

## The impact of biostimulants on symbiotic nitrogen fixation, photosynthetic activity, and yield of field pea (*Pisum sativum* L.)

V. Liashenko✉ | A. Prymak

### Article info

Correspondence Author

V. Liashenko

E-mail:

[viktor.liashenko@ukr.net](mailto:viktor.liashenko@ukr.net)Poltava State Agrarian  
University,  
Skovoroda Str., 1/3,  
Poltava, 36000, Ukraine

**Citation:** Liashenko, V., & Prymak, A. (2025). The impact of biostimulants on symbiotic nitrogen fixation, photosynthetic activity, and yield of field pea (*Pisum sativum* L.). *Scientific Progress & Innovations*, 28(4), 39–46. doi: 10.31210/spi2025.28.04.05

The growing need for environmentally sustainable methods to improve the productivity of leguminous crops, particularly in the context of climate change and fluctuating agro-climatic conditions, highlights the significance of studying the effects of biostimulants on pea yield. A research study conducted during 2024–2025 in the Poltava region, using the Haiduk variety of peas and bioproducts such as Algreen, Potassium Humate ‘Nitrogumat Euro’, Emistim C, and Rizolain Legumes (liquid form), yielded notably positive outcomes. The highest symbiotic activity was observed with the application of Rizolain, where the number of nodules at the flowering stage reached 48.4 per plant, representing a 61.3% increase compared to the control. Other biostimulants also significantly enhanced nitrogen fixation, with nodules increasing by 32.0–47.3%. The leaf area of peas was consistently larger across all growth stages in treatments involving biostimulants, showing increases ranging from 25.5% to 43.7%, with the greatest expansion observed with Rizolain treatment. Biostimulants were found to slow down leaf senescence and support high photosynthetic activity, even during the later growth phases of the plants. The impact of biostimulants on the yield structure was evident through increases in plant density (by 8.4–19.6%), numbers of pods per plant (by 22.6–41.9%), numbers of seeds per plant (by 15.2–34.8%), and seed weight per plant (by 11.6–29.3%), with the highest results achieved using Rizolain. Consequently, the use of biostimulants resulted in a yield increase of 17.0–28.0% under varying climatic conditions. Further analysis revealed a close relationship between the symbiotic nitrogen fixation activity and the development of the photosynthetic apparatus. The increase in nodule numbers, particularly in Rizolain-treated plants, was correlated with a larger leaf area and sustained high photosynthetic activity throughout the growing season. This combination enabled the plants to more efficiently utilize nitrogen, ensuring consistent growth and development, which ultimately contributed to a substantial yield increase.

**Keywords:** symbiosis, nodules, growth stages, climatic conditions, leaf area, yield structure components.

## Вплив біостимуляторів на симбіотичну азотфіксацію, фотосинтетичну активність і врожайність гороху посівного (*Pisum sativum* L.)

В. В. Ляшенко | А. О. Примак

Полтавський державний  
аграрний університет,  
м. Полтава, Україна

Щоразу вищий попит на екологічно безпечні методи підвищення продуктивності бобових культур, особливо в умовах кліматичних змін і нестабільних агрокліматичних чинників, актуалізує дослідження впливу біостимуляторів на продуктивність гороху. Дослідження, проведене 2024–2025 років у Полтавській області на горосі сорту Гайдук із застосуванням біопрепаратів Алгрін, Гумат калію «Нитрогумат Євро», Емістим С та Різолайн-р Бобові, продемонструвало суттєві позитивні результати. Найвищий рівень активності симбіотичного апарату було досягнуто за умови використання препарату Різолайн, де кількість бульбочок у фазу цвітіння сягнула 48,4 шт./рослину, що на 61,3 % перевищує контрольний показник. Вплив інших біостимуляторів також позитивно позначився на процесі азотфіксації, збільшивши кількість бульбочок на 32,0–47,3 %. Площа листової поверхні гороху на всіх етапах органогенезу була вищою у варіантах із застосуванням біостимуляторів порівняно з контролем, демонструючи зростання на 25,5–43,7 %. Максимальне значення зафіксовано за обробки Різолайном. Біостимулятори сприяли уповільненню старіння листків і підтриманню високої фотосинтетичної активності навіть на пізніх етапах розвитку рослин. Вплив біостимуляторів на структуру врожайності гороху проявився у підвищенні густоти стояння рослин (на 8,4–19,6 %), збільшенні кількості бобів на рослину (на 22,6–41,9 %), кількості насінин на рослину (на 15,2–34,8 %) та маси насіння з однієї рослини (на 11,6–29,3 %). Найвищі показники отримано при застосуванні Різолайну. Отже, використання біостимуляторів забезпечило зростання врожайності гороху на 17,0–28,0 % в умовах нестабільного клімату. Аналіз виявив тісний зв'язок активності симбіотичної азотфіксації з розвитком фотосинтетичного апарату. Збільшення кількості бульбочок, особливо у варіанті з Різолайном, корелювало з більшою площею листової поверхні та збереженням високої фотосинтетичної активності впродовж вегетаційного періоду. Це дозволило рослинам ефективно засвоювати азот, забезпечуючи стабільний ріст і розвиток, що, зрештою, призвело до суттєвого підвищення врожайності.

**Ключові слова:** симбіоз, бульбочки, фази розвитку, погодні умови, площа листової поверхні, елементи структури врожаю.

**Бібліографічний опис для цитування:** Ляшенко В. В., Примак А. О. Вплив біостимуляторів на симбіотичну азотфіксацію, фотосинтетичну активність і врожайність гороху посівного (*Pisum sativum* L.). *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (4). С. 39–46.

## Вступ

Одним із пріоритетних напрямів розвитку сучасного рослинництва є оптимізація технологічних підходів щодо вирощування зернобобових культур, зокрема гороху посівного (*Pisum sativum* L.), який відіграє важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки та підтриманні родючості ґрунтів. Горох має високий рівень білка в зерні, здатність до біологічної фіксації атмосферного азоту та позитивний вплив на ґрунтову родючість як попередник у сівозмінах [1, 2]. Проте реалізація біологічного потенціалу цієї культури часто обмежується несприятливими кліматичними умовами, недостатньою ефективністю симбіотичної азотфіксації та недосконалістю агро-технологій [3].

