

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ФОСФОРМОБІЛІЗУЮЧИХ БАКТЕРІАЛЬНИХ ДОБРИВ  
В ПОСІВАХ СОЇ В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ****С. М. Крамарьов<sup>1\*</sup>, Л. П. Бандура<sup>1\*</sup>, Ю. В. Амброзьяк<sup>1</sup>, О. С. Крамарьов<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, 49000, Україна<sup>2</sup>ДУ Інститут зернових культур НААН України, вул. Володимира Вернадського, 14, м. Дніпро, 49009, Україна

**Актуальність роботи** зумовлена необхідністю вирішення фосфорної проблеми, яка пов'язана з високою потребою рослин сої в рухомих формах фосфору, особливо на початкових етапах росту й розвитку. Часткове розв'язання цієї проблеми можливе шляхом використання фосфатмобілізуючих мікроорганізмів. Завдяки виділенню ними ферментів та органічних кислот у ґрунті відбувається перетворення важкорозчинних речовин фосфору на рухомі форми, що забезпечує оптимальне фосфорне живлення рослин у ювенільний період. **Мета** дослідження вивчити вплив бактеріальних і мінеральних добрив на урожайність та біохімічний склад насіння сої. **Матеріали і методи.** Польові дослідження проводили впродовж 2021–2023 рр. у СФГ «Топка», розташованому в межах Магдалинівської територіальної громади Самарівського району Дніпропетровської області. Вивчали ефективність бактеріальних препаратів Граундфікс і Біофосфорин, внесених під передпосівну культивування окремо та у поєднанні з мінеральним фоном  $N_{20}P_{50}K_{50}$ . Облік урожайності проводили подільською методом прямого комбайнування. Вміст протеїну, жиру та вологи в насінні визначали за ДСТУ 7491:2013. **Результати.** Серед досліджених варіантів найвищу ефективність мало внесення бактеріальних добрив Граундфікс і Біофосфорин (5 л/га) на мінеральному фоні  $N_{20}P_{50}K_{50}$ . За цих умов приріст урожайності насіння сої відносно контролю становив відповідно 0,51 т/га та 0,46 т/га. Використання препарату Граундфікс (8 л/га) сприяло підвищенню вмісту протеїну в насінні на 0,8 %, а жиру – на 1,6 %. Аналогічна тенденція спостерігалась із застосуванням Біофосфору: приріст протеїну становив 0,9 %, а жиру – 1,0 %. Водночас за біохімічними показниками внесення 5 л/га на фоні  $N_{20}P_{50}K_{50}$  лише незначно поступалося нормі 8 л/га. **Висновки.** Встановлено, що оптимальним є внесення бактеріальних добрив Граундфікс і Біофосфорин нормою 5 л/га на мінеральному фоні  $N_{20}P_{50}K_{50}$ , яке забезпечує підвищення урожайності та покращення якості насіння сої.

**Ключові слова:** соя, насіння, ризосфера, ґрунтові мікроорганізми, протеїн, жир, бактеріальні добрива

**Вступ.** Соя є однією з найцінніших сільськогосподарських культур як у світовому масштабі, так і в аграрному секторі України. За останні п'ятдесят років площі її посівів у світі зросли з 23,8 до 102,4 млн га, що свідчить про стійку тенденцію до розширення виробництва цієї культури [1, 2]. Нині сою вирощують у 91 країні світу, і за валовим збором насіння вона посідає четверте місце після пшениці, кукурудзи та рису [3].

В Україні основні посіви сої зосереджені у так званому «соєвому поясі», який охоплює зону Лісостепу (дев'ять адміністра-

тивних областей). На цю зону припадає 64,5 % загальної площі посівів, на Степ – 25,1 %, а на Полісся – 10,4 %. Така структура розміщення свідчить про високий адаптаційний потенціал культури до різних агрокліматичних умов.

З огляду на сучасні тенденції, соя має всі передумови стати провідною культурою органічного землеробства в Україні. За даними Держстату, вона входить до переліку найбільш прибуткових видів аграрної продукції, забезпечуючи понад 76 % рівня рентабельності. Висока економічна ефективність стимулює розширення посів-

**Інформація про авторів:**

**Крамарьов Сергій Михайлович**, доктор с.-г. наук, професор, с. н. с., завідувач кафедри агрохімії, e-mail: kramarov.s.m@dsau.dp.ua, <https://orcid.org/0000-0002-0263-298X>

**Бандура Любов Павлівна**, канд. с.-г. наук, доцент кафедри агрохімії, e-mail: bandura.l.p@dsau.dp.ua, <https://orcid.org/0000-0003-0479-4162>

**Амброзьяк Юрій Васильович**, канд. с.-г. наук, доцент кафедри агрохімії, e-mail: urkasha1971.12@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-4355-0245>

**Крамарьов Олександр Сергійович**, канд. економічних наук, с. н. с., e-mail: askramar@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0350-6213>

них площ і стабільне зростання врожайності, яка упродовж останніх двох десятиліть досягла рекордних показників [4].

Зростання інтересу до вирощування сої також зумовлене світовими ринковими тенденціями: глобальний попит на соєве насіння стабільно перевищує пропозицію, що робить цю культуру стратегічно важливою як для продовольчої, так і для експортно орієнтованої політики України.

