УДК 631.147:631.8:633.15
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-16

Пустова З. В.
кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри хімії, екології і загальнобіологічних дисциплін,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
***E-mail:** zoyapustova@gmail.com*
***ORCID:** 0000-0003-3511-5054*

Пустова Н. В.
кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри технології виробництва продукції тваринництва та кінології,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
***E-mail:** pustova.n.v@gmail.com*
***ORCID:** 0000-0003-3184-6378*

Заходим М. В.
доктор економічних наук,
доцент кафедри економіки, підприємництва, торгівлі та біржової діяльності,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
***E-mail:** mzahodym@pdatu.edu.ua*
***ORCID:** 0000-0003-0010-8006*

Кучер О. В.
кандидат економічних наук,
доцент кафедри енергозберігаючих технологій та енергетичного менеджменту,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
***E-mail:** kucheroleg68@gmail.com*
***ORCID:** 0000-0002-2086-5971*

Петращук Д. В.
студент 2 курсу ОС «Магістр» спеціальності Н1 «Агрономія»,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
***E-mail:** denispetrasuk2@gmail.com*
***ORCID:** 0009-0006-0690-8265*

АГРОЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ РОСТУ, РОЗВИТКУ, ПРОДУКТИВНОСТІ ОРГАНІЧНОЇ КУКУРУДЗИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МІКОРИЗОУТВОРЮЮЧОГО БІОПРЕПАРАТУ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Анотація

Концепція сталого розвитку в екологічному землеробстві ґрунтується на інтеграції економічних, природоохоронних та соціальних аспектів, що сприяють тривалому функціонуванню агроекосистем без деградації довкілля. Вона орієнтована на раціональне використання ґрунтових і водних ресурсів, збереження біологічного різноманіття та підтримання екологічної стабільності, що гарантує продовольчу безпеку нинішніх і прийдешніх поколінь.

Стаття присвячена органічному вирощуванню продукції, що є ключовим напрямом екологізації агровиробництва, яке передбачає зниження хімічного навантаження на довкілля та збереження природних ресурсів. Перехід до сталих методів ведення сільського господарства сприяє підвищенню якості продукції, зменшенню забруднення і забезпеченню гармонії між економічними та екологічними чинниками.

© Пустова З. В., Пустова Н. В., Заходим М. В., Кучер О. В., Петращук Д. В., 2026
pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

Вирощування кукурудзи як стратегічної культури потребує поглибленого аналізу процесів росту, розвитку та формування продуктивності залежно від застосування біологічних добрив і мікоризоутворюючих біопрепаратів. Проведене дослідження, що вперше здійснене у даному регіоні, відзначається високою науковою новизною, актуальністю та виробничою значущістю. Практичне значення результатів полягає у визначенні оптимальних параметрів росту та розвитку кукурудзи, встановленні закономірностей їх взаємозв'язку та окресленні шляхів регулювання продуктивності за допомогою агротехнічних прийомів.

Охарактеризовано екологічну збалансованість технологічних прийомів вирощування органічної кукурудзи та збереження ґрунтових ресурсів. Для одержання високої і сталої урожайності (11 т/га) при застосуванні екологічно збалансованих прийомів вирощування гібриду кукурудзи ДС0479Б (Dow Seeds) ФАО 250 з високими економічними показниками в умовах фермерського господарства «Ясенівка-2005» Хмельницького району Хмельницької області на ґрунтах чорноземах типових необхідно застосовувати обробку насіння мікоризоутворюючим біопрепаратом Mycofriend на фоні добрив NPK 20:10:20.

Ключові слова: *органічна продукція, мікроорганізми, агроекологія, сталий розвиток.*

Вступ. Сталий розвиток у сфері екологічного землеробства ґрунтується на інтеграції економічних, екологічних та соціальних чинників, які забезпечують довготривалу продуктивність агросистем без виснаження природних ресурсів. Його концепція передбачає раціональне використання ґрунтів, води та біорізноманіття, збереження екологічної рівноваги та формування безпечного продовольчого середовища для нинішніх і майбутніх поколінь.

У практичному вимірі сталий розвиток означає впровадження технологій, які мінімізують застосування хімічних засобів, сприяють відновленню природної родючості ґрунтів, підтримують баланс між виробничими потребами та екологічними вимогами. Важливим аспектом є також соціальна складова – забезпечення добробуту сільських громад, розвиток локальних ринків та підвищення рівня продовольчої безпеки.

Сталий розвиток у сільському господарстві є комплексною концепцією, що поєднує екологічні, економічні та соціальні аспекти. Його головна мета полягає у забезпеченні довготривалої продуктивності агросистем без виснаження природних ресурсів та порушення екологічної рівноваги. Для аграрного сектору це означає раціональне використання ґрунтів, води, біорізноманіття та впровадження технологій, які сприяють збереженню довкілля.

Екологічний вимір сталого розвитку передбачає мінімізацію негативного антропогенного впливу на навколишнє середовище. Зменшення використання хімічних добрив і пестицидів, скорочення викидів парникових газів та впровадження біологічних засобів захисту рослин сприяють відновленню природної родючості ґрунтів і підвищенню стійкості агроекосистем. Це створює умови для виробництва екологічно безпечної продукції, що відповідає сучасним вимогам споживачів.

Економічний аспект сталого розвитку полягає у формуванні довгострокової ефективності аграрного виробництва. Використання біопрепаратів та органічних технологій дозволяє знизити витрати на хімічні ресурси, а виробництво органічної продукції відкриває нові можливості для експорту. Таким чином, сталий розвиток зміцнює економічну безпеку країни та підвищує конкурентоспроможність аграрного сектору на світовому ринку.

