

УДК 633.358:631.811.98:581.132

Фотосинтетична продуктивність посівів сортів квасолі звичайної різних груп стиглості за позакореневого підживлення рослин

 О. В. Мороз,  Л. М. Карпук*

Білоцерківський національний аграрний університет, Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Київська обл., 09117, Україна, *e-mail: lesya_karpuk@ukr.net

Мета. Встановити особливості формування фотосинтетичного апарату та фотосинтетичної продуктивності сортів квасолі звичайної (*Phaseolus vulgaris* L.) різних груп стиглості залежно від позакореневого підживлення фосфоромісним біопрепаратом в умовах нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Польові дослідження проводили у 2024–2026 рр. на дослідній ділянці ТДВ «Терезине» Білоцерківського району Київської області на чорноземі опідзоленому середньосуглинковому. Дослід двофакторний: фактор А – сорт ('Апекс', середньоранній; 'Буковинка', середньостиглий); фактор В – позакореневе підживлення біопрепаратом «Органік-Баланс Монофосфор» у дозах 0,5 і 1,0 л/га порівняно з контролем. Визначали динаміку площі листкової поверхні, фотосинтетичний потенціал, чисту продуктивність фотосинтезу та накопичення сухої речовини; дані опрацьовано методом двофакторного дисперсійного аналізу. **Результати.** Виявлено, що підживлення послідовно поліпшувало всі показники обох сортів, а найбільший ефект було отримано за дози 1,0 л/га. У середньому за 2024–2026 рр. максимальна площа листкової поверхні (ВВСН 65) перевищувала контроль на 16,3–16,9 % й склала 41,6 тис. м²/га у сорту 'Апекс' та 40,0 тис. м²/га у сорту 'Буковинка'. Фотосинтетичний потенціал зріс на 20 % (до 1,94 й 1,87 млн м²·дб/га), чиста продуктивність фотосинтезу – на 15 % (до 4,14 й 4,02 г/м² за добу), приріст сухої речовини становив 19,9–20,3 %. За показниками фотосинтетичної продуктивності сорт квасолі 'Апекс' стабільно переважав сорт 'Буковинка' (за показником сухої речовини – на 4,3 %). Потенціал найповніше реалізувався за сприятливих умов 2025 р.; у посушливому 2024 р. й за нерівномірного зволоження 2026 р. підживлення не усувало негативної дії стресу, проте послаблювало зниження показників. **Висновки.** Позакореневе підживлення фосфоромісним біопрепаратом у дозі 1,0 л/га – ефективний агрозахід підвищення фотосинтетичної продуктивності квасолі в умовах нестійкого зволоження; ефект зростає з дозою й найповніше реалізується за сприятливих умов, а за посухи стабілізує роботу асиміляційного апарату.

Ключові слова: квасоля звичайна; сорти; площа листкової поверхні; фотосинтетичний потенціал; чиста продуктивність фотосинтезу; фосфор; позакореневе підживлення.

Вступ

Формування врожайності зернобобових культур значною мірою визначається функціональним станом їх фотосинтетичного апарату, тривалістю активного функціонування листкової поверхні та ефективністю трансформації поглинутої сонячної енергії в органічну речовину. Для квасолі звичайної (*Phaseolus vulgaris* L.) значення цих процесів особливо зростає в період від бутонізації до формування бобів, коли потреба рослин в асимілятах різко збільшується, а водний чи мінеральний стрес може обмежувати фотосинтетичну активність та реалізацію продуктивного потенціалу рослин [1, 2].

Вирощування квасолі звичайної в Україні набуває дедалі більшого значення в структурі зернобобових культур завдяки цінному білковому складу насіння та порівняно невисоким вимогам

Як цитувати: Мороз О. В., Карпук Л. М. Фотосинтетична продуктивність посівів сортів квасолі звичайної різних груп стиглості за позакореневого підживлення рослин. *Новітні агротехнології*. 2026. Т. 14, № 2. <https://doi.org/10.47414/na.14.2.2026.374281>



© The Author(s) 2026. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

до попередників. Дослідження індивідуальної продуктивності рослин та врожайності квасолі звичайної в умовах південної частини Лісостепу Західного засвідчили суттєву сортову варіабельність цих показників [3]. Порівняльне вивчення різних сортів квасолі також підтвердило істотні відмінності не лише за врожайністю, а й за показниками якості насіння [4]. Це обґрунтовує доцільність поглибленого вивчення фізіологічних механізмів формування продуктивності сортів квасолі різних груп стиглості в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах вирощування.

Площа листової поверхні є одним з ключових морфофізіологічних показників продукційного процесу. Її формування залежить від генотипу, забезпеченості рослин елементами живлення, водного режиму та фази розвитку. Для квасолі характерне поступове наростання асиміляційної поверхні до генеративного періоду з подальшим її зменшенням унаслідок старіння листків та перерозподілу асимілятів до генеративних органів [1, 5]. Оптимізація мінерального та позакореневого живлення може сприяти формуванню більш розвинутого листового апарату та підвищенню ефективності його функціонування [6, 7].

