

<https://doi.org/10.15407/frg2021.03.240>

УДК 632.95:631.847.211:581.557

## ВПЛИВ ПЕСТИЦИДІВ НА БУЛЬБОЧКОВІ БАКТЕРІЇ У ЧИСТІЙ КУЛЬТУРІ ТА РЕАЛІЗАЦІЮ ЇХ СИМБІОТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

С.Я. КОЦЬ, К.П. КУКОЛ

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

На основі аналізу вітчизняних і зарубіжних літературних джерел висвітлено питання доцільності та ефективності застосування у технологіях вирощування сільськогосподарських культур мікробних препаратів, виготовлених на основі активних штамів бульбочкових бактерій, схарактеризовано їх роль у забезпеченні рослин біологічно фіксованим азотом. Наведено відомості про поширеність, переваги і перспективи застосування хімічного методу захисту рослин від збудників хвороб, фітофагів і бур'янів у агрофітоценозах. Висвітлено особливості оцінювання пестицидів за низкою екотоксикологічних показників. Наведено дані про вплив окремих діючих речовин і сумішевих хімічних препаратів на життєздатність та репродукцію азотфіксуювальних мікроорганізмів у чистій культурі. Показано, що інтенсивність цього впливу залежить від призначення, механізмів дії, переліку штучно синтезованих речовин у складі препаратів, застосованої концентрації та генотипу штамів ризобій. Зазначено, що пристосувальні реакції у мікроорганізмів до дії пестицидів виявляються у корекції біохімічних та фізіологічних процесів, що забезпечує їх подальше існування за умов антропогенного навантаження. Проаналізовано вплив хімічних засобів захисту рослин за різних способів їх застосування на симбіотичні системи, утворені за участю активних штамів бульбочкових бактерій і бобових культур. Залежно від генотипів мікро- та макросимбіонтів, складових хімічних препаратів, низки біотичних і абіотичних чинників навколишнього середовища фіксували різноспрямований вплив пестицидів на кількість, масу сформованих кореневих бульбочок, рівень асиміляції ними  $N_2$ , урожайність зерна та показники його якості. Окреслено можливі шляхи суміщення процесів бактеризації насіння бобових культур та його обробки протруйниками фунгіцидної або інсектицидної дії внаслідок застосування толерантних до пестицидів штамів ризобій та включення додаткових компонентів протекторної дії до препаратів.

**Ключові слова:** азотфіксація, бактеріальні препарати, ризобії, хімічний метод захисту рослин, пестициди, діюча речовина, кількість і маса бульбочок, урожайність.

У землеробстві всіх країн світу наявність у ґрунті доступних для рослин сполук азоту як джерела живлення є важливим чинником

Цитування: Коць С.Я., Кукол К.П. Вплив пестицидів на бульбочкові бактерії у чистій культурі та реалізацію їх симбіотичного потенціалу. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. 53, № 3. С. 240—261. <https://doi.org/10.15407/frg2021.03.240>

унаслідок провідної ролі цього елемента в підвищенні урожайності та поліпшенні якості отриманої продукції [1–4]. Азот входить до складу білків, нуклеїнових кислот, нуклеопротеїдів, хлорофілу, алкалоїдів, вітамінів, фосфатидів та інших сполук і бере активну участь у всіх життєво важливих обмінних процесах, які проходять у рослинах упродовж їх росту та розвитку [5, 6]. Щоб задовольнити підвищений попит на азот у сільському господарстві, у другій половині ХХ ст. широко використовували синтетичні добрива, що призвело до низки екологічних проблем. Основними з них є евтрофікація наземних та водних екосистем, глобальне підкислення ґрунтів тощо [7, 8].

Причиною забруднення нітратами ґрунтів і підземних вод стало те, що майже 25 % азоту, який надходить у агроекосистему з мінеральними добривами, не використовується рослинами, а втрачається внаслідок вимивання, денітрифікації та перебігу інших процесів [9, 10].

Упродовж останніх десятиліть відбувається формування потужного світового ринку сільськогосподарської продукції та продовольства вищої екологічної якості, що виробляється без використання пестицидів та мінеральних добрив промислового походження. Тому цілком зрозумілим є постійно зростаючий інтерес дослідників різних галузей біології до питань, пов'язаних із процесом біологічного перетворення молекулярного азоту, здійснюваного діазотрофними мікроорганізмами в симбіозі й асоціаціях із рослинами в природних екосистемах та агрофітоценозах, створених людиною [11]. Постійно зростають обсяги застосування бактеріальних добрив у технологіях вирощування різних культур та в лісовому господарстві [12, 13]. Світовий ринок біодобрив географічно сегментований на Північну Америку, Європу, Азійсько-Тихоокеанський регіон, Південну Америку та Африку, а кожен регіон субсегментований на країни. Так, наприклад у 2020 р. Азійсько-Тихоокеанський ринок біодобрив (Китай, Індія, Японія, Південна Корея, Австралія) оцінювався у 0,58 млрд доларів США і за прогнозами спеціалістів до 2025 р. його вартість зросте на 14,4 %. Основними виробниками біопрепаратів у цьому регіоні є компанії Lallemand Inc., Camson Bio Technologies Ltd, Novozymes A/S, Nutramax Laboratories Inc., Mapleton Agri Biotech PTY Ltd і AgriLife [14]. Очікується, що до 2025 р. європейський ринок біологічних добрив зросте на 7,7 %. Основними споживачами мікробних препаратів у Європі є Німеччина, Італія, Франція, Велика Британія та Іспанія, оскільки на них припадає понад 60 % регіональної частки ринку. Основними виробниками є компанії Ficosterra, ASB Greenworld, UAB Bioenergy, Symborg Corporate SL, Biomax Informatics AG, Lallemand Inc., Novozymes та ін. [15].

В Україні представлений широкий спектр мікробіологічних препаратів для різних груп рослин. Залежно від кількості компонентів розрізняють моно- та комплексні препарати. Основним компонентом є мікробіологічний агент — жива культура мікроорганізмів та продукти їх метаболізму. У складі комплексних біопрепаратів є кілька біологічних агентів, які продукують свої метаболіти, а також екзогенно внесені біологічно активні речовини та мікроелементи [16, 17].

Із метою зменшення доз внесення високовартісних азотних добрив та мінімізації їх негативного впливу на довкілля використовують аль-

тернативний підхід у забезпеченні рослин азотом — його біологічну фіксацію, що є природним процесом перетворення атмосферного  $N_2$  у доступну для вирощуваних рослин форму [6, 7, 17, 18]. Саме тому основну частину мікробних препаратів, які застосовують у технологіях вирощування сільськогосподарських культур, становлять виготовлені на основі активних штамів мікроорганізмів-азотфіксаторів.

Переваги біологічного азоту не лише в його екологічності. Показано, що для його накопичення необхідні відносно невеликі витрати енергії, він менш піддається денітрифікації та вимиванню, оскільки безпосередньо використовується рослинами [1, 19, 20].

Потенціал бобово-ризобіальних симбіозів за асиміляцією атмосферного азоту може становити до 500 кг/га (для бобових трав) і до 300 кг/га (для зернобобових культур) [16]. Наприклад, соя забезпечує 57—152 кг/га азоту; кормові боби — 326—648; горох — 69—85; люцерна — 128—300; конюшина — 98—220 [21].

Переконливим доказом ефективності використання бактеріальних препаратів, виготовлених на основі бульбочкових бактерій, у вирощуванні бобових культур є результати багаторічних випробувань, проведених у різних ґрунтово-кліматичних зонах України. Завдяки бактеризації посівного матеріалу комплементарними активними штамми ризобій отримано істотне підвищення зернової продуктивності: сої — на 15—23 %, гороху — на 11—20 %, люпину — на 13—19 %, а також приріст зеленої маси конюшини й люцерни на 12—25 % [22]. Так, у зоні Степу України показана можливість підвищення врожайності сої, нуту, гороху, чини і сочевиці на 0,1—0,6 т/га (5—16 %) і вмісту сирого протеїну в насінні на 1—3 % внаслідок передпосівної бактеризації насіння і формування високопродуктивних рослинно-мікробних систем в агроценозах цих культур [23]. В цілому рівень прибавок урожайності залежить від особливостей культури, ґрунтово-кліматичних умов її вирощування та генотипу мікросимбіонта [17, 19].

Слід зазначити, що позитивний вплив мікроорганізмів-азотфіксаторів на рослину не обмежується поліпшенням її азотного живлення та підвищенням рівня врожайності. Застосування біологічних препаратів підвищує вміст азоту в ґрунті на 40—50 % та поліпшує його фізико-хімічні властивості [4]. Корисні мікроорганізми, заселивши корені, запобігають інфікуванню рослини фітопатогенами, підвищують її стійкість до збудників хвороб та низки абіотичних стресових чинників [17, 24]. Встановлено, що застосування біопрепаратів підвищує якість посівного матеріалу [25] та сприяє інтенсифікації фотосинтезу в бактеризованих рослинах [2, 26].

Мікробіологи селекціонують високоактивні конкурентоздатні штамми азотфіксувальних мікроорганізмів, щоб забезпечити високу якість інокулянтів. Їх виготовляють на основі перевірених на чистоту штамів, удосконалюють технології і рецептури для зберігання життєздатності бактеріальних клітин упродовж тривалого часу [13, 17, 27].

За умов дотримання рекомендацій із застосування вітчизняні мікробні препарати не поступаються закордонним за ефективністю дії, оскільки біологічні агенти — мікроорганізми, що є їх основою, виділені з ґрунтів і адаптовані до ґрунтово-кліматичних зон України та сортів культурних рослин вітчизняної селекції [16].

Результати проведених досліджень свідчать про високу економічну ефективність застосування біопрепаратів на основі активних штамів бульбочкових бактерій при вирощуванні сої та люпину. Додаткові витрати на проведення бактеризації в розрахунку на 1 га становлять лише 1 % для сої та 6,6 % — для люпину [28].

Ефективність біодобрив на основі мікроорганізмів-азотфіксаторів залежить від багатьох чинників включно з особливостями вирощуваної культури, едафічними чинниками (рН, тип ґрунту, його фізико-хімічні властивості та вологість), біотичними (конкуренція між інтродукованими та аборигенними штамми, кількісний і якісний склад мікробіоти ґрунту) та кліматичними чинниками [21, 29]. При цьому одним із чинників, які впливають на формування та функціонування симбіотичних систем, є хімічні засоби захисту рослин (ЗЗР), що різними способами застосовують у технологіях вирощування сільськогосподарських культур.

