

<https://doi.org/10.15407/frg2024.01.043>

УДК 579.266: 631.484: 631.847

## ВПЛИВ БІОЛОГІЧНИХ АЗОТУ І ФОСФОРУ НА ФІЗІОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЧЕВИЦІ

В.П. ПАТИКА<sup>1</sup>, С.І КОЛІСНИК<sup>2</sup>, С.Я. КОЦЬ<sup>3</sup>, Н.А. ВОРОБЕЙ<sup>3</sup>,  
А.В. КАЛІНІЧЕНКО<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного Національної академії наук України

03143 Київ, вул. Академіка Заболотного, 154

e-mail: [patykovolodymyr@gmail.com](mailto:patykovolodymyr@gmail.com)

<sup>2</sup>Інститут кормів та сільського господарства Поділля Національної академії аграрних наук України

21100 Вінниця, просп. Юності, 16

<sup>3</sup>Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України

03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17

<sup>4</sup>Факультет природничих наук і технологій Опольського університету

45-365 Ополе, вул. Дмовського, 7-9, Польща

Проаналізовано літературні дані та наведено результати власних досліджень щодо ефективності застосування біологічних азоту і фосфору за показниками фізіологічних процесів, продуктивності та якості зерна сочевиці. Показано, що чинниками, які регулюють фізіологічні процеси, формування урожаю культури та його якість можуть бути біологічний азот і фосфор, які рослина отримує внаслідок рослинно-мікробних взаємодій або метаболічного перетворення мікроорганізмами важкорозчинних сполук у доступні форми. Зазначено, що використання мікробіологічних препаратів фосфат- і азотомобілізувальних мікроорганізмів у технологіях вирощування сочевиці є складовою частиною органічного і біоорганічного землеробства, що інтенсивно розвивається в Україні. Їхнє поширення є одним зі шляхів отримання екологічно чистої продукції рослинництва. Застосування мікробіологічних препаратів забезпечує поліпшення посівних якостей насіння сочевиці, її мінерального живлення, впливає на обмін речовин, інтенсивність фотосинтезу, вміст білків, жирів, крохмалю й клітковини, а також макро- і мікроелементів, підвищує стійкість рослин до несприятливих біотичних та абіотичних чинників довкілля. Наведено розрахунок норм внесення мінеральних азотних і фосфорних добрив під запланований врожай сочевиці з урахуванням вмісту поживних речовин у ґрунті та обсягів їх надходження за рахунок інтродукованих у агроценоз мікроорганізмів із агрономічно корисними властивостями. Морфологічні й фізіолого-біохімічні зміни у рослинах сочевиці за використання мікробіологічних препаратів статистично вірогідно підвищують врожай зерна та покращують його якість. Максимальне підвищення вмісту фосфору й азоту в рослинах сочевиці, азотфіксувальної активності симбіотичних систем, а також чистої продуктивності фотосинтезу посівів, урожаю зерна і показників його якості встановлено за комплексного перед-

посівного застосування мікоризоутворювального гриба *Glomus* sp. P-3 із ризобіотом та поліміксобактерином.

**Ключові слова:** сочевиця, мікробіологічні препарати, органічне землеробство, фізіологічні процеси, продуктивність, якість зерна.

Як свідчать літературні джерела, технології вирощування бобових і злакових рослин передбачають необхідність внесення на всіх ґрунтах фосфорних добрив. Зумовлено це тим, що бобові рослини для засвоєння молекулярного азоту атмосфери в симбіозі з азотфіксувальними мікроорганізмами потребують більше фосфору, ніж за умов засвоєння азоту з мінеральних сполук [1–3].

Порівняно недавно для більшості ґрунтів дефіцитом був азот, нині його місце поступово займає фосфор. Якщо запаси азоту на Землі практично необмежені, то природні родовища фосфору лімітовані. На відміну від азоту фосфор не має газоподібних форм і значною мірою незворотно вимивається у Світовий океан. Коефіцієнт використання фосфору сільськогосподарськими культурами не перевищує 25 %, а переважна кількість його зв'язується ґрунтом, перетворюючись у важкодоступні для рослин форми [4, 5].

Численні дослідження показали, що багато мікроорганізмів мають потенційну здатність перетворювати фосфати ґрунту в засвоювану для рослин форму. Так, органічні сполуки фосфору розкладаються бактеріями роду *Pseudomonas*, *Bacillus* (*B. megaterium*, *B. mesentericus*), грибами з родів *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Trichothecium*, *Alternaria*; деякими стрептоміцетами та іншими мікроорганізмами. Розкладають вказані сполуки також дріжджі (*Rhodotorula*, *Saccharomyces*, *Candida*, *Hansenula* та ін.) [6, 7].

Для практичного використання в сільськогосподарському виробництві був запропонований бактеріальний препарат фосфобактерин. Його основою є спороносна бактерія *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum*, яка здатна руйнувати фосфорорганічні сполуки і перетворювати їх у доступну для рослин форму. Проте у вегетаційних і польових дослідках фосфобактерин здебільшого не мав стабільного позитивного впливу. На даний час використовуються сучасні бактеріальні фосфатмобілізувальні препарати поліміксобактерин [8], екофосфорин [9] та ін. [7, 10, 11].

Особливе місце у вирішенні проблеми дефіциту фосфору належить ендомікоризі. Показано, що за наявності добре розвинутої ендомікоризи значно зростає споживання фосфору з ґрунту і добрив [11–14].

Нині нагромаджено чималий експериментальний матеріал, який показує роль везикулярно-арбускулярної мікоризи в поглинанні фосфору та свідчить про її позитивний вплив на ріст і розвиток різних сільськогосподарських рослин. Описано багатоетапний процес колонізації рослин, мікоризний механізм і шляхи, залучені для підвищення доступності й поглинання фосфору [15]. Здебільшого підвищення врожайності мікоризних рослин зумовлене значнішим надходженням фосфору в їхні тканини, індукуванням стійкості рослин до стресів,

зокрема посухи та фітопатогенів [16]. Особливо високою чутливістю до мікоризації характеризуються бобові рослини [11, 13, 17].

У сучасних умовах найреальніший шлях посилення розвитку мікоризи на коренях сільськогосподарських рослин — науково обґрунтована система агротехнічних заходів, що насамперед включає сівозміни, а також агромеліоративні прийоми. Пестициди, передусім фунгіциди, негативно впливають на мікоризу та практично нанівещь зводять усі заходи, спрямовані на поліпшення її розвитку [12].

Серед зернобобових особливе місце займає сочевиця (*Lens culinaris* Medik.) як високобілкова, збагачена різними макро- і мікроелементами та вітамінами культура [18]. Вона є однією з найважливіших харчових культур родини бобових (Fabaceae), містить у зерні до 36 % білків, які добре засвоюються організмом людини, та збалансовані за амінокислотним складом [19, 20]. Сочевиця збагачує ґрунт біологічним азотом, вона добрий попередник для зернових. Мікросимбіонтами сочевиці є швидкорослі бульбочкові бактерії *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* [2, 19, 22]. Завдяки передпосівній обробці насіння мікробними препаратами на основі високоефективних конкурентоспроможних штамів бульбочкових бактерій рослини сочевиці задовольняють свої потреби в азоті за його фіксації з атмосфери [19, 21, 22].