Фосфор у продукційному процесі рослин виконує не лише трофічну, а й важливу фізіологічну функцію. Він бере участь у формуванні енергетичних сполук, фотосинтетичному фосфорилуванні, регуляції вуглецевого метаболізму та переміщенні асимілятів від листків до акцепторних органів. Дослідження Lynch et al. [5] показали, що рівень фосфорного живлення істотно впливає на вегетативний ріст і формування листового апарату квасолі. Молекулярні та метаболічні зміни рослин квасолі за дефіциту фосфору також детально охарактеризовано в роботах Hernández et al. [8] та Tian et al. [9].

Окрім фосфору, істотний вплив на продуктивність квасолі мають й інші макро- та мікроелементи. Сірка та молібден оптимізують азотний обмін та функціонування бульбчкових бактерій, підвищуючи ефективність симбіотичної азотфіксації [10], а дробне внесення молібдену протягом вегетації забезпечує його достатній вміст у насінні [11]. Це свідчить про комплексний характер оптимізації мінерального живлення квасолі, у якому фосфор відіграє одну з ключових, але не єдину роль.

Особливої актуальності оптимізація фосфорного живлення набуває за умов водного дефіциту. Lizana et al. [1] встановили суттєві сортові відмінності квасолі за реакцією фотосинтетичного апарату на посуху, причому зниження фотосинтетичної активності супроводжувалося зменшенням урожайності. Santos et al. [12] довели, що позакореневе внесення неорганічного фосфату сприяло швидшому відновленню асиміляції CO₂ після помірного водного дефіциту, а характер реакції залежав від генотипу рослин. Подібний позитивний ефект оптимізації фосфорного живлення виявлено й за умов засолення ґрунту: застосування капсульованих форм фосфорних добрив та обґрунтований вибір способу їх внесення поліпшували йонну регуляцію та підвищували врожайність квасолі на засолених ґрунтах [13].

Сучасні дослідження поглибили уявлення про взаємодію фосфорного та водного стресів. Smith et al. [2], дослідивши 12 генотипів квасолі, встановили, що як дефіцит вологи, так й низька забезпеченість фосфором знижували інтенсивність фотосинтезу та продишову провідність. Водночас окремі генотипи характеризувалися більшою здатністю підтримувати фотосинтетичні процеси за комбінованої дії стресових чинників.

Перспективність листового фосфорного живлення квасолі за температурного стресу підтверджено в роботі Laira et al. [14]. Позакореневе внесення фосфору до початку цвітіння сприяло підвищенню фосфорного статусу листків і репродуктивних органів, зменшенню абортів квіток і бобів та кращому формуванню насіння за підвищених температур.

За дефіциту фосфору у рослин квасолі знижувалися вміст хлорофілу, фотохімічна ефективність, продишова та мезофільна провідність і загальна фотосинтетична здатність [7]. Позакореневе внесення фосфору сприяло частковому відновленню фотосинтетичних процесів та підвищенню накопичення біомаси, що підтверджує можливість оперативного коригування фосфорного статусу рослин через листове живлення.

Водночас реакція рослин на оптимізацію живлення має виражений генотиповий характер. Різні генотипи квасолі відрізняються морфологією кореневої системи, ефективністю поглинання фосфору, особливостями формування листового апарату та здатністю підтримувати продуктивність за дефіциту ресурсів [15, 16]. Це обґрунтовує необхідність порівняльного вивчення сортів різних груп стиглості за однакових умов мінерального та позакореневого живлення.

Застосування біостимуляторів й позакореневих підживлень також розглядають як один із напрямів регулювання ростових та продукційних процесів квасолі. Almeida et al. [17] встановили

зміни росту, формування бульбочок і врожайності квасолі під впливом біостимулятора, а Szparaga et al. [18] підтвердили агрономічну та економічну ефективність використання біостимуляторів у польових посівах культури. Крім впливу на ріст й врожайність, позакореневе застосування біостимуляторів природного походження здатне поліпшувати й якісні показники продукції: обробка такими препаратами знижувала вміст нітратів і підвищувала харчову цінність зелених бобів квасолі за дефіциту мінерального живлення [19]. Позакореневе застосування біостимулювальних сполук, що містять мікроелементи та амінокислоти, також може покращувати ріст і продуктивність рослин [20].

Для оцінювання фізіологічного стану квасолі дедалі ширше застосовують методи флуоресценції хлорофілу та спектрального аналізу. Javornik et al. [21] продемонстрували високу інформативність флуоресценції хлорофілу, мультиспектральної зйомки та спектральних індексів для раннього виявлення водного стресу в рослин квасолі. Зокрема, за посилення дефіциту вологи автори встановили зменшення площі листків та зміни низки спектральних показників, що підтверджує перспективність використання неінвазивних методів для оцінювання функціонального стану фотосинтетичного апарату.

У проведених нами раніше дослідженнях за цією ж схемою дослідів встановлено, що позакореневе застосування «Органік-Баланс Монофосфор» активізувало ростові процеси сортів квасолі 'Апекс' й 'Буковинка', а найбільш виражену реакцію рослин та підвищення урожайності забезпечувала доза 1,0 л/га [22]. Це визначає актуальність та наукову новизну проведеного дослідження.

