

УДК 633.358:631.53.04:631.582(292.486)(477)
DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.147.1.17>

СУЧАСНИЙ СТАН, ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ІНОКУЛЯНТІВ І ФУГІЦИДНИХ ПРОТРУЙНИКІВ ПРИ ВИРОЩУВАННЯ ГОРОХУ

Деревенець-Шевченко К. А. – к.б.н., с.н.с.,
провідний науковий співробітник лабораторії захисту рослин,
Державна установа Інститут зернових культур
Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0002-0469-0972

Матюха В. Л. – д.с.-г.н., с.н.с.,
в. о. завідувача лабораторії захисту рослин,
Державна установа Інститут зернових культур
Національної академії аграрних наук України Дніпро
orcid.org/0000-0002-5657-3524

Шевченко С. М. – д.с.-г.н., професор,
професор кафедри загального землеробства та ґрунтознавства,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
orcid.org/0000-0002-1666-3672

Мороз А. О. – аспірант кафедри загального землеробства та ґрунтознавства,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
orcid.org/0009-0001-3687-5752

Черних С. А. – к.с.-г.н., доцент,
доцент кафедри агрохімії,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
orcid.org/0000-0002-8106-9901

Мета огляду – узагальнити сучасні підходи, проблеми та перспективи поєднаного застосування інокулянтів і фунгіцидних протруйників у технології вирощування гороху (*Pisum sativum* L.) з позицій агрономічної, економічної та біоенергетичної ефективності. На основі критичного аналізу вітчизняних і зарубіжних публікацій систематизовано дані про вплив штамів *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae*, носіїв та способів внесення інокулянтів, а також діючих речовин насінневих фунгіцидів (за FRAC-класифікацією) на схожість, ранню нодуляцію, активність нітрогенази, продуктивність і економіку технології в умовах Степу України. Показано, що інокуляція стабільно підвищує ефективність симбіотичної азотфіксації та врожайність за умови технологічної сумісності з протруйниками, коректного часу обробок і вибору препаративної форми. Разом із тим, низка діючих речовин насінневих фунгіцидів (зокрема дитиокарбамати, окремі ДМІ-триазоли) може зменшувати життєздатність ризобій і відтерміновувати формування бульбочок. Відносно сприятливі до симбіозу комбінації описано для деяких феніліпіколамідів/феніламінів (наприклад, металаксил-вмісні формуляції), що потребує локального обґрунтування на конкретних штаммах і сортах. Узагальнено практичні рішення щодо підготовки у часі протруйник – (висихання) – інокуляція в день сівби, інокуляція у борозну або по рядку з підвищеним титром, використання полімерних бар'єрів і ротація препаратів за FRAC-стратегією. Економічні та біоенергетичні оцінки свідчать, що додаткові витрати на інокуляцію окупаються завдяки приросту врожаю й коефіцієнта енергетичної ефективності за

© Деревенець-Шевченко К. А., Матюха В. Л., Шевченко С. М., Мороз А. О., Черних С. А.,



2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

умови сумісних схем. Запропоновано алгоритм прийняття рішень для господарств, а саме діагностика патогенного фону – добір протруйника – вибір штаму та носія і способу внесення – перевірка сумісності на ділянці – масштабування. Окреслено напрями, що потребують подальшого вивчення, це відсутність уніфікованих локальних протоколів штам × інокулянт × протруйник × сорт і потреба довгострокових досліджень впливу на якість зерна та баланс ґрунтового азоту.

Ключові слова: горох, інокуляція, інкрустація, попередник, симбіотична азотфіксація, фунгіцидні протруйники, технологія вирощування, економічна ефективність, біоенергетична ефективність.