Соціальний вимір включає підтримку добробуту сільських громад, розвиток локальних ринків та створення нових робочих місць у сфері органічного виробництва. Це сприяє підвищенню рівня продовольчої безпеки та формуванню культури відповідального споживання.

Інноваційний вимір сталого розвитку проявляється у впровадженні сучасних технологій – біопрепаратів, систем точного землеробства, цифрового моніторингу. Вони дозволяють ефективно управляти ресурсами, прогнозувати врожайність та адаптуватися до кліматичних змін.

У глобальному контексті сталий розвиток аграрної сфери відповідає Цілям сталого розвитку ООН (SDGs) та інтегрує країну у світові процеси екологізації. Це формує позитивний імідж держави як постачальника безпечної продукції та відкриває нові можливості для міжнародної співпраці й інвестицій (рис. 1).

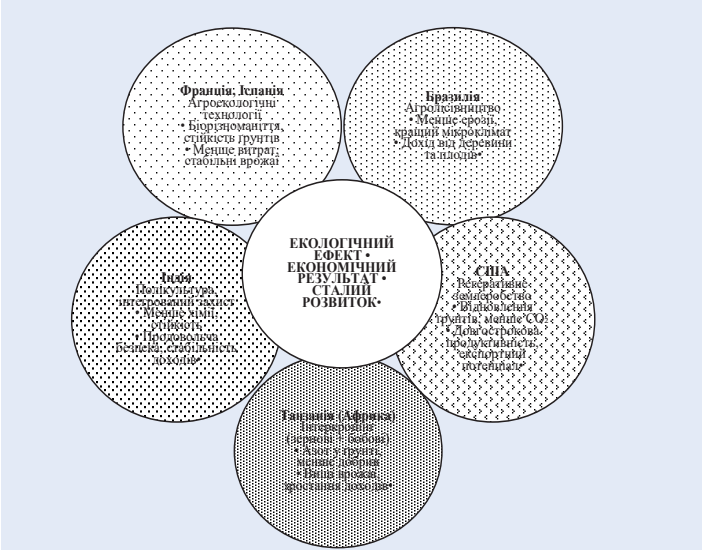


Рис. 1. Приклади практик сталого розвитку в екологічному землеробстві у різних країнах

Одним із ключових напрямів розвитку екологічного землеробства є його біологізація. Вона передбачає застосування біологічних методів, що сприяють відновленню ґрунтової родючості, виробництву якісної продукції, підвищенню економічної ефективності та зменшенню шкідливого впливу людини на навколишнє середовище. (зокрема забруднення ґрунтів, води та продукції залишками хімічних речовин і нітратами) [1].

Активне використання біологічних факторів у виробництві має не лише екологічне, а й у більшості випадків економічне значення. Причому зі зростанням складності ґрунтово-кліматичних та погодних умов роль біологізації у технологіях вирощування культур стає ще більш вагомою [2; 3].

У сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу ринок кукурудзи посідає провідне місце в системі продовольчої безпеки, утримуючи ключові позиції поряд із пшеницею, соєю, соняшником, ріпаком та іншими культурами. На сьогодні кукурудза є другою за площею посівів серед зернових після пшениці, формуючи експортний потенціал аграрної галузі та забезпечуючи економічну й продовольчу стабільність країни.

Біологізація розглядається як один із ключових напрямів розвитку екологічного землеробства, що передбачає застосування біологічних засобів для відновлення природної родючості ґрунтів, одержання високоякісної продукції рослинництва, підвищення економічної ефективності виробництва та мінімізації негативного антропогенного впливу на довкілля, зокрема забруднення ґрунтів, води та продукції залишками хімічних речовин і нітратами [4].

Використання біологічних факторів у виробничих процесах має не лише екологічну, а й значну економічну цінність. Причому зі зростанням складності ґрунтово-кліматичних і погодних умов значення біологізації у технологіях вирощування культур істотно посилюється [5; 6; 10; 11; 12].

Органічне землеробство, орієнтоване на принципи сталого розвитку, передбачає використання біологічних засобів, що сприяють відновленню природної родючості ґрунтів та формуванню високої продуктивності культур. Одним із ключових напрямів є застосування мікоризоутворюючих біопрепаратів, які забезпечують симбіотичні взаємозв'язки між рослиною та ґрунтовими мікроорганізмами. Це дозволяє підвищити ефективність засвоєння поживних речовин, зміцнити стійкість кукурудзи до стресових факторів та зменшити потребу у хімічних добривах.

У контексті агроекологічних підходів мікориза виступає важливим інструментом оптимізації технологій вирощування органічної кукурудзи, сприяючи не лише підвищенню врожайності, але й збереженню екологічної рівноваги агросистем. Таким чином, інтеграція біопрепаратів у систему органічного землеробства відповідає стратегічним завданням сталого розвитку – поєднання економічної ефективності з екологічною безпекою та соціальною відповідальністю [7; 8].

Мікоризні препарати, що застосовуються у вирощуванні кукурудзи, ґрунтуються на симбіотичній взаємодії грибів із кореневою системою рослини. Гіфи грибів проникають у ґрунт і значно збільшують площу поглинання коренів, забезпечуючи доступ до важкодоступних форм фосфору, калію та мікроелементів. Такий механізм живлення сприяє інтенсивнішому росту кукурудзи, формуванню потужної кореневої системи та підвищенню стійкості до несприятливих умов середовища.

Крім живлення, мікоризні препарати позитивно впливають на ґрунтовий мікробіом. Вони стимулюють розвиток корисних бактерій, таких як азотфіксатори та мобілізатори органічних фосфатів, одночасно пригнічуючи патогенні мікроорганізми. Це створює більш збалансоване середовище для росту кукурудзи, активізує процеси утворення гумусу та покращує структуру ґрунту. Завдяки цьому рослини отримують стабільне й ефективне живлення протягом усього періоду вегетації.