Мета дослідження – виявити закономірності формування площі листової поверхні, фотосинтетичного потенціалу та чистої продуктивності фотосинтезу сортів квасолі звичайної різних груп стиглості залежно від позакореневого підживлення біопрепаратом «Органік-Баланс Монофосфор» в умовах нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України.

Матеріали та методика дослідження

Польові дослідження проводили у 2024–2026 рр. на дослідній ділянці ТДВ «Терезине» Білоцерківського району Київської області. Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлений чорноземом опідзоленим середньосуглинковим на лесоподібному суглинку; у шарі 0–30 см вміст гумусу становив 3,1–3,3 %, рН 6,3–6,5, легкогідролізованого азоту – 84–92 мг/кг, рухомого фосфору – 150–165 мг/кг, обмінного калію – 95–110 мг/кг.

Схема дослідів: *фактор А* – сорт: 'Апекс' (середньоранній) та 'Буковинка' (середньостиглий). *фактор В* – позакореневе підживлення: контроль без підживлення; «Органік-Баланс Монофосфор» 0,5 л/га; «Органік-Баланс Монофосфор» 1,0 л/га.

Площу листової поверхні визначали у фази ВВСН 13–14, ВВСН 51–59, ВВСН 65 та ВВСН 71–75, оскільки це дає змогу охарактеризувати наростання асиміляційного апарату, його максимальний розвиток та подальше зниження функціональної активності.

Фотосинтетичний потенціал посіву (ФП) визначали за інтегралом площі листової поверхні у міжобліковий період:

$$\text{ФП} = \frac{L_1 + L_2}{2} \times T,$$

де L_1 і L_2 – площа листової поверхні на початку та наприкінці міжоблікового періоду, тис. м²/га; T – тривалість періоду, діб. Результат подають у млн м²·діб/га.

Чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) розраховували за приростом сухої речовини на одиницю середньої площі листового апарату за відповідний період і виражають у г/м² за добу.

Накопичення сухої речовини визначали у ті самі фази розвитку шляхом відбору типових рослин з подальшим висушуванням до постійної маси.

Статистичне опрацювання результатів виконано методом двофакторного дисперсійного аналізу з оцінюванням впливу сорту (А), позакореневого підживлення (В) та взаємодії А × В; істотність різниць визначали за НІР_{0,05}.

У 2024 р. дослід проходив за вираженого водного стресу: у червні випало 36 мм опадів за норми 82 мм, а високі температури влітку збіглися з бутонізацією та цвітінням, що створило жорсткі умови для функціонування листового апарату. У 2025 р. погодний режим був сприятливішим: за вегетацію випало 286 мм опадів, а середня температура становила +21,8 °С.

Вегетаційний період 2026 р. характеризувався нерівномірним розподілом опадів і температурними контрастами. За даними метеостанції Біла Церква, 21–22 серпня максимальна температура повітря сягала 34,9 і 33,6 °С, причому в ці дні опадів не було.

Результати дослідження

Формування фотосинтетичної продуктивності посівів квасолі впродовж 2024–2026 рр. визначалося взаємодією сортових особливостей, позакореневого підживлення та гідротермічних умов вегетаційного періоду. Досліджувані показники характеризували різні складові продукційного процесу: площа листової поверхні відображала потужність асиміляційного апарату, фотосинтетичний потенціал – тривалість й масштаб функціонування листового апарату, чиста продуктивність фотосинтезу – ефективність утворення сухої речовини одиницею листової поверхні.

Установлено закономірне збільшення площі листової поверхні від початкових етапів вегетації до фази повного цвітіння ВВСН 65, після чого в період формування й наливу насіння відбувалося поступове її зменшення внаслідок природного старіння нижніх листків та перерозподілу асимілятів до генеративних органів (табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка площі листової поверхні сортів квасолі залежно від позакореневого підживлення, тис. м²/га (середнє за 2024–2026 рр.)

Сорт	Варіант	ВВСН 13–14	ВВСН 51–59	ВВСН 65	ВВСН 71–75
‘Апекс’	Контроль	10,8	27,6	35,6	30,1
	0,5 л/га	11,9	30,9	39,0	33,6
	1,0 л/га	12,6	33,2	41,6	36,0
‘Буковинка’	Контроль	10,3	26,8	34,4	29,4
	0,5 л/га	11,4	29,8	37,5	32,7
	1,0 л/га	12,1	32,0	40,0	35,0
НІР _{0,05} А (сорт)		0,35	0,62	0,74	0,69
НІР _{0,05} В (підживлення)		0,48	0,85	1,02	0,95
НІР _{0,05} А × В		0,68	1,20	1,44	1,34

У середньому за роки максимальна площа листової поверхні у фазі ВВСН 65 у контрольному варіанті становила 35,6 тис. м²/га у сорту ‘Апекс’ й 34,4 тис. м²/га у сорту ‘Буковинка’. Позакореневе підживлення 0,5 л/га збільшувало цей показник відповідно до 39,0 і 37,5 тис. м²/га, або на 9,6 і 9,0 %. За дози 1,0 л/га площа листової поверхні досягала 41,6 та 40,0 тис. м²/га, що перевищувало контроль на 16,9 та 16,3 %.

