УДК 631.95:633.34:631.147:504.4 DOI: 10.36710/IOC-2025-39-16

ЕФЕКТИВНІСТЬ БІОПРЕПАРАТІВ У ПІДВИЩЕННІ ВРОЖАЙНОСТІ ТА ПРИБУТКОВОСТІ ОРГАНІЧНОЇ СОЇ В УМОВАХ КЛІМАТИЧНИХ РИЗИКІВ

Т. О. Чайка[1], І. В. Короткова[2], Г. Д. Поспєлова[2], В. В. Ляшенко[2]

[1] Полтавське відділення Академії наук технологічної кібернетики України
[2] Полтавський державний аграрний університет

У статті проведено оцінку впливу біологічних препаратів різної природи (мікоризних, бактеріальних і фітогормональних) на урожайність і рентабельність вирощування органічної сої за змінних погодних умов 2022–2024 рр. у Лівобережному Лісостепу України. Визначено, що всі варіанти застосування біопрепаратів перевищили контроль за урожайністю та прибутковістю. Найвищу середню урожайність (3,23 т/га) та стабільність результатів (CV = 9,7%) забезпечила повна комбінована схема 8 (Profix + Мікофренд + Віолар), що підтверджує її стійкість до кліматичних стресів. Рівень рентабельності цієї схеми сягнув 369,0%. За умов збільшення витрат і зниження ціни реалізації, вона зберігала економічну перевагу з рентабельністю 259,5%. Найменш затратною і водночас ефективною для малобюджетних господарств є схема з використанням лише мікоризного препарату Мікофренд (рентабельність 216,2–343,6%). Встановлено чітку обернену залежність між урожайністю та варіабельністю (r = –0,73), що свідчить про стратегічну доцільність застосування комплексної біологічної стимуляції. Отримані дані підтверджують конкурентоспроможність органічної моделі за рахунок біологічної інтенсифікації й її високу економічну ефективність навіть у стресових кліматичних умовах.

Ключові слова: органічне землеробство, бактеріальні інокулянти, мікоризні гриби, фітогормони, рентабельність, варіабельність, виробничі витрати, ринкові ціни.

Вступ. Соя (*Glycine max* (L.) Merrill) належить до найбільш універсальних і затребуваних культур на світовому агропродовольчому ринку завдяки широкому спектру використання від харчової промисловості до виробництва біодизелю, пластмас, лакофарбової продукції та текстильної сировини (Chornolata 2018; Thrane et al. 2017). За обсягами виробництва соя посідає шосте місце серед сільськогосподарських культур і четверте за економічною значущістю та площею посівів у світі (Bosanquet 2023).

Оскільки Європейський Союз виступає ключовим імпортером української сої (47 % загального експорту) (Tulainova 2024), для українських виробників критично важливо дотримуватися вимог Європейського зеленого курсу, зокрема у сфері органічного землеробства, яке передбачає відмову від застосування пестицидів і ГМО, орієнтується на агроекологічні методи управління родючістю ґрунту та фітосанітарним станом, а також сприяє збереженню агробіорізноманіття (Chaika 2013a).

Перспективність вирощування сільськогосподарських культур методами органічного землеробства залежить від його конкурентоспроможності відносно

*Corresponding author

традиційного. Мета-аналіз глобальних досліджень (Crowder & Reganold 2015) на прикладі 55 культур, вирощених на п’яти континентах, показує, що незважаючи на нижчі врожаї, органічне землеробство є значно прибутковішим за традиційне і має простір для глобального розширення. Перехід до органічного виробництва потребує значних початкових інвестицій. Найбільше фінансове навантаження пов'язане із закупівлею спеціалізованої техніки, зокрема шлейф-борін, міжрядних культиваторів та іншого обладнання для механічного контролю бур'янів. Попри це, у довгостроковій перспективі органічне землеробство може забезпечити стабільну рентабельність та екологічну стійкість виробництва. Зокрема, застосування премій у розмірі 29–32% на органічну продукцію, незважаючи на зниження врожайності на 10–18% порівняно з традиційним виробництвом, здатне забезпечити рівень рентабельності органічної продукції в межах 22–35% (Chaika 2011), а за деякими дослідженнями – від 91,7% до 565,0% (Chaika & Bikbaiev 2014).

У 2022 р. світовий ринок органічної сої оцінювався в 1,5 млрд дол. США. Прогнозується, що до 2030 р. його обсяг досягне 3,4 млрд дол. із середньорічним темпом зростання 12,6%. Європейський ринок органічної сої займає другу позицію за обсягом серед світових регіонів, при цьому Велика Британія та Німеччина формують провідний попит у цьому сегменті (Nandi 2017).

Відповідно до звіту Європейської Комісії, Україна входить до п'ятірки найбільших постачальників органічної агропродукції до ЄС, зокрема займає друге місце за експортом органічної сої (39,1 тис. т, 31 млн дол.), що забезпечує 24,7% потреб ЄС. Попри загальне зменшення експорту органічної продукції на 20,7% у 2023 р. внаслідок війни, поставки органічної сої зросли на 27,5% і сягнули 45,8 тис. тонн на суму 35,9 млн дол. (784 дол./т) (AgroElita 2024; EU 2024; Organicinfo 2023).

Під впливом зростаючої обізнаності населення Європи та Північної Америки про ризики споживання трансжирів, попит на продукти з органічної сої зберігає високу динаміку (Makovei 2025; Nandi 2017). Це створило сприятливі умови для України, яка у 2024 р. досягла рекордного експорту органічної сої – 52,9 тис. тонн, що на 67,1% більше порівняно з 2023 роком.

Представлене дослідження проведено у Полтавській області, яка формує 8,2–12,8% національного виробництва сої та посідає важливе місце в органічному секторі. З 19 сертифікованих виробників чотири спеціалізуються на вирощуванні органічної сої, а два забезпечують її переробку на олію (Organic Standard 2025). Наявність власних переробних потужностей створює умови для зростання доданої вартості в регіоні. Висока концентрація виробництва (Житомирська та Полтавська області охоплюють 63,2% профільних господарств) свідчить про формування стійкої кластерної моделі розвитку галузі.

