainian Farmer*. 2020. **4**, № 124. С. 50—51.
12. Бабич А.О., Бабич-Побережна А.А. Селекція, виробництво, торгівля і використання сої у світі. Київ: Аграрна наука, 2011. 597 с.
13. Петриченко В.Ф., Чорна В.М. Особливості росту рослин сої залежно від інокуляції та морфорегулятора в умовах Лісостепу Правобережного. *Сільське господарство та лісівництво*. 2016. **4**. С. 42—54.
14. Strom N., Yu W., Haarith D., Chen S., Bushley K. Interactions between soil properties, fungal communities, the soybean cyst nematode, and crop yield under continuous corn and soybean monoculture. *Applied Soil Ecology*. 2020. **147**, 103388, pp. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103388>
15. Surbhi K., Singh K.P. Influence of weather factors on severity of aerial blight of soybean. *Indian Phytopathology*. 2020. **73**. P. 493—497. <https://doi.org/10.1007/s42360-020-00235-w>
16. Молодченкова О.О., Міщенко Л.Т., Картузова Т.В., Безкровна Л.Я., Лихота О.Б., Лаврова Г.Д., Мурсакаєв Е.Ш. Біохімічна характеристика сортів сої за впливу вірусної інфекції та умов вирощування. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2019. **24**. С. 256—264. <https://doi.org/10.7124/FEEO.v24.1112>
17. Кочева Н.С., Брагіна В.В., Кульдяєва Е.Е., Пискунов К.С. Влияние применения химических средств защиты растений на урожайность, качество и биохимический состав семян сои в условиях Приморского края. *Аграрный вестник Приморья*. 2019. **2**, № 14. С. 15—19.
18. Антипова Л.К., Бондаренко Д.І., Шаповалов А.І. Розвиток і поширення хвороб сої в умовах Півдня України. Інноваційні технології в рослинництві: Матеріали ІІ Всеукраїнської наукової інтернет-конференції (Кам'янець-Подільський, 15 травня 2019). Кам'янець-Подільський, 2019. С. 9—11.
19. Mueller D.S., Wise K.A., Sisson A.J., Smith D.L., Sikora E.J., Robertson A.E. A Farmer's Guide to Soybean Diseases. *American Phytopathological Society*. 2015. N 1. P. 1—8. <https://doi.org/10.1094/9780890545157>
20. Курилова Д.А. Вредоносность фузариоза сои в зависимости от степени поражения растений. *Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2010. № 2. С. 144—145.
21. Патица В.П., Петриченко В.Ф., Пасічник Л.А., Житкевич Н.В., Гуляєва Г.Б., Токвенко І.П., Гнатюк Т.Т., Кириленко Л.В., Корнійчук О.В., Лихочвор В.В., Іванюк С.В., Колісник С.І., Коць С.Я., Бжозовська А., Калініченко А.В. Хвороби сої: моніторинг, діагностика, захист. Вінниця: Віндрук, 2018. 106 с.
22. Lin H.-A., Villamil M.B., Mideros S.X. Characterization of Septoria brown spot disease development and yield effects on soybean in Illinois. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2020. **42**, N 4. <https://doi.org/10.1080/07060661.2020.1755366>
23. Сиддикова Н.К., Мирзайтова М.К., Абдукохарова К.З. Аскохитоз у зернобобових культур. *Наука, техніка і образование*. 2019. **11**, № 64. С. 45—48. <https://doi.org/10.24411/2312-8267-2019-11104>
24. Венедіктов О.М. Хвороби і шкідники сої та заходи боротьби з ними. *Корми і кормовиробництво*. 2012. **71**. С. 55—61.
25. Погоріла Л.Г. Насіннева інфекція сої в умовах Правобережного Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво*. 2017. **84**. С. 80—85.

26. Шербачук В.М., Лихочвор В.В. Формування урожайності та якісних показників зерна сої залежно від системи захисту посівів проти бур'янів та хвороб в умовах достатнього зволоження. *Агробіологія*. 2015. **1**. С. 88–91.
27. Прус Л.І. Вплив агротехнічних заходів на продуктивність сої. *Agroecological journal*. 2017. **1**. С. 62–67.
28. Корнійчук М.С., Поліщук С.В., Жмурко Л.Г., Житкевич Н.В., Данькевич Л.А. Вплив регуляторів росту на розвиток бактеріальних хвороб сої. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2008. **7**. С. 138–146.
29. Кошевський І.І., Канарський Е.Р., Ляска С.І. Вплив густоти стояння рослин сої на розвиток грибних хвороб. *Сборник научных трудов SWorld*. 2014. **34**, № 1. С.19–23.
30. Григор'єва О.М., Дімова С.Б., Алмаєва Т.М. Ефективність біопрепаратів у технології вирощування сої на чорноземі звичайному важкосуглинковому Правобережного степу України. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2019. **29**. С. 46–55. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.29.46-55>
31. Вавріневич О.П., Омельчук С.Т., Бардов В.Г. Оцінка сучасного асортименту та обсягів застосування фунгіцидів у сільському господарстві України як складова державного соціально-гігієнічного моніторингу. *Профілактична медицина*. 2013. **18**, № 4. С. 95–103.
32. Лихочвор В.В., Шербачук В.М. Використання фунгіцидів на сої. *Вчені ЛНАУ виробництва: каталог інноваційних розробок*. 2014. Вип. XIV. С. 28.
33. Morton V., Staub T.A. Short History of Fungicides. *Online, APSnet Features*. 2008. <https://doi.org/10.1094/APSnetFeature-2008-0308>
34. Євтушенко М.Д., Марютін Ф.М., Туренко В.П. Фітофармакологія. Київ: Вища освіта, 2004. 432 с.
35. Кобак С.Я., Колісник С.І., Сереветник О.В. Найбільш поширені хвороби сої та ефективність препаратів компанії BASF для їх контролю. *Агробізнес сьогодні*. 2016. **10**. С. 46–47.
36. Секун М.П., Жеребко В.М., Лапа О.М., Ретьман С.В., Марютін Ф.М. Довідник із пестицидів. Київ: Колобіг, 2007. 360 с.
37. Петранюк І.В., Марков І.Л. Класифікація фунгіцидів відповідно до їх принципу дії. *Агроном*. 2017. № 2. С. 58–68.
38. Воробйова К.А., Омельченко Н.В. Класифікація засобів захисту рослин згідно УКТЗЕД для митних цілей. Інновації в управлінні асортиментом, якістю та безпекою товарів і послуг: Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції (Львів, 7 грудня 2017) Львів, 2017. С. 236–362.
39. Ящук В.У., Вашенко В.М., Кривошея Р.М., Цибульняк Ю.О., Корецький А.П. Перелік пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. Київ: Юнівест Медіа, 2016. 832 с.
40. Станкевич С.В. Ринок пестицидів України. Problems and Scientific Solutions: 5th International Scientific and Practical Conference International Forum (in Melbourne, Australia. August 6–8 2020). Australia, 2020. P. 104–107.
41. Мостов'як І.І., Дем'янюк О.С. Чинники дестабілізації фітосанітарного стану агроценозів зернових культур Центрального Лісостепу України. *Збалансоване природо-користування*. 2020. **2**. С. 73–84. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2020.208812>
42. Petit A.-N., Fontaine F., Vatsa P., Clement C., Vaillant-Gaveau N. Fungicide impacts on photosynthesis in crop plants. *Photosynthesis Research*. 2012. **111**. P. 315–326. <https://doi.org/10.1007/s11120-012-9719-8>
43. Wu Y.-X., Tiedemann A. Physiological effects of azoxystrobin and epoxiconazole on senescence and the oxidative status of wheat. *Pesticide Biochemistry Physiology*. 2001. **71**, N 1. P. 1–10. <https://doi.org/10.1006/pest.2001.2561>
44. Сергієнко В.Г., Чергіна О.Д. Вплив біологічних препаратів на активність окисно-відновних ферментів рослин томатів. *Захист і карантин рослин. Міжвід. темат. наук. зб.* 2011. **57**. С. 179–188.
45. Thapa G., Dey M., Sahoo L., Panda S.K. An insight into the drought stress induced alterations in plants. *Biologia Plantarum*. 2011. **55**, N 4. P. 603–613. <https://doi.org/10.1007/s10535-011-0158-8>
46. Моргун В.В., Коць С.Я. Роль біологічного азоту в азотному живленні рослин. *Вісник НАН України*. 2018. **1**. С. 63–74. <https://doi.org/10.15407/vsn2018.01.062>