Практичні результати застосування мікоризних препаратів демонструють зростання врожайності кукурудзи на 15–20% залежно від способу внесення. Найбільш ефективними вважаються обробка насіння та внесення препарату у рядок під час сівби. Окрім підвищення продуктивності, кукурудза стає більш стійкою до посухи, хвороб і стресових факторів, що робить мікоризні біопрепарати перспективним інструментом у системах екологічно збалансованого та органічного землеробства.

Метою наших досліджень було вивчення вирощування кукурудзи як однієї з провідних продовольчих і технічних культур потребує поглибленого аналізу механізмів росту та розвитку, а також чинників, що визначають її продуктивність.

Особливу увагу приділено впливу біологічних добрив і мікоризоутворюючих біопрепаратів, застосування яких в умовах західного Лісостепу здійснено вперше, що надає дослідженню наукової новизни та практичної ваги.

Практичне значення отриманих результатів полягає у встановленні закономірностей ростових процесів, визначенні оптимальних параметрів продуктивності та розробці шляхів їх регулювання через удосконалення агротехнічних заходів. Переваги гібриду кукурудзи ДС0479Б (Dow Seeds) ФАО 250. Тип гібрида: трьохлінійний, тип зерна: кременистоподібний. Переваги – раннє цвітіння та достигання, придатний до загущення і ранніх строків посіву – раннє цвітіння та достигання, придатний до загущення і ранніх строків посіву. Один з найкращих гібридів для посушливих умов.

Mycofriend є мікоризоутворюючим біопрепаратом, розробленим на основі грибів *Glomus* VS та *Trichoderma harzianum.* Для активного формування мікоризи він містить комплекс мікроорганізмів: *Streptomyces sp., Pseudomonas fluorescens,* а також фосфатмобілізуючі бактерії *(Bacillus megaterium var. phosphaticum, Bacillus subtilis, Bacillus mucilaginosus, Enterobacter sp.).* Загальна кількість життєздатних клітин становить (1,0–1,5)×108 КУО/мл. Крім того, препарат збагачений біологічно активними речовинами – фітогормонами, вітамінами, амінокислотами та фунгіцидними компонентами.

Застосування мікоризоутворюючого препарату Mycofriend сприяє інтенсивному заселенню кореневої та прикореневої зон мікоризоутворюючими грибами й сапрофітними ризосферними бактеріями. Це забезпечує синтез природних антибіотичних речовин, стимулює утворення та розвиток здорової кореневої системи, підвищує її стійкість до збудників кореневих гнилей. Розвинена мікориза збільшує площу поглинання елементів живлення та вологи з ґрунту, а також забезпечує рослини вітамінами, фітогормонами, амінокислотами й збалансованим мінеральним живленням (азот, фосфор, калій, кальцій тощо).

Підготовка та обробіток ґрунту під кукурудзу здійснювалися відповідно до загальноприйнятих технологій Лісостепової зони України, що передбачають ефективне знищення бур'янів, накопичення вологи та створення оптимальних умов для росту й розвитку рослин.

Виклад основного матеріалу дослідження. Кукурудза *(Zea mays L.)* належить до родини Злакових *(Poaceae)* і є однорічною, однодомною, роздільностатевою культурою. Вона вважається однією з найдавніших рослин світового землеробства, проте за своїми біологічними характеристиками істотно відрізняється від інших зернових культур [1].

Коренева система кукурудзи має мичкувату будову, добре розвинена, окремі корені здатні проникати в ґрунт на глибину 2–3 м.

Коренева система кукурудзи складається з кількох ярусів: зародкових, гіпокотильних, епікотильних, підземних вузлових та надземних стеблових коренів, які також називають повітряними або опірними.

Основну частину кореневої системи кукурудзи формують підземні вузлові корені, які заглиблюються у ґрунт на понад 2,5 м та розгалужуються в боки на відстань більше 1 м.

Ярусне розташування коренів у ґрунті, з концентрацією їх основної маси в гумусовому шарі, забезпечує більш повне постачання рослини елементами живлення та вологою, особливо завдяки літнім опадам.

За вимогами до водного режиму кукурудза належить до мезофітів. Для формування 1 ц сухої речовини вона витрачає 174–406 ц води, що менше порівняно з вівсом та ячменем. Водночас за високої продуктивності рослини споживають значні обсяги вологи. Культура ефективно використовує опади другої половини літа й частково осені, формуючи значну органічну масу навіть у посушливих районах завдяки добре розвиненій кореневій системі.

У початкові фази розвитку середньодобове водоспоживання кукурудзи становить 30–40 м³/га, тоді як у період від викидання волоті до молочної стиглості зерна воно зростає до 80–100 м³/га. За умов богарного землеробства в посушливих районах культура формує добрий урожай у роки, коли протягом червня–серпня випадає не менше 200 мм опадів, або за наявності весняних запасів вологи понад 100 мм, особливо з їхнім переважанням у липні, коли відбувається цвітіння [1].

До фази виходу в трубку кукурудза досить стійка до нестачі вологи. Однак критичний період – за 10 днів до викидання волоті й протягом 20 днів після – є вирішальним для урожаю, адже саме тоді формується пилок і насіння. Якщо на цьому етапі рослини не отримують достатнього зволоження, урожайність різко падає. Навіть за доброго водопостачання на початку вегетації, подальші нерегулярні або слабкі поливи не компенсують зростаючої потреби у волозі й призводять до значних втрат урожаю.