Формування високопродуктивних агроценозів гороху безпосередньо залежить від активності мікробіологічних процесів у ризосфері. Створення здорової мікрофлори в зоні кореневої системи стає можливим завдяки використанню препаратів на основі азотфіксуючих бактерій і регуляторів росту, які сприяють активізації біологічних процесів у рослині, підвищують проникність клітинних мембран і стимулюють утворення та функціонування корневих бульбочок [4]. Ефективність симбіотичних відносин між бобовими культурами та бульбочковими бактеріями роду *Rhizobium* є основним фактором, що визначає азотне живлення та загальну продуктивність рослини [5].

Для забезпечення реалізації генетичного потенціалу гороху на максимальному рівні необхідний комплексний підхід, що передбачає використання природних і синтетичних регуляторів росту з ефектом, схожим на дію фітогормонів, а також біопрепаратів, що містять азотфіксуючі та фосформобілізуючі мікроорганізми, фізіологічно активні речовини і біологічні засоби захисту рослин [6]. Застосування біостимуляторів, що містять активні речовини з багатоплановою дією, сприяє утворенню високої концентрації клітин з активними штамами бульбочкових бактерій у кореневій зоні. За оптимальних ґрунтових умов, таких як належна вологість і достатній рівень поживних елементів, а також правильної густоти стояння рослин, це сприяє інтенсифікації біологічної фіксації атмосферного азоту та покращенню фотосинтетичних процесів [7].

Біопрепарати стимулюють проростання насіння, активізують ріст і розвиток рослин, підвищують вміст вуглеводів, амінокислот і мінеральних елементів, зміцнюють імунітет рослин, що загалом сприяє зростанню продуктивності [7]. Використання екологічно безпечних препаратів активує фізіологічні й біохімічні процеси в органах рослин, сприяє прискоренню фаз цвітіння та досягання, що підвищує врожайність і позитивно впливає на ґрунтову мікрофлору, даючи можливість рослинам досягти більшого потенціалу [8]. З огляду на щораз більшу вартість мінеральних добрив, використання азотфіксуючих мікроорганізмів стає альтернативним методом забезпечення рослин азотом, що дозволяє здійснювати біологічне зв'язування молекуляр-

ного азоту з атмосфери та перетворювати його в доступні для рослин форми [9].

Ефективність симбіотичної азотфіксації залежить від забезпечення рослин азотним живленням на ранніх етапах розвитку й інтенсивного синтезу та функціонування ферментного нітрогеназного комплексу, основною функцією якого є біологічне зв'язування молекулярного азоту [10]. Бульбочкові бактерії здатні фіксувати атмосферний азот, однак період їх активної діяльності обмежується періодом від утворення справжніх листків до настання цвітіння рослин [11]. У більш пізні фази розвитку, коли зменшується надходження поживних речовин до коренів, бульбочкові бактерії змінюють морфологію та процес фіксації молекулярного азоту призупиняється [12]. Фаза цвітіння є переломною для життєдіяльності бульбочкових бактерій і симбіотичної системи загалом [13].

Візуально активна азотфіксація на коренях бобових культур проявляється рожевим забарвленням тканин бульбочок, що пов'язане з утворенням специфічного ферменту нітрогенази та пігменту легемоглобіну [14]. Біологічна фіксація відбувається за допомогою зв'язування інертної молекули азоту з перетворенням її в азотні сполуки, що стають доступними рослинам [15, 16]. При проростанні насіння бобових культур спостерігається виведення ексудатів (біологічно активних речовин), які модифікують властивості бульбочкових бактерій і сприяють формуванню симбіотичної взаємодії [12, 17, 18]. У процесі симбіозу здійснюється інфікування коренів ризобіями, формування корневих бульбочок та інфекційних ниток, що призводить до зміни вірулентності та конкурентоспроможності бактерій [19].

Інтенсивність симбіотичної азотфіксації детермінується комплексом чинників, серед яких найбільш впливовими є такі ґрунтові показники: аерація, рівень рН, вологість, температурний режим, вміст рухомих форм азоту, калію, фосфору, наявність мікроелементів [20]. Встановлено пряму залежність між урожайністю гороху та кількістю бульбочок на коренях, ступенем їх розвитку й азотфіксуючою активністю [13]. Сучасні регулятори росту нового покоління мають здатність підвищувати стійкість гороху до стресових факторів середовища [21], що особливо актуально в контексті кліматичних змін.

Застосування факторів інтенсифікації (препаратів азотфіксуючих бактерій, регуляторів росту й органічних біостимуляторів) у технологіях вирощування гороху поліпшує бобово-ризобіальний симбіоз, який забезпечує більш повне постачання рослин біологічним азотом і призводить до зростання продуктивності зерна на 15–25 %, що на сьогодні є одним з найбільш ефективних методів для створення високопродуктивних агроценозів у сучасному аграрному виробництві [22–24].

## Мета дослідження

Мета дослідження полягає в оцінці впливу біостимуляторів на симбіотичну азотфіксацію, фотосинтетичну активність і продуктивність гороху

посівного за умов агротехнічних і кліматичних чинників Полтавської області.

#### Завдання дослідження:

- вивчити вплив застосування біостимуляторів на кількість і активність бульбочок на коренях гороху в різні фази розвитку;
- оцінити ефект біостимуляторів на фотосинтетичну активність рослин, зокрема на площу листової поверхні й інтенсивність фотосинтезу;
- визначити вплив біостимуляторів на основні показники структури врожаю гороху (густоту стояння, кількість бобів і зерен на рослину, масу зерна з рослини);
- оцінити ефективність застосування біостимуляторів для підвищення врожайності гороху у разі змінних погодних умов 2024–2025 років;
- проаналізувати взаємозв'язок між активністю симбіотичної азотфіксації та фотосинтетичною продуктивністю гороху.

#### Матеріали і методи

Польові дослідження проводили 2024–2025 років на ділянках ТОВ «Агроперемога» у Миргородському районі Полтавської області. Ґрунт ділянки – чорнозем типовий середньосуглинковий, з вмістом гумусу 3,4 %.