За симбіотрофного живлення азотом сочевиця, як інші бобові культури, вибаглива до забезпечення фосфором і потребує високого вмісту цього елемента в ґрунті [23]. Внесення останнього чи використання мікробних препаратів, здатних розчиняти фосфати у доступні для рослин форми, впливають на формування симбіотичного апарату. Передпосівна інокуляція насіння сочевиці бульбочковими бактеріями спільно із внесенням фосфорних добрив підвищує урожайність зерна на 20—30 %. Комплексна інокуляція сочевиці *Rhizobium* + *Bacillus* sp. сприяє істотному зростанню продуктивності внаслідок формування потужніших симбіотичних систем, поліпшенню поглинання поживних речовин ґрунту солюбілізацією та розкладанням органічних решток [24]. За низького вмісту фосфору в ґрунті ризобії проникають у корінь, але бульбочки здебільшого не утворюються [5].

Отже, одним із дієвих заходів підвищення урожайності сочевиці є передпосівна інокуляція насіння комплексними препаратами на основі азотфіксувальних і фосфатмобілізувальних мікроорганізмів [4]. Літературні дані та результати наших досліджень [1, 4, 5, 10, 11] свідчать, що фосфатмобілізувальні мікроорганізми стимулюють процес біологічної фіксації азоту бульбочковими бактеріями.

Метою роботи було вивчити ефективність застосування мікробних фосфатмобілізувальних і азотфіксувальних препаратів за вирощування сочевиці.

## Методика

У дослідженні використано сорт сочевиці Лінза (середньостиглий), районований у Лісостепу та Степу України. Оригінатори: Інститут зернових культур НААН України та Красноградська дослідна станція

Інституту зернових культур НААН України. Вегетаційний період становить 85 днів, стійкий до вилягання та посухи.

Для інокуляції насіння сочевиці використовували штами *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* 724 та T2 із Колекції азотфіксувальних мікроорганізмів ІФРГ НАН України.

Препарати поліміксобактерин, *Glomus* sp. P-2, *Glomus* sp. P-3 були надані Інститутом сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН України.

Проведення досліджень в умовах вегетаційного дослідження здійснювали на базі ІФРГ НАН України. Рослини вирощували у посудинах зі стерильним субстратом (річковий пісок) із внесенням поживної суміші Гельригеля (0,25 норми азоту) за природного освітлення та оптимального вологозабезпечення субстрату на рівні 60 % ПВ, застосовуючи контрольований полив рослин.

Для інокуляції насіння сочевиці використовували штами *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* 724 та T2. Інокуляційне навантаження становило 200–300 тис. клітин ризобій на одну насінину. Контролем слугували рослини сочевиці без інокуляції.

Бульбочкові бактерії культивували у колбах об'ємом 750 мл на качалці (220 об/хв) за температури 26–28 °С на рідкому манітодріжджовому середовищі. Як посівний матеріал використовували культуру в експоненційній фазі росту (72 год). Бактеріальну масу змивали з поверхні агаризованого середовища стерильною водою, готували густу суспензію (20 мл), якою засівали колби із рідким поживним середовищем. Культивування на качалці забезпечувало постійну аерацію середовища вирощування. Бактеріальний титр препарату (рідка форма) дорівнював не менше 1,0–1,5 млрд клітин бульбочкових бактерій в 1 мл. Чистоту бактеріальних культур перевіряли висівом їх на м'ясо-пептонний агар.

Проведення досліджень в умовах дрібноділянкового дослідження здійснювали на базі ІФРГ НАН України. Сочевицю висівали у рекомендовані для зони терміни у квітні з шириною міжрядь 15 см й глибиною загортання насіння 5–6 см. Норма висіву насіння 100–120 кг/га або 2,0–2,5 млн/га. Ділянки розміщували рендомізовано, їх облікова площа становила 5 м<sup>2</sup>, повторність чотириразова. У фази гілкування й цвітіння відбирали рослини для визначення нодуляційної здатності ризобій підрахунком кількості та маси бульбочок на коренях, а також вимірювання їх азотфіксувальної активності у 10-разовій повторності. Урожай зерна обліковували ручним збиранням із наступним зважуванням.

Дослідження комплексного застосування азотфіксувальних і фосфатмобілізувальних препаратів та мікоризних грибів проводили на дослідних полях Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН України на темно-сірих лісових ґрунтах. Вміст гумусу в ґрунті — 2,02–3,2 %, легкогідролізованого азоту — 6,7 %, рухомого фосфору — 14,3 %, обмінного калію — 8,9 мг/100 г ґрунту, рН — 6,2. Повторність варіантів дослідження триразова. Облікова площа ділянок становила 50 м<sup>2</sup>. Досліджували районований сорт сочевиці Лінза упродовж 2019–2022 рр.

Схема дослідів включала такі варіанти:

1. Без інокуляції (контроль).
2. Ризобофіт (на основі штаму T2).
3. Поліміксобактерин.
4. Мікотрофна система коріння сочевиці (МКС).
5. Ризобофіт + МКС.
6. *Glomus* sp. P-2.
7. *Glomus* sp. P-3.
8. *Glomus* sp. P-2 + ризобофіт.
9. *Glomus* sp. P-3 + ризобофіт.
10. *Glomus* sp. P-2 + ризобофіт + поліміксобактерин.
11. *Glomus* sp. P-3 + ризобофіт + поліміксобактерин.

Чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) сочевиці розраховували за формулою  $ЧПФ = V_2 - V_1 / (0,5 \times (L_1 + L_2) \times t)$ , де:  $V_1, V_2$  — маса сухої речовини рослин на початку і в кінці облікового періоду, г;  $L_1, L_2$  — площа листків на початку і в кінці облікового періоду, м<sup>2</sup>;  $t$  — період між двома обліками, доба.

Збір урожаю зерна сочевиці проводили прямим комбайнуванням. Визначали основні біохімічні показники його якості — вміст білка, жиру, крохмалю і клітковини [25].

Для оцінки спрямованості мікробіологічних процесів у ґрунті під посівами сочевиці та інших сільськогосподарських культур (сої, люпину і пшениці) розраховували коефіцієнти оліготрофності, педотрофності та коефіцієнт мінералізації-іммобілізації [26].

Визначення азотфіксувальної активності (АФА) методом відновлення ацетилену [27, 28] здійснювали за допомогою газового хроматографа «Agilent GC System 6850» (США) із полуменево-іонізаційним детектором. Розділення газів проводили на колонці (Supelco Porapak N) за температури термостату 55 °С і детектора — 150 °С. Газом-носієм був гелій (20 мл/хв). Об'єм аналізованої проби газової суміші становив 1 см<sup>3</sup>. Як стандарт використовували чистий етилен (Sigma-Aldrich, № 536164, США). Загальну АФА представлено у молярних одиницях утвореного етилену на рослину за годину (мкмоль C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/(рослину·год)).

Експериментальні дані опрацьовували статистично із залученням пакету програм Microsoft Excel 2019. У таблицях наведено середньоарифметичні значення та їх стандартні похибки.

## Результати та обговорення

За результатами проведених досліджень показано, що в умовах вегетаційного дослідів штам *R. leguminosarum* bv. *viciae* T2 формував із сочевицею сорту Лінза ефективний симбіоз — активно фіксував атмосферний N<sub>2</sub> і за азотфіксувальною активністю перевищував виробничий штам 724 у фазі гілкування та цвітіння у 1,8 і 1,7 раза відповідно. Рослини сочевиці, інокульованої штамом T2, упродовж вегетаційного періоду формували найбільшу кількість корневих бульбочок із найвищою масою (табл. 1).