Рослини кукурудзи здатні переносити тимчасовий дефіцит ґрунтової вологи та знижену відносну вологість повітря. Однак тривале в'янення листків пригнічує ростові процеси й порушує формування репродуктивних органів. Оптимальні умови зволоження забезпечуються підтриманням вологості кореневого шару ґрунту на рівні не нижче 75–80% найменшої вологоємності. Зрошення сприяє збільшенню активної поглинаючої поверхні коренів, інтенсивності засвоєння води й поживних речовин, продуктивності фотосинтезу, зниженню непродуктивного дихання, а також підвищує оводненість і водоутримуючу здатність листків. Водночас надмірне перезволоження ґрунту різко знижує урожайність зерна через дефіцит кисню, що уповільнює надходження фосфору в корені, знижує його загальний, органічний і нуклеїновий вміст та порушує процеси фосфатування й білковий обмін.

Живлення кукурудзи має свої особливості: потреба в поживних речовинах змінюється залежно від етапів розвитку. Поглинання основних елементів відбувається нерівномірно, за одновершинною кривою, яка збігається з процесом накопичення сухої маси.

Азот має вирішальне значення на ранніх етапах росту кукурудзи, і його нестача призводить до затримки росту та розвитку рослин. Максимальне засвоєння азоту відбувається протягом 2–3 тижнів перед фазою викидання волотей. Поглинання цього елемента припиняється після настання молочної стиглості зерна.

Фосфор має особливе значення на початку росту кукурудзи, зокрема у фазі 4–6 листків, коли закладаються майбутні суцвіття. Його дефіцит призводить до недорозвинення качанів та формування неправильних рядів зерен. Достатнє забезпечення рослин фосфором стимулює розвиток кореневої системи, підвищує посухостійкість, прискорює утворення качанів і дозрівання врожаю. Засвоєння фосфору відбувається повільніше й рівномірніше, ніж азоту та калію, а максимальне його споживання припадає на період формування зерна й триває майже до його дозрівання.

За нестачі калію у кукурудзи сповільнюється транспортування вуглеводів, знижується синтетична активність листків, ослаблюється коренева система та зменшується стійкість рослин до вилягання. Інтенсивне надходження калію розпочинається з моменту появи сходів, і до фази викидання волотей рослини засвоюють до 90% його загальної кількості. Після завершення цвітіння надходження елементу стабілізується, а з настанням молочної стиглості зерна його вміст у тканинах зменшується внаслідок вимивання опадами та екзоосмосу через корені у ґрунт.

З початком формування зерна накопичення сухої речовини у стеблах, а у фазі молочно-воскової стиглості – й у листках, припиняється. Відбувається інтенсивне переміщення поживних речовин із вегетативних органів у репродуктивні. На наливання зерна використовується до 59% азоту, 36% фосфору та 82% калію, мобілізованих із інших органів рослини. Решта елементів надходить із ґрунту. На дерново-підзолистих і сірих лісових ґрунтах кукурудза найбільш чутлива до азотних добрив; фосфорні – ефективні на типових і звичайних чорноземах; калійні – особливо важливі на супіщаних, торф'яних і заплавних ґрунтах, а також після культур, що інтенсивно виносять калій (буряк, картопля, трави).

Високі врожаї кукурудза забезпечує на чистих, пухких, добре аерованих ґрунтах із глибоким гумусовим шаром, достатнім вмістом поживних речовин і вологи, при pH 5,5–7. Найбільш придатними є чорноземи, темно-каштанові, темно-сірі суглинисті та супіщані, а також заплавні ґрунти. За належної агротехніки високі врожаї силосної кукурудзи можливі й на дерново-підзолистих та осушених торф'яно-болотяних ґрунтах зони. Ґрунти з тенденцією до заболочування, сильним засоленням або підвищеною кислотністю (pH < 5) непридатні для вирощування цієї культури.

Під час проростання насіння кукурудза потребує інтенсивної аерації, оскільки великі зародки споживають значну кількість кисню. Високі врожаї забезпечуються за вмісту кисню в ґрунтовому повітрі не менше 18–20%. При зниженні його концентрації до 10% ріст коренів сповільнюється, а за 5% – повністю припиняється, що призводить до порушення поглинання води й поживних речовин та до розладу обмінних процесів у коренях і надземних органах.

Критичними для формування високої урожайності є фаза 2–3 листків, коли відбувається диференціація зачаткового стебла, та фаза 6–7 листків, у якій визначається розмір качана. Засуха, перезволоження ґрунту та дефіцит мінерального живлення в період цвітіння й запліднення погіршують процеси запліднення та знижують зернистість качанів.

На сучасному етапі, у зв'язку з високою вартістю мінеральних добрив та зростанням попиту на органічну продукцію, дедалі більшої актуальності набуває використання добрив нового типу – мікробіологічних препаратів і біодобрив. Вони сприяють трансформації важкодоступних сполук ґрунту у форми, доступні для рослин, активізують ростові процеси, підвищують продуктивність і якість рослинницької продукції. Сучасний мікоризоутворюючий біопрепарат Mycofriend характеризується формуванням ендо- та ектомікоризи з високою адсорбційною здатністю, вираженою бактерицидною та фунгіцидною дією. До його складу входять мікроорганізми: *Glomus, Bacillus subtilis, Pseudomonas fluorescens, Bacillus megaterium, Bacillus muciloginosus, Enterobacter, Trichoderma harzianum, Streptomyces sp.* [7; 8].

Виробництво зерна кукурудзи є однією з ключових та економічно вигідних складових діяльності аграрних підприємств України. У сучасних екологічних технологіях вирощування культур важливу роль відіграє застосування регуляторів росту рослин, зокрема новітніх мікоризоутворюючих біопрепаратів [9]. В умовах органічного землеробства використання рістрегулюючих препаратів стає необхідним елементом підвищення врожайності та покращення якості продукції. У цьому контексті актуальним є удосконалення агротехнічних прийомів вирощування кукурудзи на зерно шляхом застосування біопрепарату Mycofriend.