Агрохімічні показники ґрунту: лужногідролізований азот – 130,8 мг/кг (метод Корнфілда), рухомий фосфор – 82,0 мг/кг (метод Чирикова), обмінний калій – 136,2 мг/кг (метод Чирикова). Реакція ґрунту – слабкокисла (рН 6,9 у розчині хлористого калію).

Об'єкт дослідження – горох посівний сорту Гайдук (оригінальний – Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН України), який відзначається високою адаптивністю та стабільною врожайністю.

Агротехнічні заходи включали основний і передпосівний обробіток ґрунту. Після збирання попередника проведено лущення стерні (глибина 6–8 см) для порушення спокою бур'янів та їх подальшого знищення. Зяблева оранка здійснена на глибину 20–25 см для накопичення вологи. Ранньовесняне боронування виконано з метою збереження вологи та вирівнювання поверхневого шару ґрунту, тоді як передпосівна культивация проведена вже перед сівбою (глибина 8–10 см).

Система удобрення враховувала біологічні особливості гороху. Азотні добрива застосовано лише для стартового росту до встановлення ефективного симбіозу. Фосфорні з калійними добривами внесено під зяблеву оранку в нормі 60 кг/га діючої речовини фосфору та 90 кг/га калію. Мікроелементні добрива (бор і молібден) застосовано для стимулювання функціонування бобово-ризобіального симбіозу.

Горох висіано після ячменю ярого у першій декаді березня суцільним рядковим способом, використовуючи стрічкову схему з відстанями між стрічками 50 см і між рядками в стрічці 15 см. Норма висіву – 1,2 млн шт./га на глибину загортання – 4–6 см залежно від вологості.

Захист посівів включав профілактичні й активні заходи. Перед сівбою насіння оброблено протруйни-

ком Вітавакс 200 ФФ (2,5 л/т). Для контролю злакових та однорічних бур'янів застосовано гербіцид Дуал Голд (1,6 л/га), для боротьби з бульбочковими довгоносиками – інсектицид Карате Зеон (0,125 л/га) у фазу сходів, а для боротьби з гороховою плодояжеркою – повторну обробку у фазу бутонізації.

Дослід проведено методом рендомізованих повторень із чотириразовою повторністю. Площа дослідної ділянки становила 500 м<sup>2</sup>, облікова площа кожної ділянки – 100 м<sup>2</sup>.

Схема досліду передбачала вивчення п'яти варіантів застосування біостимуляторів, що наведені у **таблиці 1**.

**Таблиця 1**

Схема польового досліду з вивчення впливу біостимуляторів на продуктивність гороху посівного

| Біопрепарат                   | Передпосівна обробка насіння | Позакоренева обробка у фазу 5–6 прилистків (ВВСН 15–16) | Позакоренева обробка у фазу бутонізації (ВВСН 51–61) |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Контроль                      | вода                         | вода                                                    | вода                                                 |
| Альгрін                       | 0,8 л/т                      | 1,5 л/га                                                | 1,5 л/га                                             |
| Гумат калію «Нітрогумат Євро» | 1,0 кг/т (напівсухий спосіб) | 1,0 л/га                                                | 1,0 л/га                                             |
| Емістим С                     | 10–20 мл/т                   | 1 мл/10 л води на 1 сотку                               | 1 мл/10 л води на 1 сотку                            |
| Різолайн-р Бобові             | 2–3 мл/т                     | 0,2–0,3 л/га                                            | 0,2–0,3 л/га                                         |

Альгрін<sup>®</sup> (LEILI, Китай) – біостимулятор з екстрактном морських водоростей у складі, що містить полісахариди (альгінат натрію/калію, ламінарин), маннітол, фітогормони (ауксини, цитокініни), вітаміни В, С, Е, а також мікроелементи: Мо > 2,6 г/л, В ~ 5 г/л, S ~ 50 г/л, MgO ~ 60 г/л, N ~ 60 г/л [25].

Гумат калію «Нітрогумат Євро»<sup>®</sup> (НІК «Екологія», Україна) – містить гумінові та фульвові кислоти (115–150 г/л), мікроелементи (Ca, K, Mg, N, P) та хелатовані мікроелементи (B, Ba, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, S, Si, Zn), карбонові кислоти, оксигетероциклізовані фосфонові кислоти, амінокислоти, фітогормони [26].

Емістим С<sup>®</sup> (ДП МНТЦ «Агробіотех», Україна) – біостимулятор, що містить комплекс біологічно активних сполук, отриманих з продуктів життєдіяльності грибів-мікроміцетів (1 г/л), включаючи насичені та ненасичені жирні кислоти (C14–C28), полісахариди, 15 амінокислот, фітогормони цитокінінової й ауксинової природи [27].

Різолайн-р Бобові<sup>®</sup> (ТОВ «БТУ «ЦЕНТР», Україна) – концентрат клітин бульбочкових бактерій *Rhizobium leguminosarum*, що симбіотують з горохом (титр не менше  $(2,0\text{--}6,0) \times 10^9$  КУО/см<sup>3</sup>), мікро- та макроелементи, біологічно активні продукти життєдіяльності бактерій (вітаміни, гетероауксини, гібереліни тощо) [28].