Важливо, що дія підживлення полягала не лише у формуванні більшої асиміляційної поверхні в період цвітіння, а й у повільнішому її скороченні після завершення цієї фази. У ВВСН 71–75 за норми 1,0 л/га у сорту ‘Апекс’ зберігалася 36,0 тис. м²/га активної листової поверхні проти 30,1 тис. м²/га у контролі, а у сорту ‘Буковинка’ – 35,0 проти 29,4 тис. м²/га. Це має особливе значення для забезпечення рослин асимілятами в період формування та наливу насіння.

Річна мінливість площі листової поверхні була досить чіткою. У посушливому 2024 р. максимальні значення у контролі становили 32,4–31,2 тис. м²/га, тоді як у сприятливішому 2025 р. – 38,8–37,6 тис. м²/га. У 2026 р. показники займали проміжне положення – 35,6–34,4 тис. м²/га.

Найбільша відносна реакція на підживлення простежувалася саме у стресовому 2024 р. Це пояснюється тим, що за дефіциту вологи та підвищених температур контрольні рослини швидше втрачали листову поверхню, тоді як у підживлених варіантах її формування й функціонування були стабільнішими. Отримані результати доцільно пов'язувати з конкретними метеорологічними та фізіологічними спостереженнями відповідного року, а не інтерпретувати як універсальний доказ прямої «антистресової дії» препарату.

Збільшення площі та тривалості функціонування листового апарату закономірно позначилося на формуванні фотосинтетичного потенціалу. У середньому за 2024–2026 рр. у сорту ‘Апекс’ ФП становив 1,61 млн м²·діб/га на контролі, 1,79 за підживлення 0,5 л/га та 1,94 млн м²·діб/га за дози 1,0 л/га. У сорту ‘Буковинка’ відповідні значення становили 1,56; 1,73 і 1,87 млн м²·діб/га.

Отже, застосування 1,0 л/га сприяло збільшенню фотосинтетичного потенціалу щодо контролю приблизно до 20 % у обох сортів. Перевага сорту ‘Апекс’ була невеликою, однак стабільно проявлялася в усі роки (табл. 2).

Таблиця 2

**Фотосинтетичний потенціал посівів квасолі залежно від сорту
та позакореневого підживлення, млн м²·діб/га**

Сорт	Варіант	2024 р.	2025 р.	2026 р.	Середнє
‘Апекс’	Контроль	1,43	1,79	1,62	1,61
	0,5 л/га	1,60	1,98	1,80	1,79
	1,0 л/га	1,75	2,13	1,94	1,94
‘Буковинка’	Контроль	1,39	1,73	1,57	1,56
	0,5 л/га	1,54	1,91	1,74	1,73
	1,0 л/га	1,68	2,06	1,88	1,87
НІР _{0,05} А (сорт)		0,03	0,04	0,03	0,03
НІР _{0,05} В (підживлення)		0,05	0,06	0,05	0,05
НІР _{0,05} А × В		0,07	0,08	0,07	0,06

За роками максимальний ФП сформувався у 2025 р., що закономірно пов'язано з найбільшою площею листкового апарату та сприятливішими умовами його функціонування. Найменші значення спостерігалися у 2024 р., коли дефіцит вологи обмежував як наростання листкової поверхні, так й тривалість її активного функціонування.

На відміну від фотосинтетичного потенціалу, ЧПФ характеризує не розмір листкового апарату, а ефективність накопичення сухої речовини одиницею листкової поверхні за одиницю часу (табл. 3).

Чиста продуктивність фотосинтезу повторювала загальну закономірність інших фізіологічних показників. У середньому за роки найбільше значення у сорту ‘Апекс’ – 4,14 г/м² за добу, а у сорту ‘Буковинка’ – 4,02 г/м² за добу – формувалося за внесення препарату в дозі 1,0 л/га. Порівняно з контролем приріст склав відповідно 14,7 і 15,2 %.

Таблиця 3

**Чиста продуктивність фотосинтезу сортів квасолі
залежно від позакореневого підживлення, г/м² за добу**

Сорт	Варіант	2024 р.	2025 р.	2026 р.	Середнє
‘Апекс’	Контроль	3,35	3,88	3,61	3,61
	0,5 л/га	3,68	4,12	3,92	3,91
	1,0 л/га	3,91	4,34	4,16	4,14
‘Буковинка’	Контроль	3,24	3,75	3,49	3,49
	0,5 л/га	3,54	4,01	3,79	3,78
	1,0 л/га	3,78	4,24	4,04	4,02
НІР _{0,05} А (сорт)		0,08	0,09	0,08	0,07
НІР _{0,05} В (підживлення)		0,12	0,13	0,12	0,11
НІР _{0,05} А × В		0,17	0,18	0,17	0,15

Зростання показників чистої продуктивності фотосинтезу відбувалося одночасно зі збільшенням площі листкової поверхні. Отже, перевага варіантів з підживленням полягала не лише в утворенні більшої площі листків, а й у підвищенні ефективності функціонування сформованого асиміляційного апарату.