47. Кириченко О.В., Мокрицький К.А. Посівні властивості насіння сої за інтродукції діазотрофних мікроорганізмів. *Физиология растений и генетика*. 2017. **49**, № 4. С. 347—357. <https://doi.org/10.15407/frg2017.04.347>
48. Кириченко Е. В. Взаимоотношения бобовых растений и клубеньковых бактерий на уровне доконтактных взаимодействий при формировании азотфиксирующих систем. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2002. **34**, № 2. С. 95—101.
49. Моргун В.В., Коць С.Я. Биологический азот в современном сельскохозяйственном производстве. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. **14**, № 3. С. 285—294. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.3.2018.145293>
50. Волкогон В.В., Надкернична О.В., Ковалевська Т.М. Мікробні препарати у землеробстві. Теорія і практика. Київ: Аграрна наука, 2006. 312 с.
51. Tariq M., Nameed S., Shahid M., Yasmeen T., Ali A. Effect of fungicides and bioinoculants on *Pisum sativum*. *Research & Reviews: Journal of Botanical Sciences*. 2016. **5**, N 2. P. 36—40. <https://www.researchgate.net/publication/303663319>
52. Ahemad M., Khan M.S. Ecotoxicological assessment of pesticides towards the plant growth promoting activities of Lentil (*Lens esculentus*)-specific *Rhizobium* sp. strain MRL3. *Ecotoxicology*. 2011. **20**, N 4. P. 661—669. <https://doi.org/10.1007/s10646-011-0606-4>
53. Moawad H., Abd El-Rahim W.M., Shawky H., Higazy A.M., Daw Z.Y. Evidence of fungicides degradation by rhizobia. *Agricultural Sciences*. 2014. **5**, N 7. P. 618—624. <https://doi.org/10.4236/as.2014.57065>
54. Якименко М.В., Бегун С.А., Сорокина А.И. Совместимость коллекционных штаммов ризобий сои с фунгицидами и ростстимулирующими препаратами. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2016. **2**, № 38. С. 38—41.
55. Mishra G., Kumar N., Giri K., Pandey S. In vitro interaction between fungicides and beneficial plant growth promoting *Rhizobacteria*. *Agrican Journal of Agriculture Reserche*. 2013. **8**, N 45. P. 5630—5633. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1526>
56. Вознюк С.В., Титова Л.В., Ратушинська О.В., Іутинська Г.О. Формування та функціонування симбіотичних систем та мікробіоценозу ризосфери сої за використання різних фунгіцидів. *Мікробіологічний журнал*. 2016. **78**. № 4. С. 90—101.
57. Ahmed M., Elesheikh E.A.E., Mahdi A.A. The in vitro compatibility of some *Rhizobium* and *Bradyrhizobium* strains with fungicides. *African Crop Science Society*. 2007. **18**. P. 1171—1178. <https://doi.org/10.13140/2.1.3933.9208>
58. Ковалевська Т.М., Горбань В.П., Надкернична О.В., Бардаков А.Г. Вплив фундазолу та ризоторфіну на продуктивність симбіозу бульбочкових бактерій з рослинами люпину. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2005. **1-2**. С. 52—59.
59. 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.
60. Омельчук С.В., Жемойда А.В., Павлище А.В. Формування, функціонування та продуктивність соєво-ризобіального симбіозу за дії фунгіцидів ламардор і максим. *Физиология растений и генетика*. 2017. **49**, № 1. С. 54—63. <https://doi.org/10.15407/frg2017.01.054>
61. Воробей Н.А., Кукол К.П., Коць С.Я. Оцінка токсичності впливу фунгіцидів на бульбочкові бактерії *Bradyrhizobium japonicum* у чистій культурі. *Мікробіологічний журнал*. 2020. **82**, № 3. С. 45—54. <https://doi.org/10.15407/microbiolj82.03.045>
62. Кукол К.П., Воробей Н.А., Коць С.Я. Чутливість чистих культур *Bradyrhizobium japonicum* до фунгіцидів. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2019. **30**. С. 20—31. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.30.20-31>
63. Павлище А.В., Кукол К.П., Воробей Н.А. Чутливість *Bradyrhizobium japonicum* 6346 у чистій культурі до виробничої норми фунгіцидних препаратів. Інноваційні технології в рослинництві: Матеріали II Всеукраїнської наукової інтернет-конференції (Кам'янець-Подільський, 15 травня 2019) Кам'янець-Подільський, 2019. С. 111—114.
64. Джемесюк О.В., Каленська С.М., Новицька Н.В. Урожайність сортів сої під впливом інокуляції та позакореневого підживлення. *Research Gate*. 2017. **1-2**. С. 372—380.
65. Токмакова Л.М., Тараріко Ю.О., Трепач А.О., Лепеха О.П., Ларченко І.В. Дія сучасних протруйників насіння сільськогосподарських культур на життєдіяльність та функціональну активність біологічних агентів мікробних препаратів. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2013. **18**. С. 120—131.