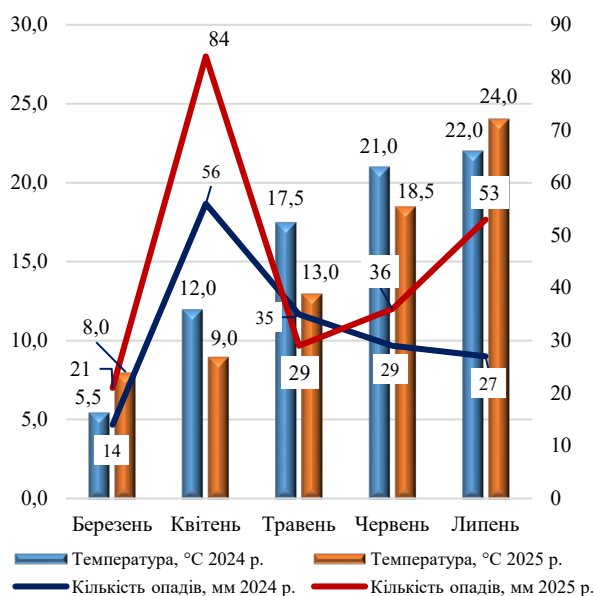
Оцінку ефективності симбіотичної азотфіксації проводили за кількістю бульбочок на коренях рослин гороху у п'яти фазах розвитку за шкалою ВВСН: 12–13 (два-три справжні листки), 15–16 (п'ять-шість справжніх прилистків), 51–61 (бутонізація), 65–71 (цвітіння), 71–79 (наливання зерна). Для обліку

вибирали по десять рослин на кожній ділянці, кореневу систему обережно відмивали від ґрунту, підраховували кількість і масу бульбочок, оцінювали їх активність за забарвленням (легтемоглобін). Також визначали розподіл бульбочок на коренях.

Площу листової поверхні рослин вимірювали у ті ж фази розвитку, застосовуючи метод висічок. З кожного листка зрізали три круглі висічки, які сушили та зважували. Площу листової поверхні рослини розраховували за формулою маси висушених листків до маси висічок. Загальну площу листової поверхні на гектар розраховували множенням середньої площі на густоту стояння рослин.

Елементи структури врожаю визначали в фазу повної стиглості. Для цього обирали два облікових майданчики по 0,5 м<sup>2</sup> кожен, підраховували густоту стояння, кількість бобів і зерен на рослині. Масу зерен зважували, визначали кількість зерен в одному бобі. Фактичну врожайність визначали методом суцільного обмолоту з огляду на стандартну вологість зерна (14 %).

Дані гідротермічних умов, що сформувалися в роки проведення досліджень, представлені на **рисунку 1**. Вегетаційний період гороху тривав з 10 березня (посів) до 9 липня (збирання врожаю).



**Рис. 1.** Динаміка опадів і середньомісячної температури повітря впродовж вегетаційного періоду гороху, 2024–2025 рр.

Як видно з наведених даних, середньомісячна температура повітря впродовж вегетаційного періоду була оптимальною для гороху, залишаючись стабільною за роки досліджень з варіацією в межах 20–21 °C. Водночас розподіл опадів протягом вегетації був нерівномірним у різні роки. Найсприятливіші умови для рослин як з точки зору температури, так і опадів, спостерігали 2025 року.

Середньомісячна температура повітря впродовж вегетації гороху 2025 року становила 21 °C, що на

3,8 °C перевищує багаторічну норму. При цьому загальний обсяг опадів за цей період досяг 223 мм, що на 23,9 % більше від нормативного рівня. Вегетація гороху 2024 року супроводжувалася меншою кількістю опадів і їх нерівномірним розподілом. У березні, під час сівби, опадів було мало, однак у червні та липні, під час цвітіння і формування бобів, їх кількість була достатньою для стандартного розвитку рослин. Упродовж всього вегетаційного періоду 2024 р. сума опадів склала 161 мм, що менше на 17,0 % за середню багаторічну норму.

Погодні умови у критичний період розвитку – від початку формування бобів до їх дозрівання (червень–липень) – мають найбільший вплив на врожайність гороху. 2025 року цей період припав на фазу високих температур (25–29 °C) та дефіцит опадів, що призвело до передчасного відмирання листя та прискореного формування бобів. Отже, найбільш сприятливими для високого врожаю гороху польового сорту Гайдук були погодні умови 2025 р.

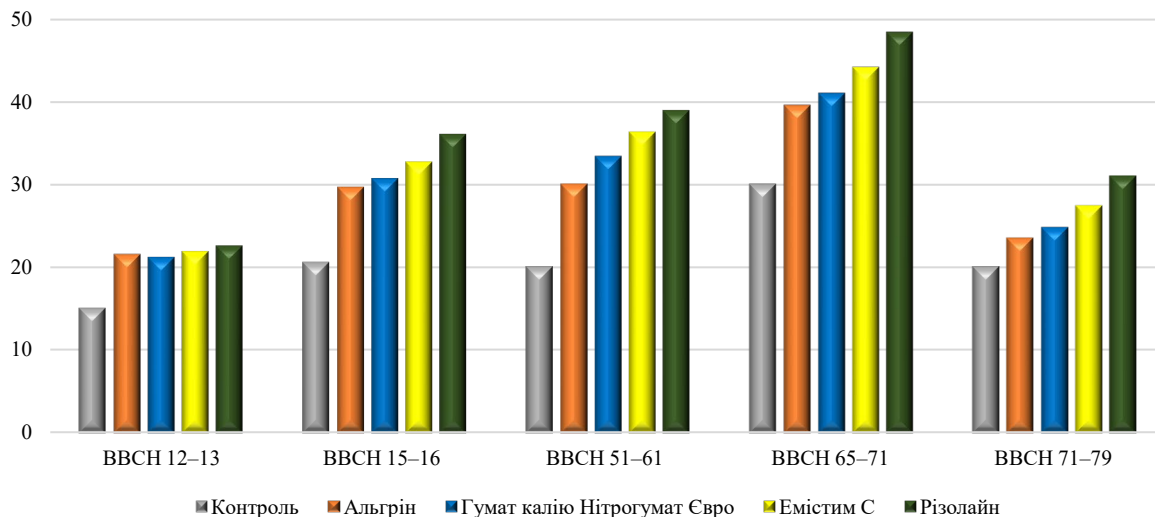
Дослідження виконували згідно з методичними рекомендаціями для наукових агрономічних досліджень [29], а також відповідно до методик Державного сорто випробування сільськогосподарських культур та експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних і зернобобових щодо їх придатності до поширення в Україні [30]. Обробку отриманих результатів здійснювали за допомогою статистичних методів із використанням програми Microsoft Excel.

## Результати та їх обговорення

Ефективність симбіотичної азотфіксації в посівах гороху визначається кількістю й активністю бульбочок на коренях рослин. Для формування високопродуктивних посівів оптимальна кількість бульбочок становить 25–50 шт./рослину, що забезпечує 70–75 % потреби культури в азоті через біологічну фіксацію [31]. Застосування біостимуляторів суттєво впливає на утворення бульбочок, їхній розподіл у кореневій системі та тривалість функціонування симбіотичного апарату [4].

