

РОЛЬ БІОПРЕПАРАТІВ У КОМПЕНСАЦІЇ ДЕФІЦИТУ ВЕГЕТАЦІЇ ТА ЕКОНОМІЧНІЙ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІЗНЬОЇ СІВБИ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

В.А. НІКОРИЧ

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
вул. Коцюбинського, 2, Чернівці, 58012
e-mail: v.nikorych@chnu.edu.ua

Метою дослідження було оцінити ефективність комплексного застосування багатофункціональних мікробних біопрепаратів (зокрема «Мікофренд», «Граундфікс» та «Екостерн») для компенсації фізіологічних обмежень та підвищення економічної ефективності озимої пшениці (сорт Патрас DSV) за умов пізнього неоптимального строку сівби (30 жовтня) після сої.

Встановлено, що біологічна інтенсифікація призвела до значного прискорення фенологічного розвитку (колосіння на 7 дів раніше) та покращення морфогенезу (зростання куцистості у 2-4 рази, збільшення кореневої системи на 22%). Комплекс препаратів забезпечив позитивну трансформацію ґрунтового живлення (значне зростання вмісту рухомого фосфору) та зростання біологічної активності ґрунту у 3-5 разів. Зафіксовано біоконтролюючий ефект, що виявився у зниженні ураження грибовими хворобами (жовтою іржею, піренефорозом).

Ключовий висновок полягає у доведенні критичної ролі біодеструктора («Екостерн») у комплексі. У варіанті без нього економічний ефект був від'ємним (-279 грн/га), тоді як комплексне застосування (з деструктором) забезпечило значний позитивний економічний ефект (+1654,56 грн/га), підтверджуючи його необхідність для конвертації біологічної активності в економічний еквівалент.

Ключові слова: Біобазис «Жучка», дерново-борові ґрунти, озима пшениця, пізні строки сівби, мікробні біопрепарати, економічна ефективність, біодеструкція, компенсація стресу, біологічна активність ґрунту, BTU, Мікофренд, Граундфікс, Екостерн

Вступ. Інтенсифікація сільсько-господарського виробництва, що ґрунтується виключно на застосуванні мінеральних добрив і хімічних засобів захисту рослин, досягла своїх екологічних та агрономічних меж, особливо у зернових агроценозах. Масштабні узагальнюючі дослідження свідчать, що подальше зростання врожайності стримується зниженням біологічної активності ґрунту, неефективним використанням поживних елементів та зменшенням стійкості агросистем (Tilman et al., 2002; Foley et al., 2011).

Зазначені обмеження зумовили перехід до біологічно орієнтованих підходів, які акцентують увагу на функціональній ролі ґрунтових мікроорганізмів у кругообігу поживних речовин і пом'якшенні дії абіотичних стресів. У цьому контексті біологічні препарати на основі корисних мікроорганізмів дедалі частіше розглядаються як науково обґрунтований інструмент стабілізації продуктивності культур за умов змінного середовища (Tilman et al., 2002).

Значна частка ґрунтового азоту і фосфору перебуває у формах, недоступних для безпосереднього засвоєння рослинами, що робить мікробно опосередковану мобілізацію поживних елементів критично важливим процесом у агроєкосистемах. Мікроорганізми ризосфери посилюють живлення рослин шляхом біологічної фіксації азоту, солюбілізації неорганічних фосфатів та мінералізації органічних сполук (Vessey, 2003; Richardson et al., 2009).

Для зернових культур, зокрема пшениці, експериментальні дослідження свідчать, що ризобактерії, які стимулюють ріст рослин (PGPR), покращують ранній розвиток кореневої системи та ефективність засвоєння елементів живлення, особливо за субоптимальних умов вирощування (Vessey, 2003). Ці механізми мають особливе значення для озимої пшениці пізніх строків сівби, де швидке укорінення та інтенсивне живлення у скорочений осінній період вегетації є вирішальними чинниками успішної перезимівлі.

Арбускулярні мікоризні гриби (АМГ) є однією з найпоширеніших і еволюційно консервативних форм симбіозу між рослинами та мікроорганізмами. Узагальнюючі наукові огляди підтверджують, що АМГ суттєво розширюють ефективну поглинальну поверхню кореневої системи, що сприяє поліпшенню фосфорного живлення, водозабезпечення та загального трофічного статусу рослин (Brundrett, 2002; Smith & Read, 2008).

Польові дослідження на посівах пшениці засвідчують, що інокуляція АМГ підвищує посухостійкість, покращує фізіологічний стан рослин та сприяє накопиченню біомаси за стресових умов (Al-Karak et al., 2004). Новітні метааналізи додатково підтверджують ключову роль АМГ у регуляції реакцій рослин на абіотичні стреси, зокрема дефіцит вологи та обмежене мінеральне живлення (Wahab et al., 2023). Зазначені ефекти є особливо цінними за пізніх строків сівби, коли функціональна активність кореневої системи має сформуватися у стислі терміни.

Сучасні дослідження акцентують увагу на синергетичних ефектах, що виникають за сумісного застосування PGPR та мікоризних грибів. Показано, що стратегії ко-інокуляції перевершують моноінокуляції, оскільки одночасно посилюють засвоєння поживних речовин, гормональну регуляцію росту та стійкість рослин до стресів (Raklami et al., 2021).