66. Niewiadomska A., Klama J. Pesticide side effect on the symbiotic efficiency and nitrogenase activity of *Rhizobiaceae* bacteria family. *Polish journal of microbial.* 2005. **54**, N 1. P. 43—48.
67. Чеботарь Н.И. Влияние гербицидов на формирование клубеньков и урожай сои. *Экология и физиология почвенных микроорганизмов: сб. науч. тр.* Львов, 1976. С. 147—152.
68. 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 (Basel)*. 2020. **9**, N 11. P. 1488. <https://doi.org/10.3390/plants9111488>.
69. Пароменская Л.Н. Влияние пестицидов на симбиотические взаимоотношения *Rhizobium* с бобовыми растениями. *Труды ВНИИСХМ.* 1980. **50**. С. 97—111.
70. Kintschev M.R., Goulart A.C.P., Mercante F.M. Compatibility between rhizobium inoculation and fungicide application in seeds of common beans. *Summa phytopathol.* 2014. **40**, N 4. P. 338—346. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/1906>
71. Fox J.E., Gullledge J., Engelhaupt E., Burow M.E., McLachlan J.A. Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and hostplants. *Proceeding of the National Academy of Sciences USA.* 2007. **104**, N 24. P. 10282—10287. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611710104>
72. Борзенкова Г.А. Оптимизация технологии предпосевного протравливания и возможность его сочетания с инокуляцией для защиты сои от семенной инфекции. *Зернобобовые и крупяные культуры.* 2014. **1**, № 9. С. 22—30.
73. Бушнева Н.А. Эффективность совместного применения инокулянтов и фунгицидов при обработке семян сои. *Масличные культуры.* 2019. **4**, № 180. С. 119—123. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2019-4-180-119-123>
74. Vikrol A., Saxena N., Singh K. Response of *Glycine max* in relation to nitrogen fixation as influenced by fungicide seed treatment. *African J. Biotechnol.* 2005. **4**, N 7. P. 667—671. <https://doi.org/10.5897/AJB2005.000-3122>
75. Вознюк С.В., Титова Л.В., Ляска С.І., Іутинська Г.О. Вплив фунгіцидів та комплексного інокулянту Ековітал на ризосферний мікробіоценоз, стійкість до захворювань та продуктивність сої. *Мікробіологічний журнал.* 2015. **77**, № 4. С. 8—14.
76. Бублик Л.І., Балюх О.В. Екоотоксикологічна оцінка застосування фунгіцидів для захисту посівів люпину та сої. *Карантин і захист рослин.* 2011. **57**. С. 26—32.
77. Mamenko T.P., Kots S.Ya., Khomenko Y.O. The intensity of ethylene release by soybean plants under the influence of fungicides in the early stages of legume-rhizobial symbiosis. *Regulatory Mechanisms in Biosystems.* 2020. **11**, N 1. P. 98—104. <https://doi.org/10.15421/022014>
78. Павлище А.В., Кірізій Д.А., Коць С.Я. Реакція симбіотичних систем сої на дію фунгіцидів за різних способів обробки. *Физиология растений и генетика.* 2017. **49**, № 3. С. 237—247. <https://doi.org/10.15407/frg2017.03.237>
79. Павлище А.В., Якимчук Р.А., Омельчук С.В., Жемойда А.В., Коць С.Я. Симбіотичні властивості та насіннева продуктивність сої у польових умовах за різних способів обробки насіння фунгіцидами. *Физиология растений и генетика.* 2018. **50**, № 4. С. 358—368. <https://doi.org/10.15407/frg2018.04.358>
80. Кононов А.С. Физиология процесса азотфиксации и фотосинтез в гетерогенном посеве. *Бюл. Брянск. отделения РБО.* 2013. **1**. С. 42—50.
81. Коць С.Я., Кірізій Д.А., Веселовська Л.І. Інтенсивність фотосинтезу симбіотичних систем соя—*Bradyrhizobium japonicum* за дії екзогенного лектину. *Доповіді НАН України.* 2013. **1**. С. 157—162.
82. Xia X.J., Huang Y.Y., Wang L., Huang L.F., Yu Y.L., Zhou Y.H., Yu J.Q. Pesticides-induced depression of photosynthesis was alleviated by 24-epibrassinolide pretreatment in *Cucumis sativus* L. *Pestic. Biochem. Physiol.* 2006. **86**. P. 42—48. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2006.01.005>
83. Saladin G., Magne C., Clement C. Effects of fludioxonil and pyrimethanil, two fungicides used against *Botrytis cinerea*, on carbohydrate physiology in *Vitis vinifera* L. *Pest. Manag. Sci.* 2003. **59**. P. 1083—1092. <https://doi.org/10.1002/ps.733>
84. Пигарева С.А., Зайцева Н.М., Яговенко Т.В. Влияние фунгицида Амистар Экстра на ряд физиолого-биохимических показателей растений люпина желтого. *Многофункциональное адаптивное кормопроизводство.* 2019. **21**, № 69. С. 40—44. <https://doi.org/10.33814/МАК-2019-21-69-40-44>