**Поширеність, переваги і перспективи застосування хімічного методу захисту рослин від збудників хвороб, фітофагів і бур'янів у агрофітоценозах.** Захист сільськогосподарських культур від шкідливих організмів є важливою ланкою у системі виробництва рослинницької продукції, оскільки на сьогодні причиною недобору близько третини врожаю є шкідники, хвороби і бур'яни [30, 31].

У багатьох країнах світу основне місце у системі контролю чисельності патогенів і фітофагів займає хімічний метод захисту рослин, що полягає у застосуванні штучно синтезованих хімічних речовин, які здатні спричиняти загибель різноманітних видів шкідливих організмів або порушувати їх розвиток [6, 32—34]. Екологічне та економічне обґрунтування доцільності захисту рослин від шкідливих організмів є однією з основних вимог Закону України «Про захист рослин» № 180 від 14.10.1998 р. Безпека для здоров'я людини і навколишнього середовища визначена пріоритетним напрямом державної політики нашої країни в сфері діяльності, пов'язаної з пестицидами [35].

Раціональне використання засобів хімізації є однією з важливих частин комплексного підходу до формування агросфери ХХІ ст. на принципах сталого розвитку (стабільне отримання достатньої кількості високоякісної конкурентоспроможної продукції при обмежених витратах антропогенної енергії, збереженні і поновленні природних ресурсів та мінімальному забрудненні довкілля) [36].

Історія виробництва хімічних ЗЗР розпочинається з еволюції засобів боротьби зі шкідниками від природних неселективних агентів до високоспецифічних синтетичних речовин [37]. Сьогодні асортимент пестицидів, препаративні форми і способи їх застосування докорінно змінилися порівняно з тими, що використовували у другій половині минулого століття. Сучасні препарати стали краще збалансованими за багатьма показниками, часто до їх складу входить дві-три діючих речовини, що розширює спрямованість та спрощує дозування і приготування робочих розчинів [34, 38]. Інтенсивне збільшення кількості сумішевих препаратів пояснюється тим, що поєднання кількох діючих речовин розширює спектр їх впливу на шкідливі об'єкти, дає змогу скоротити кратність обробок, поліпшує захисну дію і запобігає утворенню резистентних генотипів, тобто

повною мірою використовуються можливості синергізму — взаємопідвищення пестицидного ефекту [39, 40]. Основу вибіркової токсичності пестицидів становлять видові відмінності біохімічних механізмів життєдіяльності організмів. Визначення відмінностей у біохімічних процесах — шлях до створення нових пестицидів [41, 42].

Загальний обсяг використання хімічних ЗЗР у нашій країні досить великий, хоча вже не такий, як на початку 1990-х, коли він становив близько 200 тис т. Ринок пестицидів в Україні є переважно імпорто-орієнтованим. У цій сфері працює близько 30 іноземних компаній і понад 20 українських, включно як з виробниками, так і трейдерами [43]. Так, у 2018 р. порівняно з 1999 р. асортимент дозволених до використання в Україні гербіцидів збільшився на 525 %; фунгіцидів, інсектицидів та регуляторів росту — на 340, 597 та 792 % відповідно [44]. Отже, лідерами з асортименту та обсягів застосування в нашій державі є гербіциди. Слід зауважити, що більшість гербіцидів (близько 80 %) використовується одноразово. Разом з тим фунгіциди можна використовувати для передпосівної обробки насіння і дво-, триразово упродовж вегетації [45, 46].

Головним завданням з удосконалення існуючого ринку пестицидів є розвиток власного виробництва засобів захисту рослин з імпортової сировини, що значно дешевше, ніж ввезення готових препаратів [47].

При використанні хімічних засобів захисту рослин важливо заздалегідь оцінити рівень потенційної небезпеки запланованої системи хімічного захисту для людини, довкілля і корисної мікробіоти [33, 48]. Екотоксикологічні показники враховують пріоритетне значення властивостей, що зумовлюють вплив пестицидів на екосистему в цілому. Класифікація препаратів базується на властивостях, які характеризують дію на біоту. Основним кількісним критерієм рівня небезпечності є стійкість препаратів в об'єктах навколишнього середовища, яку оцінюють періодом піврозпаду  $T_{50}$  — часом, за який вміст пестициду в досліджуваному об'єкті зменшується на 50 %. За персистентністю пестициди поділяють на 4 класи: дуже стійкі —  $T_{50}$  понад 20 діб, стійкі —  $T_{50}$  становить 5—20 діб, помірно стійкі —  $T_{50}$  — 3—5 діб, малостійкі —  $T_{50}$  менш як 3 доби. Враховують стійкість препаратів у ґрунті, воді, в рослинах; біоаккумуляцію (коефіцієнт накопичення у водній та наземних екосистемах, за трофічними ланцюгами); коефіцієнти міграції: ґрунт—рослина, ґрунт—повітря, ґрунт—вода [49].

Державні випробування й реєстрацію пестицидів та агрохімікатів проводять для мінімізації їх шкідливого впливу на довкілля та здоров'я людини, а також для забезпечення високої біологічної ефективності цільового використання препаратів за умови відповідності державним стандартам, санітарним нормам та іншим нормативним документам. Під час їхнього проведення науково-дослідні установи, підприємства та організації дають токсиколого-гігієнічну оцінку препарату та визначення оптимальних умов його застосування, розробляють потрібні гігієнічні нормативи та регламенти. При цьому група експертів апробує методи визначення залишкових кількостей препаратів, їхніх токсичних метаболітів у ґрунті, воді, повітрі, рослинах, кормах, продуктах харчування [50].

Вкрай важливим елементом інтегрованого захисту рослин є систематичний моніторинг агроценозів, діагностика видового складу бур'янів, збудників хвороб та шкідників, прогнозування рівнів їх потенційної шкідливості на кожному окремому полі, визначення доцільності захисних заходів і своєчасне застосування найраціональніших прийомів [51].

В цілому оцінювання ефективності застосування засобів захисту рослин — це комплексне завдання, яке має враховувати їх особливості та всі можливі ефекти, що стосуються екологічної, економічної та соціальної сфер. Оцінюючи ефективність застосування хімічних засобів захисту рослин, потрібно намагатися виявити позитивні та негативні наслідки використання пестицидів із подальшим наданням їм вартісного вираження. Проведене науковцями дослідження доцільності застосування хімічних ЗЗР на макроекономічному рівні довело їх високу ефективність навіть у несприятливих економічних умовах. Так, у середньому по Україні, за даними 2016 р., прибуток від застосування пестицидів становив близько 45 млрд грн, а рівень рентабельності — 434 %. Висока економічна ефективність захисних заходів із використанням пестицидів свідчить про обґрунтованість їх застосування у рослинництві та зумовлює зростання обсягів використання для підвищення культури землеробства при розв'язанні проблеми продовольчої безпеки України [52].

Отже, з урахуванням поширеності, біологічної та економічної ефективності інокуляції насіння мікробними препаратами, виготовленими на основі бактерій-азотфіксаторів, і обробки хімічними ЗЗР у технологіях вирощування сільськогосподарських культур беззаперечно обґрунтованим є дослідження результативності їх комплексного застосування з оцінюванням господарського і захисного ефектів, над чим і працюють науковці багатьох країн світу.

**Вплив пестицидів на життєздатність та репродукцію азотфіксувальних мікроорганізмів у чистій культурі.** Передпосівна обробка насіння біопрепаратами на основі селекціонованих штамів специфічних бульбочкових бактерій, яка підвищує азотфіксувальний потенціал бобово-ризобіального симбіозу, має бути обов'язковим агроприйомом у технологіях вирощування бобових культур. Існують загальні вимоги щодо створення бактеріальних добрив на основі високоактивних штамів мікроорганізмів. Зокрема це встановлення їх технологічності та конкурентоспроможності [17, 29, 53]. При цьому захист рослин від шкідливих організмів також є невід'ємною складовою частиною загальної системи агротехнічних заходів при вирощуванні тієї чи іншої культури, а хімічний метод захисту належить до числа найпоширеніших, оскільки використання пестицидів визначається їх високою біологічною, економічною, господарською ефективністю та універсалізмом. Однак взаємодії, які виникають між мікроорганізмами і пестицидними речовинами при їх безпосередньому контакті, дуже складні і здебільшого до кінця не вивчені [34, 41].

Із появою нових хімічних ЗЗР, сортів бобових рослин, штамів бульбочкових бактерій виникає потреба в дослідженні токсичної дії цих речовин на мікро- і макросимбіонти та на бобово-ризобіальну

систему в цілому. Особливої актуальності це питання набуває за необхідності суміщення процесів обробки посівного матеріалу протруйниками фунгіцидної або інсектицидної дії та його інокуляції [54]. При цьому дослідження сумісності біопрепаратів та пестицидів явно відстає від появи інокулянтів на основі нових штамів [27] та змін у технологіях виробництва хімічних препаратів [37, 55].

У лабораторних експериментах вченими у результаті вивчення впливу виробничих норм протруйників на інтенсивність росту чистих культур бульбочкових бактерій встановлено, що препарат новосил знижував інтенсивність росту штриха *Bradyrhizobium japonicum* та не впливав на ріст швидкорослих *Sinorhizobium fredii*. Діюча речовина препарату фунгіцидної дії максим знижувала інтенсивність росту штриха обох видів ризобій до помірного (індекс 2 за 4-бальною шкалою), однак загибелі чистих культур азотфіксувальних мікроорганізмів не відмічали. Інсектицид круїзер також знижував інтенсивність росту *S. fredii* ББ-49 і не впливав на ріст *B. japonicum* 648a [56].