Такі мікробні консорціуми сприяють швидшому формуванню взаємодії «корінь–грунт» і підвищують фізіологічну пластичність рослин на ранніх етапах онтогенезу, що є критично важливим за умов скороченої осінньої вегетації, характерної для пізніх строків сівби. Отримані дані формують механістичне обґрунтування доцільності застосування багатофункціональних біопрепаратів замість однокомпонентних мікробних інокулянтів.

Окрім безпосередніх взаємодій у системі «рослина–мікроорганізм», ґрунтова мікробіота відіграє визначальну роль у процесах розкладання поживних решток та стабілізації органічного вуглецю в ґрунті. Експериментальні дослідження свідчать, що грибні мікробні шляхи більш ефективно сприяють довготривалому секвеструванню вуглецю, тоді як бактеріальні угруповання прискорюють мінералізацію решток і вивільнення поживних елементів (Six et al., 2006).

Ефективна деструкція рослинних решток покращує агрофізичні властивості ґрунту, знижує фітосанітарні ризики та створює сприятливі умови для росту кореневої системи, опосередковано підтримуючи ранній розвиток

культур. Ці процеси мають особливе значення у зернових сівозмінах, де перед сівбою озимої пшениці у ґрунті накопичуються значні обсяги післяжнивних решток.

Пізня сівба озимої пшениці дедалі частіше застосовується як адаптивна відповідь на кліматичну мінливість, однак вона супроводжується зменшенням кущіння, обмеженим накопиченням вуглеводів і недостатнім розвитком кореневої системи до настання зимового спокою. Фізіологічні дослідження визначають функціональну спроможність кореневої системи та рівень запасання асимілянтів як ключові чинники зимостійкості та формування потенціалу врожайності (Reynolds et al., 2009).

Узагальнення наведених джерел свідчить, що біологічно орієнтовані втручання – через посилену мобілізацію поживних елементів, прискорений розвиток кореневої системи, формування мікоризного симбіозу та активізацію ґрунтової біоти – здатні частково компенсувати фізіологічні обмеження, зумовлені пізніми строками сівби. Таким чином, мікробні біопрепарати є науково обґрунтованим елементом адаптивних технологій вирощування озимої пшениці.

Матеріали та методи. Польовий експеримент проводився на дослідних ділянках біобазису «Жучка» Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Об'єктом дослідження була озима пшениця сорту Патрас DSV. Це інтенсивний, високопродуктивний сорт, що характеризується високою зимостійкістю, але є вимогливим до умов живлення.

Дослідження було спрямоване на оцінку можливості компенсації дефіциту осінньої вегетації за умов пізнього строку посіву шляхом біологічної інтенсифікації. Попередником була соя. Незважаючи на те, що соя, як бобова культура, збагачує ґрунт азотом та покращує його структуру, вона залишає значну кількість поживних решток, які, особливо при пізньому посіві, можуть негативно впливати на прогрівання ґрунту та проростання насіння.

Експеримент проводився на дерновому боровому ґрунті, детальна характеристика якого наведена у статті Нікорич В. А. та ін. (2025).

Польовий дослід був закладений у чотирикратній повторності (рис. 1).

Польовий експеримент, закладений за схемою повністю рандомізованого дизайну (Completely Randomized Design, CRD) з одним фактором та чотирикратною повторністю. Логіка дослідження полягала у порівнянні базової технології (Контроль) з двома моделями біологічної інтенсифікації, які відрізнялися компонентом

обробки ґрунту/поживних решток. Насіння усіх дослідних варіантів (А та Б), на відміну від

Контролю, було оброблено препаратом «Мікофренд» – мікоризовмісним препаратом.

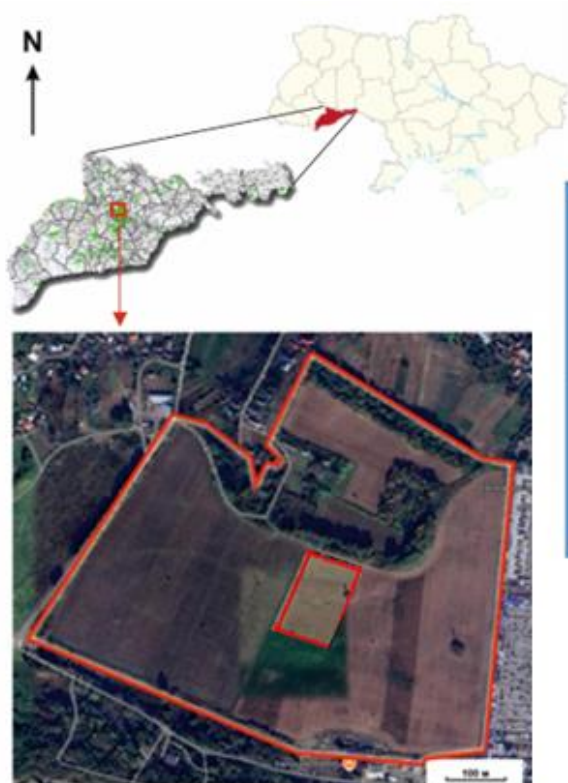


Рис. 1. Географічне розташування та план розміщення варіантів польового дослідження на території біобазису «Жучка»



Загальна площа експерименту: 1,5876 га
Довжина варіанту: 165,40 м (2 x 82,7 м)
Ширина варіанту: 32 м (2 x 16 м)
Кількість повторень кожного варіанту: 4
Ширина буферних смуг між варіантами: 1 м

Fig. 1. Geographical location and layout plan of field experiment variants on the territory of "Zhuchka" bio-base

Цей крок був необхідний для стимуляції формування симбіозу ендомікоризних грибів (роду *Glomus*), що є критичним для посилення абсорбції фосфору та підвищення стійкості молодих рослин.