Проте, незважаючи на сприятливі ринкові тенденції та розвиток інфраструктури, виробництво органічної сої залишається вразливим до глобальних кліматичних змін, які дедалі частіше впливають на врожайність, особливо в аграрно-орієнтованих регіонах.

У дослідженні (Fess & Benedito 2018) зазначається, що виробництво органічних культур наразі відбувається майже в кожній країні світу, а споживчий попит перебуває на рекордно високому рівні, і спаду не передбачається. Однак, для його економічної привабливості для виробників і доступності для споживачів в умовах глобальних кліматичних змін необхідний пошук оптимальної й

індивідуальної моделі використання біодобрив під певні ґрунтово-кліматичні умови, які забезпечать максимальну врожайність і якість культури.

За результатами багаторічних досліджень (Zhao et al. 2024) застосування біодобрив стає безальтернативною перспективою заміни хімічних добрив у сталому землеробстві. Як свідчать дані (ROI Biologicals 2024) біодобрива мають суттєвий вплив на підвищення врожайності, що збільшує прибутки, а отже разом сприяють кращому росту та розвитку рослин і вищим врожаям. Існують також біопрепарати, які мають антибактеріальні й антифугальні властивості, та здатні пригнічувати фітопатогени насіння сої, що позитивно впливає на її ріст і розвиток (Kovalenko et al. 2023). Згідно з дослідженням (Burbano-Cuasapud et al. 2023; Chaika 2013b; Pisarenko et al. 2020) розширене впровадження біодобрив здатне суттєво зменшити навантаження на екологію та знизити залежність від мінеральних добрив.

Паралельно з цим, кліматичні стреси, насамперед посуха, дедалі більше обмежують потенціал сільськогосподарського виробництва. За даними (Wang et al. 2023), погодні чинники мають помітний вплив на виробництво сої, і насамперед, органічної. Дослідження (Bogati & Walczak 2022) свідчать, що глобальні кліматичні зміни призводять до трансформації ґрунтового середовища та негативно впливають на функціонування ґрунтової біоти, включно з мікроорганізмами та рослинами, що значно ускладнює вирощування сільськогосподарських культур. Згідно з дослідженнями (Poudel et al. 2023) глобальні кліматичні зміни можуть призвести до потенційних втрат врожаю до 50 %, а у випадку сої – до 100 %. В зв'язку з цим, все більше уваги приділяється біологічним інструментам стрес-менеджменту для підвищення стійкості рослин до подолання кліматичних проявів. Зокрема, за даними (Azarbad 2022), використання ґрунтових і симбіотичних мікроорганізмів сприяє підвищенню стійкості культур до несприятливих умов середовища. У дослідженні (Strour et al. 2020) наголошено на доцільності інтеграції мікробіом-орієнтованих технологій у сучасні системи ведення сільського господарства як важливого кроку до зниження антропогенного тиску на довкілля без втрати продуктивності. Для збільшення виробництва сільськогосподарських культур в умовах органічного землеробства без масштабних змін у землекористуванні та розширення сільськогосподарських угідь, мікробний підхід може бути використаний для забезпечення вищої продуктивності, особливо в умовах швидкозмінного клімату.

Мета дослідження полягала в проведені оцінки впливу використання біопрепаратів різної природи (мікробних, бактеріальних і гормональних) на врожайність і прибутковість вирощування органічної сої за різних варіантів ринкових цін на неї та виробничих витрат.

Матеріал та методи досліджень. Дослідження охоплювало трирічний період (2022–2024 рр.) в ґрунтово-кліматичних умовах Лівобережного Лісостепу України з використанням ранньостиглого сорту сої вітчизняної селекції Хорол, оригінатором якого є ТОВ «Науково-дослідний інститут сої»

Дослідна ділянка – чорнозем залишково-солонцюватого типу, сформований на лесових породах із: вмістом гумусу – 5,2 %; pH ґрунтового розчину – 6,3; середнім рівнем забезпечення азотом (58,6 мг/кг) і фосфором (78,3 мг/кг), високим – калієм (138,4 мг/кг). Загальна площа ділянки становила 0,3 га, з них 0,1 га – облікові.

Агротехнічні заходи відповідали зоні вирощування та враховували

особливості вирощування рослинних культур за органічною технологією (Chaika & Korotkova 2025) та проводились для всіх технологічних схем: 1) осіння оранка після збирання попередника оборотним плугом; 2) весняне боронування для закриття вологи важкою шлейфовою бороною; 3) культивація стерньовим культиватором; 4) досходове боронування для знищення бур'янів на стадії білої ниточки сітчастою бороною Striegel; 5) післясходове боронування сітчастою бороною Striegel; 6) дві міжрядні обробки культиватором відповідно до проростання бур'янів.

Попередником був ячмінь ярий. Сівбу сої проводили у строки, оптимальні для кліматичних умов відповідного року (20 квітня – 5 травня), на глибину 5 см. Ширина міжрядь становила 38 см, норма висіву – 700 тис. схожих насінин на гектар.

Для дослідження обрано вісім технологічних схем, що відрізнялися складом біопрепаратів і способом їх застосування (Chaika 2025): 1) контроль (обробка еквівалентною кількістю води); 2) Profix® (Certis Belchim, Belgium; передпосівна інокуляція насіння азотфіксуючими бактеріями); 3) Віолар® (ТОВ «Інноваційна компанія «Біоінвест-Агро», Україна; передпосівна інокуляція насіння й оприскування посівів у фазу ВВСН 61 фітогормональним препаратом); 4) Мікофренд®–розчин (БТУ-Центр, Україна; передпосівна інокуляція насіння комплексом мікоризоутворюючих грибів і ризосферних бактерій); 5) Profix + Віолар (комбінована схема: передпосівна інокуляції + обприскування посівів); 6) Мікофренд + Profix (передпосівна інокуляція насіння); 7) Мікофренд + Віолар (комбінована схема: передпосівна інокуляції + обприскування посівів); 8) Мікофренд + Profix + Віолар (повна комбінована схема).

Роки досліджень було класифіковано за погодними умовами (Chaika et al. 2025a): 2022 р. оцінювався як сприятливий, 2023 р. – як надзвичайно сприятливий за гідротермічними умовами, а 2024 р. – як стресовий, з ознаками гідротермічного дефіциту.