Соя належить до культур, що мають високі вимоги до поживного режиму ґрунту. Для формування врожаю рослини поглинають значну кількість елементів живлення з ґрунтового розчину, а обсяг їх винесення визначається низкою чинників – передусім сортовими особливостями, родючістю ґрунту, кліматичними умовами та дозами внесення добрив [5].

У середньому, для утворення 1 т насіння разом із відповідною кількістю побічної продукції, сої необхідно 60–75 кг азоту, 12–17 кг фосфору, 18–25 кг калію, 12 кг кальцію, 6 кг магнію, 14 кг сірки, а також мікроелементи – залізо, марганець, цинк, бор, мідь. Високий рівень винесення поживних речовин вимагає підтримання у кореневмісному шарі ґрунту оптимальної концентрації доступних форм мінерального живлення впродовж усього періоду вегетації.

Одним із ефективних шляхів підвищення доступності елементів живлення є використання природного мікробіому рослин. Корисні мікроорганізми здатні активізувати процеси мобілізації поживних речовин і сприяти їх засвоєнню рослинами [6]. Завдяки цьому, як і інші бобові культури, соя може частково забезпечувати себе азотом шляхом фіксації атмосферного  $N_2$  у результаті розвитку азотфіксуючих мікроорганізмів у ризосфері [7].

Симбіотична взаємодія сої з бактеріями роду *Rhizobium* забезпечує утворення бульбочкових структур, які є основним джерелом засвоєваних форм азоту. Ефективність біологічної фіксації в агроценозах сої є значною: навіть без інокуляції спеціальними штамми бактерій кількість фіксованого атмосферного азоту становить 60–90 кг/га [8]. Таким чином, посіви сої можуть задовольняти 65–80% власної потреби в азоті за рахунок біологічної фіксації [9]. Значна частка

цього азоту залишається у ґрунті, що робить сою цінним попередником для наступних культур у сівозміні [10].

Водночас забезпечення рослин рухомими формами фосфору у степових умовах України ускладнене через те, що більша частина цього елемента живлення перебуває у важкодоступному стані. У валових запасах фосфору ґрунтів, особливо чорноземів, переважають слаботорозчинні сполуки, тоді як кількість рухомих форм часто не відповідає потребам рослин. У посушливих умовах степової зони вміст рухомих форм фосфору може досягати критично низьких значень, що зумовлено накопиченням у верхньому шарі ґрунту гідрокарбонатів кальцію та магнію. Вони вступають у реакцію з дигідрофосфатами, утворюючи малоторозчинні фосфати кальцію та магнію, внаслідок чого концентрація рухомих форм фосфору в ґрунтовому розчині істотно зменшується [11].

Крім того, висока карбонатність чорноземів зумовлює антагонізм між кальцієм і калієм, що знижує рівень обмінного калію та ще більше обмежує рухомість фосфору [12]. Як наслідок, у початковій фазі розвитку, коли коренева система сої ще недостатньо розвинута, рослини відчувають гострий дефіцит легкодоступних фосфатів [13].

Внесення фосфорних добрив є традиційним способом розв'язання цієї проблеми, проте висока вартість фосфорних і комплексних добрив обмежує можливості їх широкого використання. Тому пошук біотехнологічних рішень, зокрема залучення фосфатмобілізуючих мікроорганізмів, набуває особливого значення в сучасному агровиробництві.

Зростання вартості фосфорних добрив у сучасних умовах зумовлене поступовим вичерпанням світових запасів фосфоритової сировини, що призводить до зменшення обсягів її видобутку і, відповідно, до подорожчання готової продукції. Як наслідок, кількість внесених у ґрунт фосфорних добрив щороку знижується. Крім того, коефіцієнт використання фосфору з мінеральних добрив залишається невисоким – у межах 17–25 %, оскільки значна частина внесеного елемента швидко зв'язується твердою фазою ґрунту та переходить у важкорозчинні форми, характерні для певного типу ґрунтів [14].

У зв'язку з цим постає необхідність по-

шуку ефективних і економічно доцільних рішень, спрямованих на підтримання високого рівня забезпеченості рослин рухомими формами фосфору без втрати рентабельності виробництва. Одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є застосування фосформобілізуючих мікроорганізмів, здатних розкладати органічні сполуки, що містять фосфор, і переводити важкодоступні форми елемента у легкодоступні для рослин [15].

Світовий досвід свідчить про зростання інтересу до використання бактеріальних добрив у землеробстві, навіть у високорозвинених країнах, де можливості застосування мінеральних добрив є значними. Біологізація аграрного виробництва розглядається як стратегічний напрям підвищення сталості агроecosystem [15].

Доведено, що кореневі системи пшениці, кукурудзи, ріпаку та сої характеризуються різним мікробіомом, склад якого визначається якісним і кількісним складом корневих ексудатів [16]. Встановлено, що деякі фосфатмобілізуючі бактерії активно розмножуються у ризосфері сої, під впливом її ексудатів гідролізують органічні фосфорні сполуки та продукують метаболіти, здатні розчиняти мінеральні фосфати. У результаті запасні форми фосфору переходять у метаболічно активні, що забезпечує підвищення його доступності для рослин [17].