Досліджено виживання *Mesorhizobium ciceri* SP<sub>4</sub>, *Azotobacter chroococcum* CBD-15 та М<sub>4</sub> на насінні нуту (*Cicer arietinum* L.), обробленому фунгіцидами з діючими речовинами бавістин і тирам. Життєздатність бактерій *Pseudomonas striata* 27 та *Bacillus polymyxa* Н<sub>5</sub> визначали, інокуючи насіння двох сортів гороху на фоні застосування тираму. Життєздатність *Azotobacter chroococcum* W<sub>5</sub> також досліджували за бактеризації пшениці (*Triticum aestivum* L.) комплексно з обробкою бавістином, каптаном і тирамом. Усі залучені в роботу штами діазотрофів продемонстрували зменшення їх життєздатної популяції за тривалого контакту з фунгіцидами. Встановлено, що *A. chroococcum* W<sub>5</sub> показав ліпшу виживаність за дії бавістину порівняно з тирамом та каптаном. Вищу кількість життєздатних клітин *M. ciceri* SP<sub>4</sub> та *A. chroococcum* М<sub>4</sub> було виявлено на насінні нуту, обробленому бавістином, порівняно з тирамом. Однак з насіння, обробленого тирамом, ізольовано більшу кількість *A. chroococcum* CBD-15 [57].

За даними літературних джерел, у дослідях із визначення впливу комерційних препаратів із фунгіцидним ефектом, які застосовують для протруювання посівного матеріалу, на виживання *B. japonicum* на насінні, а також урожайність сої встановлено, що фунгіциди на основі карбендазиму та оксиду міді, карбоксину і тираму та пентсікуруну мали незначний негативний вплив або не знижували рівень виживання ризобій. Тому їх вважають сумісними з інокуляцією насіння сої. Фунгіцидні протруйники з діючими речовинами карбендазим + іпродіон, металаксил, гімексазол знижували чисельність клітин *B. japonicum* на насінні [58].

У роботі з виділення ризобактерій із бульбочок люцерни зазначено, що домінуючим видом мікроорганізмів, який вдалося ізолювати та ідентифікувати, був *Sinorhizobium meliloti* (від 55,5 до 88,4 %). Однак дослідниками ізольовано й ідентифіковано штами *Achromobacter spanium* та *Serratia plymuthica*, толерантні до п'яти пестицидів (проспер, куйвокс, фунгастоп, німбецидин, манеб) [59].

Лактіонов та співавт. [60] дослідили вплив фунгіцидів бенорад, беноміл, фундазол, максим, протект і протект форте на життєздатність бульбочкових бактерій сої (*Bradyrhizobium japonicum* 6346), люпину

(*Bradyrhizobium lupini* 367a), гороху (*Rhizobium leguminosarum* 2616) та сочевиці (*Rhizobium leguminosarum* 712). Так, змочувані порошки на основі беномілу (бенорад, фундазол, беноміл) визначені як несумісні із залученими у роботу штамми ризобій. Серед досліджуваних фунгіцидних концентратів суспензій найбільш токсичним для азотфіксувальних мікроорганізмів за їх перебування у баковій суміші був протруйник протект форте. За комплексної обробки насіння сої цим препаратом і ризобіями кількість життєздатних клітин через 8 год була у 2,5 раза меншою порівняно з насінням, обробленим лише інокулянтном. Показано, що гербіциди метрибузин і гліфосат, інсектициди імідоклоприд і тіаметоксам та фунгіциди гексаконазол, металаксил і кітазин залежно від застосованої концентрації можуть впливати на вміст індоліл-3-оцтової кислоти, сидерофорів та екзополісахаридів, які продукуються специфічними для гороху ризобіями [61].

У роботі з визначення впливу манкоцебу на ріст ризобій, ізольованих із бульбочок на коренях арахісу (*Arachis hypogaea* L.), відмічено інгібувальний вплив діючої речовини на ріст клітин штаму *Rhizobium* sp. USDA3187. Зниження чисельності ризобіальних клітин становило 50 % порівняно з контролем, у якому посівний матеріал обробляли стерильною водою [62].

У Бразилії у лабораторних та польових експериментах досліджували можливість сумісної обробки насіння фунгіцидами (на основі беномілу, каптану, карбендазиму, карбоксину, дифеноконазолу, тіабендазолу, тираму) з інокуляцією сої активними штамми *Bradyrhizobium* sp. Відмічено зменшення виживаності бактерій на насінні внаслідок застосування зазначених препаратів. Зокрема, кількість життєздатних клітин ризобій скоротилася на 62 % через 2 год і на 95 % через добу після обробки посівного матеріалу [63].

Здійснене нами штучне моделювання впливу однієї та двох виробничих норм фунгіцидів максим XL, стандак топ, февер, аканто плюс та бенорад на бульбочкові бактерії сої, отримані методом аналітичної селекції, дало можливість визначити ступінь їх стійкості до зазначених препаратів та виявити найбільш резистентні ризобії з метою подальшого їх застосування у технологіях вирощування сої. З'ясовано, що всі досліджувані нами штами ризобій *B. japonicum* (6346, 646, 614, 631, 71m, M8, 48, AC15, 532C, PC07, PC08, PC10, PC11) малочутливі або не чутливі до токсичної дії рекомендованої виробником норми фунгіцидів стандак топ, февер, аканто плюс та максим XL у лабораторних умовах, оскільки зони пригнічення росту бактерій на МДА навколо лунок із вмістом хімічних ЗЗР були відсутні або становили 2,0—7,0 мм. За впливу подвійних виробничих норм зберігалась толерантність штамів до цих фунгіцидів, однак за дії 2 норм максимуму XL низка штамів (6346, PC07, PC10, M8) виявили слабку чутливість. Подвійна норма бенораду є токсичною для більшості досліджуваних штамів *B. japonicum*, проте за дії 1 норми, рекомендованої виробником, стійкість досліджуваних штамів вища [64].

Дослідивши вплив беномілу та оксамілу за їх нанесення на насіння сої на фоні інокуляції стійким штамом ризобій, науковці дійшли висновку, що пестициди чи інші антимікробні препарати та бульбочкові бактерії, толерантні до цих інгібіторів, можуть слугувати



новим засобом для збільшення біологічної фіксації азоту [54, 65]. Штам *Mesorhizobium ciceri* BRM5 був ізольований та ідентифікований індійськими дослідниками. Він також характеризується толерантністю до різних норм діючих речовин пестицидів (гліфосату, атразину, кітазину, металаксилу, гексаконазолу, фіпронілу та імідаклоприду), тому буде залучений у роботу із встановлення ефективності комплексного застосування бактеризації та протруєння насіння нуту [66].

Окресливши можливі шляхи суміщення процесів бактеризації насіння та його обробки хімічними ЗЗР, дослідники зазначили, що це можливо саме за умов використання ризобій, стійких до фунгіцидів, інсектицидів та гербіцидів [21, 65, 67, 68]. Останнім часом особливу увагу приділяють консорціумам змішаних штамів, а не моноштамовим інокулянтам, щоб скористатися їх функціональною взаємодоповнюваністю за польових умов [13]. Подібні тенденції відмічають і при розробці нових хімічних препаратів, поєднуючи сполуки різних класів [34, 39, 44, 69].

Ефективним методом отримання нових штамів бульбочкових бактерій є транспозоновий мутагенез. Встановлено, що інокуляція рослин сої активними Tn5-мутантами *B. japonicum* підвищує ефективність функціонування симбіотичних систем [70]. Ми перевірили чутливість широкого спектра транспозонових мутантів *B. japonicum*, отриманих за використання плазмідних векторів pSUP5011::Tn5mob та pSUP2021::Tn5, до токсичної дії фунгіцидів февер, стандак топ, максим XL і бенорад. Відібрано резистентні до впливу виробничої норми протруйників Tn5-мутанти, що вказує на можливість сумісної обробки насіння бактеріальними препаратами на їх основі та хімічними засобами захисту рослин [71].

Досліджено ефективність інокуляції рослин люцерни (*Medicago sativa* L.) бактеріями *Sinorhizobium meliloti* на фоні застосування пестицидів. Виявлено, що хлорорганічні препарати пентахлорфенол, метилпаратіон та ДДТ у кількостях, виявлених у ґрунтах сільськогосподарських угідь, здатні інгібувати передачу специфічних сигналів між ризобіями і бобовими рослинами [72]. Як відомо, симбіотична взаємодія між бобовими рослинами і бульбочковими бактеріями є складним фізіологічним процесом, який регулюється системою сигналіну між макро- і мікросимбіонтами [6, 73].

У лабораторних умовах було оцінено інтенсивність росту штриха бактерій *B. japonicum* на мінерально-рослинному середовищі із соєвим борошном та додаванням до нього протруйників фунгіцидної дії максим, ТМТД, скарлет і зеребра [74]. В усіх варіантах досліджу спостерігали типовий ріст бульбочкових бактерій, на основі яких виготовлено інокулянти нітрофікс та ризоформ, на 3 бали, а у варіанті із штамом *B. japonicum* 6-1 ріст штриха був найінтенсивнішим — на 4 бали. Ці дані вказують на можливість подальших досліджень комплексного застосування випробуваних протруйників і біологічних препаратів. Показано, що препарати круїзер, хінуфур, максим і фундазол чинять слабку гальмівну дію на ріст ризобій сої, однак на 10-ту добу відновлюється рясне утворення бактеріальної маси. Обробка насіння цими препаратами визначена як сумісна з бактеризацією і забезпечує при цьому підвищення врожайності сої [67].

Оцінено вплив фунгіцидів каптан і тирам на виживаність та фенотипні характеристики *Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae* C1 [75]. Досліджувані ЗЗР негативно впливали на чисельність клітин бульбочкових бактерій через 24 год після обробки та змінювали їх біохімічні профілі. При цьому автори дійшли висновку, що відмічені зміни складу жирних кислот ризобіальних клітин після контакту з фунгіцидом, які є ознакою зміни їх метаболізму, не обов'язково вказують на зниження здатності азотфіксувальних мікроорганізмів до утворення бульбочок і асиміляції азоту. В цій же праці відмічено вплив на активність нітрогенази та формування біомаси пагонів рослин лише за дії найвищих концентрацій каптану (2 г/кг). Дослідники припустили, що відсутність змін у складі жирних кислот клітинних ліпідів азотфіксувальних мікроорганізмів може бути показником сумісності ризобій і фунгіцидів.

Косульников [76] встановив відмінність у токсичності для ризобій різних концентрацій одного й того ж протруйника. Так, збільшення концентрації в розчині пестициду синклер із 3 до 6 % у 1,25–2 рази зменшувало число життєздатних ризобій сої і люпину (за 8 год). Показано також, що подвоєння концентрації протруйників спричиняло помітне зниження кількості бульбочкових бактерій у разі застосування фунгіцидів оплот і триада. Ймовірно, при суміщенні операцій протруювання насіння сої фунгіцидом синклер і його інокуляції досить лише відповідним чином збільшити норму витрати інокулянта, тоді як препарати оплот і тирада варто визнати непридатними для протруювання спільно з бактеризацією за будь-яких концентрацій фунгіцидів і норм витрат інокулянтів.