Визначення продуктивності сої здійснено шляхом повного ручного збирання рослин з облікових площ після попереднього скошування надземної фітомаси. Врожайність насіння з кожної експериментальної ділянки скориговано з урахуванням вологості 15% та виражено в тоннах на гектар.

Економічну оцінку здійснено за цінами червня 2025 р. шляхом розрахунку повної собівартості виробництва, валового доходу (як добутку урожайності на ціну реалізації), прибутку (різниця між доходом і витратами) та рівня рентабельності (відношення прибутку до витрат у відсотках).

Для аналізу стабільності урожайності за роки досліджень (2022–2024 рр.) використано коефіцієнт варіації (CV):

$$\mathrm{CV} = \left(\frac{\sigma}{\mu}\right) \times 100\%,$$

де σ – стандартне відхилення урожайності, μ – середнє значення урожайності.

Розрахунки та графічне відображення здійснено за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel (Microsoft Corporation, США), із використанням адаптованих технологічних карт і розрахункових формул. Теплові карти, що демонструють зміну рентабельності залежно від рівня цін реалізації й інтенсивності механічного обробітку, побудовано у середовищі RStudio® (R Software, R Development Core Team, Австрія; версія 4.4.3).

Результати досліджень та їхнє обговорення. Одним із ключових

показників ефективності застосування біопрепаратів в органічному землеробстві є урожайність, яка інтегрує вплив комплексу факторів – погодних і ґрунтових умов, сорту, технології вирощування, рівня агротехнічного забезпечення тощо. Для оцінки чутливості схем обробки до кліматичних коливань було проаналізовано урожайність сої за кожен рік дослідження окремо. Динаміку врожайності за роками подано на рис. 1.

Результати свідчать про стійку позитивну динаміку впливу біологічних препаратів на урожайність порівняно з контролем у всі роки спостережень. У сприятливому 2023 р. різниця між контрольним варіантом (2,46 т/га) і найефективнішою комбінованою схемою 8 становила 1,11 т/га, або понад 45,1% приросту. У стресовому 2024 році, попри гідротермічну нестабільність, застосування повної комбінованої схеми забезпечило урожай 2,96 т/га, що на 1,10 т/га (59,1%) вище за контроль, тобто перевага зберіглась навіть за несприятливих умов. У всіх роках найнижчі показники фіксувались на контролі (2,24; 2,46; 1,86 т/га відповідно), тоді як найвищі – за комбінованого застосування мікоризних грибів, бактеріальних інокулянтів і фітогормонів (схема 8).

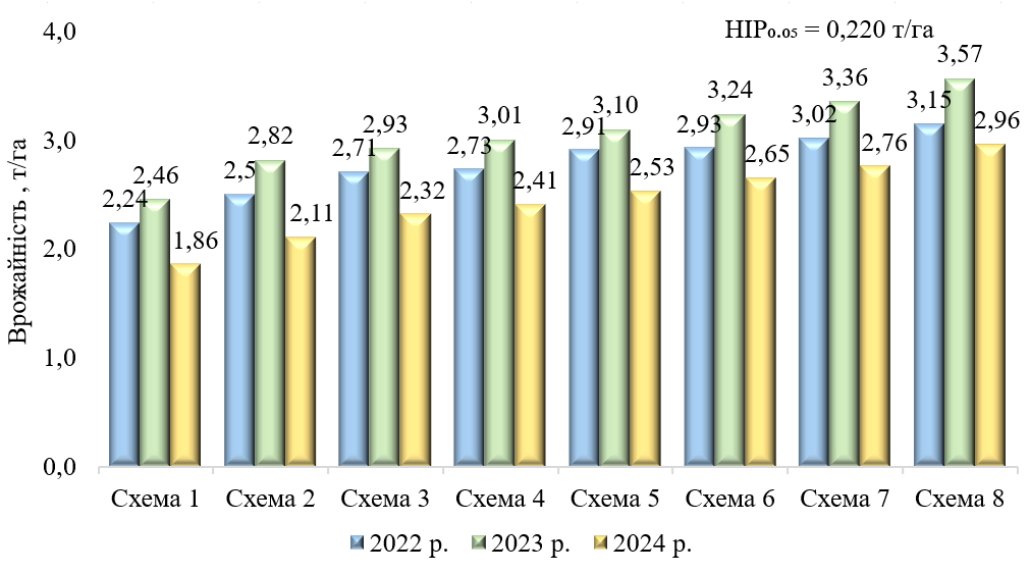

Рис. 1. **Урожайність органічної сої за різних схем обробки біопрепаратами** (2022–2024 рр.):
схема 1 – контроль; схема 2 – Profix; схема 3 – Віолар; схема 4 – Мікофренд; схема 5 – Profix+Віолар; схема 6 – Мікофренд+Profix; схема 7 – Мікофренд+Віолар; схема 8 – Мікофренд+Profix+Віолар

Загальна тенденція демонструє, що навіть у несприятливі роки біопрепарати дозволяють зменшити втрати врожаю, що є критично важливим для управління ризиками в органічному виробництві. Окрім того, диференціація впливу схем за роками обґрунтовує потребу в адаптивному підході до вибору технологій, який враховує не лише потенціал урожайності, а й стабільність результатів у стресових умовах. Це свідчить про наявний потенціал застосування інтегрованих біотехнологічних рішень як важливої складової адаптації до змін

клімату, що згідно з (Lipper et al. 2014) відповідає принципам кліматично розумного сільського господарства.

Порівняльна економічна оцінка восьми схем обробки органічної сої підтвердила суттєвий вплив комбінації вхідних ресурсів на показники рентабельності (табл. 1).