Derevenets-Shevchenko K. A., Matiukha V. L., Shevchenko S. M., Moroz A. O., Chernykh S. A. Current status, problems and prospects of the use of inoculants and fungicidal antioxidants in pea growing

The aim of this review is to synthesise current approaches, challenges and prospects for the combined use of inoculants and fungicidal seed treatments in pea (*Pisum sativum* L.) production, assessed through agronomic, economic and bioenergetic lenses. Based on a critical appraisal of Ukrainian and international literature, we systematise evidence on the effects of *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* strains, inoculant carriers and application methods, as well as seed-applied fungicide active ingredients (by FRAC mode-of-action groups) on seedling performance, early nodulation, nitrogenase activity, yield formation and overall techno-economic performance under Forest-Steppe and Steppe conditions of Ukraine. Inoculation consistently enhances symbiotic N₂ fixation and yield provided technological compatibility with fungicidal dressings, appropriate timing of operations and a suitable carrier (peat, liquid, polymer). Conversely, several seed fungicides – particularly dithiocarbamates (e.g., thiram) and some DMI triazoles – can reduce rhizobial viability on the seed and delay early nodulation; comparatively “softer” combinations have been reported for phenylamide (acylalanilide) fungicides (e.g., metalaxyl), though these require local validation for specific strains and cultivars. Practical solutions are summarised: temporal separation of operations treat – dry – inoculate on the day of sowing, in-furrow/seed-row inoculation at an elevated titre, use of polymer barriers, and FRAC-based rotation of modes of action. Economic and bioenergetic assessments indicate that the additional cost of inoculation is offset by yield gains and a higher energy efficiency coefficient when compatibility is ensured. We propose a decision algorithm for farms: pathogen diagnostics – selection of seed-treatment MoA – choice of strain/carrier and application method – small-plot compatibility test – scale-up. Key gaps remain: absence of standardised local protocols for the strain × inoculant × seed fungicide × cultivar matrix and a need for long-term studies on grain quality and soil-nitrogen balance.

Key words: pea; inoculation, incrustation, preceding crop, symbiotic nitrogen fixation, fungicidal seed treatments, cultivation technology, economic efficiency, bioenergetic efficiency.

Постановка проблеми. Горох є ключовою бобовою культурою для білкового та азотного балансу короткочастотних сівозмін, оскільки завдяки симбіозу з *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* здатний покривати значну частку власної потреби в азоті й залишати після себе азот для наступної культури. Проте фактична реалізація цього потенціалу часто обмежується двома взаємопов’язаними чинниками: високим фітопатогенним тиском насінневих і ґрунтових інфекцій (комплекс *Ascochyta*, *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*), що знижують енергію проростання насіння, густоту стояння рослин та продуктивність; нестабільністю нодуляції та ефективності азотфіксації під впливом абіотичних стресів і технологічних факторів [2, 9, 13].

Фунгіцидне протруювання насіння є базовим інструментом контролю ранніх інфекцій, однак дія низки діючих речовин і допоміжних компонентів формуляцій може пригнічувати життєздатність інокулянтів і колонізацію кореня. У виробничих умовах це породжує технологічну дилему: як одночасно забезпечити надійний захист насіння та зберегти ефективний симбіоз без втрати врожайності й білкової. Додатково проблему загострює варіабельність результатів залежно від типу

носія інокулянта (торф'яний, рідкий, полімерний), способу й часу нанесення (на насіння або у рядок; одразу перед сівбою чи з інтервалом), якості насіння, попередника, а також агрометеорологічних умов Степу і Лісостепу України. В умовах порушених логістичних ланцюгів та зміни фітосанітарного профілю полів (воєнний час) зростає потреба в простих, надійних і відтворюваних рішеннях [3, 7, 25].

Наразі бракує уніфікованих, прив'язаних до локальних продуктів і умов, протоколів сумісності протруйник – інокулянт, а також узагальнених оцінок їхнього впливу на нодуляцію, урожай та економіку і біоенергетику технології. Відсутність таких регламентів призводить до протилежних практик у господарствах, а саме від повної відмови від інокуляції до змішування препаратів у багатокомпонентній суміші, що підвищує ризик втрати азотфіксаційного ефекту або недостатнього фітосанітарного захисту [18, 24, 26].