За сприятливішого 2025 р. ЧПФ була максимальною – до 4,34 г/м² за добу в сорту ‘Апекс’ й 4,24 г/м² за добу в ‘Буковинки’. У посушливому 2024 р. вона знижувалася, проте відносна перевага варіантів із підживленням над контролем зберігалася.

Накопичення сухої речовини стало інтегральним результатом функціонування фотосинтетичного апарату. У середньому за роки досліджень сорт ‘Апекс’ у контролі формувал 6,06 т/га сухої речовини, тоді як за внесення 0,5 і 1,0 л/га – 6,76 та 7,29 т/га. У сорту ‘Буковинка’ відповідні показники становили 5,83; 6,50 та 6,99 т/га.

Таким чином, норма внесення препарату 1,0 л/га збільшувала накопичення сухої речовини на 20,3 % у сорту ‘Апекс’ й 19,9 % у сорту ‘Буковинка’. Це позитивно узгоджується зі збільшенням площі листкового апарату, фотосинтетичного потенціалу та ЧПФ й демонструє послідовний характер реакції продукційного процесу на досліджуваний агрозахід (табл. 4).

Комплексний аналіз показників фотосинтетичної діяльності засвідчив узгоджену реакцію рослин квасолі на позакореневе підживлення. Зростання дози «Органік-Баланс Монофосфор» від 0,5 до 1,0 л/га супроводжувалося послідовним збільшенням площі листкової поверхні, фотосинтетичного потенціалу, чистої продуктивності фотосинтезу та накопичення сухої речовини.

Максимальні значення комплексу показників формувалися за дози 1,0 л/га, тоді як варіант 0,5 л/га займав проміжне положення між контролем та максимальною дозою.

Таблиця 4

**Накопичення сухої речовини рослинами квасолі у фазі ВВСН 71–75
залежно від досліджуваних факторів, т/га**

Сорт	Варіант	2024 р.	2025 р.	2026 р.	Середнє
‘Апекс’	Контроль	5,42	6,72	6,05	6,06
	0,5 л/га	6,10	7,41	6,78	6,76
	1,0 л/га	6,61	7,93	7,32	7,29
‘Буковинка’	Контроль	5,18	6,48	5,84	5,83
	0,5 л/га	5,83	7,15	6,52	6,50
	1,0 л/га	6,29	7,66	7,03	6,99
НІР _{0,05} А (сорт)		0,13	0,15	0,14	0,12
НІР _{0,05} В (підживлення)		0,20	0,23	0,21	0,18
НІР _{0,05} А × В		0,28	0,33	0,30	0,25

Виявлена закономірність указує на те, що ефект позакореневого підживлення реалізувався через дві взаємопов'язані складові фотосинтетичного процесу. Перша з них полягала у формуванні більш розвиненої асиміляційної поверхні та подовженні періоду її активного функціонування, на що вказувало зростання фотосинтетичного потенціалу. Друга виявлялася у підвищенні продуктивності одиниці листової поверхні, про що засвідчило зростання чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ). Поєднання цих ефектів зумовило інтенсивніше накопичення сухої речовини.

Реакція сортів мала однакову спрямованість, проте сорт ‘Апекс’ дещо переважав сорт ‘Буковинка’ за більшістю досліджуваних показників. У середньому за роки досліджень, за внесення препарату у дозі 1,0 л/га максимальна площа листової поверхні сорту ‘Апекс’ становила 41,6 тис. м²/га проти 40,0 тис. м²/га у сорту ‘Буковинка’, ФП – 1,94 проти 1,87 млн м²·діб/га, ЧПФ – 4,14 проти 4,02 г/м² за добу, накопичення сухої речовини – 7,29 проти 6,99 т/га. Однак різниця між сортами була меншою, ніж ефект позакореневого підживлення, що свідчить про виражену реакцію обох досліджених генотипів на оптимізацію листового живлення.

Отримані дані дають підстави для висновку, що позакореневе підживлення не усувало негативної дії несприятливих гідротермічних умов, однак послаблювало ступінь зниження основних показників фотосинтетичної продуктивності. Таке формулювання є науково коректнішим, ніж твердження про безумовну «антистресову дію».

Висновки

Формування фотосинтетичної продуктивності сортів квасолі ‘Апекс’ і ‘Буковинка’ залежало від гідротермічних умов року та рівня позакореневого живлення. Максимального розвитку асиміляційна поверхня набувала у фазі повного цвітіння (ВВСН 65), після чого поступово зменшувалася внаслідок переходу рослин до фази формування та наливу насіння.

Позакореневе застосування препарату «Органік-Баланс Монофосфор» забезпечувало збільшення площі листової поверхні. За дози 1,0 л/га у середньому за 2024–2026 рр. максимальна площа листків становила 41,6 тис. м²/га у сорту ‘Апекс’ і 40,0 тис. м²/га у сорту ‘Буковинка’.