Варіант А був додатково оброблений «Граундфікс» (доза 3 л/га), комплексним біопрепаратом, внесеним позакоренево. «Граундфікс» забезпечує мобілізацію малодоступних форм фосфору та калію. Варіант Б був найбільш комплексним: крім обробки «Мікофренд» та «Граундфікс» (доза 3 л/га), ґрунт додатково оброблявся препаратом «Екостерн» (доза 2 л/га).

Цей біодеструктор застосовувався для прискореної мінералізації поживних решток сої, що мало покращити умови для проростання насіння та стартового розвитку рослин. Таким чином, Варіант Б перевіряв гіпотезу про максимальну ефективність повної біологічної компенсації дефіциту вегетаційного часу. Приймаючи до уваги, що осінній вегетаційний період в останні роки демонструє стійку тенденцію до аномально високої тривалості, помірно вологості та вищої теплозабезпеченості,

що відхиляється від багаторічних кліматичних флуктуацій, основний акцент дослідження був перенесений з адаптації до стресу, саме на компенсацію дефіциту часу для осіннього розвитку в умовах нових погодних циклів.

Передпосівну обробку насіння проводили обприскуванням робочим розчином насіння, у день висіву, за 1-2 год до процедури. Обробка насіння проводилася у приміщенні, захищеному від прямих сонячних променів, а внесення рідких біопрепаратів у ґрунт здійснювалося у вечірній час з негайною заробкою в ґрунт. Це було критично важливо для мінімізації згубної дії ультрафіолетового випромінювання на життєздатність мікроорганізмів, що входять до складу препаратів (рис. 2.).

Оброблене насіння висівали після не довгого просушування в затіненому місці до сипучого стану, попередньо настроївши висівні апарати сівалки СЗУ-3,6 на робочу норму.

Зразки для лабораторних аналізів відбиралися (ДСТУ ISO 10381-1:2004) та готувалися (ДСТУ ISO 11464:2007) за загальноприйнятими методиками. У відібраних пробах, в трикратній повторності визначали рН водної витяжки

(ДСТУ ISO 10390:2007), загальний вміст гумусу за методом Тюріна в модифікації Симакова (ДСТУ 4289:2004), рухомий фосфор та обмінний

калій за Мачигінім (ДСТУ 4114-2002), а також лужногідролізований азот за Корнфілдом (ДСТУ 7863:2015).



Рис. 2. Обробка насіння та вечірнє внесення біопрепаратів



Fig. 2. Seed treatment and evening application of bioproducts

Для оцінки загальної біологічної активності ґрунту використовували напівкількісний експрес-метод, що базується на стимуляції мікробіологічних процесів шляхом внесення легкодоступного джерела карбону та реєстрації інтенсивності амоніфікації в герметичному просторі. Метод широко застосовується в ґрунтово-біологічних дослідженнях як індикатор загальної мікробної активності. Слід зазначити, що використаний експрес-метод дозволяє оцінювати відносні зміни біологічної активності між варіантами досліду, але не претендує на абсолютну кількісну характеристику мікробного дихання чи ферментативної активності. Крім того, застосовувався метод зважування для оцінки інтенсивності розкладу органічного субстрату.

Польові обліки включали визначення схожості, перезимівлі, життєздатності, а також детальний аналіз морфометричних показників (висота, діаметр стебла, довжина колоса, індекс кущистості) протягом ключових фаз органогенезу. Проводився постійний фітосанітарний моніторинг: облік забур'яненості (за 5-бальною шкалою), фіксація шкідників та діагностика хвороб.

Облік врожайності проводився шляхом прямого збору з облікових ділянок з подальшим перерахунком на стандартну 100 % чистоту та 14 % вологість, після чого здійснювався структурний аналіз врожаю.

Отримані експериментальні дані були опрацьовані методами описової статистики з розрахунком середнього арифметичного значення ($\bar{x}$) та стандартного відхилення (SD). Для порівняльної оцінки варіантів аналізували відносні зміни показників порівняно з контролем (%).

Результати та їх обговорення. 1. *Зміна фізико-хімічних та агрохімічних показників ґрунту під час польового експерименту.* У зв'язку з нетиповими для регіону строками посіву озимої пшениці, що були зумовлені пізнім збором попередника (сої) та необхідністю компенсації дефіциту осінньої вегетації, критично важливим було проведення вхідного контролю агрохімічних параметрів дослідної ділянки. Аналіз дернового бороного ґрунту перед початком експерименту (табл. 1) дозволив встановити його початкові властивості.