Дослідження механізмів, які покладено в основу стійкості активних штамів ризобій до діючих речовин хімічних ЗЗР, може бути корисним для зменшення наслідків несприятливого впливу подібних стрес-чинників на видову різноманітність, ферментативну активність та біохімічні реакції цих мікроорганізмів [77].

Отже, існують досить суперечливі результати про сумісність азотфіксувальних бактерій з хімічними сполуками, що захищають насіння і вегетуючі рослини від збудників хвороб і шкідників. Це можна пояснити різноманітністю методів визначення такої сумісності, різними умовами проведення дослідів і наявністю широкого спектра діючих речовин пестицидів і штамів мікроорганізмів.

Відомо, що власне цільових об'єктів, які мають бути знищені за допомогою хімічних ЗЗР, досягає лише 1–3 % застосованої кількості фунгіцидів та інсектицидів і 5–40 % гербіцидів, а решта потрапляє у агроєкосистеми вже як забруднювачі, що може мати негативний вплив на ріст і розвиток рослин та корисну мікробіоту [78, 79]. У літературі є дані про стійкість до діючих речовин пестицидів у штамів фітопатогенних бактерій різних видів. Досліджували це явище із залученням препаратів різного призначення та механізмів дії [80, 81].

Чужорідні хімічні речовини (ксенобіотики) є стрес-чинником, адаптація до якого може супроводжуватися зміною певних властивостей мікроорганізмів. Пристосувальні реакції до дії пестицидів виявляються у корекції біохімічних та фізіологічних процесів, що забезпечує їх подальше існування за умов антропогенного навантаження [82].

Одним із варіантів адаптаційних змін у бактерій є морфологічна дисоціація клітин і колоній, що призводить до збільшення гетерогенності бактеріальної популяції, підвищує її стійкість, оскільки дисоціанти відрізняються не лише морфологічно, а й можуть мати відмінні патогенні, вірулентні і фізіолого-біохімічні властивості [83].

Дослідники встановили, що синтетичні пестициди альфа супер, твікс, гранстар голд спричинювали морфологічну дисоціацію *Pseudomonas syringae* pv. *atropfaciens* УКМ В-1011, чим посилювали гетерогенність популяції, що розширює межі витривалості виду, тобто R-форми бактерій зазначеного штаму утворюються у відповідь на наявність ксенобіотиків у середовищі, та є універсальним адаптаційним механізмом, зумовленим перебудовою поверхневого апарату клітин [84]. Зважаючи на отримані нами результати щодо впливу речовин фунгіцидної дії на морфологію й розміри колоній мікроорганізмів-азотфіксаторів, можна припустити наявність подібних механізмів адаптивних змін та стійкості грамнегативних збудників хвороб рослин і бульбочкових бактерій.

В цілому вплив пестицидів на бульбочкові бактерії у чистій культурі у кожному окремому випадку залежить від діючих речовин препаратів і генотипу штамів ризобій. Літературні джерела і результати наших досліджень підтверджують, що можна підібрати такі композиції пестицидів і мікроорганізмів з агрономічно корисними властивостями, за комплексного застосування яких формуватимуться ефективні симбіотичні системи і забезпечуватиметься захист рослин від збудників хвороб і шкідників на початкових етапах їх росту й розвитку та протягом усєї вегетації. Слід враховувати, що результати лабораторного тестування штамів бульбочкових бактерій на їхню резистентність до пестицидів не завжди корелюють з їх ефективністю у бобово-ризобіальній системі за умов застосування хімічних засобів захисту рослин, тому необхідним та обґрунтованим є проведення досліджень за польових умов.

**Вплив хімічних засобів захисту рослин на ефективність інокуляції бобових культур активними штамми бульбочкових бактерій.** Із пестицидами в ґрунті залежно від хімічної природи їх діючих речовин [6, 85] і властивостей ґрунту [86], відбуваються різні процеси, такі як розкладання, перенесення, адсорбція чи десорбція. Пестициди взаємодіють із ризосферними мікроорганізмами і можуть впливати на їх метаболічну активність [87], змінювати фізіологічні й біохімічні властивості. Органогетеротрофні, педотрофні, оліготрофні та целюлозоруйнівні мікроорганізми вважаються відносно стійкими до дії хімічних ЗЗР. Чутливішими є нітрифікувальні та вільноіснуючі азотфіксувальні бактерії [78].

Андерсон та співавт. [88] припустили, що пестициди можуть впливати на мікробно-рослинну взаємодію через зменшення біомаси коренів; надходження вуглеводів до сформованих кореневих бульбочок; зменшення життєздатності бульбочкових бактерій на насінні до початку формування симбіозу; інактивацію або гальмування передачі сигналів між ризобіями та бобовими рослинами.

За протруювання насіння сої фунгіцидами на основі беномілу, каптану, карбендазиму, карбоксину, дифенокназолу, тіабендазолу,

тираму, толілфлуаніду комплексно з інокуляцією активними штамми *Bradyrhizobium* sp. встановлено зменшення кількості бульбочок на коренях, зниження рівня асиміляції  $N_2$  та негативний вплив на показники урожайності культури [63]. Токсичні ефекти досліджуваних фунгіцидів були більш вираженими на піщаних ґрунтах, тому рекомендовано застосовувати обробку насіння протруйниками лише у випадках значного накопичення патогенів у ґрунті.

У результаті багаторічних досліджень впливу пестицидів на азотфіксацію сої встановлено, що обробка насіння препаратами фунгіцидної дії (контактний + системний) перед застосуванням інокулянта зменшує кількість бульбочок на коренях, спричинює зменшення фіксації атмосферного азоту і може поставити під загрозу кількість отриманого врожаю, особливо за наявності у ґрунті Co і Mo [89].

При застосуванні для інокуляції насіння *Glycine max* L. Merrill. стійких до фунгіцидів штамів бульбочкових бактерій та протруюванні препаратом максим XL (на основі флудіоксонілу та металаксилу-м) ми виявили стимулювальний ефект на ріст рослин протягом вегетації, про що свідчать вищі, порівняно з контролем та отриманими за обробки іншими препаратами, показники вегетативної маси рослин [90]. У праці [91] зазначено, що обробка насіння фунгіцидом вітавакс 200ФФ призводила до зниження азотфіксувальної активності промислових штамів ризобій у симбіозі з соєю у 3—5 разів. Інокуляція насіння *V. japonicum* УКМ В-6035 знижувала негативний вплив фунгіциду максим стар 025 FS на нітрогеназну активність симбіотичного апарату.

У результаті польових експериментів на лучних черноземних ґрунтах встановлено, що застосування препаратів максим, круїзер та новосил для передпосівної обробки насіння сої сприяло підвищенню показників асиміляції азоту, підвищенню приросту надземної маси на 13—88 %, коренів — на 17—133 %, маси бульбочок — в 1,5—2,5 раза і накопиченню органічної речовини у ґрунті — в 1,3—2,2 раза [56].

У польових умовах несприятливий вплив тираму на життєздатність штамів *Mesorhizobium ciceri* SP<sub>4</sub> та *Azotobacter chroococcum* M<sub>4</sub> (виявлений у серії лабораторних експериментів) позначився на продуктивності нуту, що призвело до зниження врожаю зерна, біомаси коренів і пагонів порівняно з обробкою бавістином та контролем (без фунгіциду). За інокуляції нуту *A. chroococcum* CBD-15 отримано вищі показники продуктивності на фоні застосування тираму порівняно з бавістином [57]. За інокуляції насіння сочевиці толерантним до пестицидів штамом *Rhizobium* на фоні застосування фунгіцидів на основі тираму, каптану, дитану М-45 та дитану Z-78 отримано вищий урожай зерна порівняно з відповідним неінокульованим контролем [92].

У літературі є дані про численні дослідження впливу гербіцидів на ефективність інокуляції та урожайність сільськогосподарських культур. В умовах польового дослідження встановлено, що ґрунтові гербіциди гезагард 500 FW, примекстра голд 500 SC, пірат, селамід затримують формування соєво-ризобіального симбіозу та чинять фітотоксичну дію на рослини. При використанні ризоґуміну в посівах сої для зменшення негативного впливу гербіцидів на формування симбіозу рекомендовано заздалегідь використовувати гербіциди, наприклад селамід (діюча речовина ацетохлор, яка швидко розкладається) [93].

Показано, що найвищу врожайність зерна посіви нуту формують у варіантах за спільного використання ґрунтового гербіциду панда у дозі 4,0 л/га, регулятора росту рослин стимпо (0,025 л/т) та бактеризації насіння [94]. Прибавка врожаю становила 0,64 т/га порівняно з контрольним варіантом. При цьому зростання врожайності супроводжувалось збільшенням маси 1000 насінин, що зумовлено стимулюванням у рослинах фізіолого-біохімічних процесів на фоні підвищеного рівня азотного живлення та значного зниження забур'яненості посівів. Горох і нут формували найбільшу врожайність на фоні досходового застосування пульсару 40, а соя — післясходового [95]. Приріст урожайності зернобобових культур за інокуляції виявлено майже в усіх варіантах досліді. Найбільшим він був на фоні досходового внесення гербіциду в посівах нуту (0,12 т/га). Достовірне зниження маси 1000 насінин виявлено в гороху і нуту в рослин без інокуляції під впливом післясходового застосування гербіциду пульсар 40. Вплив препаратів на основі метабензтіазурону, тербутрину та лінуруну на ріст рослин нуту, кількість утворених на коренях бульбочок, активність нітрогенази, вміст хлорофілу та урожай насіння на фоні інокуляції активними штамми ризобій залежав від норм внесення хімічних ЗЗР [96].

У праці [97] висвітлено застосування комплексної обробки насіння нуту ризобіями, фунгіцидами, мікроелементами (бор і молібден) та біопрепаратом на основі грибів із роду *Trichoderma*. Відмічено істотне зменшення шкідливості найпоширенішого патогену *Fusarium oxysporum* sp. *ciceri*, що спричинює фузаріозне в'янення рослин. За зазначеної комбінованої обробки встановлено позитивний вплив на ріст і розвиток рослин упродовж вегетації, збільшення маси 1000 насінин і урожайності зерна, зменшення ураженості рослин нуту фузаріозним в'яненням та високий рівень економічної ефективності застосованої технології.