Результати досліджень показали, що біостимулятори здійснюють стимулювальний ефект на утворення бульбочок (**рис. 2**). Динаміка формування симбіотичного апарату характеризувалася збільшенням кількості бульбочок до максимальної симбіотичної активності, з подальшим зниженням в кінцеві фази вегетації.

У фазу бутонізації (ВВСН 51–61) спостерігали подальше збільшення кількості бульбочок у варіантах з біостимуляторами, тоді як на контрольному варіанті кількість бульбочок незначно знижувалася. Найбільше значення – 39 шт./рослину – зафіксовано при використанні Різалайна, що майже вдвічі перевищувало контроль (20,1 шт./рослину). На варіанті з Альгріном кількість бульбочок склала 30,1 шт./рослину, що на 50 % більше, ніж на контролі.



**Рис. 2.** Динаміка формування бульбочок на коренях рослин гороху сорту Гайдук у різні фази розвитку, шт./рослину

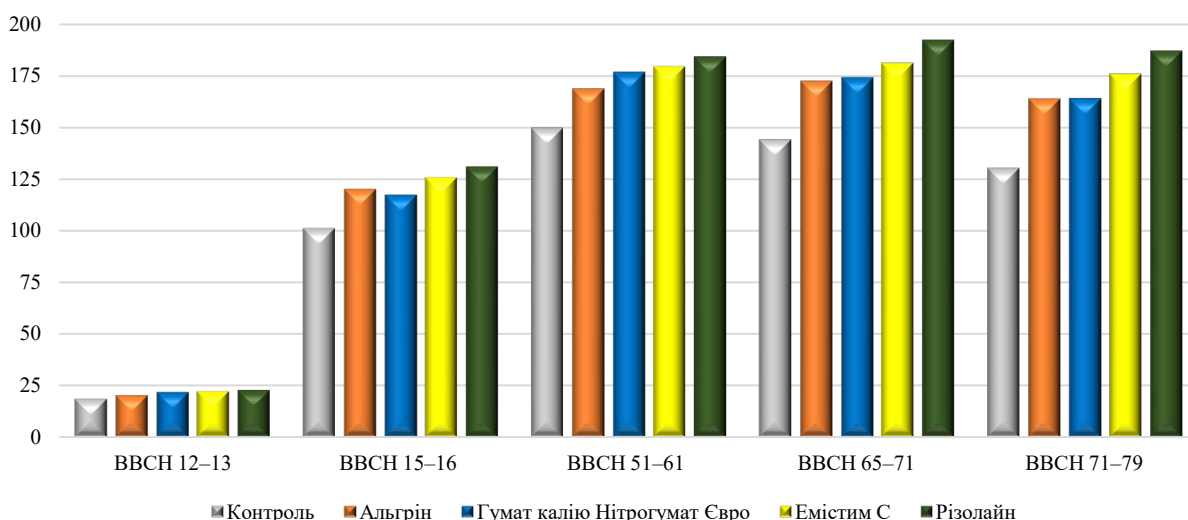
У фазу цвітіння (BBCH 65–71) кількість бульбочок досягла максимальних значень на всіх варіантах. Найвищий показник – 48,4 шт./рослину – спостерігали при застосуванні Різолайна, що в 2,1 раза більше, ніж контроль (30 шт./рослину). Емістим С (44,2 шт.) та Гумат калію (41,1 шт.) також показали високу ефективність.

У фазу формування бобів (BBCH 71–79) спостерігали закономірне зниження кількості бульбочок на всіх варіантах, що пов'язано з фізіологічними процесами старіння симбіотичного апарату. Однак у дослідних варіантах показники залишалися значно вищими, ніж на контролі. Найбільша кількість бульбочок – 31,1 шт./рослину – була зафіксована при використанні Різолайна, що на 43,7 % перевищувало контроль (21,1 шт./рослину).

Фотосинтетична діяльність агрофітоценозу визначає врожайність зернобобових і характеризується кількома взаємопов'язаними показниками, серед яких ключову роль виконують площа асиміляційної

поверхні, фотосинтетичний потенціал і чиста продуктивність фотосинтезу. Врожайність корелює з розмірами фотосинтетичного апарату в період його максимального розвитку, який у гороху припадає на фази бутонізації та цвітіння [8]. Важливим аспектом агротехнологій є максимізація ефективності використання площі листової поверхні, оскільки цей показник впливає на поглинання фотосинтетично активної радіації й ефективність її трансформації в органічну речовину. Біологічно активні речовини впливають на розвиток листової поверхні [32, 33], тривалість її функціонування й інтенсивність старіння листків, що врешті-решт визначає фотосинтетичний потенціал і продуктивність.

Дослідження показали істотний вплив біостимуляторів на розвиток фотосинтетичного апарату гороху протягом вегетації (*рис. 3*). Найвищі темпи наростання площі листової поверхні відмічено на початкових етапах органогенезу, досягаючи максимальних значень у критичні фази розвитку.



**Рис. 3.** Вплив біостимуляторів на розвиток площі листової поверхні у рослин гороху сорту Гайдук, см²/рослину

У фазу двох-трьох прилистків (BBCH 12–13) площа листової поверхні на контрольному варіанті становила 18,7 см<sup>2</sup>/рослину, тоді як при застосуванні біостимуляторів площа варіювала від 20,4 до 23,1 см<sup>2</sup>/рослину. Найвищий показник спостерігався при використанні Різолайна.

У фазу п'яти-шести прилистків (BBCH 15–16) площа листової поверхні на контрольному варіанті досягла 101,3 см<sup>2</sup>/рослину, а в дослідних варіантах з біостимуляторами варіювала від 117,3 до 131,4 см<sup>2</sup>/рослину. Найбільший приріст забезпечив препарат Різолайн – 29,7 %.