Отже, науково-практична проблема полягає у розробленні доказових, адаптованих до умов степової зони підходів до комбінованого застосування інокулянтів і фунгіцидних протруйників при вирощуванні гороху – з чіткими алгоритмами вибору препаратів, технології нанесення та часу, які забезпечують стабільну нодуляцію, контроль ранніх інфекцій і приріст урожайності та білка при прийнятній собівартості та екологічній безпеці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні українські дослідження демонструють, що інокуляція гороху штамами *Rhizobium leguminosarum* є стабільно ефективним елементом технології, зокрема за використання локально адаптованих штамів і допоміжних ад'ювантів. Наприклад, випробування штаму *R. leguminosarum* Г222 в Інституті сільського господарства мікробіології та АПВ НААН показали підвищення економічної та енергетичної ефективності, особливо у поєднанні з полісахаридно-білковим комплексом (зниження собівартості, зростання рентабельності; коефіцієнт енергетичної ефективності зростав завдяки кращій урожайності) [4]. Додатково, за даними вітчизняних вчених, передпосівна обробка насіння біопрепаратами та добір сорту підсилюють симбіотичну активність і формування бульбочок, що закладає основу для реалізації потенціалу біологічної фіксації азоту в умовах Лісостепу й Степу України [1].

Вітчизняні наукові праці також системно висвітлюють фунгіцидне протруювання та його поєднання з інокуляцією. Серія польових дослідів у Північному Степу засвідчила, що інкрустація насіння препаратами фунгіцидної й ристрегулювальної дії (Вітавакс-200 ФФ тощо) та інокуляція (ризогумін, поліміксобактерин, фосформобілізуючі бактерії) можуть підвищувати рівень симбіотичної азотфіксації на 14–33 % залежно від фону живлення й сорту; у ряді комбінацій ефект був максимальним саме при поєднанні інкрустації з інокуляцією [5]. Водночас, за умов високого інфекційного фону кореневих гнилей ефективність системи захисту з протруйниками (хімічними й біологічними) чітко корелювала зі зменшенням ураженості та приростом урожайності, що підтверджує доцільність передпосівного хімічного захисту як базового елементу технології гороху за ризику комплексу ґрунтових патогенів [6]. На практичному рівні інтегровані схеми протруйник та інокулянт вже застосовуються у виробничих та дослідних посівах в Україні, демонструючи суттєву реалізацію урожайного потенціалу за належної агротехніки та захисту протягом вегетації [7].

Разом з тим, за даними міжнародних досліджень, сумісність інокулянтів із протруйниками є різною: частина діючих речовин насінневих фунгіцидів (особливо тирам, окремі триазоли) може знижувати життєздатність ризобій на насінні, пригнічувати ранню нодуляцію і змінювати морфогенез бульбочок гороху.

Це підтверджено мікроскопією, гістологічними та транскриптомними ознаками ушкоджень (зміни стінок клітин, інфекційних ниток, передчасне старіння інфікованих клітин) [13]. Узагальнювальні праці повідомляють, що насінневі пестициди можуть зменшувати виживаність ризобій і нодуляцію в польових умовах, тому критично важливими є добір менш токсичних діючих речовин, технологічні розділювачі у часі (спочатку протруйник, далі інокуляція), або використання сумісних формуляцій [22]. Сучасні результати також вказують, що металаксил-вмісні протруйники можуть бути менш токсичними до ризобій, порівняно з дитиокарбаматами, що відкриває шлях до безпечніших комбінацій, хоча ступінь сумісності варіює і потребує локальної обґрунтованості на конкретних штаммах і сортах [23]. На фоні цього, сучасні агрономічні схеми (інокуляція + оптимізований мінеральний фон) показують стабільний приріст урожайності та білка в посівах гороху, але з обов'язковим урахуванням токсикології насінневого захисту до симбіозу [29].