Досліджуваний ґрунт характеризувався дуже низькою гумусованістю (1,28-1,29%) у всіх варіантах досліду, що відповідає генетичній природі алювіальних ґрунтів. Такий низький вміст гумусу створював оптимальні умови для чіткої фіксації потенційного впливу біологічних препаратів на гумусоаккумулятивний потенціал мікробіоценозу. Актуальна кислотність коливалася в межах 7,58–7,65, що відповідає слабколужному середовищу. Це значення є типовим для алювіальних ґрунтів регіону і пов'язане з високою твердістю річкових вод Буковини, які впливають на карбонатний баланс ґрунтового розчину.

Вхідний контроль макроелементів показав дуже низьку забезпеченість на лужногідролізований азот та низьку забезпеченість на рухомий фосфор, що свідчило про значний дефіцит цих біогенних елементів у системі "ґрунт-рослина" на початковому етапі. Водночас, вміст обмінного калію був підвищеним. Така висока початкова концентрація майже унеможливила виявлення значущого позитивного впливу мобілізуючої мікрофлори безпосередньо на вміст обмінного калію у початковій фазі вегетації.

Таблиця 1.

Фізико-хімічні та агрохімічні властивості ґрунту до початку експерименту

Table 1.

Physico-chemical and agrochemical properties of the soil before the start of the experiment

Варіант	Повторення	Вміст гумусу, %	pH вод.	Лужногідролізований азот, мг/кг	Рухомий фосфор, мг/кг	Обмінний калій, мг/кг
А	1	1,26	7,7	52,8	52,1	91,2
	2	1,29	7,6	51,6	49,8	90,6
	3	1,28	7,6	53,1	49,6	95,4
	4	1,28	7,4	49,2	51,3	93,5
середнє		1,28	7,58	51,7	50,7	92,7
стандартне відхилення		0,013	0,126	1,773	1,203	2,205
коефіцієнт варіації		0,98%	1,66%	3,43%	2,37%	2,38%
градації		дуже низький	сп.лужний	дуже низький	низький	підвищений
Б	1	1,27	7,6	54,2	48,9	92,5
	2	1,31	7,7	52,1	51,2	91,8
	3	1,27	7,6	54,1	52,3	94,2
	4	1,29	7,7	51,2	49,3	99,8
середнє		1,29	7,65	52,9	50,4	94,6
стандартне відхилення		0,019	0,058	1,490	1,603	3,626
коефіцієнт варіації		1,49%	0,75%	2,82%	3,18%	3,83%
градації		дуже низький	сп.лужний	дуже низький	низький	підвищений
К	1	1,26	7,7	48,7	51,2	88,7
	2	1,28	7,7	52,6	47,2	95,4
	3	1,26	7,3	54,1	49,6	94,7
	4	1,31	7,5	48,7	49,6	92,5
середнє		1,28	7,55	51,0	49,4	92,8
стандартне відхилення		0,024	0,191	2,754	1,649	3,015
коефіцієнт варіації		1,85%	2,54%	5,40%	3,34%	3,25%
градації		дуже низький	сп.лужний	дуже низький	низький	підвищений

Аналіз ґрунтових зразків, відібраних у фазі колосіння озимої пшениці (ВВСН 51-59), показав значну динаміку агрохімічних показників, особливо у варіантах із застосуванням біологічних препаратів (табл. 2).

Вміст гумусу залишився у діапазоні дуже низького забезпечення, проте у варіантах А та Б відмічена позитивна тенденція до його збільшення. Збільшення абсолютного показника, хоч і знаходиться в межах аналітичної похибки, може слугувати початковим свідченням акумуляції специфічної органічної речовини, ймовірно, індукованої роботою мікроорганізмів, включно з біодеструкторами (у Варіанті Б). Мінімальні зміни актуальної кислотності свідчать про відносну стабільність ґрунтового середовища, незважаючи на активні процеси мінералізації та акумуляції, індуковані внесеними біопрепаратами.

У варіантах із біопрепаратами вміст лужногідролізованого азоту збільшився майже вдвічі, тоді як у Контролі значення залишалося стабільним. Це виражений ефект свідчить про стимулюючий вплив біопрепаратів на процеси амоніфікації. Однак, згідно з градаціями вмісту, абсолютні значення залишалися в зоні дуже

низького забезпечення. Це вказує на те, що вплив біопрепаратів у даному випадку має повільний акумулятивний характер.

Рухомий фосфор продемонстрував максимальну динаміку зростання. Забезпеченість ґрунту на цей елемент зросла з низьких до підвищених значень. Це є незворотнім та швидким ефектом, що підтверджує ефективність застосованої технології. Зростання вмісту рухомих форм фосфору пояснюється високою фосфатмобілізуючою активністю мікроорганізмів, зокрема бактерій роду *Bacillus* та мікоризоутворювачів (Мікофренд), які входили до складу всіх застосованих препаратів.

У фазі колосіння, коли потреба рослин у калії (для формування генеративних органів) є максимальною, у Контролі відмічено падіння вмісту калію до середнього забезпечення. Натомість, в обох дослідних варіантах вміст обмінного калію залишився на високому рівні. Ця ситуація є прямим свідченням того, що біологічна мобілізація калію за допомогою мікрофлори забезпечила достатній доступний рівень цього макроелементу для рослин у період критичного споживання.

Таблиця 2.

Фізико-хімічні та агрохімічні властивості ґрунту у фазі колосіння озимої пшениці (BBCH 51-59)

Table 2.