Передпосівна інокуляція насіння бобових рослин на сьогодні є економічно вигідним та екологічно безпечним перспективним еле-

ТАБЛИЦЯ 1. Формування симбіотичного апарату і азотфіксувальна активність (АФА) сочевиці сорту Лінза за передпосівної інокуляції насіння різними штамами ризобій (вегетаційний дослід, піщана культура)

Варіант	Фаза розвитку рослин					
	Гілкування			Цвітіння		
	Бульбочки		АФА	Бульбочки		АФА
	шт./рос- лину	маса сухої речовини, мг/рослину	мкмоль C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> / (рослину·год)	шт./рос- лину	маса сухої речовини, мг/рослину	мкмоль C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> / (рослину·год)
Без інокуляції (контроль)	0,3±0,01	0,6±0,0	0,41±0,05	4,5±0,2	3,9±0,3	1,0±0,1
Штам 724 (виробничий)	2,9±0,03	3,8±0,1	1,37±0,10	19,9±0,8	20,5±1,1	2,29±0,5
Штам Т2	5,4±0,03	5,9±0,3	2,49±0,13	29,4±1,3	31,1±2,1	3,91±0,6

ментом технологій їх вирощування. Доведено, що інокуляція сочевиці істотно підвищує зернову продуктивність рослин. При цьому застосування нового штаму Т2 виявилось ефективнішим, ніж бактеризація виробничим штамом 724. Прибавка урожаю зерна сочевиці за інокуляції штамом Т2 становила 0,37 т/га (25,2 %) щодо контролю і 0,15 т/га (8,9 %) щодо виробничого штаму. Азотфіксувальна активність симбіотичного апарату в польових умовах перевищила виробничий штам у 1,4 раза (табл. 2).

Відомо, що у результаті ефективної взаємодії бобових рослин із бульбочковими бактеріями активуються метаболічні процеси, зокрема поліпшується азотне живлення, що підвищує продуктивність [29]. Раніше інокулянти традиційно містили один вид чи штам бактерій, комплементарний до певної культури, але з часом з'явилися дво- і полікомпонентні суміші або комплексні мікробні препарати.

Для подальших досліджень ми використовували препарат бульбочкових бактерій (ризобофіт) на основі штаму *R. leguminosarum* bv. *viciae* Т2 та комплексні мікробні препарати, які містили ризобофіт, мікоризоутворювальні гриби *Glomus* sp. і поліміксобактерин. Нами була оцінена ефективність використання перспективних рас *Glomus* sp. Р-2 і Р-3 окремо та в комплексі з азотфіксувальними й фосфатомобілізувальними бактеріями.

У результаті дослідження виявлено, що вміст фосфору в рослинах сочевиці за мікоризації *Glomus* sp. Р-3 підвищується у 1,7 раза. Водночас за умов застосування його з ризобофітом і поліміксобакте-

ТАБЛИЦЯ 2. Ефективність інокуляції насіння сочевиці різними штамами ризобій в умовах ґрунтової культури

Варіант	АФА, мкмоль C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /(рослину·год)	Урожай зерна, т/га	Прибавка до контролю	
			т/га	%
Без інокуляції (контроль)	0,63±0,01	1,47	—	—
Штам 724 (виробничий)	3,41±0,02	1,69	0,22	15,0
Штам Т2	4,89±0,03	1,84	0,37	25,2
НІР <sub>0,05</sub>		0,08		

рином спостерігалось підвищення досліджуваного показника порівняно з контролем в 1,9 та 2,2 раза відповідно. При цьому також максимальньо збільшувалась маса рослин сочевиці (табл. 3).

Слід зазначити, що згідно з результатами досліджень більш як удвічі збільшувався також вміст азоту в рослинах сочевиці за комплексного застосування *Glomus* sp. P-2 або P-3 + ризобіфіт + поліміксобактерин. (див. табл. 3).

Із літератури відомо, що за умов сумісного застосування ендомікоризних грибів із азотфіксувальними мікроорганізмами для інокуляції насіння бобових культур формується тристороння симбіотична асоціація (бобові—мікоризні гриби—ризобактерії), ефективність якої залежить від складного тристороннього відношення джерело-споживач, що включає обмін сполуками вуглецю, фосфору та азоту [30].

Максимальна азотфіксувальна активність була відзначена у рослин сочевиці, насіння яких перед посівом було оброблене мікоризними грибами, бульбочковими і фосфатмобілізувальними бактеріями, — 34,4 мкмоль  $C_2H_4$ /(рослину·год). Найменшою АФА характеризувались рослини у варіанті з інокуляцією МКС (мікотрофна система коренів сочевиці) — 18,6 мкмоль  $C_2H_4$ /(рослину·год) (табл. 4).

Облік урожаю показав, що порівняно з контролем продуктивність сочевиці зростає в усіх варіантах дослідження на 16,9—54,8 %. Найвищий приріст урожаю зерна сочевиці отримано за комплексного застосування азотфіксувальних і фосфатмобілізувальних препаратів і мікоризації *Glomus* sp.

ТАБЛИЦЯ 3. Вплив азотфіксувальних та фосфатмобілізувальних препаратів і мікоризації на вміст фосфору й азоту в рослинах сочевиці

Варіант	Сумарний вміст у рослинах				Маса однієї рослини	
	$P_2O_5$		азоту			
	мг	%	мг	%	г	%
Без інокуляції (контроль)	5,2	100	15,9	100	3,1	100
*Ризобіфіт	6,3	121,1	24,1	151,6	3,8	122,6
Поліміксобактерин	7,4	142,3	26,4	166,0	4,2	135,5
**МКС	6,8	130,8	26,5	166,7	4,3	138,7
Ризобіфіт + МКС	10,6	203,8	34,8	218,9	4,5	145,2
<i>Glomus</i> sp. P-2	7,0	134,6	28,5	179,2	4,1	132,2
<i>Glomus</i> sp. P-3	8,7	167,3	30,1	189,3	4,6	148,4
<i>Glomus</i> sp. P-2 + ризобіфіт	9,9	190,4	32,0	201,3	4,6	148,4
<i>Glomus</i> sp. P-3 + ризобіфіт	10,0	192,3	33,0	207,5	4,7	151,6
<i>Glomus</i> sp. P-2 + ризобіфіт + поліміксобактерин	11,0	211,5	35,1	220,7	4,6	148,4
<i>Glomus</i> sp. P-3 + ризобіфіт + поліміксобактерин	11,2	215,4	35,6	223,9	4,7	151,6
$HP_{0,05}$	1,0		10,6		0,4	

\*Препарат бульбочкових бактерій на основі штаму *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* T2 [22]; \*\*МКС — мікотрофна система коренів сочевиці.

ТАБЛИЦЯ 4. Вплив симбіотрофного азоту і фосфору на азотфіксувальну активність та урожайність сочевиці, т/га (середні дані за 2019–2022 рр.)