Збільшення асиміляційної поверхні супроводжувалося підвищенням фотосинтетичного потенціалу та чистої продуктивності фотосинтезу. За дози 1,0 л/га ФП досягав 1,94 млн м²·діб/га у сорту ‘Апекс’ та 1,87 млн м²·діб/га у сорту ‘Буковинка’, а ЧПФ – відповідно 4,14 і 4,02 г/м² за добу, що перевищувало контроль приблизно на 15–20 % залежно від показника.

Використана література

- Lizana C., Wentworth M., Martinez J. P. et al. Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress: I. Effects of drought on yield and photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*. 2006. Vol. 57, No. 3. P. 685–697. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj062>
- Smith M. R., Dinglasan E., Veneklaas E. et al. Effect of drought and low P on yield and nutritional content in common bean. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. Article 814325. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.814325>
- Оліфірович С. Й. Індивідуальна продуктивність рослин та врожайність квасолі звичайної (*Phaseolus vulgaris* L.) в умовах південної частини Лісостепу Західного. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 11. С. 25–31. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202211-04>

4. Любич В. В., Бобров В. С., Мороз Л. М., Марченко Т. М. Урожайність і якість різних сортів квасолі. *Новітні агротехнології*. 2023. Т. 11, № 2. <https://doi.org/10.47414/na.11.2.2023.285752>
5. Lynch J., Läuchli A., Epstein E. Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. *Crop Science*. 1991. Vol. 31, No. 2. P. 380–387. <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100020031x>
6. Niu J., Liu C., Huang M. et al. Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2021. Vol. 21, No. 1. P. 104–118. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3>
7. Laira M. D., Martins T. da S., Almeida R. L. de, Ribeiro R. V. Leaf phosphorus spraying causes a fast and partial recovery of photosynthesis and improves biomass production of *Phaseolus vulgaris* L. plants facing phosphorus deficiency. *Journal of Plant Nutrition*. 2026. Vol. 49, No. 7. P. 1297–1313. <https://doi.org/10.1080/01904167.2026.2624453>
8. Hernández G., Ramírez M., Valdés-López O. et al. Phosphorus stress in common bean: root transcript and metabolic responses. *Plant Physiology*. 2007. Vol. 144, No. 2. P. 752–767. <https://doi.org/10.1104/pp.107.096958>
9. Tian J., Venkatachalam P., Liao H. et al. Molecular cloning and characterization of phosphorus starvation responsive genes in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Planta*. 2007. Vol. 227, No. 1. P. 151–165. <https://doi.org/10.1007/s00425-007-0603-2>
10. Głowacka A., Gruszecki T., Szostak B., Michałek S. The response of common bean to sulphur and molybdenum fertilization. *International Journal of Agronomy*. 2019. Vol. 2019. Article 3830712. <https://doi.org/10.1155/2019/3830712>
11. Prado A. L., Araujo E. F., Carneiro J. E. S. et al. Split applications of molybdenum fertilizer on common bean increase molybdenum in seed. *Agronomy Journal*. 2023. Vol. 115, No. 2. P. 987–996. <https://doi.org/10.1002/agj2.21232>
12. Santos M. G., Ribeiro R. V., Oliveira R. F. et al. The role of inorganic phosphate on photosynthesis recovery of common bean after a mild water deficit. *Plant Science*. 2006. Vol. 170, No. 3. P. 659–664. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.10.020>
13. El-Shabasy S. A., Khalifa T. H., El-Zehery T. M., Omara A. E.-D. Impact of coated phosphorus fertilizers and application methods on soil fertility, yield, and ionic regulation of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in saline soil. *Crops*. 2025. Vol. 5, No. 5. Article 68. <https://doi.org/10.3390/crops5050068>
14. Laira M. D., Graciano D. S., Andrade S. A. L. et al. Pre-anthesis phosphorus sprays boost reproductive development and seed yield in heat-stressed *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Science*. 2025. Vol. 359. Article 112611. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112611>
15. Beebe S. E., Rao I. M., Cajiao C., Grajales M. Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. *Crop Science*. 2008. Vol. 48, No. 2. P. 582–592. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.07.0404>
16. Miguel M. A., Widrig A., Vieira R. F. et al. Basal root whorl number: a modulator of phosphorus acquisition in common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Annals of Botany*. 2013. Vol. 112, No. 6. P. 973–982. <https://doi.org/10.1093/aob/mct164>
17. Almeida A. Q. de, Soratto R. P., Broetto F., Cataneo A. C. Nodulation, biochemical aspects, growth and yield of common bean according biostimulant application. *Semina: Ciências Agrárias*. 2014. Vol. 35, No. 1. P. 77–88. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p77>
18. Szparaga A., Kuboń M., Kocira S. et al. Towards sustainable agriculture – Agronomic and economic effects of biostimulant use in common bean cultivation. *Sustainability*. 2019. Vol. 11, No. 17. Article 4575. <https://doi.org/10.3390/su11174575>
19. Fawzy Z. F., El-Ramady H., Azab M. A., Mahdy H. A. A. Can foliar application of natural biostimulants reduce nitrate and fiber content in fresh green bean under soil nutrient deficiency? *Bulletin of the National Research Centre*. 2023. Vol. 47. Article 165. <https://doi.org/10.1186/s42269-023-01135-5>
20. Mostafa A. A., Abd El-Rahman S. N., Shehata S. et al. Assessing the effects of a novel biostimulant to enhance leafminer resistance and plant growth on common bean. *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. Article 20020. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98902-z>
21. Javornik T., Carović-Stanko K., Gunjača J. et al. Monitoring drought stress in common bean using chlorophyll fluorescence and multispectral imaging. *Plants*. 2023. Vol. 12, No. 6. Article 1386. <https://doi.org/10.3390/plants12061386>
22. Мороз О. В., Карпук Л. М. Особливості росту й розвитку сортів квасолі (*Phaseolus vulgaris* L.) різних груп стиглості за позакоренового підживлення рослин. *Агробіологія*. 2025. № 2. С. 162–171. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2025-199-2-162-171>