Таблиця 1

Економічна ефективність схем обробки органічної сої біопрепаратами

Схема обробки	Витрати[1], грн/га	Середня врожайність за 2022–2024 рр., т/га	Дохід[2], грн/га	Прибуток, грн/га	Рента-бельність, %
1. Контроль	19464	2,19	65700	46236	237,5
2. Profix	19827	2,47	74100	54273	273,7
3. Віолар	20085	2,63	78900	58815	292,8
4. Мікофренд	19623	2,72	81600	61977	315,8
5. Profix+Віолар	20433	2,83	84900	64467	315,5
6. Мікофренд+Profix	20054	2,94	88200	68146	339,8
7. Мікофренд+Віолар	20297	3,05	91500	71203	350,8
8. Мікофренд+Profix+Віолар	20660	3,23	96900	76240	369,0

Примітки: 1. Для розрахунку виробничих витрат використано адаптовану технологічну карту за прикладом (Chaika & Ponomarenko 2016) та закладено 20% на непередбачувані витрати. У витратах не враховано сертифікацію виробництва за органічними стандартами, орієнтовна вартість яких складає 1,5–2 тис. євро за угіддя до 1000 га.

2. Для розрахунку валового доходу використано орієнтовну ціну на органічну сою – 30 тис. грн/т. Це значення виходить із сучасних ринкових даних (non-GMO – 19,5–20,1 грн/т + премія за органічний статсу 50–70 % (Makovei 2025) та ціни 822 дол./т (USDA 2025).

Рентабельність усіх схем обробки біопрепаратами значно перевищила показники контрольного варіанту (схема 1), що підтверджує їх високу економічну доцільність застосування в органічному землеробстві. Серед усіх варіантів схема 8 продемонструвала найвищу рентабельність (369,0%) за базових ринкових цін (30 тис. грн/т) завдяки оптимальному співвідношенню витрат на вхідні ресурси та приросту врожайності. Схема 4 виявилась найбільш економічно ефективним варіантом з низьким рівнем витрат (19,6 тис. грн/га), пропонуючи високу рентабельність при мінімальних інвестиціях (315,8%). Це робить її привабливою для малих органічних господарств або виробників, схильних до уникнення ризиків. Контрольна схема продемонструвала найнижчий економічний результат (прибуток 46,2 тис. грн/га, рентабельність 237,5%). Отже, надприбутковість вирощування органічної сої пов’язана з оптимізованою системою витрат, яка не включає синтетичних засобів захисту й удобрення, та преміальною ціною реалізації.

Отримані результати з високою економічною ефективністю застосування біопрепаратів з рівнем рентабельності 273,7–369,0% корелюють з попередніми дослідженнями. Так, за результатами (Chaika & Ponomarenko 2015) встановлено рівень рентабельності вирощування органічної сої в умовах України в межах 233,0–565,0%, що свідчить про доцільність вирощування органічної сої як складової вітчизняного органічного сектору.

Водночас, за даними дослідження (Mashchenko et al. 2024), рентабельність вирощування сої в умовах біологізованої сівозміни становила 88,6% за ціни реалізації на рівні традиційної продукції та рівнем врожайності 1,72 т/га. Використання комбінації біопрепаратів дозволило підвищити рентабельність на 5,8%, тоді як у межах нашого дослідження цей показник зростав на 36,2–131,5%, що свідчить про високу ефективність дотримання принципів органічного землеробства з подальшою сертифікацією продукції.

Необхідно відзначити, що згідно з даними дослідження (Kazakova & Kondratiuk), середній рівень рентабельності вирощування традиційної сої в України становив лише 15,8%, що значно відрізняється від рівня органічного виробництва та свідчить про його переваги для виробників і є підтвердженням нашої гіпотези про конкурентні переваги застосування біотехнологічних рішень в органічному виробництві.

З метою моделювання впливу ринкових коливань на економічну доцільність упровадження біотехнологічних схем вирощування органічної сої було проведено чутливий аналіз із урахуванням трьох варіантів ціни реалізації – 27, 30 та 32 тис. грн/т. Додатково враховано можливе збільшення кількості механічних обробок для підвищення ефективності контролю бур'янів: з чотирьох (базовий варіант, зазначений у методиці досліду, табл. 1) до п'яти та шести за рахунок збільшення кількості культивацій відповідно до проростання бур'янів.

Результати представлено у вигляді теплової карти (рис. 2), що дозволяє візуалізувати зміну рівня рентабельності залежно від коливання ринкових цін і виробничих витрат.

Аналіз рис. 2 показав, що всі схеми біологічних обробок за чотирьох механічних обробок для контролю бур'янів (два боронування та дві культивації) залишаються прибутковими в усьому розглянутому ціновому діапазоні. Проте ступінь рентабельності та лідерство схем варіюється залежно від цінової ситуації. У нижньому (27 тис. грн/т) та верхньому (30–32 тис. грн/т) цінових діапазонах найвищу рентабельність демонструє схема 8, яка забезпечує максимальну середню урожайність (3,23 т/га) та стабільно втримує економічну перевагу (322,1–400,3%) навіть за високих загальних витрат. Найбільш ефективна малобюджетна з усіх схем застосування біопрепаратів – схема 4 (таблиця 1) зберігає стійку рентабельність у межах 274,3–343,6%, що робить її придатною для впровадження в господарствах з обмеженим бюджетом. Контрольна схема послідовно демонструє найнижчі серед усіх розглянутих схем значення рентабельності (203,8–260,0 %), що значно перевищує традиційне вирощування та вказує на економічну ефективність органічного виробництва навіть за повної відмови від біопрепаратів.

Можливе збільшення кількості механічних обробок для контролю бур'янів до п'яти (два боронування та три культивації) збільшує витрати на 9,1%, а отже знижує загальну рентабельність усіх схем, однак економічна ефективність залишається позитивною. В усіх цінових діапазонах лідерство продовжу утримувати схема 8 з показником рентабельності 288,3–360,2%, демонструючи найвищу стійкість до зростання витрат. Схема 4 зберігає позицію оптимального вибору для низькобюджетних умов, підтримуючи рентабельність у діапазоні 242,8–306,3 % навіть за песимістичних умов.

На контрольній схемі продовжує зберігатись рівень рентабельності понад 178,1%, що дозволяє розраховувати на економічну віддачу навіть за мінімальних

витрат без використання біопрепаратів.