Виробництво зерна кукурудзи є однією з ключових та економічно вигідних складових діяльності аграрних підприємств України. У сучасних екологічних технологіях вирощування культур важливу роль відіграє застосування регуляторів росту рослин, зокрема новітніх мікоризоутворюючих біопрепаратів [9]. В умовах органічного землеробства використання рістрегулюючих препаратів стає необхідним елементом підвищення врожайності та покращення якості продукції. У цьому контексті актуальним є удосконалення агротехнічних прийомів вирощування кукурудзи на зерно шляхом застосування біопрепарату Mycofriend (табл. 1).

Таблиця 1. Тривалість міжфазних періодів розвитку кукурудзи залежно від застосування біопрепарату Mycofriend, середнє за 2022–2024 рр., діб

Варіант досліду	Міжфазний період					
	сівба – повні сходи	8 листків	11 листків	викидання волоті	молочно-воскової стиглості	повної стиглості
Контроль (без обробки)	12	37	42	64	94	111
Внесення у рядок Mycofriend 100 мл/га	12	37	41	62	95	113
Обробка насіння Mycofriend 2 л/т	12	37	39	61	96	117
Обробка насіння Mycofriend 4 л/т	11	32	37	60	98	117

Період розвитку кукурудзи до утворення 8-го листка проходив за умов помірних нічних температур та високих денних показників, що у поєднанні з достатнім рівнем ґрунтової вологи забезпечувало інтенсивний ріст культури. У цей час листки формувалися швидко: кожен наступний з'являвся через 3–5 діб після попереднього.

У варіанті з нормою внесення біопрепарату Mycofriend 4 л/т тривалість періоду «повні сходи – 8-й листок» становила 21 добу, що на 4 доби менше порівняно з контролем.

Фаза від 9-го до 11-го листка (7-й етап онтогенезу) була відносно короткою й тривала в середньому 5 діб у всіх варіантах досліду. Період виходу у трубку характеризувався оптимальними температурними умовами та достатнім рівнем вологозабезпечення. Викидання волоті відбувалося на 60–64-й день після сходів, причому застосування біопрепарату Mycofriend сприяло прискоренню цього процесу: у контролі – на 64-й день, при нормі 2 л/т – на 61-й день, при нормі 4 л/т – на 60-й день, а при внесенні препарату у рядок – на 62-й день.

Вплив біопрепарату проявлявся також у генеративних фазах розвитку кукурудзи. На відміну від вегетативного періоду, застосування Mycofriend сприяло подовженню тривалості генеративного росту. Так, у контрольному варіанті фаза молочно-воскової стиглості наставала на 94-ту добу вегетації, тоді як у дослідних варіантах – на 1–4 доби пізніше залежно від способу внесення та норми препарату.

Повна стиглість посівів кукурудзи у контрольному варіанті наставала на 111-ту добу після сівби. При застосуванні біопрепарату Mycofriend у нормі 2 та 4 л/т цей показник становив 117 діб, а при внесенні препарату у рядок – 113 діб. Таким чином, встановлено, що використання препарату подовжувало період онтогенезу кукурудзи, забезпечуючи більш повне формування врожаю.

Площа листкової поверхні є одним із ключових показників продуктивності кукурудзи, оскільки визначає інтенсивність фотосинтезу та процес накопичення органічної речовини. Саме фотосинтетична активність листя забезпечує утворення складних органічних сполук, що формують якісні та кількісні параметри врожаю [12]. Потужність асиміляційного апарату та тривалість його функціонування виступають вирішальними чинниками продуктивності культури.

Застосування біологічних препаратів та стимуляторів росту сприяло істотному збільшенню площі листкової поверхні у гібридів різних груп стиглості. Водночас на початку фази молочної стиглості спостерігалося закономірне її зниження [11; 12], що відповідає природним процесам старіння та відмирання листків.

Отримані результати підтверджують позитивний вплив біопрепарату Mycofriend на формування листкової поверхні кукурудзи. У фазі 11 листків площа листкової поверхні у контрольному варіанті становила 17,1 тис. м²/га. Внесення препарату в рядок у нормі 100 мл/га забезпечило приріст на 2,2 тис. м²/га. Обробка насіння нормою 2,0 л/т сприяла збільшенню показника на 3,3 тис. м²/га, до рівня 20,5 тис. м²/га. Найбільший ефект відзначено при застосуванні препарату у дозі 4,0 л/т, де приріст становив 5,8 тис. м²/га порівняно з контролем. (табл. 2).

Таблиця 2. Динаміка формування площі листкової поверхні кукурудзи залежно від застосування біопрепарату Mycofriend, середнє за 2022–2024 рр., тис. м²/га

Варіант досліду	Фаза росту і розвитку кукурудзи			
	11 листків	викидання волоті	молочно-воскової стиглості	воскова стиглість
Контроль (без обробки)	17,1	23,5	37,1	35,6
Внесення у рядок Mycofriend 100 мл/га	19,4	26,7	40,5	38,3
Обробка насіння Mycofriend 2 л/т	20,5	29,3	44,2	41,9
Обробка насіння Mycofriend 4 л/т	23,0	36,8	49,1	47,2

Аналогічна тенденція простежувалася й під час наступних обліків – у фазах викидання волоті та молочно-воскової стиглості. З настанням воскової стиглості площа листкової поверхні почала зменшуватися внаслідок пожовтіння листків нижнього ярусу. Найвищі показники зафіксовано у фазі молочно-воскової стиглості: у контрольному варіанті площа листків становила 37,1 тис. м²/га. Внесення біопрепарату Mycofriend у рядок під час сівби (100 мл/га) забезпечило приріст на 3,3 тис. м²/га. Найбільш результативним виявився прийом передпосівної обробки насіння: при нормі 2 л/т площа листкової поверхні досягла 44,2 тис. м²/га (+7,0 тис. м²/га до контролю), а при нормі 4 л/т – 49,1 тис. м²/га (+11 тис. м²/га).