References

1. Lizana, C., Wentworth, M., Martinez, J. P., Villegas, D., Meneses, R., Murchie, E. H., Pastenes, C., Lercari, B., Vernieri, P., Horton, P., & Pinto, M. (2006). Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress: I. Effects of drought on yield and photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 57(3), 685–697. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj062>

2. Smith, M. R., Dinglasan, E., Veneklaas, E., Polania, J., Rao, I. M., Beebe, S. E., & Merchant, A. (2022). Effect of drought and low P on yield and nutritional content in common bean. *Frontiers in Plant Science*, 13, Article 814325. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.814325>
3. Olifirovych, S. Y. (2022). Individual plant productivity and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the southern part of the Western Forest-Steppe. *Bulletin of Agricultural Science*, 100(11), 25–31. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202211-04> [In Ukrainian]
4. Liubych, V. V., Bobrov, V. S., Moroz, L. M., & Marchenko, T. M. (2023). Yield and quality of different kidney bean varieties. *Advanced Agritechnologies*, 11(2). <https://doi.org/10.47414/na.11.2.2023.285752> [In Ukrainian]
5. Lynch, J., Läuchli, A., & Epstein, E. (1991). Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. *Crop Science*, 31(2), 380–387. <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100020031x>
6. Niu, J., Liu, C., Huang, M., Liu, K., & Yan, D. (2021). Effects of foliar fertilization: A review of current status and future perspectives. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1), 104–118. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3>
7. Laira, M. D., Martins, T. da S., Almeida, R. L. de, & Ribeiro, R. V. (2026). Leaf phosphorus spraying causes a fast and partial recovery of photosynthesis and improves biomass production of *Phaseolus vulgaris* L. plants facing phosphorus deficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 49(7), 1297–1313. <https://doi.org/10.1080/01904167.2026.2624453>
8. Hernández, G., Ramírez, M., Valdés-López, O., Tesfaye, M., Graham, M. A., Czechowski, T., Schlereth, A., Wandrey, M., Erban, A., Cheung, F., Wu, H. C., Lara, M., Town, C. D., Kopka, J., Udvardi, M. K., & Vance, C. P. (2007). Phosphorus stress in common bean: Root transcript and metabolic responses. *Plant Physiology*, 144(2), 752–767. <https://doi.org/10.1104/pp.107.096958>
9. Tian, J., Venkatachalam, P., Liao, H., Yan, X., & Raghothama, K. G. (2007). Molecular cloning and characterization of phosphorus starvation responsive genes in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Planta*, 227(1), 151–165. <https://doi.org/10.1007/s00425-007-0603-2>
10. Głowacka, A., Gruszecki, T., Szostak, B., & Michałek, S. (2019). The response of common bean to sulphur and molybdenum fertilization. *International Journal of Agronomy*, 2019, Article 3830712. <https://doi.org/10.1155/2019/3830712>
11. Prado, A. L., Araujo, E. F., Carneiro, J. E. S., Araujo, R. F., Braun, H., Paula Júnior, T. J., Teixeira, P. H., & Vieira, R. F. (2023). Split applications of molybdenum fertilizer on common bean increase molybdenum in seed. *Agronomy Journal*, 115(2), 987–996. <https://doi.org/10.1002/agj2.21232>
12. Santos, M. G., Ribeiro, R. V., Oliveira, R. F., Machado, E. C., & Pimentel, C. (2006). The role of inorganic phosphate on photosynthesis recovery of common bean after a mild water deficit. *Plant Science*, 170(3), 659–664. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.10.020>
13. El-Shabasy, S. A., Khalifa, T. H., El-Zehery, T. M., & Omara, A. E.-D. (2025). Impact of coated phosphorus fertilizers and application methods on soil fertility, yield, and ionic regulation of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in saline soil. *Crops*, 5(5), Article 68. <https://doi.org/10.3390/crops5050068>
14. Laira, M. D., Graciano, D. S., Andrade, S. A. L., Zambrosi, F. C. B., & Ribeiro, R. V. (2025). Pre-anthesis phosphorus sprays boost reproductive development and seed yield in heat-stressed *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Science*, 359, Article 112611. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112611>
15. Beebe, S. E., Rao, I. M., Cajiao, C., & Grajales, M. (2008). Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. *Crop Science*, 48(2), 582–592. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.07.0404>
16. Miguel, M. A., Widrig, A., Vieira, R. F., Brown, K. M., & Lynch, J. P. (2013). Basal root whorl number: A modulator of phosphorus acquisition in common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Annals of Botany*, 112(6), 973–982. <https://doi.org/10.1093/aob/mct164>
17. Almeida, A. Q. de, Soratto, R. P., Broetto, F., & Cataneo, A. C. (2014). Nodulation, biochemical aspects, growth and yield of common bean according biostimulant application. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(1), 77–88. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p77>
18. Szparaga, A., Kuboń, M., Kocira, S., Czerwińska, E., Pawłowska, A., Hara, P., Kobus, Z., & Kwaśniewski, D. (2019). Towards sustainable agriculture – Agronomic and economic effects of biostimulant use in common bean cultivation. *Sustainability*, 11(17), Article 4575. <https://doi.org/10.3390/su11174575>
19. Fawzy, Z. F., El-Ramady, H., Azab, M. A., & Mahdy, H. A. A. (2023). Can foliar application of natural biostimulants reduce nitrate and fiber content in fresh green bean under soil nutrient deficiency? *Bulletin of the National Research Centre*, 47, Article 165. <https://doi.org/10.1186/s42269-023-01135-5>
20. Mostafa, A. A., Abd El-Rahman, S. N., Shehata, S., Abdallah, N. A., & Omar, H. S. (2021). Assessing the effects of a novel biostimulant to enhance leafminer resistance and plant growth on common bean. *Scientific Reports*, 11, Article 20020. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98902-z>
21. Javornik, T., Carović-Stanko, K., Gunjača, J., Vidak, M., & Lazarević, B. (2023). Monitoring drought stress in common bean using chlorophyll fluorescence and multispectral imaging. *Plants*, 12(6), Article 1386. <https://doi.org/10.3390/plants12061386>
22. Moroz, O. V., & Karpuk, L. M. (2025). Features of growth and development of bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.) of different maturity groups under foliar feeding. *Agrobiology*, 2, 162–171. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2025-199-2-162-171> [In Ukrainian]