Soil physico-chemical and agrochemical properties at the winter wheat heading stage (BBCH 51-59)

Варіант	Повторення	Вміст гумусу, %	pH вод.	Лужногідролізований азот, мг/кг	Рухомий фосфор, мг/кг	Обмінний калій, мг/кг
А	1	1,36	7,5	68,1	102	164
	2	1,31	7,1	69,4	106	135
	3	1,33	7,2	67,9	111	154
	4	1,34	7,2	71,5	99,2	161
середнє		1,34	7,25	69,2	104,6	153,5
стандартне відхилення		0,021	0,173	1,656	5,126	13,026
коефіцієнт варіації		1,56%	2,39%	2,39%	4,90%	8,49%
градації		дуже низький	сл.лужний	дуже низький	підвищений	високий
Б	1	1,45	7,2	98,5	103	99,2
	2	1,49	6,8	96,2	112	113
	3	1,33	7,1	99,5	124	111
	4	1,39	7,3	102	101	141
середнє		1,42	7,10	99,1	110,0	116,1
стандартне відхилення		0,070	0,216	2,403	10,488	17,713
коефіцієнт варіації		4,95%	3,04%	2,43%	9,53%	15,26%
градації		дуже низький	сл.лужний	дуже низький	підвищений	високий
К	1	1,25	7,8	44,2	48,1	78,2
	2	1,29	7,2	48,8	41,2	68,4
	3	1,32	7,6	51,2	44,5	69,2
	4	1,31	7,6	51,4	47,2	81,2
середнє		1,29	7,55	48,9	45,3	74,3
стандартне відхилення		0,031	0,252	3,349	3,103	6,420
коефіцієнт варіації		2,40%	3,33%	6,85%	6,86%	8,65%
градації		дуже низький	сл.лужний	дуже низький	низький	середній

2. Динаміка біологічної активності ґрунту. Біологічна активність є критичним показником родючості ґрунтів, оскільки вона інтегрально характеризує якісний і кількісний склад мікроорганізмів, активність ферментів та здатність ґрунту забезпечувати рослини елементами живлення. Азотні мінералізаційно-імобілізаційні процеси у ґрунті мають циклічний характер, відбиваючи динамічну рівновагу між перетворенням азоту субстрату з органічної в неорганічну форму (мінералізація) та назад (асиміляція). Інтенсифікація цих мікробіологічних процесів, зокрема внесенням мінеральних, органічних добрив або використанням післяжнивних рослинних решток, може до певного рівня підсилювати мінералізацію, що асоційовано із підвищенням продуктивності агроценозу. Однак, надмірна активність може призвести до небажаної швидкої мінералізації гумусу та зростання непродуктивних втрат азоту через денітрифікацію і вимивання нітратів.

Аналіз даних показав, що у варіантах дослідів із застосуванням біопрепаратів суттєво зросла біологічна активність ґрунту (табл. 3).

У Варіанті А швидкість виділення аміаку прискорилося майже в три рази за період від листопада до травня, що прямо свідчить про трикратне зростання амоніфікаційної здатності. Активність зростала відносно рівномірно протягом сезону. Варіант Б продемонстрував потужніше зростання біологічної активності. У порівнянні з Варіантом А. Біологічна активність в цьому варіанті була на 25-40% вищою, а порівняно з Контролем – у 3-5 разів вищою. У Контролі (К) у листопаді та березні процес синтезу та виділення аміаку був найповільнішим.

Особливе зростання активності у Варіанті Б значною мірою пояснюється роботою біодеструктора. Саме у цьому варіанті була зафіксована максимальна швидкість розкладу органічних решток попередника (сої). Візуальний аналіз підтвердив цей висновок (рис. 4).

Вже через 20 діб після початку експерименту, незважаючи на відносно низькі температури листопада, пожнивні рештки сої у Варіанті Б втратили природний колір, почорніли та отримали специфічний «прілий» запах, що є ознакою інтенсивної деструкції.

Таблиця 3.

Динаміка біологічної активності (експрес-тест) за досліджуваний період

Table 3.

Dynamics of soil biological activity (ammonification capacity test) during the study period

Період	Швидкість зростання лужності повітряного середовища (в год) до значень рН:							
Варіант	7,5	±Sx	8	±Sx	8,5	±Sx	9	±Sx
листопад								
А	10	2	25	3	85	10	152	12
Б	8	2	24	5	68	8	100	8
К	12	3	34	5	125	12	не досяг.	0
березень								
А	11	1	26	3	56	11	123	11
Б	7	2	20	3	48	12	98	2
К	10	2	28	6	101	9	не досяг.	0
квітень								
А	5	1	12	2	45	12	101	5
Б	3	1	11	2	34	10	56	7
К	9	3	27	9	90	15	245	32
травень								
А	2	1	7	1	19	4	45	2
Б	2	1	5	1	15	3	32	4
К	8	2	20	6	65	15	156	24
червень								
А	3	1	12	2	23	2	65	4
Б	7	2	10	1	20	2	49	5
К	10	5	30	2	102	10	150	25



Рис. 4. Візуалізація впливу деструкторів на розклад пожнивного матеріалу у варіантах польового дослідження

Fig. 4. Visualization of the destructors' effect on the decomposition of post-harvest material in the field experiment variants

Через сім місяців експерименту (до фази колосіння озимої пшениці), поверхня ґрунту у Варіанті Б була повністю звільнена від пожнивних решток. У Контролі деградація була значно повільнішою.