Варіант	Мікотрофність	АФА, мкмоль С <sub>2</sub> Н <sub>4</sub> / (рослину·год)	Урожайність, т/га	Приріст урожаю	
				т/га	%
Без інокуляції (контроль)	46,5	0,07	1,24	—	—
Ризобіфіт	52,1	30,01	1,65	0,41	33,1
Поліміксобактерин	50,7	24,6	1,59	0,35	28,2
МКС	56,7	18,6	1,45	0,21	16,9
Ризобіфіт + МКС	57,3	32,4	1,71	0,47	37,9
<i>Glomus</i> sp. P-3	59,4	22,7	1,65	0,41	33,1
<i>Glomus</i> sp. P-3 + ризобіфіт	58,0	32,5	1,83	0,59	47,6
<i>Glomus</i> sp. P-3 + ризобіфіт + поліміксобактерин	60,1	34,4	1,92	0,68	54,8
НІР <sub>0,05</sub>			0,19		

На реалізацію генетичного потенціалу значно впливає оптимальна робота фотосинтетичного апарату, адже в процесі фотосинтезу утворюються органічні речовини, які є основою формування продуктивності рослин [31].

Фотосинтез листків є одним із головних фізіологічних показників, який свідчить про реакцію рослини на умови довкілля, зокрема агротехнічні прийоми вирощування. Сільськогосподарські культури, їх сорти чи гібриди мають різну площу асиміляційної поверхні і цей показник варіює в широких межах. Так, для зернових культур оптимальна площа листової поверхні змінюється в межах 40–60 тис. м<sup>2</sup>/га, а збільшення або зменшення цього показника зазвичай призводить до зменшення врожаю. За площі листків посівів сочевиці 30–40 тис. м<sup>2</sup>/га спостерігається підвищення частки поглинутої енергії світла. Водночас за подальшого збільшення листового індексу можливе погіршення освітленості середніх та особливо нижніх ярусів листків, що знижує чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) [32–34]. Показано сортові особливості росту й розвитку рослин сочевиці, зокрема щодо формування площі листків та чистої продуктивності фотосинтезу [35].

Оптимальний ріст листової поверхні та накопичення сухої речовини рослинами значною мірою залежать від технологій вирощування культури, які забезпечують тривалішу роботу листового апарату. Так, для сої були відзначені різні показники чистої продуктивності фотосинтезу залежно від способів обробки рослин і фази їх розвитку. Максимальні показники чистої продуктивності фотосинтезу зафіксовані в міжфазний період «утворення бобів—наливання насіння». Вони становили, відповідно, 6,45 і 6,55 г/м<sup>2</sup> за добу на ділянках раннього строку сівби за комплексного застосування мікродобрив для обробки насіння і вегетуючих рослин [36]. Спільне використання для передпосівної обробки насіння регулятора росту рослин регоплант і мікробіологічного препарату *R. leguminosarum* bv. *viciae* штаму К-29 та внесення у період вегетації регопланту (50 мл/га) забезпечувало



підвищення на 16 % чистої продуктивності фотосинтезу посівів сочевиці [37]. Визначено ефективність внесення мінеральних добрив у нормі  $N_{30}P_{60}K_{60} + N_{15}$  та інокуляції насіння препаратом на основі штамів бульбочкових бактерій (*B. japonicum*) і фосфатмобілізувальних мікроорганізмів (*B. tucilagosus*) для формування фотосинтетичної та насінневої продуктивності сої [38].

Як свідчать отримані результати, на показники чистої продуктивності фотосинтезу позитивно впливали препарати як фосфатмобілізувальних, так і азотфіксувальних мікроорганізмів (табл. 5). У рослин контрольного варіанта (без добрив та інокуляції) в період сходи—гілкування чиста продуктивність фотосинтезу становила 1,09 г/м<sup>2</sup>, а в період гілкування—цвітіння — 0,91 г/м<sup>2</sup> за добу. Найбільший вплив на чисту продуктивність фотосинтезу мала комплексна обробка посівного матеріалу мікоризними грибами, бульбочковими і фосфатмобілізувальними бактеріями. Комплексна інокуляція *Glomus* sp. P-3 + ризобіфіт + поліміксобактерин сприяла зростанню показника ЧПФ більш як у 2 рази (2,24 г/м<sup>2</sup>) у період сходи—гілкування і гілкування—цвітіння (1,92 г/м<sup>2</sup>).

Таким чином, на основі аналізу ЧПФ було підтверджено ефективність усіх досліджуваних препаратів під час вирощування сочевиці, особливо за комплексного їх застосування.

На ґрунтах із реакцією середовища, що відповідає потребам біології сочевиці, середньо- і високозабезпечених рухомим фосфором, за відсутності бульбочкових бактерій сочевиця формує врожай зерна 1,7 т/га за рахунок природної родючості (табл. 6).

Отже, під час розрахунків норм внесення мінеральних азотних і фосфорних добрив під сочевицю (та інші бобові культури) важливо виходити з наступних положень. Застосування мікробних азотфіксувальних препаратів за цих умов забезпечує 50 % необхідного сочевиці азоту завдяки симбіотичній азотфіксації і підвищує врожайність зерна до 2,0—2,5 т/га, збільшуючи у ньому вміст білка. При визначенні доз внесення фосфору під запланований урожай необхідно зважати на можливість його використання за рахунок фосфатмобілізувальних мікроорганізмів. Завдяки останнім рослини сочевиці можуть засвою-

ТАБЛИЦЯ 5. Чиста продуктивність фотосинтезу посіву сочевиці залежно від інокуляції (2019—2022 рр.), г/м<sup>2</sup> за добу

Варіант	Фаза розвитку рослин	
	сходи—гілкування	гілкування—цвітіння
Без інокуляції (контроль)	1,09	0,91
Ризобіфіт	1,92	1,64
Поліміксобактерин	1,97	1,56
МКС	1,87	1,44
Ризобіфіт + МКС	2,10	1,98
<i>Glomus</i> sp. P-3	1,90	1,89
<i>Glomus</i> sp. P-3 + ризобіфіт	2,00	1,74
<i>Glomus</i> sp. P-3 + ризобіфіт + поліміксобактерин	2,24	1,92

ТАБЛИЦЯ 6. Розрахунок норм мінеральних азотних і фосфорних добрив із урахуванням симбіотрофного живлення сочевиці під урожаєм зерна 1,7 т/га

Показник	Азот, що легко гідролізується	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> за ДЕСТ
Вміст в орному шарі:		
мг/100 г ґрунту	6,7	1,49
кг/га	119,8	40,7
Коефіцієнт використання з ґрунту, %	75,0	25,0
Використання з ґрунту за вегетацію, кг/га	89,8	11,2
Винос на 1 т зерна, кг/га	52,8	65,0
Використання посівом за вегетацію, кг/га	119,5	110,5
Нестача для одержання планового врожаю, кг/га	Забезпечений	Забезпечений
Засвоєння азоту за рахунок симбіозу:		
%	50	
кг/га	59,8	
Засвоєння фосфору за рахунок фосфат-мобілізувальних мікроорганізмів:		
%		30
кг/га		33,2
Нестача мінеральних добрив для запланованого врожаю, кг/га	Під запланований низький врожай (середні дані з урожайності за 2019–2022 рр.) 1,7 т/га сочевиця мінеральним доступним азотом і фосфором ґрунту забезпечена	

вати до 30 % загальної кількості фосфору, яку вони використовують за вегетаційний період. За сприятливих для формування і функціонування симбіозу умов передпосівне внесення мінеральних азотних і фосфорних добрив на ґрунтах із середнім і підвищеним вмістом цих елементів недоцільне, оскільки вони пригнічують симбіотрофне живлення рослин сочевиці азотом і фосфором.