Під впливом цих мікроорганізмів у ґрунті руйнуються навіть стійкі фосфорні сполуки, зокрема апатити, внаслідок чого у ґрунтовому розчині зростає вміст водорозчинних солей ортофосфорної кислоти та обмінного калію. Застосування бактеріальних добрив у технології вирощування сої є науково обґрунтованим і забезпечує стабільне підвищення урожайності завдяки кращому забезпеченню рослин рухомими формами фосфору [18].

Внесення фосформобілізуючих бактеріальних препаратів сприяє не лише переходу валових форм фосфору в рухомі, а й залученню до рослинного метаболізму важкорозчинних сполук із нижніх горизонтів ґрунтового профілю, куди з часом мігрують внесені раніше фосфорні добрива [19]. Під впливом інокуляції у рослин формується потужна, глибоко проникаюча коренева система на території Магдалинівської селищної

ма, здатна ефективно використовувати фосфор із важкодоступних шарів ґрунту.

Цей агротехнічний прийом є технологічно простим і легко реалізується у виробничих умовах, оскільки передбачає цілеспрямоване внесення в ґрунт агрономічно корисних мікроорганізмів – у потрібній кількості, у відповідний період і в оптимальне місце. Така штучно збагачена мікрофлора відіграє важливу роль у формуванні біологічної активності ґрунту, підвищує його життєздатність і родючість. Біологічне різноманіття мікроорганізмів – бактерій, грибів, актиноміцетів, вірусів та ціанобактерій – забезпечує розклад органічних речовин, покращує структуру ґрунту й підвищує доступність елементів живлення для рослин [20]. Багато ґрунтових мікроорганізмів мають потенційну здатність перетворювати фосфати ґрунту в засвоювану для рослин форму. Органічні сполуки фосфору розкладаються бактеріями роду *Pseudomonas*, *Bacillus*, грибами з родів *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, деякими стрептоміцетами, дріжджами та іншими бактеріями [17]. При розкладі органічних речовин мікроорганізмами, вони фіксують у своїх клітинах певну кількість фосфору, що міститься в цих речовинах. Тому внесення в ґрунт органічних речовин, надто бідних фосфором, наприклад соломи, може викликати біологічне закріплення фосфатів і пов'язане з цим фосфорне голодування рослин. Багато мікроорганізмів можуть перетворювати нерозчинні сполуки фосфорної кислоти у розчинний стан. До них належать бактерії, стрептоміцети родів *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micobacterium*, *Penicillium*, *Aspergillus* та ін. Тому створюючи сприятливі умови для розвитку фосфатмобілізуючих бактерій, можна підвищити ефективність використання фосфатів з ґрунту і добрив. Важливе місце у вирішенні даної проблеми належить ендомікоризі [13].

*Мета дослідження* – встановити вплив застосування фосформобілізуючих бактеріальних і мінеральних добрив на урожайність та біохімічний склад насіння сої в умовах Північного Степу України.

**Матеріали і методика дослідження.** Польові дослідження проводилися впродовж 2021–2023 рр. у селянському (фермерському) господарстві «Топка», розташованого на території об'єднаної територіальної громади Самарів-

ського району Дніпропетровської області.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем звичайний малогумусний важкосуглинковий на лесовій основі. Орний (0–25 см) шар характеризується такими агрохімічними та агрофізичними показниками: вміст гумусу – 4,5 %, валовий азот – 0,26 %, фосфор – 0,11 %, калій – 2,5 %. Вміст рухомих форм елементів становить: фосфору – 144 мг/кг, калію – 142 мг/кг (за методом Чирікова), легкогідролізованого азоту (за методом Тюріна–Конової) – 19 мг/кг. Реакція ґрунтового розчину нейтральна – рН водне 7,6.

Поглинені основи ґрунту представлені переважно кальцієм і магнієм. Вміст кальцію в орному шарі становить 31,2 мг-екв./100 г абсолютно сухого ґрунту, магнію – 4,9 мг-екв./100г, що відповідає співвідношенню 5,7:1, типовому для чорнозему звичайного. Структура орного шару пилувато-грудкувата, підорного – грудкувато-зерниста. Бонітет ґрунту становить 62 бали.

У дослідах висівали сорт сої Мавка (оригіна́тор – ПП НСНФ «Соевий вік», м. Кропивницький), який належить до ранньостиглої групи стиглості. Ширина міжрядь становила 70 см, норма висіву – 550 тис. схожих насінин на гектар.

Попередником сої був соняшник. Система основного обробітку ґрунту включала лущення стерні на глибину 6–8 см, зяблеву оранку – на 27–30 см, а навесні – ранньовесняне боронування та дві передпосівні культивачі: першу – на глибину 8–10 см, другу – на глибину висіву насіння (5–6 см).

Сівбу проводили сівалкою СУПН-8. Після сівби застосовували ґрунтовий гербіцид Харнес у нормі 2,0 л/га. На фазі чотирьох трійчастих листків для контролю однорічних і багаторічних дводольних бур'янів використовували післясходовий селективний гербіцид контактної дії Ацифен (діюча речовина – ацифлуорфен, 214 г/л) у нормі 1,5 л/га.