Отже, використання біологічних препаратів призвело до 2–5 кратного зростання амоніфікаційної здатності та загальної біологічної активності ґрунту, забезпечивши повний розклад мортмаси попередника (сої) за період у 7 місяців. Найвищий синергетичний ефект досягнуто при комплексному застосуванні «Мікофренд», «Граундфікс» та біодеградатора «Екостерн» (Варіант Б).

3. Вплив досліджуваних препаратів на озиму пшеницю та здоров'я посівів.

Дослідний посів озимої пшениці сорту Патрас DSV було проведено в пізні неоптимальні строки (30 жовтня), що зумовлювало високі агрономічні ризики. Ця ризикованість була посилена несприятливими кліматичними умовами кінця осіннього періоду: гострим дефіцитом атмосферних опадів та поступовим зниженням середньодобових температур. Єдиним джерелом

вологи, доступної для проростання, була конденсаційна волога (туман), що ускладнювало процес проростання. Як результат, осіннє кушіння не відбулося. Сходи з'явилися лише в лютому ("лютневі сонячні вікна") за умов поновлення вегетації. Відповідно, усі морфометричні заміри та спостереження за фенологічними фазами розвитку рослин розпочалися лише з настанням весняної вегетації.

Оцінка морфометричних показників з початком весняної вегетації підтвердила стимулюючий вплив біопрепаратів:

Весняне кушіння та коренева система. На період активного кушіння рослини у варіантах досліді (А та Б) демонстрували показники кущистості у 2–4 рази вищі порівняно з контролем (рис. 5). Довжина корневих систем у контрольному варіанті була на 22 % меншою порівняно з варіантами, де застосовувалися біопрепарати. Візуально, колір листової поверхні у варіантах з біопрепаратами був інтенсивніше профарбований у зелений, що корелює з ефективнішим живленням.



Рис. 5. Візуалізація впливу деградаторів на розклад пожнивного матеріалу у варіантах польового досліді

Fig. 5. Visualization of the destructors' effect on the decomposition of post-harvest material in the field experiment variants

Фенологія. Було зафіксовано прискорення фенологічного розвитку. Вихід у трубку розпочався на 3–4 доби раніше, а колосіння – на 7 діб раніше у варіантах А та Б, порівняно з Контролем.

Структура врожая. Середні морфометричні показники у варіантах досліді переважали контрольні на 20%. Це стосувалося довжини колоса та діаметру стебла. Хоча довжина колоса є сильно залежною від сортових ознак, у контрольному варіанті колос був менш щільний

(зі значними проміжками між колосками), тоді як у дослідних варіантах колос був щільнішим. Це вказує на краще формування елементів продуктивності в межах одного генотипу, оскільки щільність колоса є більш надійним показником потенційної продуктивності, ніж його абсолютна довжина.

Контроль бур'янів та шкідників. Обстеження посівів показало, що забур'яненість (переважно злаковими бур'янами) та ступінь ураження шкідниками (клоп шкідлива черепашка, щитник

гостроплечий, зеленоочка хлібна) у середньому дорівнювали 3 балам і не мали чіткої залежності від варіанту досліду (контроль vs. біопрепарати). Це свідчить про те, що внесення біологічних препаратів не вплинуло на інвазивність бур'янів та поширення макрофауни шкідників.

Контроль хвороб. На відміну від шкідників та бур'янів, було виявлено чітку залежність між варіантом досліду та проявом грибкових хвороб (рис. 6).

Найбільший прояв жовтої іржі (*Puccinia striiformis*) та піренефорозу (*Pyrenophora tritici-repentis*) було зафіксовано у Контрольному варіанті. Тут кількість уражених рослин на 1 м² сягала 25 та 32 відповідно, тоді як у дослідних варіантах із біопрепаратами рівень захворюваності був статистично нижчим.

4. Економічна ефективність біологічних препаратів на пізніх посівах озимої пшениці

Сучасний розвиток фітопатології характеризується посиленням прогресивного напрямку, сфокусованого на оздоровленні рослин та підвищенні їх хворобостійкості через використання біопрепаратів і регуляторів росту. Інтегровані системи захисту, що включають економічно доцільні й екологічно безпечні біологічні методи, є складовою частиною біологічного землеробства, спрямованого на зниження негативного впливу хімізації та підвищення родючості ґрунтів. На відміну від пестицидів хімічного синтезу, біологічні засоби викликають позитивні якісні та кількісні зміни серед компонентів ґрунтової біоти, посилюючи імунітет рослин та сприяючи реалізації їхнього генетичного потенціалу.

Аналіз економічної ефективності експерименту (таблиця 4) дозволив кількісно оцінити доцільність застосування різних комбінацій біологічних препаратів в умовах пізнього посіву та підвищеного фітосанітарного ризику.

Як показано в таблиці 4, економічний результат суттєво залежав від складу внесених препаратів:

- Варіант А (тільки мікоризоутворювач та мобілізатор) показав від'ємний баланс економічного ефекту (-279 грн/га) порівняно з Контролем. Це вказує на те, що додаткова вартість препаратів не була компенсована збільшенням урожайності, отриманим лише від мобілізуючої та мікоризоутворюючої дії.
- Варіант Б (комплексне застосування з додаванням біодеструктора «Екостерн» продемонстрував значний позитивний економічний ефект у розмірі 1654,56 грн/га порівняно з Контролем.