85. Путилина Л.Н., Бартнев И.И., Лазутина Н.А. Изменение технологического качества сахарной свеклы в зависимости от обработки вегетирующих растений различными фунгицидами. *Saxar*. 2020. 5. С. 20—24. <https://doi.org/10.24411/2413-5518-2020-10503>
86. Коць С.Я., Кірізій Д.А., Павлище А.В. Взаємодія процесів асиміляції азоту і вуглецю у рослин сої, оброблених речовинами із фунгіцидною активністю та бульбочковими бактеріями, інкубованими з лектином. *Доп. Нац. акад. наук України*. 2018. 7. С. 88—95. <https://doi.org/10.15407/dopovid2018.07.088>
87. Попов С.Я., Дорожкина Л.А., Калинин В.А. Основы химической защиты растений. Москва: Арт-Лион, 2003. 208 с.
88. Кур'ята В.Г., Попрощька І.В. Фізіолого-біохімічні основи застосування ретардантів в рослинництві. Вінниця: ТОВ «Твори», 2019. 98 с.
89. Кур'ята В.Г., Попрощька І.В. Фізіологічні основи застосування ретардантів на олійних культурах. *Фізіологія рослин і генетика*. 2016. 48, № 6. С. 475—487.
90. Прусакова Л.Д., Чижова С.И. Применение производных триазола в растениеводстве. *Агробиология*. 1998. 10. С. 37—44.
91. Каплуашенко А., Книш Є., Панасенко О., Семелюк Ю., Кучерявий Ю., Шербак М., Каплуашенко Т., Рудь А., Гуліна Ю. Практичне значення та застосування похідних 1,2,4-триазолу. Запоріжжя: ЗДМУ, 2016. 186 с.
92. Михайлова М. Роль пероксидазы в повышении устойчивости растений сои к неблагоприятным факторам. *Вестник ДВО РАН*. 2019. 3. С. 139—144. <https://doi.org/10.25808/08697698.2019.205.3.024>
93. Семенова Е.А., Заикин Е.С. Влияние гербицида на активность антиоксидантных ферментов сои. *Наука и инновации — современные концепции*. 2019. 2. С. 103—107.
94. Гуляева Г.Б., Богдан М.М. Вплив обробки біологічно активними речовинами на ферментативну активність компонентів антиоксидантної системи та продуктивність рослин озимої пшениці. *ЗНУ Біологічний факультет*. 2013. С. 42—48.
95. Рязанова М.С., Швартау В.В. Вплив проквіназиду та гідроксиду міді на гомеостаз аніонів у рослинах озимої пшениці в генеративну фазу розвитку. *Вісник Дніпропетровського ун-ту. Серія Біологія, екологія*. 2015. 23, № 1. С. 28—32. <https://doi.org/10.15421/011505>
96. Lopez J.A., Rojas K., Swart J. The economics of foliar fungicide applications in winter wheat in Northeast Texas. *Crop Prot*. 2014. 67. P. 35—42. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.09.007>
97. Якуба І.П., Паузер О.Б. Показники окисно-відновних процесів у проростках овочевих культур за дії препарату Фітоцид. *Наукові записки Тернопільського нац. педагог. ун-ту імені Володимира Гнатюка. Серія Біологія*. 2017. 2. С. 113—118.
98. Лысенко Н.Н., Прудникова Е.Г. Влияние фунгицида Амистар Экстра и регулятора роста Бинорам на болезни листового аппарата и физиолого-биохимические показатели яровой пшеницы. *Вестник аграрной науки*. 2018. 1, № 70. С. 8—13. <https://doi.org/10.15217/48484>
99. Набеєва Р.А., Федяев В.В., Фархутдинов Р.Г., Ярмухаметова И.А., Хайруллина Р.Р., Ямалеева А.А., Ибрагимов А.Г. Влияние некоторых фунгицидных препаратов на окислительно-восстановительный обмен растений пшеницы. *Современные проблемы науки и образования*. 2015. 5. С. 673.
100. Павлище А.В., Маменко Т.П., Рибаченко Л.І., Коць С.Я. Вплив фунгіцидів на формування, функціонування та пероксидазну активність кореневих бульбочок сої за інокуляції ризобіями, інкубованими з лектином. *Мікробіологічний журнал*. 2018. 80, № 5. С. 76—89. <https://doi.org/10.15407/microbiolj80.05.076>
101. Коць С.Я., Маменко Т.П., Павлище А.В. Активність азотфіксації та антиоксидантних ферментів у симбіотичних системах *Glycine max—Bradyrhizobium japonicum* за комплексної обробки лектином та фунгіцидами. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2018. 9, N 2. С. 148—155. <https://doi.org/10.15421/021822>

Отримано 23.12.2020

REFERENCES

1. Kots, S.Ya., Morhun, V.V., Palyka, V. F., Malychenko, S.M., Mamenko, P.N., Kiri-ziy, D.A., Mykhalkyiv, L.M., Berehovenko, S.K. & Melnykova, N. N. (2011). Biological fixation of nitrogen: legume-rhizobial symbiosis: in 4 tons. Kyiv: Lohos [in Russian].

2. Petrychenko, V.F., Lykhochvor, V.V., Ivaniuk, S.V., Korniiichuk, O.V., Kolisnyk, S.I., Kobak, S.Ya., Zadorozhnyi, V.S., Chornolata, L.P., Kulyk, M.F., Obertiukh, Yu.V., Voronetska, I.S., Patyka, V.P., Hnatiuk, T.T., Aleksieiev, O.O., Kalinichenko, A.V., Kots, S.Ya., Berehovenko, S.K. & Zakharova, O.M. (2016). Soybean. Vinnytsia: Dilo [in Ukrainian].
3. Iutinskaya, G.A., Ponomarenko, S.P., Andreyuk, E.I., Antipchuk, A.F, Babayants, O.V., Belyavskaya, L.A., Brovko, I.S., Valagurova, E.V., Galkin, A.P., Galkina, L.A., Gladun, A.A., Gritsaenko, Z.M., Dragovoz, I.V., Musatenko, L.I., Petruk, T.V., Pindrus, A.A., Terek, O.I., Titova, L.V., Tsyigankova, V.A., Hu Ven Ksyu, Yavorskaya, V.K. & Yamborko, N.A. (2010). Bioregulation of microbial-plant systems. Kiev: Nichlava [in Russian].
4. Kosulnikov, Yu.V. & Laktionov, Yu.V. (2018). Factors which influence toxicity of legume seed disinfectants towards biologicals based on symbiotic nitrogen fixers. *Selskohozyaystvennaya biologiya*, 53, No. 5, pp. 1037-1044. <https://doi.org/10.15389/agrobology.2018.5.1037rus> [in Russian].
5. Diers, B.W., Specht, J., Rainey, K.M., Cregan, P., Song, Q., Ramasubramanian, V., Graef, G., Nelson, R., Schapaugh, W., Wang, D., Shannon, G., McHale, L., Kantartzi, S.K., Xavier, A., Mian, R., Stupar, R.M., Michno, J.-M., Charles, A. Y.-Q., Goettel, W., Ward, R., Fox, C., Lipka, A.E., Hyten, D., Cary, T. & Beavis, W.D. (2018). Genetic Architecture of Soybean Yield and Agronomic Traits. *G3. Genes, Genomes, Genetics*, 8, No. 10, pp. 3367-3375. <https://doi.org/10.1534/g3.118.200332>
6. Hartman, G.L., West, E.D. & Herman, T.K. (2011). Crops that feed the World 2. Soybean — worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. *Food Security*, 3, No. 1, pp. 5-17. <https://doi.org/10.1007/s12571-010-0108-x>
7. Bandara, A.Y., Weerasooriya, D.K., Bradley, C.A., Allen, T.W. & Esker, P.D. (2020). Dissecting the economic impact of soybean diseases in the United States over two decades. *PLoS One*, 15, No. 4, pp. e0231141. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231141>
8. Pasichnyk, O.I. (2020, April). Soybean and soybean oil production in Ukraine Zbirnyk naukovykh prats IX Vseukrainskoi studentskoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Aktualni problemy efektyvnoho sotsialnoekonomichnoho rozvytku Ukrainy: poshuk molodykh. (pp. 173-178). Vinnytsia [in Ukrainian].
9. Solomon, Yu.V. (2020, 22 June). Organic soybeans as a promising area of eco-innovation. Materialy I Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii: Perspektyvy eko-innovatsiinoho rozvytku silskohospodarskoho vyrobnytstva (pp. 144-146). Poltava [in Ukrainian].
10. Pobochenko, L.M. & Troian, V.V. (2018). Structure and dynamics of the world market of food. *Hlobalni ta natsionalni problemy ekonomiky*, 21, pp. 103-112 [in Ukrainian].
11. Maslak, O.M. (2020). Profitable soybeans. *The Ukrainian Farmer*, 4, No.124, pp. 50-51 [in Ukrainian].
12. Babych, A.O. & Babych-Poberezhna, A.A. (2011). Selection, production, trade and use of soybeans in the world. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
13. Petrychenko, V.F. & Chorna, V.M. (2016). Features of soybean plant growth depending on inoculation and morforegulator under conditions of the right-bank forest-steppe. *Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo*, 4, pp. 42-54 [in Ukrainian].
14. Strom, N., Yu, W., Haarith, D., Chen, S. & Bushley, K. (2020). Interactions between soil properties, fungal communities, the soybean cyst nematode, and crop yield under continuous corn and soybean monoculture. *Applied Soil Ecology*, 147, 103388, pp. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103388>
15. Surbhi, K. & Singh, K.P. (2020). Influence of weather factors on severity of aerial blight of soybean. *Indian Phytopathology*, 73, pp. 493-497. <https://doi.org/10.1007/s42360-020-00235-w>
16. Molodchenkova, O.O., Mishchenko, L.T., Kartuzova, T.V., Bezkravnaya, L.Ya., Likhota, O.B., Lavrova, G.D. & Mursakaev, E.Sh. (2019). Biochemical characteristics of soybean varieties under viral infection and different growth conditions. *Fakty eksperymentalnoi evoliutsii orhanizmv*, 24, pp. 256-264. <https://doi.org/10.7124/FEEO.v24.1112> [in Ukrainian].
17. Kocheva, N.S., Bragina, V.V., Kuldyayeva, E.E. & Piskunov, K.S. (2019). Effect of application of the chemical protection means of plants upon productivity, quality and bio-

