

ВПЛИВ ГІДРОТЕРМІЧНИХ ЧИННИКІВ І МІКРОБІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ ҐРУНТУ НА ВРОЖАЙНІСТЬ КУКУРУДЗИ

А. А. Бунас, <https://orcid.org/0000-0003-4806-7004>,

Є. Д. Ткач, <https://orcid.org/0000-0002-0666-1956>,

О. В. Шерстобоева, <https://orcid.org/0000-0001-8239-0847>,

І. П. Мовчан, <https://orcid.org/0009-0002-0647-6133>

Інститут агроєкології і природокористування НААН
вул. Метрологічна, 12; м. Київ, 03143, Україна; e-mail: bio-206316@ukr.net

Мета. Дослідити вплив погодних умов (температури повітря й кількості опадів) на динаміку основних показників активності мікробіоценозу ґрунту, продуктивність рослин і фітопатогенний стан агроценозу кукурудзи. **Методи.** Загальноприйняті мікробіологічні (вміст вуглецю мікробної біомаси, інтенсивність емісії CO₂), фітопатологічні, кількісний аналіз продуктивності агроценозів і методи математичної статистики. **Результати.** Встановлено тісний зв'язок мікробіологічної активності з гідротермічними умовами й фазою розвитку рослин: максимальна біомаса мікроорганізмів зафіксована у 2023 році (198,1 мкг С/г ґрунту) у фазі викидання волоті, а інтенсивність емісії CO₂ узгоджувалася з динамікою біомаси, сягаючи максимуму у фазі воскової стиглості кукурудзи (до 36,2 мг CO₂/кг ґрунту). Фітопатогенний стан агроценозу показав, що контрастний режим зволоження у 2022 році сприяв поширенню хвороб до 68 % при розвитку не вище ніж 3,5 %. А у 2023 році за високої мікробіологічної активності рівень ураження знизився до 52 % і 2,1 % відповідно, що свідчить про антагоністичні властивості ґрунтового мікробіому. Продуктивність кукурудзи також залежала від синхронізації мікробіологічних процесів і гідротермічних умов: найвища врожайність зерна (7,3 т/га) досягнута у 2022 році за порівняно збалансованого водно-температурного режиму, тоді як у 2023 році за температурного стресу врожайність була на рівні 5,2 т/га. **Висновки.** Ефективність функціонування агроценозу кукурудзи визначається синхронізацією гідротермічних умов і мікробіологічних процесів у ґрунті. Активний і структурований мікробіом є важливим регулятором стійкості агроєкосистем, тоді як дефіцит вологи у критичні фази обмежує реалізацію продукційного потенціалу культури. Перспективним є впровадження адаптивних біоорієнтованих технологій управління ґрунтовим мікробіомом для підвищення стійкості агроценозів до кліматичних стресів.

Ключові слова: *Zea mays* L., мікробіоценоз, мікробна біомаса ґрунту, біологічна активність ґрунту, кліматичні зміни, посухостійкість.

Вступ. Однією з ключових зернових культур глобального аграрного сектору є кукурудза, як за посівними площами, поступаючи лише пшениці та рису, так і за експортом зерна. Україна входить до числа провідних експортерів, однак у 2020–2025 рр. аграрний сектор зазнав значних трансформацій під впливом тривалих виснажливих

агропідходів (порушення сівозмін, надмірне і нераціональне застосування добрив та агрохімікатів), кліматичних змін, воєнних дій і порушення логістичних ланцюгів [1]. За оцінками *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) [2], підвищення середньорічної температури та нерівномірний розподіл опадів є ключовими чинниками, що визна-