Узагальнюючи, в українських умовах уже накопичено переконливі докази користі інокуляції гороху та практики її поєднання з передпосівним фунгіцидним захистом, але ключовим обмеженням лишається неповна стандартизація сумісності – штам × інокулянт × протруйник × сорт. Актуальними є дослідження для різних ґрунтово-кліматичних зон України щодо: добору конкретних діючих речовин протруйників, сумісних із *R. leguminosarum*; технологічних варіантів між протруєнням і інокуляцією; використання захисних ад'ювантів для підвищення виживаності ризобій на насінні; довгострокового ефекту на якість зерна та баланс азоту ґрунту. Це відображає і світовий тренд: переваги інокуляції реалізуються максимально тоді, коли насінневий захист підбирають за критерієм мінімального впливу на симбіоз і правильно інтегрують у технологію вирощування [14].

Постановка завдання. Метою огляду є узагальнити та критично оцінити сучасні підходи до поєданого застосування інокулянтів і фунгіцидних протруйників у технології вирощування гороху з позицій агрономічної ефективності та безпеки симбіозу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Симбіоз гороху з *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* ініціюється молекулярним розпізнаванням сигналів і формуванням інфекційних ниток, що веде до органогенезу бульбочок; ефективність нітрогенази оцінюють за інтенсивністю фіксації N_2 та характерним рожево-червоним забарвленням бульбочок (леггемоглобін) [20]. Регуляція нодуляції чутлива до статусу азоту: надлишок доступних нітратів пригнічує ініціацію бульбочок і прискорює їх природному відмиранню, тоді як дефіцит азоту активує симбіоз. Це інтегрується на рівні всієї рослини через системні сигнальні контури попиту на N [20]. Практично підтверджено, що додаткова активація ранніх сигналів (наприклад, обробка насіння ліпо-хітоолігосахаридами/Nod-факторами) може підвищувати нодуляцію та активність нітрогенази у горохові в більш сухі сезони [27].

Носії інокулянтів (торф'яні, рідкі, гелеві, полімерні) слугують для підтримання високого титру життєздатних клітин до моменту проростання, тому вибір носія визначає виживаність і рівномірність колонізації кореня [9, 12]. Сучасні формуляції (включно з мікрокапсуляцією/біополімерними покриттями) покращують стабільність і дають змогу ко-інокуляції з PGPR/AMF/*Trichoderma*, що розширює агрономічний ефект у мінливих умовах волого забезпечення [9]. Ключовим технологічним чинником залишається спосіб і час внесення: на насіння, у борозну або по рядку безпосередньо перед сівбою, з мінімальним інтервалом між інокуляцією і загортанням – для збереження титру та конкурентоспроможності штаму [9, 12].

У польових умовах Степу України ключовими стартовими патогенами гороху є комплекс *Ascochyta* spp., а також *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*; вони знижують польову схожість і спричиняють кореневі гнилі, що обґрунтовує застосування протруйників у схемі стартового захисту [6]. Для насіння гороху у практиці використовують діючі речовини різних класів (FRAC-коди), зокрема тирам (FRAC M03), металаксил(-М) (FRAC 4), тіабендазол (FRAC 1), ДМІ-триазоли (FRAC 3) та їхні комбінації. Вирішальним є підбір схеми за домінуючими патогенами та ротацією механізмів дії.

Сумісність інокулянтів із насінневими протруйниками варіює: встановлено, що тирам і низка інших діючих речовин знижують виживаність ризобій на насінні та можуть пригнічувати ранню нодуляцію гороху; у частині комбінацій ефект проявляється і в полі [13, 23]. Польові дослідження на горохові також показали, що внесення металаксил-вмісних протруйників без тираму може бути прийнятнішим для симбіозу, тоді як додавання тираму частіше погіршує показники нодуляції та росту [17]. Механізми несумісності охоплюють токсичність діючих речовин і допоміжних компонентів (розчинники, ПАР), локальні зміни рН у мікроплівці на насінні та осмотичні стреси; технологічно це нівелюють розділенням у часі (спочатку протруєння, після висихання – інокуляція в день сівби), застосуванням полімірних бар'єрів або переходом на внесення інокулянта у борозну по рядку з підвищеним титром [9, 12].