Сукупна гектарна вартість препаратів у Варіанті Б (2088 грн) незначно перевищувала вартість у Варіанті А (1935 грн). Однак, при перерахунку на кінцеву врожайність (за ціною на момент дослідження 5520 грн/т), різниця між двома дослідними варіантами (А та Б) склала понад 2000 грн., що є вагомою сумою, яку не можна ігнорувати.

Результати доводять, що за умов пізнього посіву та великої кількості пожнивних решток, для досягнення економічної ефективності недостатньо обмежуватися лише мікоризоутворювачами та мікробіологічними мобілізаторами.

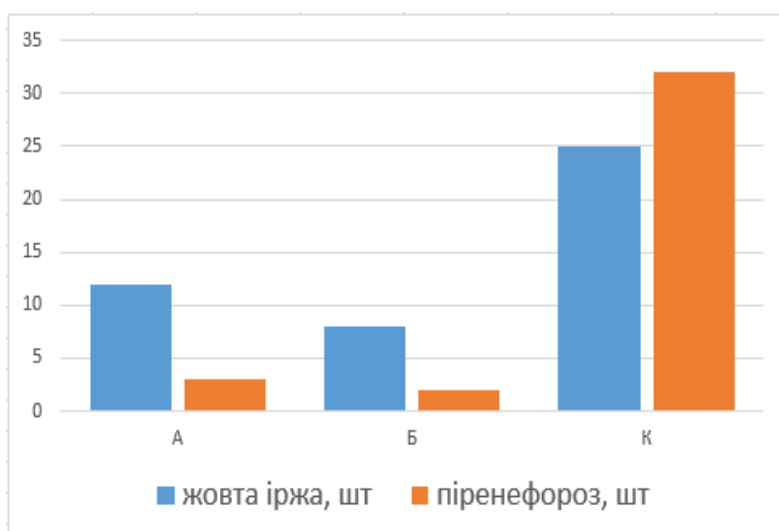


Рис. 6. Захворювання, виявлені в експериментальних посівах

Fig.6. Diseases detected in the experimental wheat crops

Таблиця 4

**Економічний ефект використання біопрепаратів
(ціни вказані на момент проведення досліджень)**

Table 4.

Economic effect of using bioproducts (Prices are indicated at the time of the research).

Варіант	Площа, га	Фактична урожайність, т/га	Прибавка, т/га	Сукупна гектарна вартість препаратів, грн	Вартість врожаю при ціні 5520 грн/т	Економічний ефект в порівнянні з контролем, грн/га
А	0,5292	3,212	0,30	1935,00	17730,24	-279,00
Б	0,5292	3,590	0,68	2088,00	19816,80	1654,56
К	0,5292	2,912			16074,24	

	Гектарна вартість препаратів, грн	Вартість препаратів на варіант, грн
Граундфікс	585	309,58
Екостерн	153	80,97
Мікофренд	1350	714,42

Сукупна вартість на варіант А, грн	Сукупна вартість на варіант А, грн
1024,00	1104,97

Обов'язкове додавання біодеструктора є критично важливим, оскільки це розкриває прихований потенціал ґрунтової мікробіоти, забезпечуючи швидку мінералізацію решток, покращуючи живлення та, як наслідок, трансформуючи біологічну активність у чіткий економічний еквівалент.

Висновок. Встановлено, що комплексне застосування біологічних препаратів («Мікофренд», «Граундфікс» та «Екостерн») ефективно компенсувало фізіологічні обмеження, спричинені пізнім посівом. Це проявилось у прискореному фенологічному розвитку: вихід у трубку розпочався на 3-4 доби раніше, а колосіння – на 7 діб раніше порівняно з Контролем.

Діагностовано, що біопрепарати забезпечили інтенсивний весняний розвиток. У дослідних варіантах зафіксовано зростання показника кущистості у 2-4 рази та збільшення довжини кореневої системи на 22 % порівняно з Контролем. Середні морфометричні показники рослин (довжина колоса, діаметр стебла) у дослідних варіантах переважали Контроль на 20 %, підтверджуючи краще формування елементів продуктивності.

Виявлена позитивна трансформація ґрунтового живлення. Зафіксовано значне зростання вмісту рухомого фосфору (перехід від низької до підвищеної забезпеченості), а також ефективну біологічну мобілізацію азоту (зростання лужногідролізованого азоту майже вдвічі) та калію (збереження високого рівня обмінного калію), що є прямим наслідком мобілізуючої активності мікроорганізмів у період критичного споживання.

Застосування біопрепаратів призвело до зростання біологічної активності ґрунту у 3-5 разів (Варіант Б) порівняно з Контролем. Водночас виявлено чітку залежність між застосуванням біопрепаратів та здоров'ям посівів: прояв жовтої іржі та піренефорозу був статистично нижчим порівняно з Контролем.

Встановлено, що для досягнення економічної ефективності за умов великої кількості поживних решток, обов'язкове включення біодеструктора «Екостерн» є критично важливим елементом технології. Саме його додавання до комплексу трансформувало високу біологічну активність у чіткий позитивний економічний еквівалент, тоді як без нього був отриманий від'ємний баланс.