Схему досліду подано в таблиці 1. Польовий дослід закладено у триразовому повторенні, розміщення варіантів – систематичне, в один ярус. Площа посівної ділянки – 240 м<sup>2</sup>, облікової – 100 м<sup>2</sup>.

У дослідах за фосфатмобілізуючі бактеріальні добрива використовували препарати Граундфікс та Біофосфорин, які відрізняються складом мікроорганізмів та механіз-

мом дії.

Граундфікс (виробник – ТОВ «БТУ–ЦЕНТР», м. Ладижин) містить п'ять видів живих мікроорганізмів: *Bacillus subtilis*, *Azotobacter chroococcum*, *Enterobacter*, *Paenibacillus polymyxa*, *Bacillus megaterium* var. *Phosphaticum*. Кожен із них виконує специфічну функцію в живленні та захисті рослин:

- *Bacillus subtilis* – мобілізує фосфор з органічних і мінеральних сполук, фіксує молекулярний азот повітря;

- *Azotobacter chroococcum* – вільноживучі азотфіксатори, що продукують фітогормони;

- *Enterobacter* – покращує фосфатний режим ґрунту, підвищує доступність фосфатів і синтезує фітогормони та біополімери;

- *Paenibacillus polymyxa* – продукує фосфатазу, забезпечує мобілізацію фосфатів, виділяє антибіотики, ферменти та фітогормони, поліпшуючи фітосанітарний стан ґрунту;

- *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum* – вивільняє фосфор із органічних і мінеральних сполук, продукує фермент силіказу, що підвищує рухомість кремнію та калію, фіксованих мінералами ґрунту.

Біофосфорин (виробник – ТОВ «Ензім Біотех Агро») містить живі клітини та спори бактерії *Bacillus megaterium* штаму ВМ 206 із титром не менше  $5 \times 10^8$  КУО/мл, загальна кількість життєздатних клітин становить  $(0,5–1,5) \times 10^9$  КУО/см<sup>3</sup>. Препарат містить також продукти метаболізму бактерій – фітогормони ауксинового, гіберелінового та цитокінінового рядів, амінокислоти й вітаміни. Його дія базується на здатності переводити важкодоступні форми фосфору та калію у рухомі, доступні для рослин, що сприяє активному росту кореневої системи й підвищенню засвоєння поживних елементів. Бактеріальні добрива розчиняли у 200 л води та вносили навесні під передпосівну культивуачію штанговим обприскувачем згідно зі схемою досліду в нормах 3,0; 5,0 та 8,0 л/га. Мінеральні добрива застосовували локально у рядки під час сівби за допомогою сівалки СУПН-8 у дозі N<sub>20</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub> у вигляді тукосуміші, що містила нітроамофоску (16:16:16), аміачну селітру та хлористий калій.

Урожай насіння сої збирали поділянковим прямим комбайнуванням. Біохімічні показники насіння (вміст протеїну, жиру та вологи) визначали згідно з вимогами ДСТУ 7491:2013.

Статистичну обробку експериментальних даних проводили за допомогою пакету програм ПІК «Agrostat» та MS Office Excel із використанням загальноприйнятих методів дисперсійного аналізу для визначення достовірності отриманих результатів.

**Результати досліджень.** Останніми роками в Україні спостерігається стале розширення посівних площ сої, особливо у Дніпропетровській області, де їхня площа зросла майже утричі – з 3,0 тис. га у 2022 р. до 9,62 тис. га – у 2024 р. Найбільші площі посівів зосереджені в межах Магдалинівської селищної територіальної громади Самарівського району, що зумовлено сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами, зокрема наявністю родючих чорноземів, достатнім рівнем зволоження та високою економічною ефективністю культури.

Соя має значну господарську цінність як високорентабельна культура і як ефектив-

ний попередник для пшениці озимої, кукурудзи та інших зернових. Крім того, завдяки симбіотичній азотфіксації її вирощування дає змогу зменшити або навіть повністю відмовитися від внесення мінеральних азотних добрив. Проте обмежуючим фактором формування високих урожаїв у зоні Північного Степу залишається низький рівень забезпечення ґрунтів рухомими формами фосфору. Основним шляхом підвищення його доступності є активізація мікробіологічних процесів, у результаті яких мікроорганізми виділяють ферменти й органічні кислоти, що переводять фосфор з важкорозчинних у легкодоступні для рослин форми.

Отримані результати досліджень свідчать про позитивний вплив фосфоромобілізуючих бактеріальних добрив на показники якості насіння сої (табл. 1).

Застосування препаратів Граундфікс і Біофосфорин сприяло підвищенню вмісту про-

**Таблиця 1. Вміст протеїну та жиру в насінні сої залежно від норми бактеріальних та мінеральних добрив (середнє за 2021–2023 рр.)**

Дози мінеральних добрив та норми препарату	Вміст протеїну, %	Вміст жиру, %
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (контроль)	35,2	18,7
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> +3 л/га Граундфікс	37,3	19,1
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> +5 л/га Граундфікс	39,3	18,4
5 л/га Граундфікс	39,9	19,0
8 л/га Граундфікс	40,1	20,0
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (контроль)	35,8	18,7
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> +3 л/га Біофосфорин	38,2	19,4
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> +5 л/га Біофосфорин	39,7	19,3
5 л/га Біофосфорин	40,4	19,7
8 л/га Біофосфорин	40,6	20,3

теїну та жиру у насінні порівняно з контролем. Найвищі показники мали за внесення 8 л/га добрив без мінерального фону: у варіанті з Граундфіксом – 40,1 % протеїну та 20,0 % жиру, у варіанті з Біофосфорином – 40,6 % протеїну та 20,3 % жиру. Порівняно з контролем приріст вмісту протеїну становив 4,9 % і 4,8 %, а жиру – 1,3 % і 1,6 % відповідно.