- chemical structure of seeds of soybean in the conditions of Primorsky Krai. *Selskohozyaystvennaya biologiya*, 2, No. 14, pp. 15-19 [in Russian].
18. Antypova, L.K., Bondarenko, D.I. & Shapovalov, A.I. (2019, May). Development and spread of soybean diseases in the South of Ukraine. II Vseukrainska naukova internet-konferentsiia: Innovatsiini tekhnolohii v roslynnystvi (pp. 9-11). Kamenets-Podolsky [in Ukrainian].
 19. Mueller, D.S., Wise, K.A., Sisson, A.J., Smith, D.L., Sikora, E.J. & Robertson, A.E. (2015). *A Farmer's Guide to Soybean Diseases*. American Phytopathological Society, 2015, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1094/9780890545157>
 20. Kurilova, D.A. (2010). Harmfulness of fusarium soybeans, depending on the degree of damage to plants. *Nauchno-tehnicheskyy byulleten Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kultur*, No. 2, pp. 144-145 [in Russian].
 21. Patyka, V.P., Petrychenko, V.F., Pasichnyk, L.A., Zhytkevych, N.V., Huliaieva, H.B., Tokovenko, I.P., Hnatiuk, T.T., Kyrylenko, L.V., Korniihuk, O.V., Lykhochvor, V.V., Ivaniuk, S.V., Kolisnyk, S.I., Kots, S.Ya., Bzhovska, A. & Kalinichenko, A.V. (2018). Soybean diseases: monitoring, diagnosis, protection. Vinnytsia: Vindruk [in Ukrainian].
 22. Lin, H.-A., Villamil, M.B. & Mideros, S.X. (2020). Characterization of Septoria brown spot disease development and yield effects on soybean in Illinois. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 42, No. 4. <https://doi.org/10.1080/07060661.2020.1755366>
 23. Siddikova, N.K., Mirzaitova, M.K. & Abdukokharova, K. (2019). Askochyosis in cerebraus crops. *Nauka, tehnika i obrazovanie*, 11, No. 64, pp. 45-48. <https://doi.org/10.24411/2312-8267-2019-11104> [in Russian].
 24. Venediktov, O.M. (2012). Soybean diseases and pests and measures to control them. *Kormy i kormovyrobnytstvo*, 71, pp. 55-61 [in Ukrainian].
 25. Pohorila, L.H. (2017). Soybean seed infection in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Kormy i kormovyrobnytstvo*, 84, pp. 80-85 [in Ukrainian].
 26. Shcherbachuk, V.M. & Lykhochvor, V.V. (2015). Formation of soybean grain yield and quality indicators depending on the crop protection system against weeds and diseases in conditions of sufficient moisture. *Ahrobiolohiia*, 1, pp. 88-91 [in Ukrainian].
 27. Prus, L.I. (2017). The impact of agronomic measures on soybean productivity. *Agroecological journal*, 1, pp. 62-67 [in Ukrainian].
 28. Korniychuk, N.S., Polishchuk, S.V., Zhmurko, L.H., Zhitkevich, N.V. & Dankevich, L.A. (2008). The effect of plant growth regulators on soybean plant bacterial diseases. *Silskohospodarska mikrobiolohiia: Mizhvid. temat. nauk. zb.*, 7, pp. 138-146 [in Ukrainian].
 29. Koshevskiy, I.I., Kanarskyi, E.R. & Liaska, S.I. (2014). Influence of standing density of soybean plants on the development of fungal diseases. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld* 34, N 1, pp. 19-23 [in Ukrainian].
 30. Hychorieva, O.M., Dimova, S.B. & Almaiev, T.M. (2019). The efficiency of biological preparatios in the technology of soybean growing on heavy loamy chornozem on the Right-Bank steppe of Ukraine. *Silskohospodarska mikrobiolohiia*, 29, pp. 46-55. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.29.46-55> [in Ukrainian].
 31. Vavrinevych, O.P., Omelchuk, S.T. & Bardov, V.H. (2013). Assessment of the modern range and scope of application of fungicides in agriculture of Ukraine as a component of state social and hygienic monitoring, 18, No. 4, pp. 95-103 [in Ukrainian].
 32. Lykhochvor, V.V. & Shcherbachuk, V.M. (2014). The use of fungicides on soybeans. *Vcheni LNAU vyrobnytstvu: kataloh innovatsiinykh rozrobok*, 14, p. 28 [in Ukrainian].
 33. Morton, V. & Staub, T.A. (2008). Short History of Fungicides. Online, APSnet Features. <https://doi.org/10.1094/APSnetFeature-2008-0308>
 34. Ievtushenko, M.D., Mariutin, F.M. & Turenko, V.P. (2004). *Phytopharmacology*. Kiev: Vyshcha osvita [in Ukrainian].
 35. Kobak, S.Ya., Kolisnyk, S.I. & Serevetnyk, O.V. (2016). The most common soybean diseases and the effectiveness of BASF drugs for their control. *Agribusiness today*, 10, pp. 46-47 [in Ukrainian].
 36. Sekun, M.P., Zhrebko, V.M., Lapa, O.M., Retman, S.V. & Mariutin, F.M. (2007). *Pesticide Handbook*. Kyiv: Kolobih [in Ukrainian].
 37. Petraniuk, I.V. & Markov, I.L. (2017). Classification of fungicides according to their principle of action. *Ahronom*, N 2, pp. 58-68 [in Ukrainian].
 38. Vorobiova, K.A. & Omelchenko, N.V. (2017, December). Classification of plant protection products according to UKTZED for customs purposes. *Materialy V mizhnarodnoi*