Повідомлялося про відсутність негативного впливу фундазолу і гезагарду на формування та функціонування бобово-ризобіального симбіозу в інокерованих рослин гороху і вики, на біотичну взаємодію агентів біопрепаратів із природними популяціями діазотрофних і фосфатмобілізувальних мікроорганізмів, що свідчить про можливість сумісного використання інокулянтів і пестицидів при вирощуванні зазначених культур [98]. Толерантність або стійкість до впливу діючих речовин пестицидів вважають унікальною особливістю мікроорганізмів, яка регулюється як генетично, так і фізіологічно [68]. Разом з тим за перевірки впливу фунгіцидів вітавакс, дерозал та каптан на формування і функціонування симбіотичних систем, утворених рослинами гороху (*Pisum sativum* L.) із бульбочковими бактеріями *Rhizobium leguminosarum* bv. *viceae*, відмічалось зменшення кількості кореневих бульбочок, активності азотфіксації і кількості пагонів у рослин за дії хімічних ЗЗР порівняно з контрольними [99].

Важливою умовою безпечного застосування пестицидів є мінімізація їх залишків у рослинах. Так, за протруювання насіння люпину малополярним препаратом фунгіцидної дії беноміл, що застосовувався з нормою витрати 1,5 кг/т за діючою речовиною, його виявляли в рослинах люпину протягом 20 діб після посіву в кількості 0,80—0,12 мг/кг. Близькі за полярністю карбоксин і тирам (вітавакс 200ФФ, в.с.к., н.в. 2,5 л/т), які застосовували з нормою витрати 0,5 кг/т, вияв-

ляли в рослинах до початку фази стеблуння в кількості відповідно 1,10—0,24 та 0,92—0,15 мг/кг. У ґрунті ці фунгіциди виявляли до 20-ї та 30-ї доби після посіву. До цієї ж фази спостерігалась токсикація рослин більш полярними сполуками класу триазолів: ципроконазол (максим стар 025 FS, т.к.с., н.в. 2,0 л/т), тебуконазол і протіоконазол (ламардор 400 FS, т.к.с., н.в. 0,2 л/т), які застосовували зі значно меншими нормами витрат за діючою речовиною (0,013; 0,03 і 0,05 кг/т відповідно). У ґрунті досліджувані фунгіциди виявляли до 10—14-ї доби після посіву в кількості 0,08—0,02 мг/кг залежно від норми внесення [36]. Наведені вище дані вказують на можливість значного впливу хімічних ЗЗР, застосованих методом протруювання насіння, на ріст, розвиток макросимбіонта та взаємодію з ризобіями. При цьому інтенсивність дії може залежати від часу, упродовж якого препарат розкладається на нетоксичні сполуки.

У результаті проведених нами досліджень відмічено нижчі порівняно з контролем та іншими варіантами досліду показники кількості й маси сформованих протягом вегетації на коренях сої бульбочок за дії препарату февер на основі протіоконазолу. Фунгіцидні протруйники максим XL та стандак топ чинили менш виражений токсичний вплив на формування бобово-ризобіального симбіозу за участю стійкого до фунгіцидів Tn5-мутанта B78 порівняно з февером.

Комплексна дія протруйника максим XL та інокуляції стійкими в чистій культурі до пестицидів бульбочковими бактеріями B78 завдяки стійкості утворених симбіотичних систем до діючих речовин препарату приводила до максимального збільшення урожаю (на 27,2 %). Отримані дані підтверджують доцільність добору фунгіцидів та мікроорганізмів-азотфіксаторів для сумісного застосування з метою забезпечення високого господарського та захисного ефектів [90].

Є дані про те, що на сумісність інокулянтів і пестицидів на основі однієї й тієї ж діючої речовини істотно впливає метод виробництва хімічного препарату, тобто якісний та кількісний склад додаткових компонентів, що, з погляду виробника, збільшують його технологічність — так звана «рецептура» пестициду (полімер, що утворює плівку, ад'юванти, поверхнево-активні речовини тощо) [60]. Досліджували також низку водорозчинних полімерів (альгінат натрію, поліетиленгліколь, карбомер, полівініловий спирт, полівінілпіролідон та ін.) як речовини, додавання яких у різні формуляції біопрепаратів може підвищити стійкість мікробних агентів до хімічних ЗЗР, УФ-випромінювання, перепадів температур та висихання і тим самим забезпечити кращу виживаність ризобій на поверхні насіння, що, у свою чергу, дасть змогу проводити обробку посівного матеріалу завчасно [100—102]. При цьому враховують фізичні і хімічні властивості полімерів, добираючи найефективніші композиції досліджуваних сполук і агрономічно корисних мікроорганізмів.

За дослідження дії різних фунгіцидів на ґрунтовий мікробіом при вирощуванні бобових культур не відмічено істотних змін у видовому складі та чисельності мікроорганізмів. Висловлено думку про потенційну здатність ризосферних бактерій детоксикувати агрохімікати до рівня нетоксичних [103]. Всебічне вивчення метаболізму пестицидів у мікроорганізмах — важливий і необхідний аспект для їх безпечного

та ефективного використання, а також для розроблення підходів до біоремедіації забруднених ксенобіотиками ґрунтів [104].

Перспективними напрямками в підвищенні ефективності симбіотичної системи за інтенсивних технологій вирощування бобових можуть бути отримання резистентних до пестицидів штамів у результаті перенесення плазмід біодеградації ксенобіотиків у бульбочкові бактерії та підвищення стійкості вищих рослин за використання препаратів цитокінінового типу, які чинять захисну дію за різних несприятливих умов [105].

Повідомлялось, що симбіотичні азотфіксувальні бактерії посилюють ріст і впливають на метаболізм рослин через кілька механізмів, наприклад, захищаючи їх від токсичної дії пестицидів за допомогою підвищення ферментативної активності [66, 106]. Є дані про цілеспрямований пошук антидотів токсичної дії пестицидів на рослини. Так, серед N-заміщених нафталін-2-сульфаніламідів виявлено сполуки, що істотно знижують фітотоксичну дію гербіциду 2,4-Д на соняшник і можуть бути використані у рослинництві [107]. При цьому пошук і всебічне дослідження речовин, здатних інактивувати хімічні сполуки, які використовують у складі пестицидів, є важливим і необхідним у зв'язку з тим, що через легку доступність і порушення регламентів застосування фунгіцидів, інсектицидів, фумігантів і родентицидів неодноразово фіксували випадки отруєння людей і свійських тварин [42].

За умов комплексного застосування мікробних і хімічних препаратів актуальним є пошук серед речовин природного походження придатних для зменшення пестицидного стресу для рослин і корисної мікрофлори. Як антидот токсичної дії хімічних ЗЗР на симбіотичний апарат сої співробітники ІФРГ НАН України досліджували гомологічний лектин насіння цієї культури. Виявили позитивний вплив зазначеного фітолектину на ефективність симбіотичних систем при його застосуванні як додаткового компонента інокуляційної суспензії. Однак очікуваного пом'якшення токсичного впливу пестицидів на симбіоз при цьому не виявлено [108].

Загалом вплив пестицидів на рослини зводиться до різнобічної дії на обмін речовин. Вони можуть змінювати проникність клітинної мембрани, інтенсивність фотосинтезу, дихання, активність пов'язаних із ними окисно-відновних ферментів, порушувати вуглеводний, азотний, фосфорний, водний обміни. Інтенсивність цих процесів залежить від природи препарату, його норми, строків і форми застосування, умов середовища [34, 41], тобто слід дотримуватися регламентів застосування хімічних ЗЗР (правила приготування робочих розчинів, норми внесення, кратність обробок та ін.), оскільки їх порушення може спричинити незворотні зміни у рослинах і мікроорганізмах навіть за одноразового відхилення від затверджених рекомендацій [50, 69].

З огляду на необхідність зниження екологічного навантаження на довкілля проблема вивчення міграції пестицидів в екосистемах є надзвичайно актуальною [109]. У сучасних умовах реформування сільськогосподарства зростають роль і значення первинного обліку у сфері використання хімічних засобів захисту рослин та їх зберігання. Розв'язанню цієї проблеми сприятиме розробка і запровадження у прак-

тику суб'єктів господарювання окремої науково обґрунтованої методики обліку ЗЗР [47].

Отже, для забезпечення сільськогосподарських культур екологічно безпечним і менш вартісним біологічно асимільованим азотом та захисту рослин від фітопатогенів, шкідників і бур'янів у агрофітоценозах необхідно дотримуватися усіх регламентів застосування хімічних та біологічних препаратів, аналізувати наявну інформацію про їх сумісність при комплексних обробках, ефективність використання речовин природного походження або штучно синтезованих сполук для захисту корисних мікроорганізмів від впливу низки абіотичних стресових чинників. Сьогодні актуальним є поглиблення досліджень у зазначеному напрямі та регулювання на державному рівні екологічних аспектів діяльності, пов'язаної із застосуванням пестицидів. Використання нових методів молекулярної біології, біотехнології та генетичної інженерії поряд із класичними методами мікробіології, фізіології рослин та агрохімії дають змогу вирішувати як фундаментальні питання, що стосуються виявлення особливостей формування та функціонування фітобактеріальних систем різної ефективності, так і розкривають практичні шляхи корекції взаємин симбіотичних партнерів при застосуванні хімічних ЗЗР в інтегрованих системах захисту рослин із метою створення високоефективних симбіозів, спрямованих на підвищення існуючого рівня біологічного перетворення азоту атмосфери на органічні азотовмісні сполуки та підвищення урожайності вирощуваних культур.