чають трансформацію біогеохімічних процесів у ґрунтах і продуктивність агроєкосистем. Особливого значення набуває дослідження взаємозв'язків між погодними умовами й мікробіологічною активністю ґрунту в контексті закономірностей трансформації органічної речовини. Ґрунтовий мікробіом є центральною ланкою кругообігу вуглецю, оскільки саме мікроорганізми забезпечують деструкцію рослинних решток, гуміфікацію та формування стабільних орґано-мінеральних комплексів. Зміна температури й вологості модифікує співвідношення процесів мінералізації і гуміфікації, що, зі свого боку, визначає вуглецевий баланс агроєкосистеми та рівень родючості ґрунту [3]. Втрата гумусу сприяє переходу ґрунтів зі статусу поглиначів до джерел парникових газів, зокрема діоксиду вуглецю (CO₂). Водночас кукурудза як C4-рослина характеризується високою ефективністю фотосинтезу й здатністю до інтенсивного поглинання CO₂, що робить її важливим елементом регулювання вуглецевого балансу агроєкосистем [4; 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженнями [6; 7] показано, що погодні чинники мають системний вплив в агроєценозах кукурудзи як на рослини, так і на ґрунтове середовище. Підвищення температури, особливо понад оптимальні межі (21–27 °C), призводить до порушення фізіолого-біохімічних процесів у рослин, зниження ефективності фотосинтезу й продуктивності, а також змін у кореневій зоні, де формується ключова взаємодія «ґрунт – мікроорганізми – рослина».

Водночас кількість опадів є одним із головних чинників формування структури мікробного різноманіття й стабільності ґрунтових мікробних мереж, визначаючи просторову організацію бактеріальних угруповань і їхню функціональну активність. Встановлено, що врожайність кукурудзи позитивно корелює з достатнім зволоженням у критичні фази розвитку, тоді як підвищені температури у літній період здебільшого мають негативний ефект. Підвищення температури на 1 °C може призвести до зниження врожайності кукурудзи майже на 7–8 % [8]. Виявлено, що до 70–90 % варіації мікробіологічної активності зумовлено температурно-вологісним режимом ґрунту. Підвищення температури та дефіцит вологи спричиняють зниження

альфа-різноманіття мікроорганізмів, зміщення співвідношення бактеріальної та грибно́ї складових і порушення функціональних зв'язків у мікробних угрупованнях [9–12]. Так, за умов посухи спостерігається домінування стрес-толерантних бактерій, зокрема представників *Actinobacteria*, за одночасного зменшення кількості мікоризоутворювальних грибів [13]. Кліматичні зміни істотно впливають і на функціонування мікробіоценозу ґрунту. Доведено, що рослини здатні активно формувати склад мікробних угруповань через кореневі ексудати, здійснюючи селективний відбір функціонально корисних мікроорганізмів [14–16]. Така взаємодія визначає ефективність використання поживних елементів, стійкість до абіотичних стресів і фітопатогенів. В інших дослідженнях показана роль мікробіому як буферного механізму адаптації рослин до кліматичних стресів. Встановлено [17; 18], що асоційовані з кореневою системою мікроорганізми здатні підвищувати посухостійкість кукурудзи шляхом регуляції водного обміну, синтезу фітогормонів та активації антиоксидантних систем.

Водночас доведено високу ефективність консерваційних технологій землеробства, зокрема системи No-till, використання покривних культур і мульчування. Ці практики сприяють збереженню вологи, стабілізації температурного режиму ґрунту й підвищенню вмісту органічної речовини, що позитивно впливає на мікробіологічну активність і продуктивність агроєкосистем [19; 20].

Аналіз сучасних літературних джерел свідчить, що кліматичні зміни суттєво трансформують функціонування агроєкосистем кукурудзи через вплив на мікробіоценоз ґрунту. Отже, дослідження взаємозв'язку між погодними умовами, мікробіологічною активністю ґрунту, продуктивністю кукурудзи й фітосанітарним станом агроєценозів є надзвичайно актуальним у контексті забезпечення продовольчої безпеки в умовах глобальних викликів.

Мета досліджень. Дослідити вплив погодних умов (температури повітря й кількості опадів) на динаміку основних показників активності мікробіоценозу ґрунту, продуктивності рослин і фітопатогенний стан агроєценозу кукурудзи.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводили впродовж 2021–2023 рр.