В виробничих та дослідних умовах інокуляція стабільно підсилює симбіотичну активність і, за правильно підібраним фоном живлення, підвищує урожайність і збір білка; величина ефекту залежить від сорту та густоти стояння рослин [21]. У схемах, де поєднано інокуляцію з помірними стартовими дозами мінерального живлення, зафіксовано статистично значущі прирости врожаю гороху в посушливі роки або на землях з низькою культурою землеробства [15, 27]. Агронічна варіабельність результатів пояснюється відмінностями типів ґрунтів, сезонною погодою, попередником, нормою сівби й густотою стеблостою. Тому практичне порівняння схем «без/з інокуляцією», «без/з протруйником», «комбіновано» слід проводити з урахуванням локальної фітосанітарної ситуації й сумісності препаратів [16, 21].

Наукові дані свідчать, що інокуляція сучасними штамми *R. leguminosarum* підвищує рентабельність вирощування гороху і коефіцієнт енергетичної ефективності. Додаткові енерговитрати на біопрепарат забезпечують окупність енерговмістом додаткового врожаю, що виправдовує включення інокуляції до базової технологічної карти навіть за мінливих цін на ЗЗР і добрива [28].

Інтегрована стратегія контролю резистентності передбачає ротацію механізмів дії (за FRAC), мінімізацію повторних застосувань одного препарату та поєднання із біоконтролем. Для біологічних засобів (інокулянтів/біостимуляторів) оптимальні рекомендації щодо доказовості ефективності та безпечності наводяться в сучасних оглядах, що підтримує науково підхід до їх впровадження [15].

Логістичні перебої, регіональні зміни фітосанітарного тиску та неоднорідність ґрунтових умов підвищують ціну помилки в початкових операціях і роблять симбіотичний компонент живлення особливо важливим. Для господарств доцільним є перехід на адаптовані локальні схеми, а саме добір сумісних комбінацій протруйник та інокулянт, інокуляція проводити в день сівби або у борозну, коригування норм висіву та живлення під конкретну ґрунтово-кліматичну зону.

Алгоритм прийняття рішень включає послідовність: діагностика патогенного фону – вибір FRAC-стратегії насінневого захисту – добір форми інокулянта/носія

і технології нанесення – час обробки – перевірка сумісності на невеликій виробничій ділянці [8, 10, 11, 19].

Висновки та пропозиції. За результатами систематизованого аналізу вітчизняних та зарубіжних публікацій щодо інокулянтів і фунгіцидних протруйників у технології вирощування гороху сформульовано такі узагальненні наукові технологічні позиції.

Інокуляція гороху локально адаптованими штамми *Rhizobium leguminosarum* *bv. viciae* є надійним інструментом підвищення ефективності симбіотичної азотфіксації. Зростає кількість і частка ефективних бульбочок, поліпшується азотний статус рослин, що за збалансованого живлення трансформується у приріст урожайності та збору білка, особливо на полях з низькою культурою землеробства бобових і за стресових умов.

Передпосівне протруювання – базова ланка контролювання насіннево-грунтових інфекцій (*Ascochyta* spp., *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*), однак результат комбінування з інокуляцією визначається сумісністю, а саме окремі діючі речовини можуть знижувати життєздатність ризобій і пригнічувати ранню нодуляцію. Оптимум досягається технологічним розведенням у часі між протруюванням та інокуляцією, доборою сумісних або переходом на інокуляцію у рядку чи використанням полімерного покриття.

Найбільш стабільний агрономічний ефект забезпечує інтегрована схема інокуляція + сумісний насінневий захист + оптимізоване живлення, із контролем якості інокуляції. Варіабельність польових результатів зумовлена ґрунтово-кліматичними умовами, сортом і щільністю стеблостою, що вимагає локальної адаптації.