#### REFERENCES

1. Zavalin, A.A., Blagoveshenskaya, G.G., Shmyreva, N.Y., Chernova, L.S., Sokolov, O.A., Alferov, A.A. & Samoilov, L.N. (2015). Current state of the problems of nitrogen in world agriculture. *Ahrokhimiia*, No. 5, pp. 83-95 [in Russian].
2. Patyka, V.P., Kots, S.Ya., Volkohon, V.V., Sherstoboeva, O.V., Melnychuk, T.M., Kalinichenko, A.V. & Hrynyk, I.V. (2003). *Biological Nitrogen*. V.P. Patyka (Ed.). Kyiv: Svit [in Ukrainian].
3. Kneip, C., Lockhart, P., Voss, C. & Maier, U.G. (2007). Nitrogen fixation in eukaryotes — new models for symbiosis. *BMC Evolutionary Biology*, 7, p. 55. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-7-55>
4. Mabrouk, Y., Hemissi, I., Salem, I.B., Mejri, S., Saidi, M. & Belhadj, O. (2018). Potential of Rhizobia in improving nitrogen fixation and yields of legumes. In Rigobelo E. (Ed.). *Symbiosis* (pp. 107-119), IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.73495>
5. Leghari, S.J., Wahocho, N.A., Laghari, G.M., Laghari, A.H., Bhabhan, G.M., Talpur, K.H., Bhutto, T.A., Wahocho, S.A. & Lashari, A.A. (2016). Role of nitrogen for plant growth and development: A review. *Advances in Environmental Biology*, 10, No. 9, pp. 209-219.
6. Jinturkar, B.P. (2019). An analytical approach on pesticides of Rhizobia and the legume — Rhizobium. *Accent Journal of Economics Ecology & Engineering*, 04, special issue 05, pp. 1-7.
7. Mahmud, K., Makaju, S., Ibrahim, R. & Missaoui, A. (2020). Current progress in nitrogen fixing plants and microbiome research. *Plants (Basel)*, 9, No. 1, p. 97. <https://doi.org/10.3390/plants9010097>
8. Gruber, N. & Galloway, J.N. (2008). An earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature*, 451, No. 7176, pp. 293-296. <https://doi.org/10.1038/nature06592>
9. Sammauria, R., Kumawat, S., Kumawat, P., Singh, J. & Jatwa, T.K. (2020). Microbial inoculants: potential tool for sustainability of agricultural production systems. *Archives of Microbiology*, 202, pp. 1-17. <https://doi.org/10.1007/s00203-019-01795-w>



10. Moklyachuk, L.I., Pinchuk, V.O. & Martkoplshvili, M.M. (2013). Nitrogen losses in agriculture of Ukraine. *Ahroekolohichniy zhurnal*, 3, pp. 19-24 [in Ukrainian].
11. Patyka, V.P., Hnatiuk, T.T., Buletsa, N.M. & Kyrylenko, L.V. (2015). Biological nitrogen in the system of agriculture. *Zemlerobstvo*, 2, pp. 12-20. [in Ukrainian].
12. Garcia-Fraile, P., Menendez, E. & Rivas, R. (2015). Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry. *AIMS Bioengineering*, 2, No. 3, pp. 183-205. <https://doi.org/10.3934/bioeng.2015.3.183>
13. Soumare, A., Diedhiou, A.G., Thuita, M., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., Gopalakrishnan, S. & Kouisni, L. (2020). Exploiting biological nitrogen fixation: a route towards a sustainable agriculture. *Plants*, 9, No. 8, p. 1011. <https://doi.org/10.3390/plants9081011>
14. Asia-Pacific Biofertilizers Market. Market Data Forecast. Retrieved from <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/asia-pacific-biofertilizers-market>
15. Europe Biological Organic Fertilizer Market — Growth, Trends, Covid-19 Impact, and Forecasts (2021—2026). *Precise Market Intelligence and Advisory*. Retrieved from <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/europe-biological-organic-fertilizers-market>
16. Morgun, V.V. & Kots, S.Ya. (2018). The role of biological nitrogen in nitrogen nutrition of plants. *Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine*, No. 1, pp. 62-74. <https://doi.org/10.15407/vsn2018.01.062> [in Ukrainian].
17. Kots, S.Ya., Vorobey, N.A., Kyrychenko, O.V., Melnykova, N.N., Mykhalkiv, L.M. & Pukhtayevych, P.P. (2016). Microbiological preparations for agriculture. Institute of Plant Physiology and Genetics NAS of Ukraine. Kyiv: Logos [in Ukrainian].
18. Lindstrom, K., Murwira, M., Willems, A. & Altier, N. (2010). The biodiversity of beneficial microbe-host mutualism: the case of rhizobia. *Res. Microbiol.*, 161, No. 6, pp. 453-463. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2010.05.005>
19. Tikhonovich, I.A. & Zavalin, A.A. (2016). Application potential of nitrogen-fixing and phytostimulating microorganisms for increasing the efficiency of the agro-industrial complex and improving the agroecological situation in the Russian Federation. *Plodorodie*, 5, pp. 28-32 [in Russian].
20. Braakhekke, M.C., Rebel, K.T., Dekker, S.C., Smith, B., Beusen, A.H.W. & Wassen, M.J. (2017). Nitrogen leaching from natural ecosystems under global change: A modelling study. *Earth Syst. Dynam.*, 8, pp. 1121-1139. <https://doi.org/10.5194/esd-8-1121-2017>
21. Tereshchenko, N.N. (2003). Biofertilizer based on microorganisms. Tomsk: Tomsk State University [in Russian].
22. Petrychenko, V.F. & Kots, S.Ya. (2014). Symbiotic systems in modern agricultural production. *Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 3, pp. 57-66 [in Ukrainian].
23. Didovych, S.V. & Kulinich, R.O. (2013). Highly productive plant-microbial systems in legume agrocenosis. *Feeds and Feed Production*, 76, pp. 184-187 [in Ukrainian].
24. Yang, J.W., Kloepper, J.W. & Ryu, C.M. (2009). Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends Plant Sci.*, 14, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.10.004>
25. Kapinos, M.V. & Kalytka, V.V. (2016). Influence of growth regulators and microbial preparations on seed germination and initial growth of peas (*Pisum sativum* L.) The Taurian Scientific Bulletin. *Agricultural sciences*, 96, pp. 66-73 [in Ukrainian].
26. Stambulska, U.Ya. & Lushchak, V.I. (2008). Effect of local strains of *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* on Pea plants. *Silskohospodarska mikrobiolohiia*, 7, pp. 131-137 [in Ukrainian].
27. Kozhemyakov, A.P., Laktionov, Yu.V., Popova, T.A., Orlova, A.G., Kokorina, A.L., Vaishlya, O.B., Agafonov, E.V., Guzhvin, S.A., Churakov, A.A. & Yakovleva, M.T. (2015). Agrotechnological bases for creating improved forms of microbial biologics for agriculture. *Agricultural Biology*, 3, No. 50, pp. 369-376 [in Russian]. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2015.3.369rus>
28. Khalep, Y.M., Veremeychik, N.M., Gorban, V.P. & Krutilo, D.V. (2007). The economic ground of expedience of biological preparations use for leguminous plants cultivation. *Silskohospodarska mikrobiolohiia*, 6, pp. 132-140 [in Ukrainian].
29. Sadanov, A.K., Gavrilova, N.N., Dadonova, T.N. & Ratnikova, I.A. (2015). Criteria for the selection of strains of nodule bacteria in structure of biological preparations for enrichment of the soil by biological nitrogen and increase of productivity of productivity of bean cultures. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Biological and medical series*, 1, pp. 115-124 [in Russian].

30. Okrushko, S.E. (2015). Ecological safety of modern plant protection systems. *Agriculture and Forestry*, 2, pp. 126-134 [in Ukrainian].
31. Oerke, E.C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144, pp. 31-43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
32. Russell, P.E. (2005). A century of fungicide evolution. *The Journal of Agricultural Science*, 143, No. 1, pp. 11-25.
33. Nicolopoulou-Stamati, P., Maipas, S., Kotampasi, C., Stamatis, P. & Hens, L. (2016). Chemical pesticides and human health: the urgent need for a new concept in agriculture. *Frontiers in Public Health*, 4, p. 148. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00148>
34. Srivastava, P.K., Singh, V.P., Singh, A., Singh, S., Prasad, S.M., Tripath, D.K. & Chauhan, D.K. (2020). *Pesticides in crop production*. Hoboken, USA: Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1002/9781119432241>
35. Korniychuk, M.S., Vinnichuk, T.S. & Parminska, L.M. (2014). Protection of field crops from pests and diseases by organic production technologies. *Collection of scientific works of the National Scientific Center «Institute of Agriculture of NAAS»*, 1-2, pp. 98-110 [in Ukrainian].
36. Chervyakova, L.N., Balyuh, O.V., Panchenko, T.P. & Bublik, L.I. (2014). Ekotoxicological assess the application of pesticides to protect crops from pests and diseases by seed treatment method. *Plant Protection and Quarantine*, 60, pp. 465-472 [in Ukrainian].
37. Bhattacharyya, A., Barik, S.R. & Ganguli, P. (2009). New pesticides molecules, formulation technology and uses: present status and future challenges. *J. Plant Prot. Sci.*, 1, No. 1, pp. 9-15.
38. Trybel, S.O., Strygun, O.O. & Gamanova, O.M. (2014). Current state of a chemical method of plant protection. *Quarantine and Plant Protection*. 1, No. 210, pp. 1-4 [in Ukrainian].
39. Grigorishin, V.V., Nechaev, O.S., Reyvakh, A.S., Matvienko, V.O. & Shevchuk, O.A. (2016, March). Ecological safety of plant growth inhibitors. *Proceedings of the International Scientific-Practical Conference «Scientific information of the century – 2016»* (pp. 30-31), Przemysl [in Ukrainian].
40. Lukhmenov, V.P. & Glinushkin, A.P. (2012). *Plant protection products against pests, diseases and weeds*. Orenburg, Russia: Izd. Tsentr OGAU [in Russian].
41. Yevtushenko, M.D., Maryutin, F.M., Turenko, V.P., Zhrebko, V.M. & Sekun, M.P. (2004). *Phytopharmacology*. Kyiv: Vyshcha osvita [in Ukrainian].
42. Gupta, P.K. (2019). Toxic effects of pesticides and agrochemicals. In *Concepts and applications in veterinary toxicology* (pp. 59-82). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22250-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22250-5_4)
43. Vlizlo, V.V. & Salyha, Yu.T. (2012). Some problems of biological safety of application of pesticides in Ukraine. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 1, pp. 24-27 [in Ukrainian].
44. Shevchuk, O.A., Tkachuk, O.O., Khodanitska, O.O. & Vergelis, V.I. (2018). Application content and ecotoxic assessment of chemical plant protection products. *Scientific notes of Vinnytsya State Pedagogical University named after Michailo Kotzubytsky*. Series: Geography, 30, No. 3-4, pp. 119-128 [in Ukrainian].
45. Zadorozhny, V.S. (2012). Weeds in soybean agrocenosis and methods of their control. *Feeds and Feed Production*, 71, pp. 49-54 [in Ukrainian].
46. Van den Bosch, F., Blake, J., Gosling, P., Helps, J. C. & Paveley, N. (2020). Identifying when it is financially beneficial to increase or decrease fungicide dose as resistance develops: an evaluation from long-term field experiments. *Plant Pathology*, 69, No. 4, pp. 631-641. <https://doi.org/10.1111/ppa.12787>
47. Danylko, V.K. & Tarasovych, L.V. (2008). Analysis of pesticide use in agriculture of Ukraine. *Bulletin of ZhSTU: Economic Sciences*, 1, No. 43, pp. 157-161 [in Ukrainian].
48. Shevchuk, O.A. (2013, September). Prospects for improving the efficiency and environmental safety of the use of synthetic growth regulators of the inhibitory type in crop production. *Proceedings of the IV All-Ukrainian Congress of Ecologists with international participation* (pp. 431-433), Vinnytsia: Dilo [in Ukrainian].
49. Bublik, L.I. & Balyuh, O.V. (2011). Ecotoxicological evaluation of application of fungicides for the protection of lupine and soybean. *Plant Protection and Quarantine*, 57, No. 9, pp. 26-32 [in Ukrainian].