За формування посівом сочевиці врожайності зерна 2,5 т/га буде використано в період вегетації доступного азоту 132 кг/га, тобто його дефіцит становитиме майже 13 кг/га. Зазначений дефіцит азоту повною мірою забезпечать ефективні препарати бульбочкових бактерій. Аналогічна ситуація щодо забезпеченості біофосфором. Якщо вміст азоту і фосфору в орному шарі ґрунту буде вдвічі менший, то їх нестача може бути повністю покрита за рахунок фосфатмобілізувальних і азотфіксувальних мікроорганізмів.

У результаті визначення основних показників якості зерна сочевиці встановлено, що залежно від варіанта дослідів в ньому містилося 24,2–25,7 % протеїну, 0,79–0,94 жиру, 55,0–55,9 крохмалю, 3,41–3,71 % клітковини (табл. 7). Відповідно до Національного стандарту України ДСТУ 6020:2008 «Сочевиця. Технічні умови», у насінні сочевиці повинно міститися не менше ніж 21 % сирого протеїну в перерахунку на суху речовину [39]. Отже, зерно сочевиці в усіх варіантах дослідів за вмістом білка відповідало вимогам стандарту.

У рослин контрольного варіанта вміст білка, як одного із найцінніших складників зерна сочевиці, становив 24,0 %. Застосування мікробіологічних препаратів, особливо в комплексі, позитивно позначилося на накопиченні білка в зерні. Так, за інокуляції насіння

ВПЛИВ БІОЛОГІЧНИХ АЗОТУ І ФОСФОРУ

ТАБЛИЦЯ 7. Показники якості зерна сочевиці залежно від інокуляції (2019–2022 рр.)

Варіант	Вміст, %			
	Білок	Жир	Крохмаль	Клітковина
Без інокуляції (контроль)	24,0	0,78	54,5	3,34
Ризобіфіт	24,9	0,82	55,0	3,64
Поліміксобактерин	24,4	0,81	55,2	3,62
МКС	24,2	0,83	55,2	3,54
Ризобіфіт + МКС	25,0	0,90	55,3	3,68
<i>Glomus</i> sp. P-3	24,7	0,79	55,0	3,41
<i>Glomus</i> sp. P-3 + ризобіфіт	25,1	0,84	55,7	3,54
<i>Glomus</i> sp. P-3 + ризобіфіт + поліміксобактерин	25,7	0,94	55,9	3,71
$NI\bar{P}_{0,05}$	1,02	0,02	0,51	0,15

сочевиці препаратом мікоризоутворювального гриба і ризобіфітом його вміст становив 25,1 %, а при застосуванні *Glomus* sp. P-3 + ризобіфіт + поліміксобактерин — 25,7 % (див. табл. 7).

Аналіз спрямованості мікробіологічних процесів у ґрунті під посівами сочевиці у варіанті з комплексним передпосівним застосуванням *Glomus* sp. P-3 + ризобіфіт + поліміксобактерин показав перевагу як над іншими зернобобовими культурами, так і пшеницею (табл. 8).

Відомо, що підвищення показника педотрофності свідчить про збільшення інтенсивності розкладу органічної речовини ґрунту, зокрема гумусових сполук, а збільшення оліготрофності ґрунту вказує на зниження вмісту в ньому поживних речовин, зокрема доступного азоту.

Таким чином, у результаті проведених досліджень показано, що чинниками, що регулюють фізіологічні процеси, формування урожаю сочевиці та його якості є біологічний азот і фосфор, які рослина отримує за рахунок специфічних рослинно-мікробних взаємодій або трансформації мікроорганізмами важкорозчинних сполук у доступні форми. Максимальне підвищення вмісту фосфору та азоту в рослинах, азотфіксувальної активності симбіотичних систем, сформованих за їх участі, чистої продуктивності фотосинтезу посівів сочевиці, урожаю зерна та показників його якості (вмісту білка, жиру, крохмалю і клітковини) встановлено за комплексного передпосівно-

ТАБЛИЦЯ 8. Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті під посівами сочевиці та інших сільськогосподарських культур

Варіант (культура)	Коефіцієнт оліготрофності	Коефіцієнт педотрофності	Коефіцієнт мінералізації-імобілізації
Сочевиця	0,32	0,40	0,60
Соя	0,29	0,43	0,59
Люпин	0,41	0,56	0,84
Пшениця	1,22	2,37	1,50

го застосування мікоризоутворювального гриба *Glomus* sp. P-3 із ризобіотом і поліміксобактерином. Саме застосування екологічно доцільних технологій, які передбачають використання мікробних препаратів, створює передумови для одержання високоякісної сільськогосподарської продукції, зниження агрохімічного навантаження на довкілля та збереження родючості ґрунтів.

#### ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Pan L., Cai B. Phosphate-solubilizing bacteria: advances in their physiology, molecular mechanisms and microbial community effects. *Microorganisms*. 2023. N 11. 2904. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122904>
2. Коць С.Я., Моргун В.В., Патыка В.Ф., Даценко В.К., Кругова Е.Д., Кириченко Е.В., Мельникова Н.Н., Михалкив Л.М. Биологическая фиксация азота: бобово-ризобиальный симбиоз. В 4 т. Киев: Логос, 2010. Т. 1. 508 с.
3. Коць С.Я., Моргун В.В., Патыка В.Ф., Маличенко С.М., Маменко П.Н., Киричий Д.А., Михалкив Л.М., Береговенко С.К., Мельникова Н.Н. Биологическая фиксация азота: бобово-ризобиальный симбиоз. В 4 т. Киев: Логос, 2011. Т. 2. 523 с.
4. Волкогон В.В., Бердніков О.М., Лопушняк В.І. Екологічні аспекти систем удобрення сільськогосподарських культур. Київ: Аграрна наука, 2019. 264 с.
5. Silva L.I., Pereira M.C., Carvalho A.M.X., Buttros V.H., Pasqual M., Doria J. Phosphorus-solubilizing microorganisms: a key to sustainable agriculture. *Agriculture*. 2023. N 13. 462. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020462>
6. Гадзало Я.М., Пати́ка М.В., Зари́шняк А.С., Пати́ка Т.І. Агромікробіологія з основами біотехнології. Київ: Аграрна наука, 2019. 208 с.
7. Волкогон В.В., Надкернична О.В., Ковалевська Т.М., Токмакова Л.М., Копилов Є.П., Козар С.Ф., Толкачев М.З., Мельничук Т.М., Чайковська Л.А., Шерстобоев М.К., Москаленко А.М., Халеп Ю.М. Мікробні препарати в сільському господарстві. Теорія і практика. Київ: Аграрна наука, 2006. 312 с.
8. Данильченко О.М., Бутенко А.О., Радченко М.В. Продуктивність сочевиці залежно від інюкуляції насіння та мінерального живлення в умовах північно-східного Лісостепу України. *Вісн. Уман. нац. ун-ту сад-ва*. 2020. 2. С. 19–22.
9. Титова Л.В., Леонова Н.О., Вознюк С.В., Іутинська Г.О. Новітні поліфункціональні мікробні препарати — основа органічних технологій у сучасному рослинництві. Органічне виробництво і продовольча безпека: зб. доп. учасн. VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Житомир, 2019). Житомир: ЖНАЕУ, 2019. С. 415–420.
10. Гриник І.В., Зари́шняк А.С., Волкогон В.В., Бердніков О.М., Дімова С.Б. Ефективність поєднання мікробних препаратів з мінеральними добривами у технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Київ, 2010. 24 с.
11. Пати́ка В.П., Тихонович І.А., Філіп'єв І.Ф., Гамаюнова В.В., Андрусенко І.І. Мікроорганізми і альтернативне землеробство. Київ: Урожай, 1993. 176 с.
12. Бомба М.Я., Періг Г.Т., Рижук С.М., Мартинюк І.В., Пати́ка В.П. Землеробство з основами ґрунтознавства, агрохімії та агроєкології. Київ: Урожай, 2003. 400 с.
13. Petrychenko V., Korniiichuk O., Kolasa-Więceć A., Veklenko Y., Patyka V. Agroecological potential and prospects of alternative use of natural feed resources for bioenergetics. *Odnawialne źródła energii — teoria i praktyka*. Т. 3 Pietkun-Greber I., Suszanowicz D. (Eds.). Opole, 2018. P. 67–85.
14. Mosse B. Mycorrhiza in a sustainable agriculture. *Biol. Agricult. Horticult.* 1986. 3, N 2–3. P. 191–209. <https://doi.org/10.1080/01448765.1986.9754471>
15. Lalitha M., Anil Kumar K.S., Dharumaraja S., Balakrishnan N., Srinivasan R., Nair K.M., Hegde R., Singh S.K. Role of vesicular-arbuscular mycorrhizae in mobilization of soil phosphorus. *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture*. Vol. I: Plant-soil-microbe nexus. Springer Singapore, 2017. P. 317–331. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5589-8\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5589-8_15)
16. Bahadur A. Role of vesicular arbuscular mycorrhizae (VAM) Fungi in Leguminous Crops. *Diseases of Pulse Crops and their Management*. 463–481.
17. Wahane M.R., Salvi V.G., Dodake S.B., Khobragade N.H. Effect of phosphorus, vesicular arbuscular mycorrhizae (VAM) and phosphate solubilizing bacteria (PSB) on yield