Таким чином, дослідження показало, що максимальні показники фотосинтетичної активності та продуктивності посівів кукурудзи досягалися саме за умови передпосівної обробки насіння біопрепаратом Mycofriend у нормі 4 л/т. Це свідчить про те, що даний спосіб застосування препарату є найбільш ефективним для забезпечення інтенсивного росту, формування потужного асиміляційного апарату та підвищення врожайності культури.

Збирання врожаю зерна кукурудзи дало змогу більш детально оцінити ефективність застосування біопрепарату Mycofriend (табл. 3). У контрольному варіанті врожайність становила 8,36 т/га, що відповідає середньому рівню продуктивності культури за умов даного року. Передпосівна обробка насіння препаратом у нормі 2,0 л/т забезпечила приріст урожаю на 0,53 т/га, що свідчить про позитивний вплив біопрепарату на початкові етапи росту та розвитку рослин. Збільшення норми витрати препарату до 4,0 л/т сприяло ще більш відчутному підвищенню врожайності – на 0,87 т/га порівняно з контролем.

Таблиця 3. Урожайність зерна кукурудзи залежно від комплексу досліджуваних факторів, т/га

Варіант досліду	2022 р.	2023 р.	2024 р.	Середнє	± до контролю
Контроль (без обробки)	7,24	9,48	8,34	8,36	
Внесення у рядок Mycofriend 100 мл/га	7,58	9,95	8,67	8,77	0,39
Обробка насіння Mycofriend 2 л/т	7,75	9,05	7,87	8,91	0,53
Обробка насіння Mycofriend 4 л/т	8,06	9,40	10,2	9,98	0,87
$НІР_{0,5\ т/га}$	0,25	0,38	0,29	–	

Отримані результати підтверджують, що ефективність Mycofriend проявляється не лише у прямій дії як мікоризоутворюючого біопрепарату, який покращує живлення рослин за рахунок симбіотичних зв'язків, але й у комплексному впливі на ґрунтове середовище. Формування сприятливого мікробного оточення сприяє зниженню рівня ґрунтової інфекції, поліпшенню фітосанітарного стану та активізації процесів мінералізації органічних речовин. У результаті підвищується доступність елементів живлення, що забезпечує більш повну реалізацію потенціалу родючості ґрунту.

Висновки. Таким чином, застосування Mycofriend у технології вирощування кукурудзи, особливо за передпосівної обробки насіння нормою 4,0 л/т, є ефективним агротехнічним прийомом, який забезпечує стабільне підвищення врожайності та сприяє формуванню екологічно збалансованого агроценозу. Це підтверджує доцільність використання біопрепаратів у сучасному землеробстві як альтернативи або доповнення до традиційних хімічних засобів, що відповідає принципам сталого розвитку та екологізації аграрного виробництва.

Досвід різних країн показує, що сталий розвиток в екологічному землеробстві має універсальні принципи – збереження ґрунтів, мінімізація хімічного навантаження, підтримка біорізноманіття. Водночас кожна країна адаптує ці практики до власних кліматичних та економічних умов, що робить їх прикладними для порівняння й впровадження в Україні.

Перспективи подальших досліджень передбачають вивчення тривалої післядії біопрепарату Mycofriend на мікробіоту ґрунту та його ефективності у різних кліматичних зонах України. Актуальним напрямом є розширення експериментів із застосуванням синергетичного ефекту від поєднання біопрепаратів із системами мінімального обробітку ґрунту. Також важливим є оцінка адаптивного потенціалу кукурудзи до посухи та детальний розрахунок економічної ефективності технології.

Таким чином, екологічне землеробство у контексті сталого розвитку виступає не лише як система виробництва, але й як стратегія збереження природних ресурсів, підвищення економічної ефективності та формування екологічно відповідальної моделі аграрного господарювання.

Конфлікт інтересів: Пустова З. є членом редакційної колегії журналу. Для забезпечення незалежності редакційного процесу рукопис розглядався редактором, який не мав конфлікту інтересів з автором. Автор не брав участі у відборі рецензентів, процесі рецензування та прийнятті рішення щодо публікації статті. Рукопис пройшов стандартну процедуру подвійного сліпого рецензування.

Список використаних джерел

1. Пустова З. В., Кобернюк О. Т. Ключові засади органічного вирощування кукурудзи. *Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва* : матеріали IX Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 28 листоп. 2025 р.) / Держ. біотехнологічний ун-т. Харків : ДБТУ, 2025. С. 304–305. URL: https://biotechuniv.edu.ua/wp-content/uploads/2026/01/conf-28-11-25-mater.pdf

2. Пустова Н. В., Пустова З. В., Колінчук Р. В. Біохімічний склад крові курей-несучок у продуктивний період. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2024. Вип. 2(43). С. 93–100. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-2.14

3. Пустова Н. В., Пустова З. В., Ружальська С. Органічне кролівництво в умовах приватних господарств. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2023. Вип. 2(39). С. 27–34. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-2.4

4. Пустова Н., Пустова З., Баліцький Д. Вирощування органічної риби в природній водоймі. *Науково-технічний бюлетень Державного науково-дослідного контрольного інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок і Інституту біології тварин*. 2023. Т. 24, № 1. С. 143–156. https://doi.org/10.36359/scivp.2023-24-1.20