50. Yaschuk, V.U., Ivanov, D.V., Krivosheya, R.M., Tsibulnyak, Yu.O. & Koretskiy, A.P. (2018). The list of pesticides and agrochemicals permitted for use in Ukraine. Kyiv: Yunivest Media [in Ukrainian].
51. Trybel, S.O. & Strygun, O.O. (2013). Protection of plants — real trend of increasing crop production. *Plant Protection and Quarantine*, 59, pp. 324-336 [in Ukrainian].
52. Vasylenko, L. (2018). Efficiency of application of crop protection chemicals in agriculture. *Modern Economics*, 11, pp. 38-42 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.31521/modecon.V11\(2018\)-06](https://doi.org/10.31521/modecon.V11(2018)-06)
53. Malichenko, S.M., Omelchuk, S.V., Mamenko, P.M. & Kots, S.Ya. (2013). Efficiency, competitiveness and technological effectiveness of new analytically selected strains of soybean nodule bacteria. *Fiziologia i biokhimiya kult. rastenij*, 45, No. 1, pp. 53-60 [in Ukrainian].
54. O'Callaghan, M. (2016). Microbial inoculation of seed for improved crop performance: issues and opportunities. *Appl Microbiol. Biotechnol.*, 100, pp. 5729-5746. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7590-9>
55. Hazra, D.K., Karmakar, R., Poi, R., Bhattacharya, S. & Mondal, S. (2017). Recent advances in pesticide formulations for eco-friendly and sustainable vegetable pest management: A review. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 2, No. 3, pp. 232-237. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30036.91527>
56. Yakimenko, M.V. & Begun, S.A. (2016). Combined application of soybean Rhizobium strains and some preparation for pre-sowing treatment of soybean seeds. *Zemledelie*, 6, pp. 46-48 [in Russian].
57. Gaiind, S., Rathi, M.S., Kaushik, B.D., Nain, L. & Verma, O.P. (2007). Survival of bioinoculants on fungicides-treated seeds of wheat, pea and chickpea and subsequent effect on chickpea yield. *Journal of Environmental Science and Health*, 42, No. 6, pp. 663-668. <https://doi.org/10.1080/03601230701465759>
58. Revellin, C., Leterme, P. & Catroux, G. (1993). Effect of some fungicide seed treatments on the survival of *Bradyrhizobium japonicum* and on the nodulation and yield of soybean. *Biology and Fertility of Soils*, 16, pp. 211-214. <https://doi.org/10.1007/BF00361410>
59. Aroua, I., Abid, G., Souissi, F., Mannai, K., Nebli, H., Hattab, S., Borgi Z. & Jebara, M. (2019). Identification of two pesticide-tolerant bacteria isolated from *Medicago sativa* nodule useful for organic soil phytostabilization. *International Microbiology*, 22, No. 1, pp. 111-120. <https://doi.org/10.1007/s10123-018-0033-y>
60. Laktionov, Y.V., Kosulnikov, Y.V., Yachno, V.V. & Kozhemyakov, A.P. (2020). Determination of toxicity of various preparative forms of pesticidal fungicides for nodule bacteria inoculants. *E3S Web of Conferences*, 224, Article Number 04032. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022404032>
61. Ahemad, M. & Khan, M.S. (2012). Ecological assessment of biotoxicity of pesticides towards plant growth promoting activities of pea (*Pisum sativum*)-specific *Rhizobium* sp. strain MRP1, *Emirates J. Food Agric*, 24, pp. 334-343.
62. Castro, S., Vinocur, M., Permigliani, M., Halle, C., Taurian, T. & Fabra A. (1997). Interaction of the fungicide mancozeb and *Rhizobium* sp. in pure culture and under field conditions. *Biology and fertility of soils*, 25, No. 2, pp. 147-151. <https://doi.org/10.1007/s003740050295>
63. Campo, R.J., Araujo, R.S. & Hungria, M. (2009). Nitrogen fixation with the soybean crop in Brazil: Compatibility between seed treatment with fungicides and bradyrhizobial inoculants. *Symbiosis*, 48, No. 1-3, pp. 154-163.
64. Vorobey, N.A., Kukol, K.P. & Kots, S.Ya. (2020). Fungicides toxicity assessment on *Bradyrhizobium japonicum* nodule bacteria in pure culture. *Mikrobiol. Z.*, 82, No. 3, pp. 45-54 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/mikrobiolj82.03.045>
65. Hossain, A.K.M. & Alexander, M. (1984). Enhancing growth and nitrogen uptake by soybeans using pesticides. *Plant and Soil.*, 81, pp. 133-141. <https://doi.org/10.1007/BF02206902>
66. Shahid, M., Zaidi, A. & Khan, M.S. (2020). Modulations in growth, structure, cell viability and antioxidant enzyme of a nodule bacterium *Mesorhizobium ciceri* induced by pesticides. *Environment, Development and Sustainability: A Multidisciplinary Approach to the Theory and Practice of Sustainable Development*, Springer, 23(3), pp. 4103-4119. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00758-2>

67. Til'ba, V.A., Mashchenko, N.V. & Begun, S.A. (2011). Problems of chemical dressing and bacterization of soybean seeds in the Amur oblast. *Russian Agricultural Sciences*, 1, pp. 16-20. <https://doi.org/10.3103/S1068367411010204>.
68. Shahid, M. & Khan, M.S. (2017). Assessment of glyphosate and quizalofop mediated toxicity to greengram [*Vigna radiata* (L.) Wilczek], stress abatement and growth promotion by herbicide tolerant Bradyrhizobium and Pseudomonas species. *Int. J. Curr Microbiol. Appl. Sci.*, 6, No. 12, pp. 3001-3016. <https://doi.org/10.20546/ijc-mas.2017.612.351>
69. Parween, T., Jan, S., Mahmooduzzafar, S., Fatma, T. & Siddiqui, Z.H. (2016). Selective effect of pesticides on plant — a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 56, No. 1, pp. 160-179. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.787969>
70. Vorobey, N.A. & Kots, S.Ya. (2018). Selection strategy for improved symbiotic phenotypes of Bradyrhizobium japonicum. *Fiziol. rast. genet.*, 50, No. 4, pp. 344-357 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2018.04.344>
71. Kukol, K.P., Vorobey, N.A. & Zhemoyda, A.V. (2019, March). Sensitivity of pure cultures of nodule bacteria obtained by transposon mutagenesis to the action of seed disinfectants. Digest of the scientific works of the X All-Ukrainian scientific-practical conference with international participation «Biological research—2019» (pp. 197-199), Zhytomyr: Polissya [in Ukrainian].
72. Fox, J.E., Starcevic, M., Jones, P.E. Burow, M.E. & McLachlan, J.A. (2004). Phytoestrogen signaling and symbiotic gene activation are disrupted by endocrine-disrupting chemicals. *Environmental Health Perspectives*, 112, No. 6, pp. 672-677. <https://doi.org/10.1289/ehp.6456>
73. Kots, S.Ya., Morgun, V.V., Patyka, V.P., Datsenko, V.K., Krugova, O.D., Kyrychenko, O.V., Melnykova, N.M. & Mykhalkiv, L.M. (2010). Biological nitrogen fixation: legume-rhizobial symbiosis. Vol. 1. Kyiv: Logos [in Russian].
74. Bushneva, N.A. & Saenko, G.M. (2018). Compatibility of fungicide dressers and inoculators on soybean. *Maslichnyie kulturyi*, 3, No. 175, pp. 124-127 [in Russian]. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2018-3-175-124-127>
75. Dunfield, K.E., Siciliano, S.D. & Germida, J.J. (2000). The fungicides thiram and captan affect the phenotypic characteristics of Rhizobium leguminosarum strain C1 as determined by FAME and Biolog analyses. *Biology and Fertility of Soils*, 31, No. 3, pp. 303-309. <https://doi.org/10.1007/s003740050660>
76. Kosulnikov, Yu.V. (2019). The study of the toxicity of a number of treating agents of leguminous crops for the nodule bacteria of soybeans and lupine. *Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University*, 1, No. 54, pp. 52-56 [in Russian].
77. Hussain, S., Siddique, T., Saleem, M., Arshad, M. & Khalid, A. (2009). Impact of pesticides on soil microbial diversity, enzymes, and biochemical reactions. *Advances in agronomy*, 102, pp. 159-200. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(09\)01005-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01005-0)
78. Kruglov, Yu.V. (1991). The microflora of the soil and pesticides. Moskva: Ahropromizdat Publ. [in Russian].
79. Andriuk, K.I., Iutynska, G.O., Antipchuk, A.F., Valagurova, O.V., Kozyriska, V.S. & Ponomarenko, S.P. (2001). Functioning of microbial coenoses of soil in the conditions of anthropogenic loading. Kyiv: Oberehy [in Ukrainian].
80. Petrichenko, V.F., Korneychuk, O.V., Pasichnik, L.A., Butsenko, L.M., Zhitkevich, N.B., Gnatiuk, T.T. & Patyka, V.P. (2013). Bacterial disease of agricultural plants and pesticides. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 4, pp. 21-26 [in Ukrainian].
81. Sabluk, V.T., Dvorak, K.P., Zhitkevich, N.V. & Butsenko, L.M. (2013). Susceptibility of sugar beet bacteriosis pathogens to pesticides. *Tsukrovi buriaky*, 4, pp 20-21 [in Ukrainian].
82. Stenersen, J. (2004). Chemical pesticides: mode of action and toxicology. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.
83. Mil'ko, E.S. & Egorov, N.S. (1991). Heterogeneity of bacterial population and the dissociation process. Moscow: Izd. Mosk. Univ. [in Russian].
84. Buletsa, N.M., Butsenko, L.M., Pasichnyk, L.A. & Patyka, V.P. (2016). Physiology of growth Pseudomonas syringae pv. atrofaciens for the effects of pesticides. *Mikrobiol. Z.*, 78, No. 3, pp. 52-60 [in Ukrainian].
85. Ayansina, A.D. & Oso, B.A. (2006). Effect of two commonly used herbicides on soil microflora of two different concentrations. *Afr. J. Biochem.*, 5, No. 2, pp. 129-132.