- and nutrient content of groundnut and soil physical properties of alfisols. *Agricult. Res. J.* 2022. **59**, N 3. P. 407—417. <https://doi.org/10.5958/2395-146X.2022.00062.X>
18. Gridneva Y.Y., Kaliakparova G.S. Lentils as valuable leguminous crop for Kazakhstan. *Problema. Agricult. Market.* 2019. **2**. P. 160—166.
  19. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур: Лихочвор В.В., Петриченко В. Ф., (ред.). 3-є вид. Львів: НВФ «Українські технології», 2010. 1088 с.
  20. Kaale L.D., Siddiq M., Hooper S. Lentil (*Lens culinaris* Medik) as nutrient — rich and versatile food legume: A review. *Legume Sci.* 2023. **5**, N 2. 169. <https://doi.org/10.1002/leg3.169>
  21. Топчій О.В. Розробка елементів технології вирощування сочевиці в умовах Лісостепу України: дис. ... канд. с.-г. наук/Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. Київ, 2018.
  22. Штам *Rhizobium leguminosarum* biovar *viceae* В-7837 як основа бактеріального добрива для підвищення урожаю і якості зерна сочевиці: пат. 142382 Україна. C05F 11/08 (2006.01), C12N 1/20 (2006.01), A01N 63/20 (2020.01), A01P 21/00, C12R 1/41 (2006.01), заявл. 25.02.2019. Опубл. 10.06.2020.
  23. Gahoonia T.S., Ali O., Sarker A., Nielsen N.E., Rahman M.M. Genetic variation in root traits and nutrient acquisition of lentil genotypes. *J. Plant Nutr.* 2006. **29**. P. 643—655. <https://doi.org/10.1080/01904160600564378>
  24. Singh N., Singh G. Plant growth promoting rhizobacteria and *Rhizobium* combinations are the key to reduce dependence on phosphorus fertilizers in lentil - A review. *Agricult. Rev.* 2018. **39**, N 1. P. 76—81. <https://doi.org/10.18805/ag.R-1740>
  25. Методика державної науково-технічної експертизи сортів рослин. Методи визначення показників якості продукції рослинництва. Ткачик С.О. (ред.). 4-те вид. Вінниця: Нілан-ЛТД, 2015. 160 с.
  26. Андреюк К.І., Іутинська Г.О., Антипчук А.Ф., Валагурова В.О., Пономаренко С.П. Функціонування мікробних ценозів ґрунту в умовах антропогенного навантаження. Київ: Обереги, 2001. 240 с
  27. Hardy R.W.F., Holsten R.D., Jackson E.K., Burns R.C. The acetylene — ethylene assay for N<sub>2</sub> fixation; laboratory and field evaluation. *Plant Physiol.* 1968. **43**. P. 1185—1207.
  28. Крикунець В.М. Ацетиленвідновний метод у дослідженнях з фізіології бобово-ризобіального симбіозу. *Фізіологія і біохімія культ. рослин.* 1993. **25**, № 5. С. 419—430.
  29. Михалків Л.М., Коць С.Я., Омельчук С.В., Жемойда А.В. Вплив моно- та бінарної інокуляції на ефективність симбіотичних систем квасолі з бульбочковими бактеріями у польових умовах. *Act. Sci. Res. Modern World.* 2024. **1**, N 105. P. 19—24.
  30. Bulgarelli R.G., Marcos, F.C.S., Ribeiro R.V., de Andrade S.A.L. Mycorrhizae enhance nitrogen fixation and photosynthesis in phosphorus-starved soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Env. Exp. Bot.* 2017. **140**. P. 26—33. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.05.015>
  31. Камінський В.Ф., Глієва О.В. Площа листового апарату та фотосинтетична продуктивність посівів проса за різних рівнів мінерального живлення. *Збірник наук. праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2014. **3**. С. 79—84.
  32. Новікова Т.П. Обґрунтування симбіозу *Rhizobium leguminosarum* biovar *viceae* — *Lens culinaris* Medik. за дії біологічних препаратів: дис. ... канд. с.-г. наук / Уманський національний університет садівництва. Умань, 2020.
  33. Мусієнко Л.А. Оптимізація системи удобрення сочевиці на чорноземі опідзоленому Правобережного Лісостепу України : дис. ... канд. с.-г. наук/Уманський національний університет садівництва. Умань, 2023.
  34. Рассадіна І.Ю., Недвига М.В., Нікітіна О.В., Мусієнко Л.А. Вплив мінерального удобрення та інокуляції на врожайність сочевиці. *Збірник наук. праць Уман. НУС*. 2020. **96**, № 1. С. 160—169.
  35. Сухова Г.І., Бухало В.Я. Формування програмованого врожаю сочевиці на зерно залежно від сортових особливостей в умовах Східного Лісостепу України. *Вісник ХНАУ Серія «Рослинництво, селекція і насінництво, плодощовівництво і зберігання»*. 2017. **1**. С. 13—21.

