

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **ШЕВЧУК Надії Володимирівни** на тему: «**Фізіологічна активність і вплив ендоефітних бактерій на симбіоз *Bradyrhizobium japonicum* – *Glycine max***», що подається на здобуття ступеня доктора філософії (PhD) у галузі знань 09 – Біологія за спеціальністю 091 – Біологія та біохімія

Проведений аналіз матеріалів дисертаційної роботи Шевчук Надії Володимирівни на тему: «Фізіологічна активність і вплив ендоефітних бактерій на симбіоз *Bradyrhizobium japonicum* – *Glycine max*» та ознайомлення з її публікаціями дозволяє дати загальну оцінку виконаного дослідження та зробити наступні висновки щодо актуальності роботи, достовірності отриманих результатів, наукової новизни та практичного значення.

1. Обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи та зв'язок із науковими програмами, планами, темами

Актуальність теми дисертаційного дослідження є беззаперечною, оскільки вона вирішує важливе науково-практичне завдання на стику мікробіології, фізіології рослин та сучасного агроекологічного рослинництва. Представлена робота виводить дослідження бобово-ризобіального симбіозу на новий рівень. Замість класичної бінарної системи «рослина-господар – азотфіксатор» автор розглядає складнішу багатокomпонентну систему, де третім критичним елементом виступають неризобіальні ендоефітні бактерії: *Paenibacillus* sp. 1, *Ochrobactrum* sp. 2, *Paenibacillus* sp. 3, *Bacillus* sp. 4, *Bacillus* sp. 5 та *Pseudomonas* sp. 6, виділені безпосередньо з поверхнево-стерилізованих бульбочок сої. Такий методологічний підхід дозволяє оцінити наукову новизну роботи, яка полягає у з'ясуванні специфічних фізіолого-біохімічних механізмів взаємодії між рослиною, основним азотфіксатором *Bradyrhizobium japonicum* та супутньою ендоефітною мікробіотою внутрішніх тканин бульбочок. Екологічний контекст дослідження повністю відповідає сучасним світовим трендам «зеленого» землеробства. Біологізація агросфери через залучення природного фізіологічного потенціалу ендоефітних бактерій дозволяє знизити хімічне навантаження на ґрунти та стимулювати розвиток функціонально важливих груп мікроорганізмів: амоніфікувальних, амілолітичних, фосфатмобілізувальних, педотрофних та нітрогенфіксувальних в ризосфері. Крім того, ендоефітні бактерії виступають індукторами стійкості рослин до абіотичних та біотичних стрес-факторів, що вкрай важливо в умовах глобальних змін клімату. Окремим позитивним аспектом роботи є висока сфокусованість дослідження: використання бактерій, ізольованих саме з бульбочок сої, знімає будь-які сумніви щодо їхньої ендоефітної природи та доводить їхню еволюційну адаптованість до існування всередині симбіотичних структур. Таким чином, дисертація є своєчасною, має чітку наукову новизну та вагоме значення для сучасної біологічної та сільськогосподарської науки.

Дисертаційна робота виконувалась у відповідності до плану науково-дослідних робіт Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України в межах бюджетних тематик відділу загальної і ґрунтової мікробіології: «Функціональний потенціал ґрунтового мікробіому агроценозів і техногенних екотопів», 2020-2024 рр. № держреєстрації 0120U000220 і «Екосистемні функції мікробіома ґрунту у відновлюваних агрофітоценозах», 2025-2029 рр. № держреєстрації 0125U000938.

2. Мета, об'єкт і предмет дослідження, завдання роботи

Формулювання мети та завдань дисертаційного дослідження характеризується високою науковою чіткістю та логічною послідовністю. Поставлена автором мета є комплексною і спрямована на одночасне вирішення фундаментальних таксономічних питань

та прикладних екологічних завдань щодо підвищення ефективності бобово-ризобіального симбіозу. Мета не дублює назву теми, що є поширеною помилкою, а розширює її. Визначені п'ять завдань повністю деталізують шлях досягнення мети. Завдання 1 та 3 спрямовані на всебічну ідентифікацію виділених ендofітних бактерій із поєднанням класичних тестів та сучасних молекулярно-генетичних методів. Оцінка їхньої стійкості до температур і пестицидів забезпечує високу прикладну цінність для агровиробництва. Завдання 2 має вагому методологічну перевагу завдяки дворівневій перевірці антагонізму до фітопатогенів — спочатку *in vitro* (в лабораторії), а потім *in vivo* (в умовах штучного зараження рослин). Завдання 4 та 5 оцінюють вплив ендofітно-ризобіального інокуляції на рівні цілісного організму та фітоценозу. Автор фокусується на важливих біохімічних маркерах стійкості (водний режим, антиоксидантна активність), трансформації ризосферної мікробіоти та кінцевій продуктивності сої в умовах кліматичного стресу (посухи). Об'єкт і предмет дослідження співвідносяться між собою як ціле та частина, повністю відповідають темі дисертації та чітко окреслюють межі наукового пошуку, фокусуючи увагу на вивченні фізіолого-біохімічних характеристик ендofітних штамів за критичних для сучасного агровиробництва посушливих умов