У фазу бутонізації (BBCH 51–61) площа листової поверхні на контрольному варіанті становила 149,8 см<sup>2</sup>/рослину, а при застосуванні біостимуляторів площа збільшувалася до 168,5–184,6 см<sup>2</sup>/рослину, з найбільшими значеннями на варіантах Різолайн та Емістим С (23,2 % і 20 % відповідно).

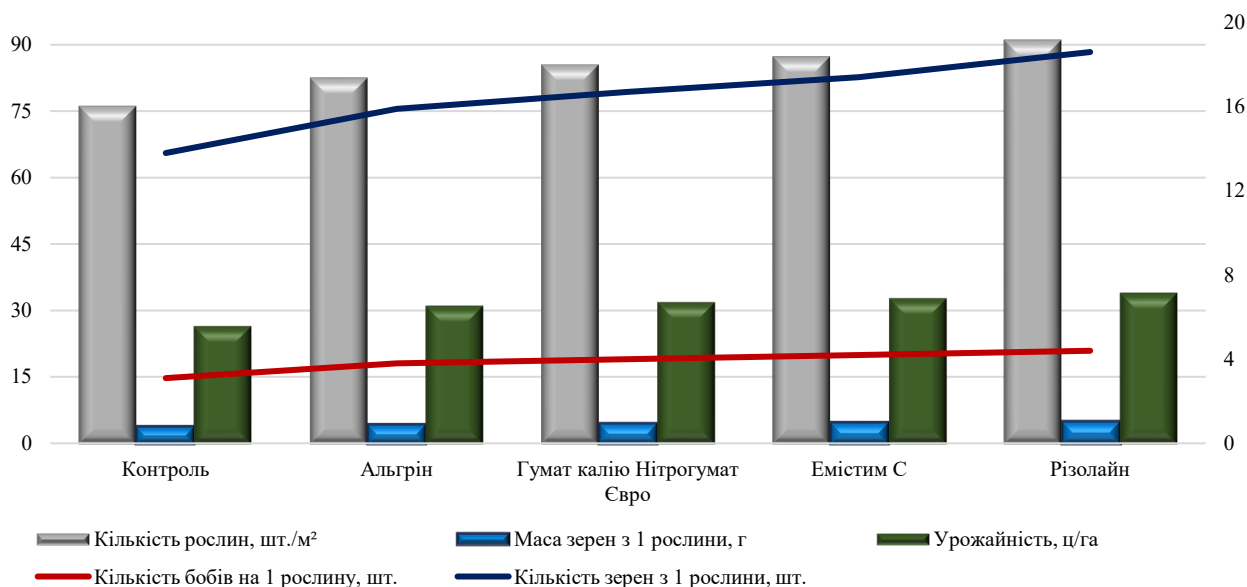
Максимальні показники площі листової поверхні відмічено у фазу цвітіння (BBCH 65–71), де на контрольному варіанті площа становила 144,2 см<sup>2</sup>/рослину, а у разі використання біопрепаратів – від 172,3 до 192,7 см<sup>2</sup>/рослину. Різолайн показав найкращий результат, що на 33,6 % перевищував контроль.

У фазу формування бобів (BBCH 71–79) на контрольному варіанті площа знизилася до 130,4 см<sup>2</sup>/рослину через старіння листків, тоді як при

застосуванні біопрепаратів цей процес сповільнився. Зокрема при використанні Різолайна площа залишалася на рівні 187,4 см<sup>2</sup>/рослину, що на 43,7 % більше контролю.

Аналіз результатів підтвердив позитивний вплив біостимуляторів на уповільнення старіння листової поверхні та підтримку її фотосинтетичної активності в пізні фазі онтогенезу. Найвищі середні показники площі листової поверхні протягом вегетації спостерігали при використанні Різолайна і Емістим С, що перевищували контроль на 32,1 % і 26 % відповідно. Спостерігали також позитивну кореляцію між інтенсивністю формування симбіотичного апарату та площею листової поверхні, що пов'язано з покращенням азотного живлення через активізацію азотфіксації та стимулювання фотосинтезу.

Аналіз структури врожаю є важливим етапом оцінки розвитку зернових культур та ефективності застосованих агротехнологій. Цей процес дозволяє виявити закономірності формування врожайності та визначити її залежність від природних умов, впливу агрохімічних засобів або стресових факторів середовища. Для зернобобових культур структуру врожаю характеризують такі елементи: густина рослин перед збиранням (кількість рослин), кількість бобів на одну рослину, кількість насінин у бобі на одну рослину, маса зерна з однієї рослини. Результати досліджень представлено на *рисунку 4*.



**Рис. 4.** Вплив застосування біостимуляторів на структуру врожаю та врожайність гороху сорту Гайдук

Згідно з отриманими даними, найбільший показник густоти стояння рослин перед збиранням (91,0 шт./м<sup>2</sup>) забезпечило застосування біостимулятора Різолайн у поєднанні з передпосівною обробкою насіння й обприскуванням посівів під час вегетації. Цей показник перевищив контроль на 19,6 %. Біостимулятор Різолайн також виявився ефективнішим за Гумат калію на 6,5 % й Альгін на 10,3 %.

Кількість бобів та насіння на рослині визначається біологічними особливостями культури, але може

варіювати під впливом погодних умов і технологічних заходів. Найбільшу кількість бобів на одну рослину сформували варіанти з використанням біостимуляторів Різолайн та Емістим С (4,4 та 4,2 боби на рослину відповідно). Однак застосування інших біостимуляторів також сприяло позитивному впливу на формування бобів: за умови використання Гумату калію кількість бобів зросла на 29,0 % порівняно з контролем, а при застосуванні Альгіну – на 22,6 %. Такі результати можна пов'язати зі здатністю

біостимуляторів подовжувати фазу цвітіння, що сприяє формуванню більшої кількості зав'язей і, відповідно, бобів.

Урожайність зернобобових культур є результатом взаємодії агротехнологічних прийомів, агрохімічного забезпечення та погодних умов, зокрема температури та вологості. Високі та стабільні врожаї можна отримати за умови задоволення потреб рослин у поживних елементах, воді, а також за наявності оптимального температурного режиму під час вегетації. Погодні умови дослідних років суттєво вплинули на продуктивність гороху, однак застосування біостимуляторів дозволило зменшити негативний вплив високих температур і дефіциту вологи.