Економічна й біоенергетична доцільність інокуляції підтверджується підвищенням рентабельності та енергоефективності технології, тобто екологічна надійність – дотриманням FRAC-стратегії, мінімізацією впливу на симбіоз і охороною праці. Для умов України (у т.ч. за воєнних логістичних обмежень і локально порушених ґрунтів) пріоритетними є використання локально адаптованих штамів, удосконалені технологічні карти та господарські випробування сумісності препаратів перед масовим впровадженням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Вуйко О. М. Симбіотична активність гороху посівного залежно від сортового складу та передпосівної обробки. Аграрні інновації. 2023. 22. 20–24. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2023.22.3>
2. Гамаюнова В. В., Єрмолаєв В. М. Урожайність зерна гороху залежно від передпосівної обробки насіння та оптимізації живлення в умовах Південного Степу України. аграрні інновації. 2024. 23. 228–233. <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2024.23.33>
3. Гирка А. Д., Бочевар О. В., Малоок В. С., Сидоренко Ю. Я., Ільєнко О. В., Алексєєв Я. В. Вплив попередників, мінеральних добрив та норм висіву насіння на врожайність зерна гороху в Північному Степу України. зернові культури. 2024. 8(1). 77–83. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0314>
4. Козар С. Ф., Халєп Ю. М., Євтушенко Т. А., Вороная О. В. Економічна та енергетична ефективність інокуляції гороху за вирощування культури в системі органічного виробництва. Сільськогосподарська мікробіологія. 2023. 38. 51–58. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.38.51-58>
5. Лемішко С. М. Оцінка впливу інкрустації та інокуляції насіння гороху хімічними та біологічними препаратами на розміри симбіотичної фіксації за різних умов живлення. таврійський науковий вісник. 2020. № 116 (ч.1). 215–222. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.29>

6. Лемішко С. М., Черних С. А., Пашова В. Т. Кореневі гнилі агрофітоценозів гороху в умовах Північного Степу України. Таврійський науковий вісник. 2021. 121. 58–66. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.121.8>
7. Лихочвор В. В., Андрушко М. О. Продуктивність гороху залежно від сорту та норми висіву. вісник аграрної науки причорномор'я. 2020. 24(2). 63–70. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-2\(106\)-6](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-2(106)-6)
8. Ткаліч Ю. І., Козечко В. І., Шевченко С. М., Бондаренко А. С. Інкрустація насіння як фактор регулювання схожості та урожайності кукурудзи і соняшника в умовах степової зони. Таврійський науковий вісник № 143. Частина 2. 2025. С. 105–113. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.2.13>
9. Bashan Y., de-Bashan L. E., Prabhu S. R., Hernandez J. P. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant and Soil*. 2014. 378. 1–33. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1956-x>
10. Bolton M. D., Thomma B. P. H. J., Nelson B. D. *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary: biology and molecular traits of a cosmopolitan pathogen. *molecular plant pathology*. 2006. 7(1). 1–16. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2005.00316.x>
11. Cardarelli M., Woo S. L., Roupheal Y., Colla G. Seed treatments with microorganisms can have a biostimulant effect by influencing germination and seedling growth of crops. *plants*. 2022. 11(3). 259. <https://doi.org/10.3390/plants11030259>
12. Deaker R., Roughley R. J., Kennedy I. R. Legume seed inoculation technology – A review. *Soil Biology and Biochemistry*. 2004. 36(8). 1275–1288. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.04.009>
13. Dunfield K. E., Siciliano S. D., Germida J. J. 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*. 2000. 31(3). 303–309. <https://doi.org/10.1007/s003740050660>
14. Goyal R. K., Mattoo A. K., Schmidt M. A. Rhizobial–host interactions and symbiotic nitrogen fixation in legume crops toward agriculture sustainability. *frontiers in microbiology*. 2021. 12. 669404. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.669404>
15. Huang J., Chang G., Jones C., Gan Y. Efficacy of starter N fertilizer and rhizobia inoculant in dryland field pea. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2017. 63(4). 413–422. <https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1315834>
16. Huang J., Gan Y., Lupwayi N., Hao X., Selles F. Efficacy of starter N fertilizer and rhizobia inoculant in dry pea in a semi-arid environment. *soil science and plant nutrition*. 2017. 63(3). 264–273. <https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1315834>
17. Kutcher H. R., Brandt S. A., Smith E. G., Ulrich D., Malhi S. S., Johnston A. M., Lafond G. P. Rhizobium inoculant and seed-applied fungicide effects on field pea production. *Canadian Journal of Plant Science*. 2002. 82(4). 645–651. <https://doi.org/10.4141/P01-180.4>
18. Kutcher H. R., Brandt S. A., Smith E. G., Ulrich D., Malhi S. S., Johnston A. M., Nye B. Rhizobium inoculant and seed-applied fungicide effects on field pea production. *canadian journal of plant science*. 2002. 82(4). 645–651. <https://doi.org/10.4141/P01-180>
19. Lemishko, S., Kharytonov, M., Pashova, V., & Tkalich, Y. (2023). The impact of the pea seed treatments with bio-fertilizers and bio-agents on the level of plant nitrogen symbiotic fixation. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 66(2), 302–309.
20. Lepetit M., Brouquisse R. Control of the rhizobium–legume symbiosis by the plant nitrogen demand is tightly integrated at the whole plant level and requires inter-organ systemic signaling. *Frontiers in Plant Science*. 2023. 14. 1114840. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1114840>
21. Lykhochvor V. V., Andrushko M. O. Pea productivity depending on variety and sowing rate. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2020. 24(2). 54–62. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-2\(106\)-6.1](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-2(106)-6.1)