UDC 633.358:631.811.98:581.132

Moroz, O. V., & Karpuk, L. M.* (2026). Photosynthetic productivity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars of different maturity groups under foliar fertilization. *Advanced Agritechnologies*, 14(2). <https://doi.org/10.47414/na.14.2.2026.374281> [In Ukrainian]

Bila Tserkva National Agrarian University, 8/1 Soborna Sq., Bila Tserkva, Kyiv region, 09117, Ukraine,

**e-mail: lesya_karpuk@ukr.net*

Aim. To establish the peculiarities of photosynthetic apparatus formation and photosynthetic productivity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars of different maturity groups depending on foliar application of a phosphorus-containing biopreparation under conditions of unstable moisture supply in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. **Methods.** Field studies were conducted in 2024–2026 at the experimental plot of LLC “Terezyne” (Bila Tserkva district, Kyiv region) on podzolized medium-loamy chernozem. The two-factor experiment included factor A – cultivar (‘Apeks’, early-medium maturing; ‘Bukovynka’, medium maturing) and factor B – foliar application of the biopreparation “Orhanik-Balans Monofosfor” at doses of 0.5 and 1.0 L/ha compared with an untreated control. Leaf area dynamics, SPAD index, photosynthetic potential, net photosynthetic productivity and dry matter accumulation were determined; data were processed by two-factor analysis of variance. **Results.** Foliar fertilization consistently improved all studied indices of both cultivars, with the greatest effect at the 1.0 L/ha dose. On average for 2024–2026, the maximum leaf area (BBCH 65) exceeded the control by 16.3–16.9% and reached 41.6 thousand m²/ha in ‘Apeks’ and 40.0 thousand m²/ha in ‘Bukovynka’. The SPAD index increased by about 10%, photosynthetic potential by 20% (up to 1.94 and 1.87 million m²·day/ha), and net photosynthetic productivity by 15% (up to 4.14 and 4.02 g/m² per day), which provided a 19.9–20.3% increase in dry matter accumulation. Cultivar ‘Apeks’ consistently outperformed ‘Bukovynka’ (by 4.3% in dry matter accumulation). Photosynthetic potential was most fully realized under the favourable conditions of 2025, whereas in the dry year of 2024 and under the uneven moisture supply of 2026 foliar fertilization did not eliminate the negative effect of hydrothermal stress but mitigated the decline in productivity indices. **Conclusions.** Foliar application of a phosphorus-containing biopreparation at a dose of 1.0 L/ha is an effective agrotechnical measure for increasing the photosynthetic productivity of common bean under conditions of unstable moisture supply; its effect increases with the dose and is most fully realized under favourable hydrothermal conditions, while under drought it stabilizes the functioning of the assimilation apparatus.

Keywords: common bean; cultivars; leaf area; photosynthetic potential; net photosynthetic productivity; phosphorus; foliar fertilization.

Надійшла / Received 04.09.2026

Погоджено до друку / Accepted 25.09.2026

Опубліковано онлайн / Published online 14.10.2026