36. Шовкова О. В. Фотосинтетична продуктивність посівів сої залежно від строків сівби та способів застосування мікродобрив. *Вісн. Полт. держ. аграр. академії*. 2014. **2**. С. 156–160.
37. Новікова Т.П. Фотосинтетична продуктивність посівів сочевиці за дії біологічних препаратів. *Наукові горизонти*. 2019. **83**, № 10. С. 28–34.
38. Фурман О.В. Формування фотосинтетичної та насінневої продуктивності сої під впливом інокуляції та мінеральних добрив в умовах Лісостепу Правобережного України. *Coll. J.* 2021. **2**, № 16 (103). С. 30–33.
39. ДСТУ 6020-2008. Сочевиця. Технічні умови. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 13 с.

Отримано 26.02.2024

#### REFERENCES

1. Pan, L. & Cai, B. (2023). Phosphate-solubilizing bacteria: advances in their physiology, molecular mechanisms and microbial community effects. *Microorganisms*, No. 11, 2904. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122904>
2. Kots, S.Ya., Morgun, V.V., Patyka, V.P., Datsenko, V.K., Krugova, O.D., Kyrychenko, O.V., Melnykova, N.M. & Mykhalkiv, L.M. (2010). Biological nitrogen fixation: legume-rhizobial symbiosis. Vol. 1. Kyiv: Logos [in Russian].
3. Kots, S.Ya., Morgun, V.V., Patyka, V.P., Malichenko, S.M., Mamenko, P.M., Kirizii, D.A., Mykhalkiv, L.M., Beregovenko, S.K. & Melnikova, N.N. (2011). Biological nitrogen fixation: legume-rhizobial symbiosis. Vol. 2. Kyiv: Logos [in Russian].
4. Volkogon, V.V., Berdnikov, O.M. & Lopushnyak, V.I. (2019). Ecological aspects of crop fertilization systems. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
5. Silva, L.I., Pereira, M.C., Carvalho, A.M.X., Buttros, V.H., Pasquall, M. & Doria, J. (2023). Phosphorus-solubilizing microorganisms: a key to sustainable agriculture. *Agriculture*, No. 13, 462. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020462>
6. Gadzalo, Ya.M., Patyka, M.V., Zaryshnyak, A.S., & Patyka, T.I. (2019). Agromicrobiology with the basics of biotechnology: a monograph. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
7. Volkogon, V.V., Nadkernychna, O.V., Kovalevska, T.M., Tokmakova, L.M., Kopylov, E.P., Kozar, S.F., Tolkachev, M.Z., Melnychuk, T.M., Tchaikovska, L.A., Sherstoboev, M.K., Moskalenko, A.M. & Halep, Y.M. (2006). Microbial preparations in agriculture. Theory and Practice: Monograph. Volkogon, V. (Ed). Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
8. Danylchenko, O.M., Butenko, A.O. & Radchenko, M.V. (2020). Lentil productivity depending on seed inoculation and mineral nutrition in the conditions of the north-eastern Forest Steppe of Ukraine. *Bull. Uman. nat. un-ty horticult.*, 2, pp. 19-22 [in Ukrainian].
9. Tytova, L.V., Leonova, N.O., Vozniuk, S.V. & Iutynska, H.O. (2019). Newest poly functional microbial preparations — the basis of organic technologies in modern plant growing. In *Organic production and food security* (pp. 415-420), Zhytomyr [in Ukrainian].
10. Hrynyk, I.V., Zaryshniak, A.S., Volkogon, V.V., Berdnikov, O.M. & Dimova, S.B. (2010). Efficiency of combining microbial preparations with mineral fertilizers in crop cultivation technologies. Kyiv [in Ukrainian].
11. Patyka, V.P., Tykhonovych, I.A., Filipiev, I.D., Hamaiunova, V.V. & Andrusenko, I.I. (1993). Microorganisms and alternative farming. Kyiv: Urozhai [in Ukrainian].
12. Bomba, M.Ia., Perih, H.T., Ryzhuk, S.M., Martyniuk, I.V. & Patyka, V.P. (2003). Agriculture with basics of soil science, agrochemistry and agroecology. Kyiv: Urozhai [in Ukrainian].
13. Petrychenko, V., Korniiichuk, O., Kolasa-Więcek, A., Veklenko, Y. & Patyka, V. (2018). Agroecological potential and prospects of alternative use of natural feed resources for bioenergetics. In: *Odnawialne źródła energii — teoria i praktyka*. Pietkun-Greber I., Suszanowicz D. (Eds.). Vol. 3. (pp. 67-85), Opole.
14. Mosse, B. (1986). Mycorrhiza in a sustainable agriculture. *Biol. Agricult. Horticult.*, 3, No. 2-3, pp. 191-209. <https://doi.org/10.1080/01448765.1986.9754471>

15. Lalitha, M., Anil Kumar, K.S., Dharumaraja, S., Balakrishnan, N., Srinivasan, R., Nair, K.M., Hegde, R. & Singh, S.K. (2017). Role of vesicular-arbuscular mycorrhizae in mobilization of soil phosphorus. Agriculturally important microbes for sustainable agriculture. Vol. I: Plant-soil-microbe nexus. Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5589-8\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5589-8_15)
16. Bahadur, A. (2021). Role of vesicular arbuscular mycorrhizae (VAM) fungi in leguminous crops. In: diseases of pulse crops and their management (pp. 463-481), New Delhi: Daya Publishing House.
17. Wahane, M.R., Salvi, V.G., Dodake, S.B. & Khobragade, N.H. (2022). Effect of phosphorus, vesicular arbuscular mycorrhizae (VAM) and phosphate solubilizing bacteria (PSB) on yield and nutrient content of groundnut and soil physical properties of alfisols. *Agricult. Res. J.*, 59, No. 3, pp. 407-417. <https://doi.org/10.5958/2395-146X.2022.00062.X>
18. Gridneva, Y.Y. & Kaliakparova, G.S. (2019). Lentils as valuable leguminous crop for Kazakhstan. *Probl. Agricult. Market*, 2, pp. 160-166.
19. Lykhochvor, V.V., Petrychenko, V.F., Ivashchuk, P.V. & Korniiichuk, O.V. (2010). Plant growing. Technologies for growing crops. Lviv: SPF «Ukrainian Technologies» [in Ukrainian].
20. Kaale, L.D., Siddiq, M. & Hooper, S. (2023). Lentil (*Lens culinaris* Medik) as nutrient-rich and versatile food legume: A review. *Legume Sci.*, 5, No. 2, 169. <https://doi.org/10.1002/leg3.169>
21. Topchiy, O.V. (2018). Development of elements of lentil cultivation technology in the forest-steppe of Ukraine (Unpublished candidate thesis). Instit. of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS, Kyiv, Ukraine [in Ukrainian].
22. Pat. 142382 UA. IPC C05F 11/08 (2006.01), C12N 1/20 (2006.01), A01N 63/20 (2020.01), A01P 21/00, C12R 1/41 (2006.01). Strain *Rhizobium leguminosarum* biovar *viceae* B-7837 as a basis for bacterial fertilizer to improve yield and grain quality of lentils, Novikova, T.P., Karpenko, V.P., Kots, S.Ya., Vorobei, N.A., Publ. 10.06.2020 [in Ukrainian].
23. Gahoonia, T.S., Ali, O., Sarker, A., Nielsen, N.E. & Rahman, M.M. (2006). Genetic variation in root traits and nutrient acquisition of lentil genotypes. *J. Plant Nutrit.*, 29, pp. 643-655. <https://doi.org/10.1080/01904160600564378>
24. Singh, N. & Singh, G. (2018). Plant growth promoting rhizobacteria and *Rhizobium* combinations are the key to reduce dependence on phosphorus fertilizers in lentil - A review. *Agricult. Rev.*, 39, No. 1, pp. 76-81. <https://doi.org/10.18805/ag.R-1740>
25. Tkachyk, S.O. (Ed.). (2015). Methods of state scientific and technical examination of plant varieties. Methods for determining quality of crop production. Vinnytsia: Nilan-LTD [in Ukrainian].
26. Andreiuk, K.I., Iutyńska, H.O., Antypchuk, A.F., Valahurova, O.V., Kozyrytska, V.Ye. & Ponomarenko, S.P. (2001). Functioning of microbial coenoses of soil in the conditions of anthropogenic loading. Kyiv: Oberehy [in Ukrainian].
27. Hardy, R.W.F., Holsten, R.D., Jackson, E.K. & Burns, R.C. (1968). The acetylene — ethylene assay for  $N_2$  fixation; laboratory and field evaluation. *Plant Physiol.*, 43., pp. 1185-1207.
28. Krykunets, V.M. (1993). Acetylene-reduction method in research of the physiology of legume-rhizobial symbiosis. *Fiziol. rast. genet.*, 25, No. 5, pp. 419-430 [in Ukrainian].
29. Mykhalkiv, L., Kots, S., Omelchuk, S. & Zhemoida, A. (2024). The influence of mono- and binary inoculation on the efficiency of symbiotic systems of beans with nodule bacteria in field conditions. *Actual Sci. Res. Modern World*, 1, No. 105, pp. 19-24 [in Ukrainian].
30. Bulgarelli, R.G., Marcos, F.C.C., Ribeiro, R.V. & de Andrade, S.A.L. (2017). Mycorrhizae enhance nitrogen fixation and photosynthesis in phosphorus-starved soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Env. Exp. Bot.*, 140, pp. 26-33. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.05.015>
31. Kaminskyi, V.F. & Hliieva, O.V. (2014). The area of the puffer apparatus and the photosynthetic productivity of the crops of millet at different levels of mineral nutrition. Collection of scientific works of the National Scientific Center «Institute of Agriculture of NAAS», 3, pp. 79-84 [in Ukrainian].