22. Rathjen J. R., Ryder M. H., Lai T. V., Brand J., Riley I. T., Denton M. D. The impact of fungicides with contrasting toxicities to rhizobia on the growth and nodulation of pulses in southern Australia. *crop and pasture science*. 2025. 76(9). <https://doi.org/10.1071/CP24381>
23. Rathjen J. R., Ryder M. H., Riley I. T., Lai T. V., Denton M. D. Impact of seed-applied pesticides on rhizobial survival and legume nodulation. *Journal of Applied Microbiology*. 2020. 129(2). 389–399. <https://doi.org/10.1111/jam.14602.3>
24. Rathjen J. R., Ryder M. H., Riley I. T., Lai T. V., Denton M. D. Impact of seed-applied pesticides on rhizobial survival and legume nodulation. *journal of applied microbiology*. 2020. 129(2). 389–399. <https://doi.org/10.1111/jam.14602>
25. Roupael Y., Colla G. Biostimulants in agriculture. *frontiers in plant science*. 2020. 11. 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
26. Santos M. S., Rodrigues T. F., Nogueira M. A., Hungria M. The challenge of combining high yields with environmentally friendly bioproducts: a review on the compatibility of pesticides with microbial inoculants. *agronomy*. 2021. 11(5). 870. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050870>
27. Siczek A., Lipiec J., Wielbo J., Kidaj D., Szarlip P. Symbiotic activity of pea (*Pisum sativum*) after application of Nod factors under field conditions. *International Journal of Molecular Sciences*. 2014. 15(5). 7344–7351. <https://doi.org/10.3390/ijms15057344>
28. Yakhin O. I., Lubyantsev A. A., Yakhin I. A., Brown P. H. Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science*. 2017. 7. 2049. 12
29. Yakhin O. I., Lubyantsev A. A., Yakhin I. A., Brown P. H. Biostimulants in plant science: a global perspective. *frontiers in plant science*. 2017. 7. 2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
30. Yermenko L., Hanhur V., Staniak M. Effect of mineral fertilization and seed inoculation with microbial preparation on seed and protein yield of pea (*Pisum sativum* L.). *agronomy*. 2024. 14(5). 1004. <https://doi.org/10.3390/agronomy14051004>

Дата першого надходження статті до видання: 14.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 13.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.04.2026