Найвищі показники урожайності насіння сої отримано за поєднаного застосування мінеральних добрив N<sub>20</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub> з бактеріальними препаратами у нормі 5 л/га. У цьому варіанті урожайність становила 2,78 т/га – при використанні Граундфіксу та 2,69 т/га – при внесенні Біофосфору (табл. 2).

Застосування бактеріальних добрив Граундфікс і Біофосфорин (5 і 8 л/га) окремо,

не забезпечило істотних переваг порівняно з традиційним внесенням мінеральних добрив (N<sub>20</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub>) у рядки під час сівби сої (табл. 2). Найвища ефективність була у варіантах, де бактеріальні препарати застосовували на фоні мінерального живлення, сформованого внесенням добрив у рядки під час сівби.

Таким чином, результати досліджень свідчать, що застосування бактеріальних фосфоромобілізуючих препаратів, особливо у поєднанні з мінеральним фоном живлення, забезпечує покращання біохімічних показників насіння та сприяє формуванню стабільно високої урожайності сої в умовах Північного Степу України.

У результаті симбіотичної взаємодії між бактеріями та рослинами сої спостеріга-

**Таблиця 2. Урожайність насіння сої залежно від біологічного препарату та дози мінеральних добрив (середнє за 2021–2023 рр.)**

Дози мінеральних добрив та норм препарату	Урожайність, т/га
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (контроль)	2,27
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> +3 л/га Граундфікс	2,43
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> +5 л/га Граундфікс	2,78
5л/га Граундфікс	2,08
8л/га Граундфікс	2,21
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (контроль)	2,23
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> +3 л/га Біофосфорин	2,41
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> +5 л/га Біофосфорин	2,69
5л/га Біофосфорин	2,00
8л/га Біофосфорин	2,19
НІР <sub>05</sub> т/га	0,21–0,23

ється не лише підвищення урожайності, але й покращення якості насіння – зростає вміст протеїну, жиру, вітамінів та інших біологічно активних речовин. Найвищу ефективність забезпечило комплексне застосування бактеріальних добрив Граундфікс і Біофосфорин у поєднанні з мінеральними добривами N<sub>20</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub>. За такого поєднання збір протеїну

при використанні Граундфіксу становив 1,09 т/га, а жиру – 0,46 т/га, що перевищило контрольні показники на 47–53%. Аналогічні результати отримано і із застосуванням Біофосфору (5 л/га) на тому ж мінеральному фоні.

Серед кількісних показників, які характеризують ефективність добрив, ключовими є вихід протеїну та жиру з 1 га (табл. 3).

**Таблиця 3. Вихід протеїну та жиру з насіння сої залежно від застосування біологічного препарату та дози мінеральних добрив (середнє за 2021–2023 рр.)**

Дози мінеральних добрив та норми препаратів	Вихід, т/га	
	протеїну	жиру
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (контроль)	0,80	0,42
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> +3 л/га Граундфікс	0,92	0,46
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> +5 л/га Граундфікс	1,09	0,51
5л/га Граундфікс	0,83	0,39
8л/га Граундфікс	0,89	0,44
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> (контроль)	0,79	0,42
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> +3 л/га Біофосфорин	0,92	0,47
N <sub>20</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub> +5 л/га Біофосфорин	1,07	0,52
5л/га Біофосфорин	0,81	0,39
8л/га Біофосфорин	0,89	0,45

Найбільші значення цих показників відмічено у варіантах, де бактеріальні препарати вносили нормою 5 л/га на фоні мінерального живлення N<sub>20</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub>. Порівняно з контролем, вихід протеїну зріс на 0,29 т/га – при внесенні Граундфіксу та на 0,28 т/га – при застосуванні Біофосфору.

Подібна тенденція спостерігалася й щодо виходу жиру з одиниці площі. Варіанти з внесенням 8 л/га біопрепаратів без мінеральних добрив поступалися варіантам із комбінованим внесенням N<sub>20</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub> + 5 л/га біопрепаратів за виходом протеїну на 16,7–18,9%, а за виходом жиру – на 13,5–14,2%.

Вихід протеїну зріс на 0,29 т/га із застосуванням препарату Граундфікс і на 0,28 т/га – при внесенні Біофосфору. Обидва бактеріальні препарати сприяли підвищенню вмісту основних біохімічних компонентів насіння – протеїну та жиру. Зокрема, у варіанті з внесенням Граундфіксу (5 л/га) вміст протеїну становив 39,9%, жиру – 19,0%, а за використання Біофосфору – 40,4% і 19,7% відповідно.