Подяки. Автор висловлює глибоку вдячність українській біотехнологічній компанії «ВТУ», що виробляє мікробні та ферментні препарати для сільського господарства за надання біологічних препаратів («Мікофренд», «Граундфікс», «Екостерн») для проведення польового експерименту.

Автор відзначає цей крок як принципово правильний та стратегічно важливий для бізнесу, що демонструє відкритість компанії до незалежної наукової верифікації своїх продуктів. Співпраця між бізнесом і наукою у сфері біотехнологій є ключовим фактором прискорення інновацій та впровадження екологічно стійких рішень в аграрний сектор.

Дане дослідження було проведено незалежно, без будь-якої грантової чи прямої фінансової підтримки з боку компанії-постачальника або третіх сторін. Відсутність фінансових зобов'язань унеможливила навіть гіпотетичну

необ'єктивність при отриманні, аналізі та інтерпретації результатів, гарантуючи

цілковиту достовірність представлених висновків.

Список літератури / References:

1. Al-Karaki, G. N., McMichael, B., & Zak, J. (2004). Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza*, 14(4), 263–269. <https://doi.org/10.1007/s00572-003-0265-2>
2. Brundrett, M. C. (2002). Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytologist*, 154(2), 275–304. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00397.x>
3. Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., et al. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478, 337–342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
4. Raklami, A., Bechtaoui, N., Tahiri, A., et al. (2021). Co-inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria and mycorrhizae improves wheat yield. *Frontiers in Agronomy*, 3, 734923. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.734923>
5. Reynolds, M., Foulkes, M. J., Slafer, G. A., et al. (2009). Raising yield potential in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60(7), 1899–1918. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp016>
6. Richardson, A. E., Barea, J. M., McNeill, A. M., & Prigent-Combaret, C. (2009). Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere. *Plant and Soil*, 321, 305–339. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9895-2>
7. Six, J., Frey, S. D., Thiet, R. K., & Batten, K. M. (2006). Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2), 555–569. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0347>
8. Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (3rd ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6>
9. Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418, 671–677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
10. Wahab, A., et al. (2023). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in regulating plant growth under abiotic stress. *Plants*, 12(17), 3102. <https://doi.org/10.3390/plants12173102>
11. Нікорич В.А., Цвик Т.І., Гуцул Т.В., Демид І.Е. (2025). Дерново-борові ґрунти першої надзаплавної тераси річки прут (на прикладі біобазис "жучка"): морфологія, властивості та таксономія. Науковий вісник Чернівецького університету. Біологія (Біологічні системи), 17(1), 189–198. <https://doi.org/10.31861/biosystems2025.01.189>
12. ДСТУ 4114-2002 Якість ґрунту. Визначення рухомих сполук фосфору і калію (метод Мачигіна).
13. ДСТУ ISO 10381-1:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. Програми відбирання.
14. ДСТУ ISO 10390:2007 Якість ґрунту. Визначення рН ґрунту.
15. ДСТУ ISO 11464:2007 Якість ґрунту. Попереднє оброблення зразків для фізико-хімічного аналізу.
16. ДСТУ 4289:2004 Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини в ґрунті.
17. ДСТУ 7863:2015 Якість ґрунту. Визначення легкогідролізного азоту (метод Корнфілда).

THE ROLE OF BIOPREPARATIONS IN COMPENSATING FOR VEGETATION DEFICIT AND THE ECONOMIC EFFICIENCY OF LATE SOWING OF WINTER WHEAT

V.A. Nikorych

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University
Kotsyubynskoho str. 2, Chernivtsi, 58012
e-mail: v.nikorych@chnu.edu.ua

The aim of the study was to evaluate the effectiveness of the integrated application of multifunctional microbial biopreparations (in particular Mycofriend, Groundfix, and Ecostern) in compensating for physiological limitations and improving the economic efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L., cultivar Patras DSV) under conditions of late, suboptimal sowing (30 October) following soybean.

It was established that biological intensification resulted in a significant acceleration of phenological development (heading occurring 7 days earlier) and an improvement in morphogenesis (a 2–4-fold increase in tillering and a 22% increase in root system development). The applied biopreparation complex ensured a positive transformation of soil nutrition (a significant increase in the content of available phosphorus) and a 3–5-fold increase in soil biological activity. A biocontrol effect was also recorded, manifested in a reduced incidence of fungal diseases (yellow rust and *Pyrenophora* leaf spot).

The key conclusion is the demonstrated critical role of the biodecomposer (Ecostern) within the complex. In the treatment without this component, the economic effect was negative (–279 UAH/ha), whereas the integrated application

(with the biodecomposer) provided a substantial positive economic effect (+1,654.56 UAH/ha), confirming its necessity for converting biological activity into an economic equivalent.

Keywords: "Zhuchka" field station, Calcaric Fluvisols, winter wheat, late sowing dates, microbial biopreparations, economic efficiency, biodecomposition, stress compensation, soil biological activity, BTU, Mycofriend, Groundfix, Ecostern.

Отримано редколегією 21.10.2025 р.

ORCID ID

Володимир Нікорич: <https://orcid.org/0000-0001-5006-4027>