3. Наукова новизна одержаних результатів

Результати, отримані в ході проведення дисертаційного дослідження та висвітлені в тексті роботи, мають достатній рівень новизни, що полягає в наступному:

1) Встановлено таксономічне положення та ідентифіковано перспективні біоактивні штами *Bacillus velezensis* IMB B-8134 та *Bacillus velezensis* IMB B-8135. Виявлено у геномах цих штамів специфічні біосинтетичні генні кластери, відповідальні за синтез вторинних метаболітів, що забезпечує генетичне підтвердження їхньої фізіологічної активності.

2) Доведено, що високий біоконтролюючий потенціал виділених штамів ендofітних бактерій щодо фітопатогенів зумовлений не лише прямою антагоністичною активністю, а й здатністю бактерій до продукції сидерофорів.

3) Отримано нові пріоритетні дані про механізми стресопротекторної дії ендofітів: активацію як ензимних, так і неензимних ланок антиоксидантного захисту, покращення показників водного режиму.

4) Виняткове теоретичне та практичне значення має вперше виявлений автором ефект біопраймінгу насіння сої ендofітними бактеріями. Це відкриває принципово нові відомості про можливість вертикальної передачі корисних бактерій наступним поколінням рослин.

4. Структура, обсяг і повнота викладення матеріалів дисертації

Дисертаційна робота написана українською мовою в академічному стилі. Анотацію представлена українською та англійською мовами з повноцінним описом суті дослідження. Дисертація має класичну структуру, викладена на 192 сторінках друкованого тексту, містить 16 рисунків, 20 таблиць та додатки А-Г. Використані літературні джерела в загальній кількості 233 найменувань фахової літератури є сучасними, релевантними тематиці дослідження та органічно інтегрованими в текст роботи.

Перший розділ дисертаційної роботи присвячений детальному аналізу сучасного стану досліджень у галузі ґрунтової мікробіології та біотехнології. Автор послідовно розкриває роль мікробних угруповань ризосфери. Особливої уваги заслуговує глибокий аналіз механізмів взаємодії у системах "рослина-ризобії" та "рослина-ендofіти". Структура огляду літератури є повністю виправданою, оскільки теоретичний аналіз взаємодій логічно завершується обґрунтуванням практичного створення перспективних біопрепаратів для екологізації рослинництва. Огляд слугує надійним підґрунтям для подальших експериментальних досліджень автора.

Другий розділ "Матеріали та методи досліджень" написаний на високому методичному рівні та свідчить про комплексний підхід авторки до вирішення поставлених завдань. Спектр досліджень логічно поєднує лабораторні (мікробіологічні, біохімічні, генетичні, біоінформатичні), лабораторно-вегетаційні та польові методи. Особливо варто відзначити глибокий підхід до характеристики ендofітних бактерій, який включає не лише оцінку їхнього біоконтролюючого потенціалу (синтез сидерофорів, антагонізм щодо бактеріозів та мікозів), а й вивчення їхньої екологічної пластичності та резистентності до сучасних пестицидів. Використання сучасних методів оцінки фізіологічного стану рослин сої (параметри водного режиму, антиоксидантна активність) дозволяє об'єктивно оцінити ефективність комплексної ендofітно-ризобіальної інокуляції. Коректний статистичний метод гарантує високу достовірність сформованих у роботі висновків

Розділ 3. Встановлено межі стійкості ендofітних та ризобіальних бактерій до критичних абіотичних чинників – температурних коливань та дії фунгіцидів й інсектицидів, що має першочергове значення для доведення їхньої можливості інтеграції в системи захисту сої.

Розділ 4. Проведено скринінг антагоністичного потенціалу ендofітів щодо поширених фітопатогенів як *in vitro*, так і в лабораторно-вегетаційних дослідах. Досліджено здатність дослідних штамів синтезувати сидерофори, що є опосередкованим механізмом захисту проти патогенної мікрофлори.