Таким чином, найбільш ефективним виявилось комплексне застосування бактеріальних препаратів і мінеральних добрив, яке забезпечило суттєве підвищення урожайності

сої, покращення біохімічного складу насіння та збільшення виходу протеїну й жиру з одиниці площі.

**Висновки.** Застосування фосфоромобілізуєчих бактеріальних добрив сприяло покращенню біохімічного складу насіння сої, зокрема, підвищенню вмісту протеїну та жиру. Найвищі показники цих компонентів відмічено за внесення максимальної дози препарату – 8 л/га, проте за цього варіанту врожайність насіння залишалася на рівні контрольного. Найвищу урожайність сої забезпе-

чило комплексне застосування мінеральних добрив  $N_{20}P_{50}K_{50}$  під час сівби в поєднанні з внесенням бактеріальних препаратів (5 л/га) під передпосівну культивуацію. Урожайність за цих умов становила 2,78 т/га – при використанні препарату *Граундфікс* і 2,69 т/га – при застосуванні *Біофосфорину*. На зазначених варіантах також зафіксовано найвищий вихід протеїну та жиру з 1 га, що підтверджує ефективність поєднання бактеріальних і мінеральних добрив у технології вирощування сої в умовах Північного Степу України.

### Використана література

1. Мізерник Д. Сучасний стан та перспективи вирощування сої в світі і Україні. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2024. № 76. Вип.1. С. 44–47. doi: 10.32636/01308521.2024-(76)-1-4
2. Жуйков О. Г., Іванів М. О., Марченко Т. Ю., Возняк В. В. Сучасне виробництво сої як елемент розв'язання проблеми харчового білка: світові тренди та вітчизняні реалії. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2020. Вип. 116. Ч. 1. С. 54–63. doi: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.7>. URI: [https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/116\\_2020/part\\_1/9.pdf](https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/116_2020/part_1/9.pdf)
3. Петриченко В. Ф., Бабич А. О., Колісник С. І., Іванюк С. В. Соя: технологічні аспекти вирощування на насіння. *Насінництво*. 2008. № 66. С. 5–9.
4. Аверчев О. В., Нікітенко М. П. Органічне виробництво в Україні: сучасний стан та перспективи розвитку. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 136. Ч. 1. С.12-19. doi: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.1.2>
5. Петриченко В. Ф., Іванюк С. В. Вплив сортових і гідротермічних ресурсів на формування продуктивності сої в умовах Лісостепу. *Зб. наук. пр. Інституту землеробства*. 2000. Вип. 3–4. С. 19–24.
6. Adam, E., Bernhart, M., Müller, H., Winkler J., Berg G. The *Cucurbita pepo* seed microbiome: genotype-specific composition and implications for breeding. *Plant Soil*. 2018. Vol. 422, P. 35–49. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3113-9>
7. Berg, G., Rybakova, D., & Fischer, D. Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges. *Microbiome*. 2020. Vol. 8. № 103. <https://doi.org/10.1186/s40168-020-00875-0>
8. Мурач О. М., Півторайко В. В., Ліпков В. А. Симбіотична діяльність та продуктивність рослин сої за впливу фізіологічно активних речовин у Лівобережному Лісостепу України. *Таврійський науковий вісник. Сільськогосподарські науки*. 2025. № 143. Вип. 1. С. 4–12. doi: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.2.1>
9. Kresović B., Gajić B., Tapanarova A., Pejić B., Dugalić G., Sredojević Z. Impact of decit irrigation on yield and chemical properties of soybean seeds in temperate climate. *Contemporary Agriculture*. 2017. Vol. 65 (1–2). P. 14–20.
10. Batista, B. D., Singh, B. K. Realities and hopes in the application of microbial tools in agriculture. *Microbial biotechnol.* 2021. Vol. 14. № 4, P. 1258–1268. doi: 10.1111/1751-7915.13866
11. Moroenyane I., Tremblay J., Yergeau, É. Soybean Microbiome Recovery after Disruption Is Modulated by the Seed and Not the Soil Microbiome. *Phytobiomes J.* 2021. Vol. 5, P. 418–431. doi: 10.1094/PBIOMES-01-21-0008-R02021
12. Курдиш І. К., Рой А. О., Булавенко Л. В., Бега З. Т., Плаксюк В. М., Чуйко Н. В., Царенко І. Ю. Фосфатомобілізуєчі бактерії як компоненти гранульованих мікробних препаратів комплексної дії. *Сільськогосподарська мікробіологія: міжвід. темат. наук. зб.* 2005. Вип. 1–2. С. 68–76
13. Dotaniya, M. L., Meena, V. D. Rhizosphere effect on nutrient availability in soil and its uptake by plants: a review. *Proc. Natl. Acad. Sci. Ind. (Sect. B Biol. Sci)*. 2015. Vol. 85, № 1–12. doi: 10.1007/s40011-013-0297-0
14. Шевніков М. Я., Міленко О. Г., Лотиш І. І. Якісні показники насіння сої залежно від впливу мінеральних і бактеріальних добрив. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2014. № 4. С. 15–20. <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2014/04/6.pdf>
15. Batista, B. D., Singh, B. K. . Realities and hopes in the application of microbial tools in agriculture. *Microbial biotechnol.* 2021. Vol. 14. № 4 P. 1258–1268. doi: 10.1111/1751-7915.13866
16. Воробей Н., Пухтаєвич П., Коць Т., Коць, С. Використання бульбочкових бактерій як засобу розширення адаптивних можливостей сої в умовах посухи. *Фізіологія рослин і генетика*. Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України. 2022. Т. 54, № 1. С. 26–39. <https://doi.org/10.15407/frg2022.01.026>
17. Berg, G., Raaijmakers, J. M. Saving seed microbiomes. *The ISME Journal*. 2018. Vol. 12. № 5. P. 1167–1170. doi: 10.1038/s41396-017-0028-2
18. Abdelfattah, A., Wisniewski, M., Schena, L. Tack, A. J. M. Experimental evidence of microbial inheritance in plants and transmission routes from seed to phyllosphere and root. *Environmental Microbiology*. 2021. Vol. 23. № 4. P. 2199–2214. doi:10.1111/1462-2920.15392
19. Bacilio-Jiménez, M., Aguilar-Flores, S., del Valle, M.V., Pérez, A., Zepeda, A., Zenteno, E. Endophytic bacte-