на полях Сквирської дослідної станції органічного виробництва Інституту агроєкології і природокористування НААН, м. Сквиря. У польових дослідках вирощували середньостиглий гібрид кукурудзи Красилів 327 МВ (ФАО 350), норма висіву — 5,5 млн схожих насінин на 1 га. Площа дослідної ділянки становила 30 м² при ширині міжрядь 0,7 м. Агрохімічна характеристика ґрунту дослідного поля (0–20 см) — чорнозем глибокий малогумусний, середньосуглинкового складу на карбонових породах і на лесі; рН (сольове) — 6,65; вміст гумусу (за Тюрнімом) — 4,25 %, легкогідролізованого азоту (за Корнфілдом) — 12,4 мг / 100 г ґрунту, обмінного калію і рухомого фосфору (за Чириковим) — відповідно 11,9 мг / 100 г ґрунту і 12,6 мг / 100 г ґрунту. Повторність польових дослідів — триразова, агротехніка — загально-

прийнята для умов Правобережного Лісостепу. Для характеристики вегетаційних періодів використовували дані Київської обласної метеостанції (рис. 1, 2).

Активність мікробіологічних процесів у ґрунті ризосфери кукурудзи визначали тричі впродовж вегетації: у фазах 2–3 листків, викидання волоті й воскової стиглості. Вміст вуглецю мікробної біомаси ($C_{\text{мік.}}$) визначали регідраційним методом із використанням K_2SO_4 [21]; інтенсивність емісії CO_2 ґрунту визначали абсорбційним методом Штатнова [21]. Для оцінки розвитку хвороб (середня інтенсивність ураження, %) використовували чотирибальну шкалу ВІЗР у модифікації В. Пересипкіна та В. Підоплічка [22], поширення хвороб визначали розрахунковим методом. Статистичну обробку результатів здійснювали у програмі Statistica 6.0.

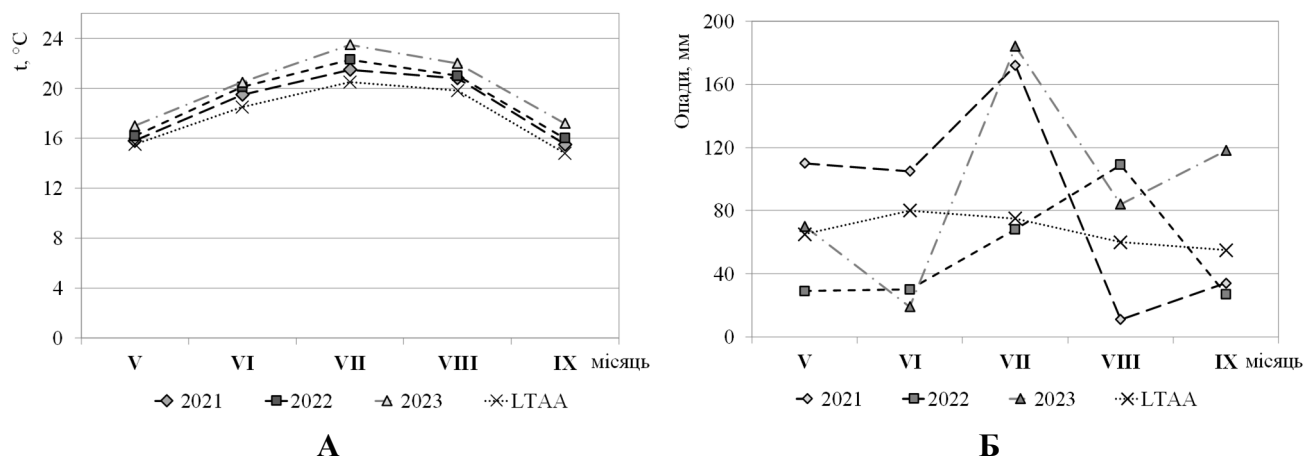


Рис. 1. Динаміка показників середньомісячних температур (А) і опадів (Б) у період вегетації кукурудзи.