На рис. 2 наведено можливий варіант, який моделює найбільш витратну ситуацію (+19,2%), що відповідає умовам підвищеного бур'янового

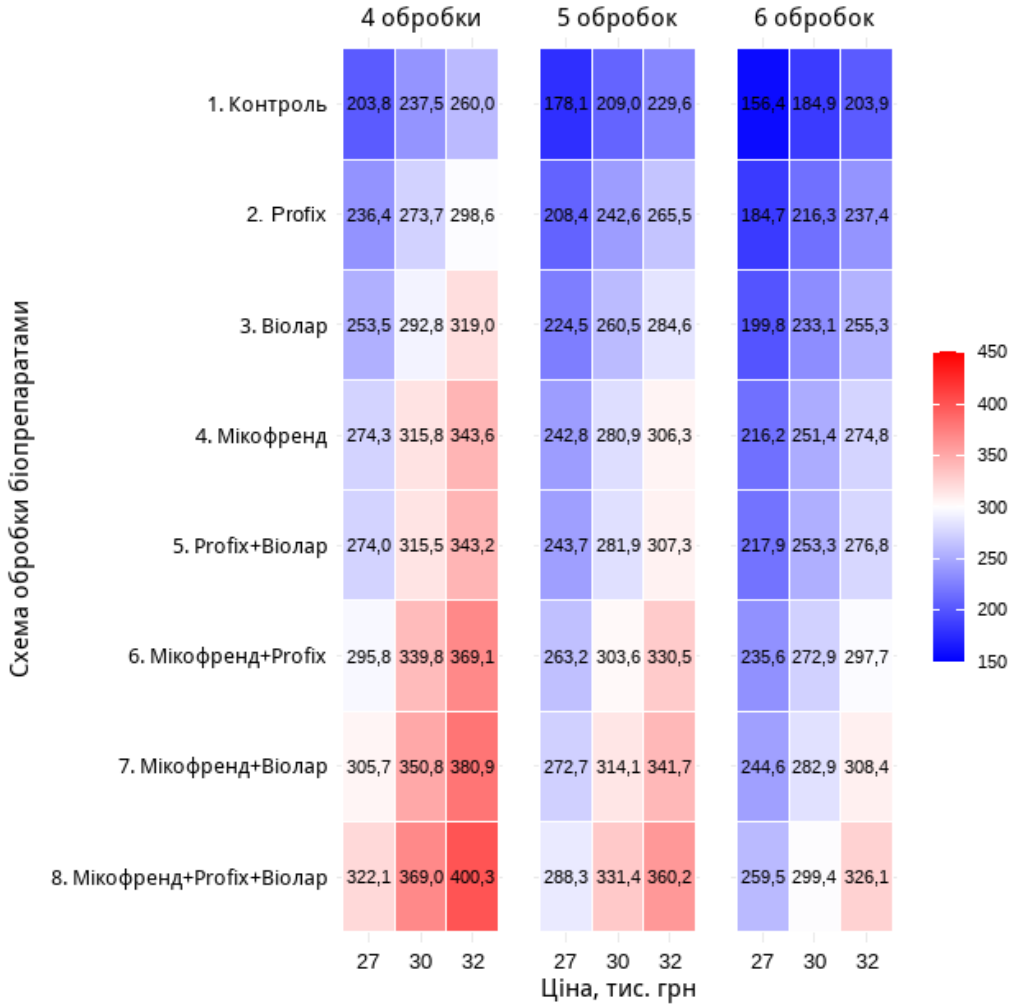

Рис. 2. **Теплова карта оцінки чутливості рентабельності схем обробки органічної сої біопрепаратами за різними варіантами ринкових цін і витратами на механічні обробки для контролю бур'янів**

навантаження та максимальній кількості механічних обробок для контролю бур'янів на посівах сої – шість (два боронування та чотири культивації).У цьому випадку загальний рівень рентабельності знижується в середньому на 47,4–74,2 % пунктів відносно базового варіанту витрат (за чотирьох механічних обробок) і на 21,7–34,1 % відносно проміжного (коли виконано п'ять механічних обробок). У всіх цінових діапазонах схема 8 зберігає максимальну рентабельність у межах 259,5–326,1 %. Схема 4 продовжує показувати економічну доцільність з рентабельністю на рівні 216,2–274,8 %, перевищуючи більш витратні схеми 2 і 3. Контрольна схема наближається до межі економічної доцільності, особливо за ціни 27 тис. грн/т (рентабельність – 156,4 %), що підтверджує неефективність

вирощування сої без біологічної стимуляції в умовах ризику.

За даними чутливості рентабельності визначимо та проведемо аналіз порогових рівнів економічної доцільності схем обробок біопрепаратами, що дозволяє виявити такі ключові межі ефективності:

1. Поріг рентабельності на рівні 200% розглядається як мінімально прийнятний для органічного виробництва, з урахуванням специфічних ризиків, пов'язаних із сертифікацією, нестабільністю цінової кон'юнктури та логістичними викликами. За базових витрат, всі біотехнологічні схеми стабільно перевищують цей поріг навіть у разі песимістичного варіанту реалізації продукції (27 тис. грн/т). Підвищення кількості механічних обробок для контролю бур'янів до п'яти призводить до зниження рентабельності нижче 200% лише для схеми 2 за ціни 27 тис. грн/т. У моделі з шістьма механічними обробками рентабельність опускається нижче 200% для схем 2 і 3 за цін 27 тис. грн/т. Контрольна схема за всіх моделей витрат демонструє значну вразливість, особливо за збільшення витрат на 18,1%, наближаючись до критичної межі в діапазоні від 27 до 30 тис. грн/т (156,4–184,9%).

2. Поріг рентабельності на рівні 300% визначено як цільовий для забезпечення стабільного інноваційного розвитку, фінансування науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, а також для підтримки адаптивності виробництва до кліматичних ризиків. За базового рівня витрат: схеми 7–8 досягають цієї межі вже при ціні 27 тис. грн/т, схеми 4–6 – починаючи з 30 тис. грн/т, схема 3 – лише при 32 тис. грн/т, а схема 2 – наближається до зазначеного порогу. Зростання витрат при п'яти механічних обробок для контролю бур'янів зміщує цільову межу: схеми 6–8 досягають 300% рентабельності лише при ціні від 30 тис. грн/т, схеми 4–5 – від 32 тис. грн/т, тоді як варіанти 1–3 залишаються нижче цього порогу. У максимальному варіанті витрат (шість механічних обробок) лише схеми 7 і 8 забезпечують досягнення цільового порогу рентабельності при реалізаційній ціні не нижче 32 тис. грн/т. Контрольна схема не забезпечує досягнення цього рівня ні за одного з розглянутих варіантів.