ria in rice seeds inhibit early colonization of roots by *Azospirillum brasilense*. *Soil Biol. Biochem.* 2001. Vol. 33, P. 167–172. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00126-7](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00126-7)

20. Заболотний Г. М., Мазур В. А., Циганська О. І.,

Дідур І. М., Циганський В. І., Панцирева Г. В. Агробіологічні основи вирощування сої та шляхи максимальної реалізації її продуктивності: монографія. Вінниця, 2020. 276 с. <http://socrates.vsau.edu.ua/repository/getfile.php/27706.pdf>

## References

1. Mizernyk D. (2024). The current state and prospects of soybean cultivation in the world and Ukraine. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynyystvo* [Foothill and mountain farming and animal husbandry], 76 (1), 44–47. doi: 10.32636/01308521.2024-(76)-1-4. [in Ukrainian].
2. Zhuykov O. G., Ivaniv M. O., Marchenko T. Yu., Voznyak V. V. (2020). Modern soybean production as part of the solution to the problem of dietary protein: global trends and domestic realities. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Silskohospodarski nauky* [Tavriia Scientific Bulletin. Series: Agricultural Sciences], 116 (1), 54–63. doi: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.7>. URI: [https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/116\\_2020/part\\_1/9.pdf/](https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/116_2020/part_1/9.pdf/), [in Ukrainian].
3. Petrychenko V. F., Babych A. O., Kolisnyk S. I., Ivanyuk S. V. (2008). Soybeans: technological aspects of seed cultivation. *Nasynnystvo* [Seed production], 66, 5–9. [in Ukrainian].
4. Averchev O. V., Nikitenko M. P. (2024). Organic production in Ukraine: current status and prospects for development. *Tavriiskyi naukovyi visnyk* [Tavriia Scientific Bulletin], 136 (1), 12–19. doi <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.1.2>. [in Ukrainian].
5. Petrychenko V. F., Ivanyuk S. V. (2000). The influence of varietal and hydrothermal resources on the formation of soybean productivity in the forest-steppe zone. *Zb. nauk. pr. Instytutu zemlerobstva* [Collection of scientific papers of the Institute of Agriculture], 3–4, 19–24. [in Ukrainian].
6. Adam, E., Bernhart, M., Müller, H., Winkler J., & Berg G. (2018). The *Cucurbita pepo* seed microbiome: genotype-specific composition and implications for breeding. *Plant Soil.*, 422, 35–49. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3113-9>
7. Berg, G., Rybakova, D., & Fischer, D. (2020). Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges. *Microbiome*, 8 (103). <https://doi.org/10.1186/s40168-020-00875-0>
8. Murach O. M., Pivtorayko V. V., Lipkov V. A. (2025). Symbiotic activity and productivity of soybean plants under the influence of physiologically active substances in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Silskohospodarski nauky* [Tavriia Scientific Bulletin. Agricultural Sciences], 143 (1), 4–12. doi: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.2.1>. [in Ukrainian].
9. Kresović B., Gajić B., Tapanarova A., Pejić B., Dugalić G., & Sredojević Z. (2017). Impact of deficit irrigation on yield and chemical properties of soybean seeds in temperate climate. *Contemporary Agriculture*. 65(1–2), 14–20.
10. Batista, B. D., Singh, B. K. (2021). Realities and hopes in the application of microbial tools in agriculture. *Microbial biotechnol.*, 14 (4), 1258–1268. doi: 10.1111/1751-7915.13866.
11. Moroenyane I., Tremblay J., Yergeau, & É. (2021). Soybean Microbiome Recovery after Disruption Is Modulated by the Seed and Not the Soil Microbiome. *Phytobiomes J.*, 5, 418–431. doi: 10.1094/PBIOMES-01-21-0008-R02021.
12. Kurdysch I. K., Roy A. O., Bulavenko L. V., Bega Z. T., Plaksyuk V. M., Chuiko N. V., Tsarenko I. Yu. (2005). Phosphate-mobilising bacteria as components of granulated microbial preparations with complex action. *Silskohospodarska mikrobiologhiia: mizhvid. temat. nauk. Zb.* [Agricultural Microbiology: Interdisciplinary Scientific Collection], 1–2, 68–76. [in Ukrainian].
13. Dotaniya, M. L., & Meena, V. D. (2015). Rhizosphere effect on nutrient availability in soil and its uptake by plants: a review. *Proc. Natl. Acad. Sci. Ind. (Sect. B Biol. Sci)*, 85 (1–2). doi: 10.1007/s40011-013-0297-0.
14. Shevnikov M. Ya., Milenko O. G., Lotysh I. I. (2014). Qualitative indicators of soybean seeds depending on the influence of mineral and bacterial fertilisers. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii.* [Bulletin of the Poltava State Agricultural Academy], 4, 15–0. <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2014/04/6.pdf>. [in Ukrainian].
15. Batista, B. D., & Singh, B. K. (2021). Realities and hopes in the application of microbial tools in agriculture. *Microbial biotechnol.*, 14 (4), 1258–1268. doi: 10.1111/1751-7915.13866.
16. Vorobey N., Pukhtayevich P., Kots T., Kots S. (2022). The use of nodule bacteria as a means of expanding the adaptive capabilities of soybeans in drought conditions. *Fiziologhiia roslyn i henetyka. Instytut fiziologhi i henetyky Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy.* [Plant physiology and genetics. Institute of Plant Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine], 54 (1), 26–39. <https://doi.org/10.15407/frg2022.01.026>. [in Ukrainian].
17. Berg, G., & Raaijmakers, J. M. (2018). Saving seed microbiomes. *The ISME Journal.*, 12 (5), 1167–1170. doi: 10.1038/s41396-017-0028-2.
18. Abdelfattah, A., Wisniewski, M., Schena, L. & Tack, A.J.M. (2021) Experimental evidence of microbial inheritance in plants and transmission routes from seed to phyllosphere and root. *Environmental Microbiology*. 23 (4), 2199–2214. doi:10.1111/1462-2920.15392.
19. Bacilio-Jiménez, M., Aguilar-Flores, S., del Valle, M. V., Pérez, A., Zepeda, & A., Zenteno, E. (2001). Endophytic bacteria in rice seeds inhibit early colonization of roots by *Azospirillum brasilense*. *Soil Biol. Biochem.*, 33, 167–172. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00126-7](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00126-7).
20. Zabolotny G. M., Mazur V. A., Tsyganka O.I., Didur I. M., Tsyganka V. I., Pantsyreva G. V. (2020). *Ahrobiolo-*