5. Пустова Н., Пустова З. Виробництво органічної продукції кролівництва за різних технологій утримання кролів. *Науково-технічний бюлетень Державного науково-дослідного контрольного інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок і Інституту біології тварин*. 2023. Т. 24, № 2. С. 182–192. https://doi.org/10.36359/scivp.2023-24-2.20

6. Błaszczyk L., Nowak C., Pustova Z.V., Pustova N.V., Yasinetska I. A., Bialkovska O. A., Koberniuk O. T. Using of millet straw for energy purposes. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2022. Вип. 1(36). С. 60–66. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2022-18

7. Hutsol T., Glowacki S., Tryhuba A., Kovalenko N., Pustova Z., Rozkosz A., Sukmaniuk O. *Current trends of biohydrogen production from biomass – green hydrogen* : monograph. Warsaw, 2021. 102 p. https://doi.org/10.22630/sggw.iim.9788382370218

8. Kucher O., Butorina V., Pustova N., Pustova Z., Tkach O. The role of biomass in the bioeconomic policy of Ukraine and its legal regulation. *Proceedings of the International Scientific Conference «Economic Sciences for Agribusiness and Rural Economy»*. Warsaw, 2020. No. 4. P. 84–91. https://doi.org/10.22630/ESARE.2020.4.11

9. Kucher O., Pokotylska N., Pustova Z., Pustova N. Organic market formation in Ukraine. *Journal of Tourism & Regional Development / Turystyka i Rozwój Regionalny*. Warsaw, 2021. No. 16. P. 55–66. https://doi.org/10.22630/TIRR.2021.16.19

10. Kucher O., Prokopchuk L., Pustova Z., Pustova N., Yermakov S. Current status and prospects for biogas development in Ukraine. *Engineering for Rural Development*. Jelgava, 2025. P. 724–730. DOI: https://doi.org/10.22616/ERDev.2025.24.TF150

11. Pustova Z., Koberniuk O., Pustova N., Kucher O. Compost as an alternative to mineral fertilizers in organic farming. *Євроінтеграція екологічної політики України* : матеріали Сьомої Всеукр. наук.-практ. конф. (Одеса, 4–5 листоп. 2025 р.) / Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова. Одеса : ОНУ, 2025. С. 37. URL: btsau.edu.ua https://www.researchgate.net/profile/Alona-Varukha/publication/398499539_SWOT-ANALIZ_VPROVADZENNA_EVROPEJSKIH_PIDHODIV_OCINUVANNA_EFEKTIVNOSTI_DIALNOSTI_ZAPOVIDNIH_USTANOV_V_POLITIKU_TA_PRAKTIKU_V_UKRAINI/links/6938722b27359023a00a5e44/SWOT-ANALIZ-VPROVADZENNA-EVROPEJSKIH-PIDHODIV-OCINUVANNA-EFEKTIVNOSTI-DIALNOSTI-ZAPOVIDNIH-USTANOV-V-POLITIKU-TA-PRAKTIKU-V-UKRAINI.pdf#page=37

12. Pustova Z., Pustova N., Komarnitskyi S., Tkach O., Zamoiskyi S., Olenyuk A. Influence of biopreparations on biomass yield and grain efficiency of energy corn. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 154. Art. no. 01008. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015401008.

Pustova Z. V.
Candidate of Agricultural Sciences
Associate Professor at the Department of Chemistry, Ecology, and General Biological Disciplines,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *zoyapustova@gmail.com*
ORCID: *0000-0003-3511-5054*

Pustova N. V.
Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor at the Department of Technologies of Livestock Production and Cynology,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *pustova.n.v@gmail.com*
ORCID: *0000-0003-3184-6378*

Zakhodym M. V.
Doctor of Economic Sciences,
Associate Professor at the Department of Economy, Entrepreneurship, Trade and Exchange Activities,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *mzahodym@pdatu.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-0010-8006*

Kucher O. V.
Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor at the Department of Energy Saving Technologies and Energy Management,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *kucheroleg68@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-2086-5971*

Petrashchuk D. V.
Second-year student pursuing a Master's degree in Agronomy (H1)
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *denispetrasuk2@gmail.com*
ORCID: *0009-0006-0690-8265*

AGROECOLOGICAL FOUNDATIONS OF THE FORMATION OF GROWTH, DEVELOPMENT, AND PRODUCTIVITY OF ORGANIC MAIZE USING A MYCORRHIZA-FORMING BIOPREPARATION UNDER SUSTAINABLE DEVELOPMENT CONDITIONS

Abstract

The concept of sustainable development in ecological agriculture is based on the integration of economic, environmental and social aspects that contribute to the long-term functioning of agro-ecosystems without environmental degradation. It is focused on the rational use of soil and water resources, the preservation of biological diversity and the maintenance of ecological stability, which guarantees food security for current and future generations.

The article is devoted to organic production, which is a key direction of the greening of agricultural production, which involves reducing the chemical load on the environment and preserving natural resources. The transition to sustainable agricultural methods contributes to improving the quality of products, reducing pollution and ensuring harmony between economic and environmental factors.

In our opinion, an important issue in growing such a strategic crop as corn is a broader study of the characteristics of plant growth and development, as well as the formation of their productivity depending on biological fertilizers and mycorrhizal-forming biological product, which is being studied for the first time in this region, has high scientific value, relevance and production feasibility.

Practical significance of the results obtained: optimal parameters and patterns of growth, development and formation of corn productivity under the influence of agrotechnical measures have been identified. The relationship between them and ways to regulate their parameters using cultivation methods have been established. The ecological balance of technological methods for growing organic corn and the preservation of soil resources has been characterized. To obtain high and stable yields (11 t/ha) when using environmentally balanced methods of growing the DS0479B (Dow Seeds) FAO 250 corn hybrid with high economic indicators in the conditions of the Yasenivka-2005 farm in the Khmelnytskyi district of the Khmelnytskyi region on typical chernozem soils, it is necessary to apply seed treatment with the mycorrhizal-forming biological preparation Mycofriend on the background of NPK 20:10:20 fertilizers.