32. Novikova, T.P. (2020). Substantiation of *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* — *Lens culinaris* Medik. symbiosis under the influence of biological preparations (Unpublished candidate thesis). Uman nat. un-ty of horticult., Uman, Ukraine [in Ukrainian].
33. Musienko, L.A. (2023). Optimization of lentil fertilization system on podzolized chernozem of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine (Unpublished candidate thesis). Uman nat. un-ty horticult., Uman, Ukraine [in Ukrainian].
34. Rassadya, I.Y., Nedvyga, N.V., Nikitina, O.V. & Musienko, L.A. (2020). Effect of mineral fertilizer and inoculation on lentil performance. *Collected Works of Uman nat. un-ty horticult.*, 96, No. 1, pp. 160-169 [in Ukrainian].
35. Sukhova, G.І. & Bukhalo, V.Ya. (2017). Features of the formation of a programmed crop of lentil for grain, depending on variety features in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine. *Bull. Kharkiv nat. agr. un-ty. Series «Crop production, breeding and seed production, fruit and vegetable growing and storage»*, 1, pp. 13-21 [in Ukrainian].
36. Shovkova, O.V. (2014). Photosynthetic productivity of soybean crops depending on sowing time and methods of microfertilizers application. *Bull. Poltava state agr. acad.*, 2, pp. 156-160 [in Ukrainian].
37. Novikova, T.P. (2019). Photosynthetic productivity of lentil under the action of biological preparations. *Sci. Hor.*, 83, No. 10, pp. 28-34 [in Ukrainian].
38. Furman, O.V. (2021). Photosynthetic and seed productivity formation of soybeans under the influence of inoculation and mineral fertilizers in the conditions of the right-bank forest-steppe of Ukraine. *Coll. J.*, 2, No. 16 (103), pp. 30-33 [in Ukrainian].
39. DSTU 6020-2008. Lentils. Technical conditions. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2010 [in Ukrainian].

Received 26.02.2024

#### INFLUENCE OF BIOLOGICAL NITROGEN AND PHOSPHORUS ON PHYSIOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTIVITY OF LENTILS

*V.P. Patyka<sup>1</sup>, S.I. Kolisnyk<sup>2</sup>, S.Ya. Kots<sup>3</sup>, N.A. Vorobey<sup>3</sup>, A.V. Kalinichenko<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Zabolotny Institute of Microbiology and Virology, National Academy of Sciences of Ukraine

154 Akademika Zabolotnogo St., Kyiv, 03143, Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Feed Research and Agriculture of Podillia, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

16 Yunosti Avenue, Vinnytsia, 21100, Ukraine

<sup>3</sup>Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine  
31/17 Vasylkivska St., Kyiv, 03022, Ukraine

<sup>4</sup>Faculty of Natural Sciences and Technology University of Opole,  
7-9 Dmowskiego St., Opole, 45-365, Poland

e-mail: patykavolodymyr@gmail.com

Literature data and the results of original research on the effect of biological nitrogen and phosphorus application on physiological processes, productivity and grain quality of lentils are presented. It has been shown that biological nitrogen and phosphorus, which the plant receives through plant-microbial interactions or metabolic conversion of hardly soluble compounds into available forms by microorganisms, can regulate physiological processes, crop yield and quality. It is noted that the use of microbiological preparations of phosphate- and nitrogen-mobilising microorganisms in lentil cultivation technologies is an integral part of organic and bioorganic farming, which are intensively developing in Ukraine. Their spreading is one of the ways to obtain environmentally friendly crop production. The use of microbiological preparations improves the sowing qualities of lentil seeds, its' mineral nutrition, affects metabolism, photosynthesis, content of proteins, fats, starch and fibre, as well as macro- and microelements, and increases plant resistance to adverse biotic and abiotic environmental factors. The rates of application of mineral nitrogen and phosphorus fertilizers for the planned lentil crop, taking into account the content of nutrients in the soil and the vo-



lume of their supply due to microorganisms introduced into the agrocenosis with agronomically useful properties were calculated. Morphological, physiological and biochemical changes in lentil plants under the use of microbiological preparations lead to a statistically significant increase in grain yield, and improve its' quality. The maximum increase in the content of phosphorus and nitrogen in lentil plants, nitrogen-fixing activity of symbiotic systems formed with their participation, as well as the net photosynthetic efficiency, grain yield and quality were observed under the complex pre-sowing inoculation by the mycorrhizal fungus *Glomus sp.* P-3 with rhizobophyte and polymyxobacterin.

*Key words:* lentil, microbiological preparations, organic farming, physiological processes, productivity, grain quality.

#### ORCID

**В.П. ПАТИКА** — V.P. Patyka <https://orcid.org/0000-0003-1896-7116>

**С.І. КОЛІСНИК** — S.I. Kolisnyk <https://orcid.org/0000-0002-1104-2383>

**С.Я. КОЦЬ** — S.Ya. Kots <https://orcid.org/0000-0002-3477-793X>

**Н.А. ВОРОБЕЙ** — N.A. Vorobey <https://orcid.org/0000-0002-6039-5409>

**А.В. КАЛІНІЧЕНКО** — A.V. Kalinichenko <https://orcid.org/0000-0001-7342-3803>