Протягом 2024–2025 рр. найбільший ефект у покращенні умов вирощування показав розчин біостимулятора Різалайн, застосований під час передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення у фазах 5–6-ти прилистків і бутонізації. Використання цього препарату сприяло збільшенню врожайності на 28,0 % порівняно з контрольним варіантом. Високу ефективність продемонстрував також Емістим С, який забезпечив приріст врожайності на 23,5 %. Збільшення врожайності порівняно з контролем також спостерігали при використанні Гумату калію й Альгріну – на 20,1 % та 17,0 % відповідно.

Отже, результати досліджень підтверджують позитивний вплив біостимуляторів на формування структури врожаю та врожайність гороху сорту Гайдук. Найбільший ефект був досягнутий при застосуванні Різалайн та Емістим С, які забезпечили підвищення густоти стояння рослин, збільшення кількості бобів і насіння на рослину, маси зерна з рослини та приріст врожайності. Максимальний результат – 33,8 ц/га – був досягнутий за умови застосування комбінованої передпосівної обробки насіння разом із дворазовим позакореневим підживленням у фази 5–6-ти прилистків і бутонізації препаратом Різалайн. Загалом дослідження засвідчили високу ефективність біостимуляторів як елементів сучасних агротехнологій вирощування зернобобових культур і підтверджують доцільність їх використання у технології вирощування гороху для підвищення його продуктивності.

## Висновки

Результати досліджень показали, що біостимулятори позитивно вплинули на основні агрономічні показники, такі як симбіотична азотфіксація, фотосинтетична активність і врожайність гороху. Найвищий показник активності симбіотичного апарату був зафіксований при використанні Різалайна, де кількість бульбочок досягла 48,4 шт./рослину у фазі цвітіння (приріст – 61,3 %). Вплив інших біостимуляторів також показав позитивні результати (приріст на 32,0–47,3 %), що підтверджує їх здатність активізувати азотфіксацію в бобово-ризобіальному симбіозі. Найбільший приріст площі листової поверхні спостерігали при використанні Різалайна, що забезпечило приріст до 43,7 % порівняно з контролем, тоді як інші біопрепарати забезпечили приріст до

25,5–35,1 %. Також використання біопрепаратів забезпечило зростання відносно контролю з найвищим показником при застосуванні Різалайна: густоти стояння рослин перед збиранням – на 8,4–19,6 %; кількості бобів на 1 рослину – на 22,6–41,9 %; кількості зерен на 1 рослину – на 15,2–34,8 %; маси зерен з 1 рослини – на 11,6–29,3 %. У результаті біостимулятори значно підвищили врожайність гороху, навіть за умов нестабільного розподілу опадів і температурних коливань на 17,0–28,0 %.

*Перспективи подальших досліджень* спрямовані на вивчення взаємодії біостимуляторів з новітніми методами захисту рослин з метою пошуку оптимальних комбінацій для підвищення врожайності та стійкості культур.

## Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

## References

1. Shanthakumar, P., Klepacka, J., Bains, A., Chawla, P., Dhull, S. B., & Najda, A. (2022). The current situation of pea protein and its application in the food industry. *Molecules*, 27, 1–28. <https://doi.org/10.3390/molecules27165354>
2. Mirzad, M. Z., Kazemi, H., Sheikh, F., Klug, H., & Gherekhloo, J. (2023). Assessment and quantification of some short term ecosystem services in garden pea field. *Journal of Cleaner Production*, 414, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137464>
3. Zhang, H., Sun, H., Tang, Z., & Wang, G. (2025) Integrated agronomy of pea (*Pisum sativum* L.): a review on cultivation, harvesting, and storage for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1670445. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1670445>
4. Lemishko, S. M. (2018). Efektyvnist vykorystannya biopreparativ ta stymulyatoriv rostu v posivakh horokhu v umovakh Pivnichnoho Stepu Ukrainy. Dnipro, Aktsent PP [in Ukrainian]
5. Peoples, M. B., Brockwell, J., Herridge, D. F., Rochester, I. J., Alves, B. J. R., Urquiaga, S., Boddey, R. M., Dakora, F. D., Bhattarai, S., Maskey, S. L., Samptet, C., Rerkasem, B., Khan, D. F., Hauggaard-Nielsen, H., & Jensen, E. S. (2009). The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis*, 48, 1–17. <https://doi.org/10.1007/BF03179980>
6. Mostovenko, V., & Didur, I. (2020). Photosynthetic activity of vegetable peas depending on variety features, limitation of soil and nutritional system. *Agriculture and Forestry*, 19, 42–50. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2020-4-4>
7. Hrytsayenko, Z. M., Ponomarenko, S. P., Karpenko, V. P., & Leontyuk, I. B. (2008). Biologichno aktyvni rechovyny v roslinnyystvi. Kyiv: Aharna nauka [in Ukrainian]
8. Lemishko, S. M., Chernykh, S. A., & Yarchuk, I. I. (2022). Increasing the manifestation of the effect of symbiotic nitrogen fixation of peas and the productivity of crops using growth regulators, preparations of nitrogen-fixing bacteria and organic biostimulators in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine. *Agrarian Innovations*, 15, 47–52. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.15.7>
9. Mostovenko, V. B. (2021). Formuvannya produktyvnosti zerna horokhu ta yoho yakisnykh pokaznykiv zalezno vid vapnuvannya, peredposivnoi obrobky nasinnia ta pozakorenevyykh pidzhyvlen v umovakh Lisostepu pravoberezhnoho / *PhD thesis*. Vinnytskiy natsionalnyi ahramy universytet, Vinnytsia [in Ukrainian]
10. Cherenkova, A. V. (Red.). (2014). *Zernobobovi kul'tury: suchasni tekhnolohiyi vyroshchuvannya*. Dnipropetrovsk, Aktsent PP [in Ukrainian]