- naukovo-praktychnoi konferentsii: Innovatsii v upravlinni asortymentom, yakistiu ta bezpekoiu tovariv i posluh. (pp. 236-362). Lviv [in Ukrainian].
39. Yashchuk, V.U., Vashchenko, V.M., Kryvosheia, R.M., Tsybulniak, Yu.O. & Koretskyi, A.P. (2016). List of pesticides and agrochemicals approved for use in Ukraine. Kyiv: Yunivest Media [in Ukrainian].
 40. Stankevych, S.V. (2020, August). Pesticide market of Ukraine. 5th International Scientific and Practical Conference International Forum: Problems and Scientific Solutions. (pp.104-107). Melbourne, Australia [in Ukrainian].
 41. Mostoviyak, I.I. & Demyanyuk, O.S. (2020). Factors of destabilization of the phytosanitary state of agrocenoses of grain crops in the central Forest-Steppe of Ukraine. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*, 2, pp. 73-84. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2020.208812> [in Ukrainian].
 42. Petit, A.-N., Fontaine, F., Vatsa, P., Clement, C. & Vaillant-Gaveau, N. (2012). Fungicide impacts on photosynthesis in crop plants. *Photosynthesis Research*, 111, pp. 315-326. <https://doi.org/10.1007/s11120-012-9719-8>
 43. Wu, Y.-X. & Tiedemann, A. (2001). Physiological effects of azoxystrobin and epoxiconazole on senescence and the oxidative status of wheat. *Pesticide Biochemistry Physiology*, 71, No. 1, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1006/pest.2001.2561>
 44. Serhienko, V.H. & Cherhina, O.D. (2011). Influence of biological preparations on the activity of redox enzymes of tomato plants. *Zakhyst i karantyn roslyn. Mizhvid. temat. nauk. zb.*, 57, pp. 179-188 [in Ukrainian].
 45. Thapa, G., Dey, M., Sahoo, L. & Panda, S.K. (2011). An insight into the drought stress induced alterations in plants. *Biologia Plantarum*, 55, No. 4, pp. 603-613. <https://doi.org/10.1007/s10535-011-0158-8>
 46. Morgun, V.V. & Kots, S.Ya. (2018). The role of biological nitrogen in nitrogen nutrition of plant. *Visnyk NAN Ukrainy*, 1, pp. 63-74. <https://doi.org/10.15407/visn2018.01.062> [in Ukrainian].
 47. Kyrychenko, O.V. & Mokrytskiy, K.A. (2017). Sowing properties of soybean seeds under the introduction of diazotrophic microorganisms. *Fyzyolohiya rastenyi i genetika*, 49, No. 4, pp. 347-357. <https://doi.org/10.15407/frg2017.04.347> [in Ukrainian].
 48. Kyrychenko, E.V. (2000). Relationship between leguminous plants and nodule bacteria at the level of pre-contact interactions during the formation of nitrogen-fixing systems. *Fyzyolohiya y byokhymiya kult. rastenyi*, 34, No. 2, pp. 95-101 [in Russian].
 49. Morgun, V.V. & Kots, S.Ya. (2018). Biological nitrogen in modern agriculture. *Plant Varieties Studying and Protection*, 14, No. 3, pp. 285-294. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.3.2018.145293> [in Russian].
 50. Volkohon, V.V., Nadkernychna, O.V. & Kovalevska, T.M. (2006). Microbial preparations in agriculture. *Theory and practice*. Kyiv: Ahrarna nauka, 312 p.
 51. Tariq, M., Hameed, S., Shahid, M., Yasmeen, T. & Ali, A. (2016). Effect of fungicides and bioinoculants on *Pisum sativum*. *Research & Reviews. Journal of Botanical Sciences*, 5, No. 2, pp. 36-40.
 52. Ahemad, M. & Khan, M.S. (2011). Ecotoxicological assessment of pesticides towards the plant growth promoting activities of Lentil (*Lens esculentus*)-specific *Rhizobium* sp. strain MRL3. *Ecotoxicology*, 20, No. 4, pp. 661-669. <https://doi.org/10.1007/s10646-011-0606-4>
 53. Moawad, H., Abd El-Rahim, W.M., Shawky, H., Higazy, A.M. & Daw, Z.Y. (2014). Evidence of fungicides degradation by rhizobia. *Agricultural Sciences*, 5, No. 7, pp. 618-624. <https://doi.org/10.4236/as.2014.57065>
 54. Yakymenko, M.V., Behun, S.A. & Sorokyna, A.Y. (2016). Compatibility of collection strains of soybean rhizobia with fungicides and growth-promoting drugs. *Dalnevostochnyyi agrarnyyi vestnik*, 2, No. 38, pp. 38-41 [in Russian].
 55. Mishra, G., Kumar, N., Giri, K. & Pandey, S. (2013). In vitro interaction between fungicides and beneficial plant growth promoting Rhizobacteria. *Agrican Journal of Agriculture Reserche*, 8, No. 45, pp. 5630-5633. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1526>
 56. Vozniuk, S.V., Tytova, L.V., Ratushinska, O.V. & Iutynska, G.O. (2016). Formation and functioning of symbiotic systems and rhizosphere microbiocenosis of soybean under various fungicides application. *Mikrobiolohichniy zhurnal*, 78, No. 4, pp. 90-101 [in Russian].
 57. Ahmed, M., Elesheikh, E.A.E. & Mahdi, A.A. (2007). The in vitro compatibility of some *Rhizobium* and *Bradyrhizobium* strains with fungicides. *African Crop Science Society*, 18, pp. 1171-1178. <https://doi.org/10.13140/2.1.3933.9208>