UDC 633/635:655.056(075.8)

<sup>1</sup>Kramarov, S. M., <sup>1</sup>Bandura, L. P., <sup>1</sup>Ambroziak, Yu. V., <sup>2</sup>Kramarov, O. S. *Prospects for the use of phosphorus mobilising bacterial fertilisers in soybean crops in the Northern Steppe of Ukraine.*

*Grain Crops.* 2025. 9 (2). 343–351.

<sup>1</sup>Dnipro State Agrarian and Economic University, 25 Serhii Yefremov St., Dnipro, 49009, Ukraine

<sup>2</sup>SE Institute of Grain Crops of NAAS of Ukraine, 14 Volodymyr Vernandskyi St., Dnipro, 49009, Ukraine

**Topicality.** The relevance of this work is determined by its contribution to addressing the issue of meeting the high demand of soybean plants for mobile forms of phosphorus, especially in the early stages of plant growth and development. This problem can be partially solved by using phosphate-mobilising microorganisms, as the enzymes and organic acids secreted by them in the soil promote the conversion of poorly soluble phosphorus compounds into mobile forms, which ensures optimal phosphorus nutrition for plants during the juvenile period. **Purpose.** To investigate the effect of bacterial and mineral fertilisers on the yield and biochemical composition of soybean seeds. **Materials and Methods.** Field trials were conducted at the TOPKA V. G. farm located in the Mahdalynivka territorial community of the Samar district in the Dnipropetrovsk region during 2021–2023. The effectiveness of the bacterial fertilisers Groundfix and Biofosforin, applied under pre-sowing cultivation separately and in combination to a mineral background of N<sub>20</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub>, was studied. Yields were recorded using the direct combining method on a plot-by-plot basis. The protein, fat and moisture content in the seeds was determined according to DSTU 7491:2013. **Results.** Among the variants studied, the highest efficiency was achieved by applying Groundfix and Biofosforin bacterial fertilisers (5 l/ha) on a mineral background of N<sub>20</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub>. Under these conditions, the increase in soybean seed yield relative to the control was 0.51 t/ha and 0.46 t/ha, respectively. The use of Groundfix (8 l/ha) increased the protein content in seeds by 0.8 % and fat content by 1.6 %. A similar pattern was observed with the use of Biofosforin, with an increase in protein content of 0.9 % and fat content of 1.0 %. At the same time, the application of 5 l/ha against a background of N<sub>20</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub> was only slightly inferior to the norm of 8 l/ha in terms of biochemical indicators. **Conclusions.** Based on the results of field trials, it was found that the optimal application rate of Groundfix and Biofosforin bacterial fertilisers is 5 l/ha on a mineral background of N<sub>20</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub>, which increases the yield and improves the seed quality of soybeans.

**Key words:** soybean, seeds, rhizosphere, soil microorganisms, protein, fat, bacterial fertilisers