Стабільність урожайності є важливим критерієм прийняття управлінських рішень в умовах органічного землеробства, особливо з огляду на кліматичну невизначеність та обмеження щодо застосування хімічних засобів захисту. Для аналізу стабільності результатів урожайності впродовж трирічного циклу досліджень (2022–2024 рр.) було розраховано коефіцієнти варіації (CV) для восьми біотехнологічних схем вирощування органічної сої (рис. 3).

Результати показали, що найвищу стабільність (CV < 10%) демонструють комбіновані схеми 8 (CV = 9,7%) і 7 (CV = 9,9%). Ці технології забезпечують не лише максимальну середню врожайність (відповідно 3,23 і 3,05 т/га), а й найменшу чутливість до гідротермічних коливань. Схеми 3–6 характеризуються середнім рівнем стабільності (CV у межах 10–12%), демонструюючи прийнятний рівень адаптивності. Натомість схема 2 (CV = 14,4%) та контрольний варіант (CV = 13,9%) є найбільш нестабільними, що свідчить про їхню вразливість до несприятливих погодних умов.

Аналіз взаємозв'язку між рівнем урожайності та коефіцієнтом варіації підтвердив наявність оберненої залежності ($r = -0,73$, $p < 0,05$): зі зростанням урожайності знижується варіабельність результатів. Ця тенденція підкреслює економічну й управлінську цінність комплексного підходу до біостимуляції

рослин.

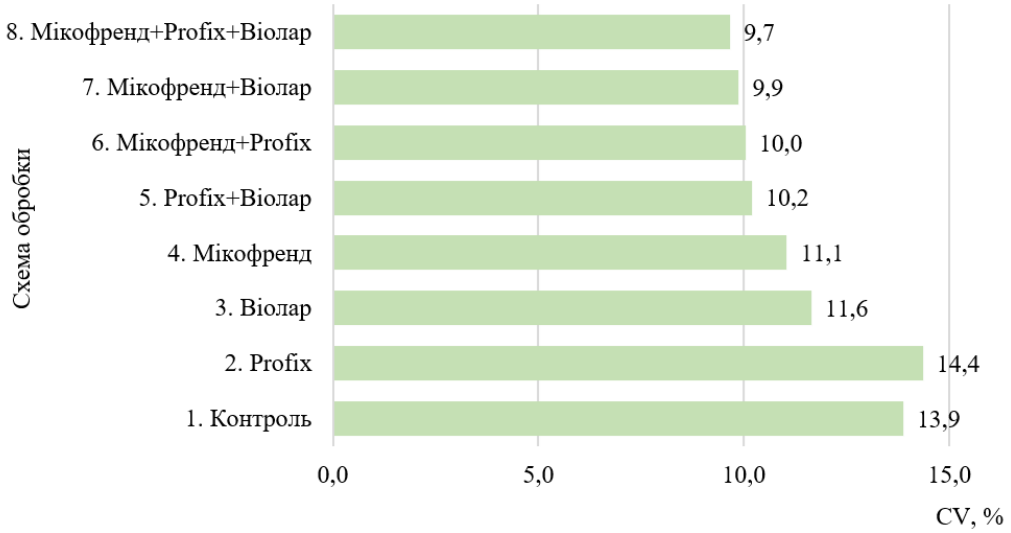

Рис. 3. **Оцінка стабільності урожайності схем обробки біопрепаратами органічної сої**

Особливої уваги заслуговують результати досліджень (Chaika et al. 2025b), які доводять позитивний вплив передпосівної обробки насіння сої біопрепаратами не тільки на врожайність, а й на молекулярні (вміст абсцизової кислоти), біохімічні (вміст хлорофілів, проліну, малонового деальдегіду) та фізіологічні (площу листкової поверхні, прохідність продихів, відносний вміст води) показники рослин за умов нестійкого зволоження. Таким чином, застосування біопрепаратів різного походження є не лише економічно доцільним, а й сприяє підвищенню стабільності фізіологічних процесів у рослин за умов органічного вирощування сої в кліматично нестабільному середовищі.

Висновки. У результаті дослідження здійснено комплексну оцінку агрономічної ефективності та прибутковості восьми схем застосування біопрепаратів у вирощуванні органічної сої в умовах кліматичної нестабільності та цінової волатильності. Найвищу сукупну ефективність в агрономічному й економічному аспектах показала комбінована технологія Мікофренд + Profix + Віолар (схема 8), яка забезпечила максимальні показники урожайності (3,23 т/га), рентабельності (369%) та стабільності результатів (CV = 9,7%).

Моделювання рентабельності засвідчило високу чутливість цього показника до зміни рівня витрат і ринкових цін. Зокрема, збільшення кількості механічних обробок для контролю бур'янів з чотирьох до п'яти та шести підвищувало витрати на 9,1% і 18,2% відповідно та суттєво знижувало прибутковість малопродуктивних схем (2–4), тоді як схема 8 зберігала рентабельність понад 200% навіть за ціни реалізації 27 тис. грн/т.

Встановлено, що досягнення мінімального порогу рентабельності (200%) є реальним для всіх схем застосування біопрепаратів за цін у діапазоні 27–32 тис. грн/т і витрат на чотири–шість механічних обробок (за винятком схем 2–3 за найнижчої ціни). Забезпечення фінансової стійкості з можливістю інноваційного

розвитку при рівні рентабельності 300% є досяжним для схем 4–8 за ціни від 30 тис. грн/т і базових витрат. За підвищених витрат на 9,1–18,2% ефективними залишались лише схеми 7–8.

Виявлено статистично достовірну обернену кореляцію між урожайністю та варіабельністю результатів ($r = –0,73$, $p < 0,05$). Найменші коливання урожайності спостерігалися у схемах 7 і 8 (CV < 10 %), тоді як контроль і схема 2 характеризувались найвищою нестабільністю (CV > 13 %).

Результати проведеного дослідження підтверджують і розширюють розуміння ролі біологічних препаратів у підвищенні економічної ефективності органічного землеробства, водночас розкриваючи нові аспекти стратегічного управління інноваціями в умовах кліматичної та ринкової невизначеності.