Розділ 5. Здійснено точну ідентифікацію штамів *Bacillus* sp. 4 та *Bacillus* sp. 5 за допомогою повногеномного та філогенетичного аналізу. Проведено комп'ютерну анотацію біосинтетичних генних кластерів, що дозволило генетично обґрунтувати детермінанти їхньої високої біоконтролюючої дії шляхом порівняння з референсним штамом *Bacillus velezensis* FZB42.

Розділ 6. Фізіолого-біохімічними методами підтверджено позитивний вплив комплексної ендofітно-ризобіальної інокуляції на адаптивний потенціал сої через активацію антиоксидантного захисту та оптимізацію водного режиму. Особливої уваги заслуговує встановлений авторкою ефект біопраймінгу, який свідчить про адаптацію захисних систем рослини-господаря під впливом корисних бактерій.

Розділ 7. Комплексно доведено високу агрономічну та екологічну ефективність запропонованих біокомплексів у реальних польових умовах, де зафіксовано їхній позитивний регуляторний вплив на корисну мікрофлору ризосфери, покращення поживного режиму ґрунту за макроелементами та статистично достовірне підвищення врожайності сої.

Розділ «Обговорення результатів роботи» містить глибоке теоретичне узагальнення експериментального масиву даних, що формує цілісну концептуальну картину проведеного пошуку.

Висновки роботи є логічним підсумком проведеного дослідження, у якому чітко узагальнено основні наукові та практичні результати відповідно до поставлених завдань.

5. Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Здобувачем проведено глибокий та всебічний аналіз сучасної наукової літератури, що дозволило належним чином обґрунтувати актуальність роботи, логічно пов'язати результати та сформулювати основні висновки дисертаційного дослідження. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів підтверджуються комплексним застосуванням сучасних молекулярно-генетичних, біохімічних та польових методів досліджень, а також використанням сучасного наукового обладнання й належною статистичною обробкою експериментальних даних

6. Теоретичне значення та практична цінність результатів дослідження

Теоретичне значення роботи полягає у суттєвому поглибленні фундаментальних уявлень про механізми впливу ендofітних бактерій на симбіоз *Bradyrhizobium japonicum* – соя: 1) теоретично обґрунтовано принципи синергічної взаємодії в системі «рослина сої – ризобії – ендofіти»; 2) розширено теоретичні знання про генетичну детермінованість корисних властивостей бактерій роду *Bacillus* завдяки встановленню прямого зв'язку між наявністю конкретних біосинтетичних генних кластерів у їхньому геномі та проявами антагоністичної і сидерофорної активності; 3) поглиблено уявлення про фізіолого-біохімічні закономірності адаптації рослинного організму до абіотичних стрес-факторів під впливом корисного мікробіому. Доведено, що комплексна інокуляція зумовлює ефект біопраймінгу, який модулює роботу антиоксидантної системи захисту.

Практична цінність роботи має виражений прикладний характер спрямований на екологізацію аграрного сектору. Селекціоновано, ідентифіковано та офіційно депоновано у Депозитарії Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України два ефективні штами ендofітних бацил під реєстраційними номерами IMB B-8134 та IMB B-8135, які характеризуються високим біоконтролюючим та фітостимулюючим потенціалом і є базовою основою для створення нових вітчизняних біопрепаратів. На основі експериментальних даних розроблено та запропоновано для практичного застосування науково обґрунтовані методичні рекомендації з використання комплексної передпосівної ендofітно-ризобіальної інокуляції насіння сої. Впровадження цієї технології дозволяє суттєво підвищити стійкість культури до абіотичних і біотичних стресів, оптимізувати якісні показники насіння та забезпечити стабільне зростання її продуктивності.

7. Повнота відображення основних положень дисертації у наукових публікаціях

Результати дисертаційного дослідження опубліковані у 13 публікаціях. Серед них – 2 статті, що індексуються міжнародною базою даних SCOPUS (у вітчизняному фаховому виданні), 1 стаття, що індексується міжнародною базою даних COPENICUS, 1 стаття у вітчизняному фаховому виданні; видано науково-методичні рекомендації, монографію та розділ у монографії; 9 тез доповідей та матеріалів конференцій. Опубліковані праці розкривають основну суть та зміст наукових положень, що представлені в поданій до захисту роботі. Для праць, що були опубліковані у співавторстві з іншими дослідниками, вказаний особистий внесок здобувача. Загальна кількість і рівень наукових публікацій відповідають установленим вимогам щодо апробації результатів дисертаційної роботи та є достатніми для подання дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD) за спеціальністю 091 – Біологія та біохімія.