58. Kovalevska, T.M., Horban, V.P., Nadkernychna, O.V. & Bardakov, A.H. (2005). The effect of fundazole and rhizotorphin on the productivity of the symbiosis of nodule bacteria with lupine plants. *Silskohospodarska mikrobiolohiia*, 1-2, pp. 52-59 [in Ukrainian].
59. Aliexsieiev, O.O. (2016). Influence of ecological factors on the development and productivity of legume-rhizobial symbiosis. *Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo. Ekolohiia ta okhorona navkolyshnoho seredovyscha*, 4, pp. 187-196 [in Ukrainian].
60. Omelchuk, S.V., Zhemojda, A.V. & Pavlyshe, A.V. (2017). Formation, functioning and productivity of the soybean-Rhizobium symbiosis under the influence of fungicides lamardor and maxim. *Fiziol. rast. genet.*, 49, No. 1, pp. 54-63. <https://doi.org/10.15407/frg2017.01.054> [in Ukrainian].
61. Vorobey, N.A., Kukol, K.P. & Kots, S.Ya. (2020). Fungicides toxicity assessment on Bradyrhizobium japonicum nodule bacteria in pure culture. *Mikrobiolohichniy zhurnal*, 82, No. 3, pp. 45-54. <https://doi.org/10.15407/microbiolj82.03.045> [in Ukrainian].
62. Kukol, K.P., Vorobey, N.A. & Kots, S.Ya. (2019). Sensitivity of pure cultures of Bradyrhizobium japonicum to fungicides. *Silskohospodarska mikrobiolohiia*, 30, pp. 20-31. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.30.20-31> [in Ukrainian].
63. Pavlyshe, A.V., Kukol, K.P. & Vorobey, N.A. (2019, 15 May). Sensitivity of Bradyrhizobium japonicum 634b in pure culture to the production rate of fungicides. *Materiialy II Vseukrainskoi naukovoï internet-konferentsii Innovatsiini tekhnolohii v roslynnystvi* (pp. 111-114). Kamianets-Podilskyi, pp. 111-114.
64. Dzhemesiuk, O.V., Kalenska, S. & Novytska, N.V. (2017). Yield and quality of soybeans grain under influence of inoculation and foliar top dressing. *Research Gate*, 1-2, pp. 372-380 [in Ukrainian].
65. Tokmakova, L.M., Tarariko, Yu.O., Trepach, A.O., Lepekha, O. P. & Larchenko, I.V. (2013). The effect of modern disinfectants of crop seeds on the vital functions and functional activity of biological agents of microbial preparations. *Silskohospodarska mikrobiolohiia*, 18, pp. 120-131 [in Ukrainian].
66. Niewiadomska, A. & Klama, J. (2005). Pesticide side effect on the symbiotic efficiency and nitrogenase activity of Rhyzobiaceae bacteria family. *Polish journal of microbial*, 54, No.1, pp. 43-48.
67. Chebotar, N.I. (1976). The effect of herbicides on the formation of nodules and the yield of soybeans. *Ekologiya i fiziologiya pochvennyih mikroorganizmov: sb. nauch. tr. Lvov*, pp. 147-152 [in Russian].
68. 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* (Basel), 9, No. 11, p. 1488. <https://doi.org/10.3390/plants9111488>.
69. Paromenskaya, L.N. (1980). Effect of pesticides on the symbiotic relationship of Rhizobium with legumes. *Tr. VNIISHM*, 50, pp. 97-111 [in Russian].
70. Kintshev, M.R., Goulart, A.C.P. & Mercante, F.M. (2014). Compatibility between rhizobium inoculation and fungicide application in seeds of common beans. *Summa phytopathol*, 40, No. 4, pp. 338-346. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/1906>
71. Fox, J.E., Gullledge, J., Engelhaupt, E., Burow, M.E. & McLachlan, J.A. (2007). Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and hostplants. *Proceeding of the National Academy of Sciences USA*, 104, No. 24, pp. 10282-10287. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611710104>
72. Borzenkova, G.A. (2014). Optimization of technology of preseeding treatment and possibility of its combination with inoculation for protection of soya against contamination with seed infection. *Zernobobovyye i krupyanyie kulturyi*, 1, No. 9, pp. 22-30 [in Russian].
73. Bushneva, N.A. (2019). The efficiency of the combined application of inoculants and fungicidal disinfectants on soybean. *Maslichnyie kulturyi*, 4, No. 180, pp. 119-123. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2019-4-180-119-123> [in Russian].
74. Bikrol, A., Saxena, N. & Singh, K. (2005). Response of Glycine max in relation to nitrogen fixation as influenced by fungicide seed treatment. *African J. Biotechnolol*, 4, No. 7, pp. 667-671. <https://doi.org/10.5897/AJB2005.000-3122>
75. Vozniuk, S.V., Tytova, L.V., Lyaska, S.I. & Iutynska, G.O. (2015). Influence of fungicides complex inoculum Ekovital on rhizosphere microbiocenosis, diseases resistance and soybean productivity. *Mikrobiolohichniy zhurnal*, 77, No. 4, pp. 8-14 [in Ukrainian].

76. Bublik, L.I. & Balyuh, O. (2011). Ecotoxicological evaluation of application of fungicides for the protection of lupine and soybean. *Karantyn i zakhyst roslyn*, 57, pp. 26-32 [in Ukrainian].
77. Mamenko, T.P., Kots, S.Ya. & Khomenko, Y.O. (2020). The intensity of ethylene release by soybean plants under the influence of fungicides in the early stages of legume-rhizobial symbiosis. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 11, No. 1, pp. 98-104. <https://doi.org/10.15421/022014>
78. Pavlyshche, A.V., Kiriziy, D.A. & Kots, S.Ya. (2017). The reaction of symbiotic soybean systems to the action of fungicides under various treatment. *Fiziologiya rastenyi i genetika*, 49, No. 3, pp. 237-247. <https://doi.org/10.15407/frg2017.03.237> [in Ukrainian].
79. Pavlyshche, A.V., Yakimchuk, R.A., Omelchuk, S.V., Zhemoyda, A.V. & Kots, S.Ya. (2018). Symbiotic properties and seed productivity of soybean in field conditions under various methods of seeds treatment with fungicides *Fiziologiya rastenyi i genetika*, 50, No. 4, pp. 358-368. <https://doi.org/10.15407/frg2018.04.358> [in Ukrainian].
80. Kononov, A.S. (2013). Physiology of the process of nitrogen fixation and photosynthesis in heterogeneous sowing *Bulletin of Bryansk dpt. of RBS*, 1, pp. 42-50 [in Russian].
81. Kots, S.Ya., Kirizii, D.A. & Veselovska, L.I. (2013). The intensity of photosynthesis of the soybean—*Bradyrhizobium japonicum* symbiotic systems under exogenous lectin influence. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 1, pp. 157-162 [in Ukrainian].
82. Xia, X.J., Huang, Y.Y., Wang, L., Huang, L.F., Yu, Y.L., Zhou, Y.H. & Yu, J.Q. (2006). Pesticides-induced depression of photosynthesis was alleviated by 24-epibrassinolide pretreatment in *Cucumis sativus* L. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 86, pp. 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2006.01.005>
83. Saladin, G., Magne, C. & Clement, C. (2003). Effects of fludioxonil and pyrimethanil, two fungicides used against *Botrytis cinerea*, on carbohydrate physiology in *Vitis vinifera* L. *Pest. Manag. Sci.*, 59, pp. 1083-1092. <https://doi.org/10.1002/ps.733>
84. Pigareva, S.A., Zaytseva, N.M. & Yagovenko, T.V. (2019). Effect of the fungicide Amistar Extra on a number of biochemical indicators of yellow lupin plants. *Mnogofunktstonalnoe adaptivnoe kormoproizvodstvo*, 21, No. 69, pp. 40-44. <https://doi.org/10.33814/MAK-2019-21-69-40-44> [in Russian].
85. Putilina, L.N., Bartenev, I.I. & Lazutina, N.A. (2020). Changes in the technological quality of sugar beets depending on the treatment of vegetative plants with various fungicides. *Sahar*, 5, pp. 20-24. <https://doi.org/10.24411/2413-5518-2020-10503> [in Russian].
86. Kots, S.Ya., Kirizii, D.A. & Pavlyshche, A.V. (2018). Interaction of the processes of nitrogen and carbon assimilation in soybean plants under the treatment with fungicidal activity substances and the inoculation with nodule bacteria incubated with lectin. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, 7, pp. 88-95. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.07.088> [in Ukrainian].
87. Popov, S.Ya., Dorozhkina, L.A. & Kalinin, V.A. (2003). *Fundamentals of chemical plant protection*. Moscow: Art-Lion, 208 p. [in Russian].
88. Kuryata, V.G. & Poprotska, I.V. (2019). Physiological and biochemical bases of retardants application in crop production. *Vinnytsia: TOV «Tvory»*, 98 p. [in Ukrainian].
89. Kuryata, V.G. & Poprotska, I.V. (2016). The physiological basics of retardants application to oilseeds, 48, No. 6, pp. 475-487 [in Ukrainian].
90. Prusakova, L.D. & Chizhova, S.I. (1998). The use of triazole derivatives in crop production. *Agrohimiya*, 10, pp. 37-44 [in Russian].
91. Kapluashenko, A., Knysh, Ye., Panasenko, O., Semeliuk, Yu., Kucheriavyi, Yu., Shcherbak, M., Kapluashenko, T., Rud A. & Hulina, Yu. (2016). Practical significance and application of 1,2,4-triazole derivatives. *Zaporizhzhia: ZDMU*, 186 p.
92. Mihailova, M.P. (2019). The role of peroxidase in the increasing of soybean plant resistance to unfavorable factors. *Vestnik DVO RAN*, 3, pp. 139-144. <https://doi.org/10.25808/08697698.2019.205.3.024> [in Ukrainian].
93. Semenova, E.A. & Zaikin, E.S. (2019). The effect of the herbicide on the activity of antioxidant enzymes in soybean. *Nauka i innovatsii — sovremennyye kontseptsii*, 2, pp. 103-107 [in Ukrainian].
94. Huliaieva, H.B. & Bohdan, M.M. (2013). The effect of treatment with biologically active substances on the enzymatic activity of the components of the antioxidant system and the productivity of winter wheat plants. *ZNU Biolohichniy fakultet*, pp. 42-48 [in Ukrainian].
95. Riazanova, M.E. & Schwartau, V.V. (2015). Effect of proquinazid and copper hydroxide on homeostasis of anions in winter wheat plants in generative phase of development.

- Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Seriya Biolohiia, ekolohiia, 23, No. 1, pp. 28-32. <https://doi.org/10.15421/011505> [in Ukrainian].
96. Lopez, J.A., Rojas, K. & Swart, J. (2014). The economics of foliar fungicide applications in winter wheat in Northeast Texas. *Crop Prot.*, 67, pp. 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.09.007>
 97. Yakuba, I.P. & Pauzer, O.B. (2017). Indices of reduction and oxidation processes in the sprouts of vegetable plants effected by preparation Phytocid. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriya Biolohiia*, 2, pp. 113-118 [in Ukrainian].
 98. Lysenko, N.N. & Prudnikova, E.G. (2018). Effect of fungicide Amistar Extra and growth regulator Binoram on the foliar disease and physiological-biochemical indices of spring wheat. *Vestnik agrarnoy nauki*, 1, No. 70, pp. 8-13. <https://doi.org/10.15217/48484> [in Russian].
 99. Nabeeva, R.A., Fedyaev, V.V., Farhutdinov, R.G., Yarmuhametova, I.A., Hayrullina, R.R., Yamaleeva, A.A. & Ibragimov, A.G. (2015). The influence of some fungicidal preparations on the redox metabolism of wheat plants. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 5, p. 673 [in Russian].
 100. Pavlyshche, A.V., Mamenko, T.P., Rybachenko, L.I. & Kots, S.Ya. (2018). Influence of fungicides on the formation, functioning and peroxidase activity of root soybean nodules at inoculation by rhizobia, incubated with lectin. *Mikrobiolohichniy zhurnal*, 80, No. 5, pp. 76-89. <https://doi.org/10.15407/microbiolj80.05.076> [in Ukrainian].
 101. Kots, S.Ya., Mamenko, T.P. & Pavlyshche, A.V. (2018). Activity of nitrogen fixation and antioxidant enzymes in symbiotic systems *Glycine max*—*Bradyrhizobium japonicum* for complex treatment with lectin and fungicides. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 9, No. 2, pp. 148-155. <https://doi.org/10.15421/021822> [in Ukrainian].

Received 23.12.2020

THE USE OF FUNGICIDES IN INTEGRATED SOYBEAN PROTECTION SYSTEMS AND THEIR IMPACT ON THE PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PROCESSES IN PLANTS UNDER INOCULATION OF SEEDS WITH NODULE BACTERIA

S.Ya. Kots, A.V. Pavlyshche

Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylkivska St., Kyiv, 03022, Ukraine
e-mail: zapadenka2015@gmail.com

The review of literature data is given on the effect of various chemicals with fungicidal properties on the course of physiological and biochemical processes in soybean plants under conditions of seeds inoculation with nodule bacteria. The importance of soybean in integrated agricultural systems, and destabilizing factors for maximum realization of its genetic potential are shown. The influence of fungicidal preparations and their individual components on nodule bacteria in pure culture, legume-rhizobial symbiosis, photosynthetic apparatus, and features of the plant organism response at the level of redox reactions are considered. It is noted that the toxic effect of fungicides on nodule bacteria depends on the bacterial strain, the active substance and additional components of the pesticide, its concentration, storage temperature, the duration of interaction with bacteria. Certain mechanisms of fungicides negative influence on legume-rhizobial symbiosis are outlined, which consist in inhibition of phytoestrogen production by plants, decrease in synthesis of phytohormones and siderophores, violation of regulatory signaling system between macro- and microsymbionts, blocking the activity of nodulation genes and reducing the level of rhizobial *Nod*-factor. It is assumed that the multidirectional action of pesticides on the photosynthetic apparatus depends on the method of treatment, concentration and the active substances of fungicides. It is noted that changes in the antioxidant enzymes activity in soybean plants indicate the development of stress-protective reactions to chemical treatment. Possible ways to reduce the toxic effects of fungicides that will help maintain the efficiency of legume-rhizobial symbiosis with the combined use of biological preparations and chemical pesticides in soybean cultivation are shown.

Key words: soybean, phytopathogens, fungicides, nodule bacteria, legume-rhizobial symbiosis, photosynthesis, antioxidant enzymes.