Referenses

AgroElita (2024) Ukraine in the TOP-5 largest importers of organic products to the European Union: achievements and challenges. https://agroelita.info/ukraina-v-top-5-naybilshykh-importeriv-orhanichnoi-produktsii-do-yevropeyskoho-soiuzu-dosiahnennia-ta-vyklyky/ Accessed 5 Jul 2025

Azarbad H (2022) Conventional vs. organic agriculture – Which one promotes better yields and microbial resilience in rapidly changing climates? Front Microbiol 13:903500 DOI: 10.3389/fmicb.2022.903500

Bogati K, Walczak M (2022) The impact of drought stress on soil microbial community, enzyme activities and plants. Agronomy 12(1): 189 DOI: 10.3390/agronomy12010189

Bosanquet J (2023) TABLE Summary series: Soy. https://www.tabledebates.org/building-blocks/table-summary-series-soy. Accessed 4 Jul 2025

Burbano-Cuasapud JM, Solarte-Toro JC, Restrepo-Serna DL, Cardona Alzate CA (2023) Process sustainability analysis of biorefineries to produce biofertilizers and bioenergy from biodegradable residues. Fermentation 9(9): 788 DOI: 10.3390/fermentation9090788

Chaika T, Korotkova I, Liashenko V, Pospelova H, Onipko V (2025b) Abscisic acid and biopreparations as markers of organic soybean adaptation to hydrothermal stress. Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine 21 (3): 76–95 DOI: 10.31548/dopovidi/3.2025.76

Chaika T, Korotkova I, Shevnikov M, Liashenko V, Horbenko O (2025a) Physiological and biochemical aspects of pre-sowing treatment of soybean (Glycine max L. Merr.) seeds. Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine 21(2): 106–119 DOI: 10.31548/dopovidi/2.2025.106

Chaika TO (2011) Efektyvnist orhanichnoho silskoho hospodarstva v Ukraini [Efficiency of organic farming in Ukraine]. Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy 4: 160–164

Chaika TO (2013a) Rozvytok vyrobnytstva orhanichnoi produktsii v ahrarnomu sektori ekonomiky Ukrainy [Development of organic production in the agricultural sector of Ukraine]: monohrafiia. Donetsk: Knowledzh. 320 p

Chaika TO (2013b) Ekologichni naslidky tradytsiinoho silskoho hospodarstva [Environmental consequences of traditional agriculture]. Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy 3: 95–99 DOI: 10.31210/visnyk2013.03.18

Chaika TO (2025) Vplyv obrobky biopreparatamy riznoi pryrody na fiziolohichni markery stresostiikosti y vrozhainist soi za orhanichnoi systemy zemlerobstva [Effect of

biopreparations of different origin on physiological stress markers and soybean yield under organic farming system]. Modern Technologies and Achievements of Engineering Sciences in the Field of Hydraulic Engineering and Water Engineering 7: 77–82

Chaika TO, Bikbaiev IM (2014) Efektyvnist vyroshchuvannia orhanichnoi soi ta pshenytsi na furazh [Efficiency of organic soybean and wheat cultivation for feed purposes]. Agrarian Bulletin 13(34): 21–23

Chaika TO, Korotkova IV (2025) Vplyv peredposivnoi obrobky nasinnia soi biopreparatamy na vmist fotosyntetychnykh piqhmentiv i vrozhainist za umov nestiikoho zvolozhennia y orhanichnoho zemlerobstva [Effect of pre-sowing treatment of soybean seeds with biopreparations on the content of photosynthetic pigments and yield under unstable moisture conditions and organic farming]. Agrobiology 1: 188–198 DOI: 10.33245/2310-9270-2025-195-1-188-19

Chornolata L (2018) Kormova tsinnist proteinu ta zhyru nasinnia soi [Feed value of soybean seed protein and fat]. Modern livestock farming. https://agro-business.com.ua/agro/suchasne-tvarynnytstvo/item/11332-kormova-tsinnist-proteinu-ta-zhyru-nasinnia-soi.html Accessed 5 Jul 2025

Crowder DW, Reganold JP (2015) Financial competitiveness of organic agriculture on a global scale. Proc Natl Acad Sci USA 112(24): 7611–7616 DOI: 10.1073/pnas.1423674112

EU (2024) EU imports of organic agri-food products: Key developments in 2023. Analytical Brief 4. https://agriculture.ec.europa.eu/document/download/3f8a9f29-8093-4d67-9a26-0655ef1f1cbb_en Accessed 6 Jul 2025

Fess TL, Benedito VA (2018) Organic versus conventional cropping sustainability: A comparative system analysis. Sustainability 10(1): 272 DOI: 10.3390/su10010272

Kazakova IV, Kondratiuk NV (2015) Efektyvnist vyrobnytstva soi ta rozvytok rynku soievykh produktiv v Ukraini i sviti [Efficiency of soybean production and market development of soy products in Ukraine and worldwide]. Efficient Economy, 5. http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4070 Accessed 7 Jul 2025

Kovalenko NP, Pospielova GD, Dziuba YV, Lavrskyi YO (2023) Antybakterialni ta antyfuhalni vlastyvosti efirnoi olii monardy (*Monarda* L.) shchodo dominuiuchykh mikromitsetiv nasinnia soi [Antibacterial and antifugal properties of monarda (*Monarda* L.) essential oil on dominant soybean seed micromycetes]. Scientific Progress & Innovations. 26(3): 63–68 DOI: 10.31210/spi2023.26.03.12

Lipper L, Thornton P, Campbell BM, Baedeker T, Braimoh A, Bwalya M, et al. (2014). Climate-smart agriculture for food security. Nat Clim Chang 4(12): 1068–1072 DOI: 10.1038/nclimate2437

Makovey Yu (2025) Orhanichna soia: ukrainski fermery podvoiuiut eksport v umovakh viiny [Organic soy: Ukrainian farmers double exports during wartime]. https://kurkul.com/spetsproekty/1752-organichna-soya-ukrayinski-fermeri-podvoyuyut-eksport-v-umovah-viyni Accessed 7 Jul 2025