86. Laabs, V., Wehrhan, A., Pinto, A., Dores, E. & Amelung, W. (2007). Pesticide fate in tropical wetlands of Brazil: An aquatic microcosm study under semi-field conditions. *Chemosphere*, 67, No. 5, pp. 975-989. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.10.067>
87. Weber, J.B., Wilkerson, G.G. & Reinhardt, C.F. (2004). Calculating pesticide sorption coefficients ( $K_d$ ) using selected soil properties. *Chemosphere*, 55, No. 2, pp. 157-166. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.10.049>
88. Anderson, A., Baldock, J.A., Rogers, S.L., Bellotti, W. & Gill, G. (2004). Influence of chlorsulfuron on rhizobial growth, nodule formation, and nitrogen fixation with chickpea. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55, No. 10, pp. 1059-1070. <https://doi.org/10.1071/AR03057>
89. Campo, R.J. & Hungria, M. (2000). Compatibility of using inoculants and fungicides in the treatment of soybean seeds. *Embrapa Soja-Circular Tecnica*, Londrina [in Portuguese].
90. Kukul, K.P., Vorobey, N.A., Pukhtaievych, P.P., Rybachenko, L.I. & Yakymchuk, R.Ya. (2020). Effect of fungicides on the efficiency of soybean inoculation with pesticide-resistant nodule bacteria. *Silskohospodarska mikrobiologhiia*, 31, pp. 26-35 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.31.26-35>
91. Vozniuk, S.V., Tytova, L.V., Ratushinska, O.V. & Iutynska G.O. (2016). Formation and functioning of symbiotic systems and rhizosphere microbiocenosis of soybean under various fungicides application. *Mikrobiol. Z.*, 78, No. 4, pp. 59-70 [in Ukrainian].
92. Sharma, B. & Singh, S.R. (2014). A study on the interactive effect of different fungicides with rhizobium in lentil (*Lenusculinaris*). *Int. J. Life Sci. Res.*, 3, pp. 105-113.
93. Pyschur, I.M., Kanivets, V.I. & Larchenko, I.V. (2011). Influence of modern herbicides on formation soybean-rhizobial symbiosis at use of microbic preparation rhizogumin. *Silskohospodarska mikrobiologhiia*, 14, pp. 100-108 [in Ukrainian].
94. Karpenko, V.P. & Korobko, O.O. (2018). The productivity of chickpea under the influence of a herbicide and biological specimen. *Bulletin of Uman National University of Horticulture*, 2, pp. 64-67 [in Ukrainian].
95. Gutyansky, R., Ilchenko, N., Shelyakina, T. & Posilaeva, O. (2018). Yield and quality of pea, chickpea, soybean seeds under the influence of weeds, inoculation and herbicide. *Selektsiia i nasynnytstvo*, 113, pp. 179-188 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2018.134375>
96. Khan, M.S., Zaidi, A. & Rizvi, P.Q. (2006). Biotoxic effects of herbicides on growth, nodulation, nitrogenase activity, and seed production in chickpeas. *Communications in soil science and plant analysis*, 37, No. 11-12, pp. 1783-1793. <https://doi.org/10.1080/00103620600710645>
97. Dubey, M., Verma, V.K., Verma, N., Ahmed, A. & Waskle, U. (2019). Effect of seed treatment with fungicide, micronutrients and biofertilizers on growth and yield of chickpea in madhya pradesh. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 8, No. 11, pp. 1045-1051. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.811.123>
98. Safronava, H.V., Sukhovitskaya, L.A. & Karalenak, N.V. (2007). The effect of inoculants and pesticides on development of legume-rhizobial symbiosis and productivity of grain-legume crops. *Silskohospodarska mikrobiologhiia*, 5, pp. 61-73 [in Russian].
99. Ahmad, M.S.A., Javed, F., Ashraf, M. & Hafeez, F.Y. (2006). Effect of fungicide seed treatments on  $N_2$ -fixation and nodulation in pea, *Pisum sativum* L. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 77, No. 6, pp. 896-904. <https://doi.org/10.1007/s00128-006-1229-y>
100. Tittabutr, P., Payakaponga, W., Teamroonga, N., Singletonb, W. & Boonkerda, N. (2007). Growth, Survival and Field Performance of Bradyrhizobial Liquid Inoculant Formulations with Polymeric Additives. *Science Asia*, 33, pp. 69-77. doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2007.33.069
101. Rivera, D., Obando, M., Barbosa, H., Rojas-Tapias, D. & Bonilla Buitrago, R. (2014). Evaluation of polymers for the liquid rhizobial formulation and their influence in the Rhizobium-Cowpea interaction. *Universitas Scientiarum*, 19(3). pp. 265-275. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC19-3.eplr>
102. Laktionov, Yu.V., Kosulnikov, Yu.V., Dudnikova, D.V., Yahno, V.V. & Kojemyakov A.P. (2019). Pre-sowing protection of inoculated soybean *Glycine max* (L.) Merr. seeds by water-soluble polymer compositions and their solid-phase modification. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 54, No. 5, pp. 1052-1059 [in Russian]. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.5.1052rus>

103. Dubey, V., Singh, D., Shukla, A., Shukla, S. & Singh, N. (2012). Effect of application of different pesticides to leguminous crops on soil microflora of Sidhi district (M.P.). *Int. J. Eng. Res. Dev.*, 3, No. 12, pp. 1-3.
104. Van Eerd, L.L., Hoagland, R.E., Zablotowicz, R.M. & Hall, J.C. (2003). Pesticide metabolism in plants and microorganisms. *Weed Sci.*, 51, No. 4, pp. 472-495. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2003\)051\[0472:PMIPAM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2003)051[0472:PMIPAM]2.0.CO;2)
105. Paromenskaya, L.N. & Chernova, T.A. (1990). Problems of increasing the efficiency of legume-rhizobial symbiosis under the conditions of using plant protection chemicals. *Tr. VNYYSKhm*, 60, pp. 58-63 [in Russian].
106. Yang, C.F. & Lee, C.M. (2008). Enrichment, isolation, and characterization of 4-chlorophenol-degrading bacterium *Rhizobium* sp. 4-CP-20. *Biodegradation*, 19, No. 3, pp. 329-336. <https://doi.org/10.1007/s10532-007-9139-1>
107. Strelkov, V.D., Isakova, L.I., Dyadyuchenko, L.V., Chubenko, T.I. & Nazarenko, D.Yu. (2011). Antidotes of herbicide 2,4-D on the sunflower. *Plant Protection and Quarantine*, 5, pp. 29-31 [in Russian].
108. Pavlyshche, A.V., Mamenko, T.P., Rybachenko, L.I. & Kots, S.Ya. (2018). Influence of fungicides on the formation, functioning and peroxidase activity of root soybean nodules at inoculation by rhizobia, incubated with lectin. *Mikrobiol. Z.*, 80, No. 5, pp. 76-89 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/microbiolj80.05.076>
109. Khyzhnyak, S.V., Voitsitskiy, V.M., Danchuk, V.V., Midyk, S.V., Laposha, O.A. & Ushkalov, V.O. (2018). Pathways of migration persistent pesticides through chains of terrestrial and aquatic ecosystems. *Biological Resources and Nature Management*, 10, No. 1-2, pp. 36-43 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31548/bio2018.01.005>

Received 22.04.2021

#### THE EFFECT OF PESTICIDES ON NODULE BACTERIA IN PURE CULTURE AND ON REALIZATION OF THEIR SYMBIOTIC POTENTIAL

*S.Ya. Kots, K.P. Kukol*

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

The question of expediency and efficiency of application of microbial preparations in technologies of cultivation of agricultural crops made on the basis of active strains of nodule bacteria was observed and their role in providing plants with biologically fixed nitrogen was characterized. Information on the prevalence, benefits and prospects of using the chemical method of plant protection against pathogens, phytophagous and weeds in agrophytocenoses was presented. Peculiarities of pesticide evaluation according to a number of ecotoxicological indices are highlighted. Data on the effects of individual active substances and mixed chemicals on the viability and reproduction of nitrogen-fixing microorganisms in pure culture were presented. It was shown that severity of these effects depends on the purpose, mechanisms of action, the nomenclature of artificially synthesized substances in the composition of preparations, the concentration applied, and genotype of rhizobia strains. It was noted that the adaptive reactions of microorganisms to the action of pesticides are manifested in the correction of biochemical and physiological processes, which ensure their continued existence under conditions of anthropogenic stress. The effect of chemical plant protection preparations under different methods of their application on symbiotic systems formed with the participation of active strains of nodule bacteria and legumes was analyzed. Depending on the genotypes of micro- and macrosymbionts, components of chemicals, a number of biotic and abiotic environmental factors, different effects of pesticides on the number and weight of root nodules, the  $N_2$  assimilation rate, grain yield and quality indices were noted. Possible ways of combining the processes of legume seeds bacterization and their treatment by preparations with fungicidal or insecticidal action due to the use of pesticide-tolerant strains of rhizobia and the involvement of additional components of protective action in the preparations were identified.

*Key words:* nitrogen fixation, bacterial preparations, rhizobia, chemical method of plant protection, pesticides, active substance, number and weight of nodules, yield.