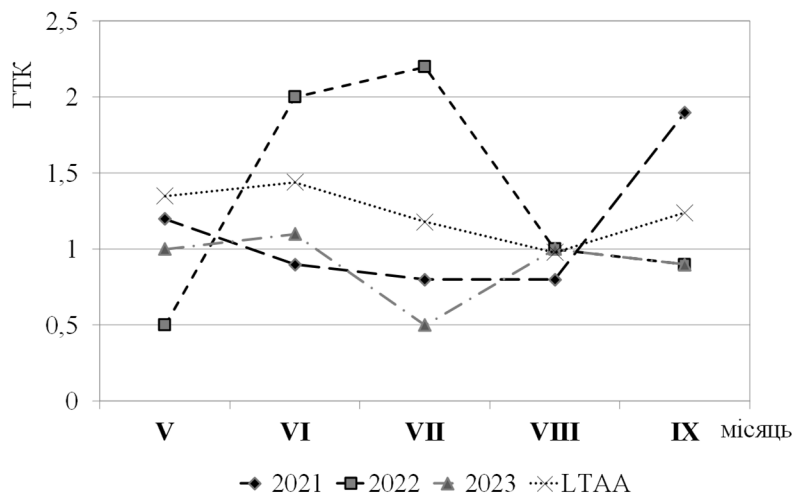


Рис. 2. Динаміка показників ГТК у період вегетації кукурудзи.

Примітка: *LTAA (Long-Term Agroclimatic Average) — середньобаторічні значення кліматичних показників.

Результати досліджень та їх обговорення. Аналіз кліматичних умов польових досліджень упродовж 2021–2023 рр. засвідчив істотну міжрічну варіабельність температурного режиму й вологозабезпечення, як порівняти із середніми багаторічними показниками (ЛТАА) (рис. 1–2). У період досліджень агроценозу кукурудзи відзначено тенденцію до підвищення середньомісячних температур повітря, найбільш виражену у 2023 р., коли перевищення норми в літні місяці сягало 2–3 °С. Водночас розподіл опадів був нерівномірним. Надмірним зволоженням у першій половині вегетації рослин (травень–липень) із різким дефіцитом вологи у серпні (ГТК = 0,8, рис. 3) характеризувався 2021 р. Погодні умови 2022 р. відзначилися нестабільністю вологозабезпечення, а саме дефіцитом вологи на початку вегетації (травень і червень) з подальшим локальним перезволоженням у літні місяці. Варто відзначити, що погодні умови 2023 р. поєднували високі температури з контрастним режимом опадів, що створювало стресові умови для рослин кукурудзи й ґрунтової біоти. Значення гідротермічного коефіцієнта (ГТК, рис. 3) для 2023 р. було нижче за багаторічні показники й коливалося від 0,5 до 1,1, що підтверджує чергування періодів посухи й надмірного зволоження.

Встановлено чітку залежність показників мікробіологічної активності від гідротермічних умов і фази розвитку рослин (рис. 3,

табл. 1). Упродовж років дослідження спостерігали зростання біомаси мікроорганізмів від фази 2–3 листків до періоду викидання волоті, що може пояснюватися активізацією кореневої ексудації та надходженням легкодоступних органічних субстратів у кореневу зону рослин. Максимальні значення вмісту мікробної біомаси в ґрунті зафіксовано у 2023 р. (198,1 мкг С / г ґрунту), що корелює з підвищеним температурним фоном і достатнім зволоженням у критичні періоди росту рослин кукурудзи. Водночас у 2022 р., попри підвищені значення ГТК у літні місяці, відзначено нижчий рівень мікробної біомаси, що може бути пов'язано з весняною посухою та порушенням початкових етапів онтогенезу рослин кукурудзи і, відповідно, стартових процесів мікробної сукцесії.

Інтенсивність емісії CO₂ як індикатора дихання ґрунту й мінералізаційних процесів загалом узгоджувалася з динамікою мікробної біомаси, зростаючи у період активної вегетації та сягаючи максимуму у фазі воскової стиглості. Найвищі значення емісії CO₂ зафіксовано у 2022–2023 рр. (до 36,2 мг CO₂/кг ґрунту) в період воскової стиглості кукурудзи, що свідчить про інтенсифікацію процесів розкладання органічної речовини за умов підвищеної температури й періодичного зволоження. Отже, поєднання теплового й водного режимів є ключовим регулятором вуглецевого циклу в агроценозі кукурудзи.