Mashchenko YuV, Sokolovska IM, Zvezdun OM (2024) Yield and economic efficiency of soybean cultivation in different models of short-rotation crop rotations. Sci-Tech Bul IOC. 37: 76-86 DOI: 10.36710/IOC-2024-37-08

Nandi P (2017) Organic soybean market research report by application (crush, food use, feed use) and by region – Market forecast till 2030. 89 p. https://www.marketresearchfuture.com/reports/organic-soybean-market-4208 Accessed 7 Jul 2025

Organic Standard (2025) Catalogue of Ukrainian organic exporters 2025. URL:

https://organicstandard.ua/content/docs/catalogs/catalogue_of_ukrainian_organic_exporters_en.pdf Accessed 5 Jul 2025

Organicinfo (2023) Export of Ukrainian organic products. Top 10 exported products. https://organicinfo.ua/infographics/top10-exported-products-eu-2023/ Accessed 6 Jul 2025

Pisarenko VM, Kovalenko NP, Pospielova GD, Pischalenko MA, Nechyporenko NI, Sherstiuk OL (2020) Modern strategy of integrated plant protection. Bulletin of Poltava State Agrarian Academy 4: 104–111 DOI: 10.31210/visnyk2020.04.12

Poudel S, Pandey P, Thapa S, Shrestha J, Dangol DR (2023) Resilience of soybean cultivars to drought stress during flowering and early-seed setting stages. Sci Rep 13: 1277 DOI: 10.1038/s41598-023-28354-0

ROI Biologicals (2024) Economic benefits of switching to biofertilizers for farmers. https://roibiologicals.com/blog/economic-benefits-switching-to-biofertilizers-farmers/ Accessed 5 Jul 2025

Srour AY, Liu X, Lee YJ, García-Peña EI, Mackie RI (2020) Microbial communities associated with long-term tillage and fertility treatments in a corn–soybean cropping system. Front Microbiol 11: 1363 DOI: 10.3389/fmicb.2020.01363

Thrane M, Paulsen PV, Orcutt MW (2017) Soy protein: Impacts, production, and applications. In: Nadathur SR, Wanasundara JPD, Scanlin L (eds) Sustainable protein sources. Academic Press: 23–45 DOI: 10.1016/B978-0-12-802778-3.00002-0

Tulainova Ye (2024) Ukraina naroshchuie eksport soi na novyi rynok [Ukraine expands soybean export to new market]. Latifundist.com. https://latifundist.com/novosti/65968-ukrayina-naroshchuye-eksport-soyi-na-novij-rinok-u-zhovtni-zagalnij-obsyag-postavok-buv-rekordnim Accessed 7 Jul 2025

USDA (2025) National organic grain and feedstuffs report. https://www.ams.usda.gov/mnreports/lsbnof.pdf Accessed 5 Jul 2025

Wang H, Su G, Shen Z, He X. (2023). Effects of climate and price on soybean production: Empirical analysis based on panel data of 116 prefecture-level Chinese cities. PLoS ONE 18(3):e0273887 DOI: 10.1371/journal.pone.0273887

Zhao G, Zhu X, Zheng G, Meng G, Dong Z, Baek Jh, Jeon CO, Yao Ya, Xuan YH, Zhang J, Jia B (2024). Development of biofertilizers for sustainable agriculture over four decades (1980–2022). Geogr Sustain 5(1): 19–28 DOI: 10.1016/j.geosus.2023.09.006

EFFICIENCY OF BIOPREPARATIONS IN ENHANCING YIELD AND PROFITABILITY OF ORGANIC SOYBEAN UNDER CLIMATE RISK CONDITIONS

T. O. Chaika[1], I. V. Korotkova[2], H. D. Pospielova[2], V. V. Liashenko[2]

[1] Academy of Sciences of Technological Cybernetics of Ukraine
[2] Poltava DepartmentPoltava State Agrarian University

The conditions of global warming and instability in organic product markets pose significant challenges to the agricultural sector of Ukraine, particularly in organic soybean production. With increasing demand from the European Union, which ranks second globally in terms of organic soybean consumption, the issue of improving the crop's yield and profitability becomes highly relevant. Of particular importance is the search for effective agrobiotechnological solutions that can ensure not

only productivity but also stability of organic systems under climate risks. The aim of the study was to assess the impact of biological preparations of different origins (mycorrhizal, bacterial, and phytohormonal) on the yield and profitability of organic soybean cultivation under variable weather conditions during 2022–2024 in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The research was conducted on residual-solonetzic chernozem soil formed on loess parent material, with moderate nitrogen and phosphorus levels and high potassium content. The object of the study was the soybean variety Khorol. Eight treatment schemes were tested, including bacterial inoculants (Profix), mycorrhizal fungi and rhizosphere bacteria (Mycofrend), and a phytohormonal agent (Violar), applied individually and in combination. Yield data were collected from accounting plots of 0.1 ha. Economic efficiency was evaluated using indicators of production costs, gross profit, and profitability, based on the standard methodology for calculating production costs in agriculture. The analysis included profitability modeling under varying price and cost scenarios and the calculation of the coefficient of variation to assess yield stability. The results demonstrated that all treatments with biological preparations outperformed the control in both yield and profitability. The highest average yield (3.23 t/ha) and yield stability (CV = 9.7%) were obtained under the full combination scheme (Profix + Mycofrend + Violar), confirming its resilience to climate stress. This scheme also ensured a profitability level of 369.0%. Even under conditions of increased input costs and reduced market prices, it retained economic advantage, with profitability not falling below 259.5%. The most cost-efficient option for small-scale farms was the application of Mycofrend alone, which resulted in profitability ranging from 315.8% to 343.6%. A strong negative correlation was found between yield level and variability ($r = –0.73$, $p < 0.05$), indicating the strategic relevance of integrated biological stimulation. The findings confirm the competitiveness of the organic model through biological intensification and its high economic viability even under hydrothermal stress conditions. Thus, integrating biological preparations into the organic soybean cultivation system may serve as an effective tool for adapting to climate change and enhancing both food and economic security in agriculture.

Keywords: organic farming, bacterial inoculants, mycorrhizal fungi, phytohormones, profitability, variability, production costs, market prices.