11. Kravchenko, V. S., Kononenko, L. M., & Vyshnevs'ka, L. V. (2019). Biologizatsiya vyroshchuvannya zernobobovykh kul'tur v Ukrayini, analiz ta perspektyva. *Ahrarnyi Visnyk Prychornomoria*, 92, 83–91. [in Ukrainian]
12. Volkohon, V. V., Nadkernycha, O. V., Krutylo, D. V., & Kovalevs'ka, T. M. (2008). Biopreparaty na osnovi bul'bochkovykh bakteriy dlya pidvyshchennya vrozhaynosti bobovykh kultur. *Posibnyk Ukrainskoho Khliboroba*, 118–119. [in Ukrainian]
13. Honchar, L. M., & Pylypenko, V. S. (2017). Polova skhozhist nasinnia ta hustota stoiannia roslyn horokhu posivnoho zalezno vid udobrennia ta inokulatsii. *Naukovi Visnyk Natsionalnoho Universytetu Bioresursiv i Pryrodokorystuvannia Ukrainy*, 269, 30–36. [in Ukrainian]
14. Kaminsky, V. F., Dvoretzka, S. P., & Lapa, I. V. (2000). Vplyv inokulyantiv i fiziologichno aktyvnykh rehovyn na urozhaynist horokhu. *Zemlerobstvo*, 74, 113–115. [in Ukrainian]
15. Melnychuk, T. M., Sherstoboyev, M. K., Tolkachov, M. Z., & Kamenyeva, I. O. (2005). Zastosuvannya mikrobiologichnykh preparativ yak odyn iz shlyakhiv polipshennya yakosti produktsiyi roslinnystva. *Visnyk Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii*, 4, 23–26. [in Ukrainian]
16. Kolyus, Y. M. (2002). Vplyv mineralnykh dobryv, inokulyatsiyi ta stymulyatoriv rostu na formuvannya nasinnyeyovoi produktyvnosti horokhu v umovakh Skhidnoho Stepu. *Zbirnyk Naukovykh Prats Vinnytskoho Derzhavnoho Ahrarnoho Universytetu*, 13, 14–17. [in Ukrainian]
17. 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.). *Taurida Scientific Herald*, 96, 66–73.
18. Buchyns'kyi, I. M., & Lykhochvor, V. V. (2018). Horokh povernuvsy v Ukrayinu. *Ahronom*, 1, 184–185. [in Ukrainian]
19. Jones, K. M., Kobayashi, H., Davies, B. W., Taga, M. E., & Walker, G. C. (2007). How rhizobial symbionts invade plants: the Sinorhizobium–Medicago model. *Nature Reviews Microbiology*, 5 (8), 619–633. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1705>
20. Hamayunova, V. V. (2016). Vplyv elementiv tekhnolohiyi vyroshchuvannya na produktyvnist' sortiv horokhu v Pivdennomu Stepu. *Zbirnyk Naukovykh Prats Podilskoho Derzhavnoho Ahrarno-Tekhnichnoho Universytetu*, 24 (1), 46–57. [in Ukrainian]
21. Ohurtsov, Y. Y. (2015). Urozhaynist roslyn zalezno vid zastosuvannya rehulyatoriv rostu roslyn i mikrodobryva na riznykh fonakh zhyvlennya. *Naukovi Dopovidi Natsionalnoho Universytetu Bioresursiv i Pryrodokorystuvannia Ukrainy*, 2, 24–28. [in Ukrainian]
22. Anishyn, L. A. (2002). Rehulatory rostu roslyn: sumnivy i fakty. *Propozytsiia*, 5, 64–65. [in Ukrainian]
23. Bulgaria, R., Cocetta, G., Trivellinib, A., Vernierib, P., & Ferrantea, A. (2014). Biostimulants and crop responses: a review. *Biological Agriculture & Horticulture*. <http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2014.964649>
24. Bakhmat, M., Chynchik, O., & Nebaba, K. (2021). Formation of productivity of sowing peas depending on technology measures of cultivation in the conditions of the western forest-steppe. *EUREKA: Life Sciences*, 2, 3–8. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2021.001751>
25. Algreen (Alhrin) biostymulator. (n.d.) *Organicplanet*. Retrieved from: <https://organicplanet.com.ua/katalog/biostymulyatory/algreen-algrin-biostymulyator-1-1-leili> [in Ukrainian]
26. Humat kaliiu "Nitrohumat Yevro". (n.d.) *Ecologya*. Retrieved from: <https://ecologya.com.ua/ua/p1259610526-gumat-kaliyu-nitrogumat.html> [in Ukrainian]
27. Emistym S. (n.d.). *Mizhvidomchyi nauko-tekhnolohichniy tsentr «Ahrobiotekh»*. Retrieved from: <https://www.agrobiotech.com.ua/ua/emistim-s> [in Ukrainian]
28. Rizolain®-r Bobovi. (n.d.). *Btu-center*. Retrieved from: <https://btu-center.com/rizolain-r> [in Ukrainian]
29. Didora, V. H., Smahlii, O. F., & Ermantraut, E. R. (2013). *Metodyka naukovykh doslidzen v ahronomii : navchalnyi posibnyk*. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury [in Ukrainian]
30. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2016). *Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv roslyn hrupy zernovykh, krupianykh ta zernobobovykh na prydatnist do poshyrennia v Ukraini*. Vinnytsia: FOP Korzun D. Yu. [in Ukrainian]
31. Fahde, S., Boughribil, S., Sijilmassi, B., & Amri, A. (2023). Rhizobia: A promising source of plant growth-promoting molecules and their non-legume interactions: examining applications and mechanisms. *Agriculture*, 13 (6), 1279. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071279>
32. Chaika, T., Korotkova, I., Shevnikov, M., Liashenko, V., & Horbenko, O. (2025). Physiological and biochemical aspects of pre-sowing treatment of soybean (*Glycine max* L. Merr.) seeds. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 21 (2), 106–119. <https://doi.org/10.31548/dopovidi/2.2025.106>
33. Chaika, T., & Lotysh, I. (2025). The effect of biopreparations on the adaptive properties of soybean in organic farming under hydrothermal stress. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 29 (2), 34–49. <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/2.2025.34>

## ORCID

V. Liashenko 

<https://orcid.org/0000-0003-0177-6209>



2025 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.