8. Дотримання вимог академічної доброчесності

Матеріали дисертаційного дослідження Шевчук Надії Володимирівни свідчать про дотримання здобувачем принципів академічної доброчесності; у роботі та публікаціях за її темою не виявлено жодних ознак плагіату, неправомірного запозичення чи фальсифікації експериментальних даних. Отримані експериментальні результати повною мірою представлені в опублікованих наукових працях, які пройшли належне фахове рецензування. Всі посилання на першоджерела та праці інших учених оформлені відповідно до чинних стандартів.

9. Запитання та дискусійні положення

У процесі аналізу змісту та структури дисертації виникли запитання та зауваження наступного характеру:

- ❖ У роботі проведено порівняльний геномний аналіз із відомим модельним референс-штамом *Bacillus velezensis* FZB42. Які принципові геномні відмінності ви виявили у своїх ізолятів?
- ❖ У Розділі 6 відзначено ефект біопраймінгу рослин сої за комплексної інокуляції. Як довго цей стан підвищеної готовності до стресу зберігається у рослини протягом вегетації?
- ❖ Чим обґрунтовано вибір саме каталазної активності та інактивації DPPH радикалу для оцінки антиоксидантного статусу рослин сої?
- ❖ У яку саме фазу розвитку рослин сої проводився відбір зразків та аналіз показників антиоксидантної активності, і чим зумовлений вибір цієї фази?
- ❖ Як побажання для подальших публікацій та остаточного редагування матеріалів, автору варто звернути увагу на термінологічну точність у підрозділі 6.1. При дослідженні інактивації DPPH радикалу коректно вживати антирадикальна активність, а не антиоксидантна активність. Оскільки не йде мова про захист клітин від цілого комплексу реакцій окиснення.
- ❖ Інтерпретація результатів інактивації DPPH радикалу з використанням EC50 є дещо ускладненою для їх розуміння. Величина EC50 визначається як ефективна концентрація (мг/мл або мкг/мл), за якої DPPH радикали знешкоджуються на 50%. В представленому дослідженні аналізували антирадикальну активність екстрактів в цілому, а не діапазону їх концентрацій. Авторка використовує показник EC50, виражений у відсотках (наприклад, 32% для контролю та 44,5% для ендofітно-ризобіальної інокуляції), стверджуючи, що зростання цього показника свідчить про меншу кількість активних форм кисню та нижчу антирадикальну активність через кращу адаптацію рослин. Така інтерпретація містить методологічну суперечність: по-перше, антирадикальна активність відносно DPPH· оцінює потенціал антиоксидантів, а не рівень оксидантів; по-друге, концепція біопраймінгу зазвичай передбачає саме підвищення антиоксидантного потенціалу під дією бактерій. Для покращення сприйняття матеріалу, автору доцільніше було б представити ці результати через пряму розрахункову формулу відсотка інактивації DPPH· для екстрактів.

Окремі зауваження, що виникли під час ознайомлення з дисертаційною роботою, мають переважно дискусійний або рекомендаційний характер і стосуються окремих аспектів інтерпретації результатів та оформлення матеріалу. Водночас вони не знижують наукової цінності проведеного дослідження, не впливають на достовірність отриманих результатів, обґрунтованість висновків і загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Шевчук Надії Володимирівни цілком відповідає спеціальності 091 Біологія та біохімія та вимогам «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261 і пп. 6, 7, 8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44., а її авторка – Шевчук Надія Володимирівна – заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 Біологія та біохімія.

У цілому дисертаційна робота Шевчук Надії Володимирівни є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним на високому рівні, та відповідає вимогам

«Порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12.01.2022 р., та може бути рекомендована до захисту.

Рецензент: СКОРОХОД Ірина Олександрівна

кандидат біологічних наук, старший дослідник

старший науковий співробітник лабораторії інновацій та трансферу технологій, Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України

ORCID: 0000-0001-9624-1762

Документ підписано у сервісі Вчасно (продовження)
Shevchuk_Skorokhod_retsenziia.pdf

Документ відправлено (77789984): 23:50 13.06.2026

Відправник документу

Електронний підпис

23:50 13.06.2026

Ідентифікаційний код: 3098807447

СКОРОХОД ІРИНА ОЛЕКСАНДРІВНА

Власник ключа: СКОРОХОД ІРИНА ОЛЕКСАНДРІВНА

Час перевірки КЕП/ЕЦП: 23:50 13.06.2026

Статус перевірки сертифікату: Сертифікат діє

Серійний номер: 5E984D526F82F38F0400000010004601585FAE07

Тип підпису: удосконалений

Тип сертифікату: кваліфікований