Key words: *organic products, microorganisms, agroecology, sustainable development.*

References

1. Pustova, Z. V., Koberniuk, O. T. (2025). *Kliuchovi zasady orhanichnoho vyroshchuvannia kukurudzy* [Key principles of organic maize cultivation]. In Naukovi zasady pidvyshchennia efektyvnosti silskohospodarskoho vyrobnytstva [Scientific principles of increasing agricultural production efficiency]: Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference. November 28, 2025. Kharkiv: State Biotechnological University, p. 387. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/V-Tsygankova/publication/399064869_Influence_of_biofertilizers_and_synthetic_plant_growth_regulators_on_increasing_photosynthesis_in_wheat/links/694d19c306a9ab54f84aa1b7/Influence-of-biofertilizers-and-synthetic-plant-growth-regulators-on-increasing-photosynthesis-in-wheat.pdf#page=305 [in Ukrainian]

2. Pustova, N. V., Pustova, Z. V., & Kolinchuk, R. V. (2024). Biokhimichnyi sklad krovi kurei-nesuchok u produktyvnyi period [Biochemical composition of blood in laying hens during the productive period]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*, 2(43), 93–100. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-43-12 [in Ukrainian]

3. Pustova, N. V., Pustova, Z. V., Ruzhalska, S. (2023). Orhanichne krolivnytstvo v umovakh pryvatnykh hospodarstv [Organic rabbit breeding in private households]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*, 2(39), 27–34. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-2.4 [in Ukrainian]

4. Pustova, N., Pustova, Z., & Balitskyi, D. (2023). Vyroshchuvannia orhanichnoi ryby v pryrodnii vodoimi [Organic fish farming in a natural reservoir]. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten Derzhavnoho naukovo-doslidnoho kontrolnoho instytutu veterynarnykh preparativ ta kormovykh dobavok i Instytutu biolohii tvaryn*, 24(1), 143–156. https://doi.org/10.36359/scivp.2023-24-1.20 [in Ukrainian]

5. Pustova, N., & Pustova, Z. (2023). Vyrobnytstvo orhanichnoi produktsii krolivnytstva za riznykh tekhnolohii utrymannia kroliv [Production of organic rabbit products under different rabbit housing technologies]. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten Derzhavnoho naukovo-doslidnoho kontrolnoho instytutu veterynarnykh preparativ ta kormovykh dobavok i Instytutu biolohii tvaryn,* 24(2), 182–192. https://doi.org/ 10.36359/scivp.2023-24-2.20 [in Ukrainian]

6. Błaszczyk, L., Nowak, C., & Pustova, Z. V., et al. (2022). Using of millet straw for energy purposes. *Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics*, 1(36). C. 60–66. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2022-18 [in English]

7. Hutsol, T., Glowacki, S., Tryhuba, A., Kovalenko, N., Pustova, Z., Rozkosz, A., & Sukmaniuk, O. (2021). Current trends of biohydrogen production from biomass – green hydrogen. Monograph. Warsaw: 102 p. https://doi.org/10.22630/sggw.iim.9788382370218 [in English]

8. Kucher, O., Butorina, V., Pustova, N., Pustova, Z., & Tkach, O. (2020). The role of biomass in the bioeconomic policy of Ukraine and its legal regulation. *Proceedings of the International Scientific Conference "Economic Sciences for Agribusiness and Rural Economy".* Warsaw. No. 4. P. 84–91. https://doi.org/10.2230/ESARE.2020.4.11 [in English]

9. Kucher, O., Pokotylska, N., N., Pustova, N., & Pustova, Z. (2021). Organic market formation in Ukraine. *Journal of Tourism & Regional Development*. Warsaw, No. 16. P. 55–66. https://doi.org/10.22630/TIRR.2021.16.19 [in English]

10. Kucher, O., Prokopchuk, L., & Pustova, Z. et al. (2025). Current status and prospects for biogas development in Ukraine. Engineering for Rural Development, 24. Jelgava. P. 724–730. https://doi.org/10.22616/ERDev.2025.24.TF150 [in English]

11. Pustova, Z., & Koberniuk, O. et al. (2025). Compost as an alternative to mineral fertilizers in organic farming. In Ievrointehratsiia ekolohichnoi polityky Ukrainy. European integration of Ukraine's environmental policy: Proceedings of the Seventh All-Ukrainian Scientific and Practical Conference (Odesa, November 4–5, 2025). Odesa: Odesa National University named after I. I. Mechnikov, p. 37. Research Gate. https://www.researchgate.net/profile/Alona-Varukha/publication/398499539_SWOT-ANALIZ_VPROVADZENNA_EVROPEJSKIH_PIDHODIV_OCINUVANNA_EFEKTIVNOSTI_DIALNOSTI_ZAPOVIDNIH_USTANOV_V_POLITIKU_TA_PRAKTIKU_V_UKRAINI/links/6938722b27359023a00a5e44/SWOT-ANALIZ-VPROVADZENNA-EVROPEJSKIH-PIDHODIV-OCINUVANNA-EFEKTIVNOSTI-DIALNOSTI-ZAPOVIDNIH-USTANOV-V-POLITIKU-TA-PRAKTIKU-V-UKRAINI.pdf#page=37 [in English]

12. Pustova, Z., Pustova, N., & Komarnitskyi, S. et al. (2020). Influence of biopreparations on biomass yield and grain efficiency of energy corn. E3S Web of Conferences. Vol. 154. Art. no. 01008. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015401008 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 25.06.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 05.08.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026