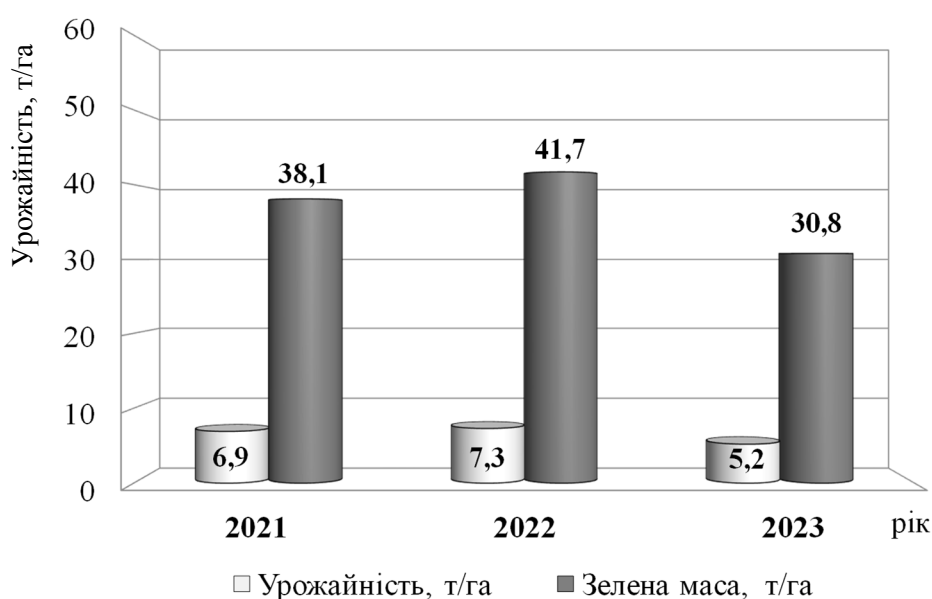


Рис. 3. Продуктивність зерна і зеленої маси кукурудзи (урожайність зерна: $НІР_{05} = 0,37$; зеленої маси: $НІР_{05} = 1,7$).

Таблиця 1. Показники біологічної активності мікробіоценозу і фітопатогенної оцінки агроценозу кукурудзи

Досліджуваний показник	Періоди вегетації рослин		
	фаза 2–3 листків	викидання волоті	воскова стиглість
2021 р.			
Біомаса мікроорганізмів, мкг С / г ґрунту	75,2 ± 2,6	114,2 ± 3,7	82,2 ± 2,8
Емісія CO ₂ , мг CO ₂ / кг ґрунту	19,4 ± 0,7	30,8 ± 1,1	29,8 ± 1,2
Поширення хвороб, %	24 ± 2,9	54 ± 4,2	63 ± 3,7
Розвиток хвороб, %	0,7 ± 0,1	1,9 ± 0,4	2,3 ± 0,3
2022 р.			
Біомаса мікроорганізмів, мкг С / г ґрунту	60,1 ± 1,3	98,7 ± 1,8	93,8 ± 3,2
Емісія CO ₂ , мг CO ₂ / кг ґрунту	17,9 ± 0,71	27,1 ± 0,95	35,6 ± 1,3
Поширення хвороб, %	23 ± 1,6	60 ± 2,1	68 ± 4,1
Розвиток хвороб, %	0,6 ± 0,08	3,1 ± 0,3	3,5 ± 0,5
2023 р.			
Біомаса мікроорганізмів, мкг С / г ґрунту	90,4 ± 2,2	198,1 ± 2,6	176,7 ± 2,8
Емісія CO ₂ , мг CO ₂ / кг ґрунту	22,7 ± 0,9	31 ± 1,2	36,2 ± 1,3
Поширення хвороб, %	21 ± 2,4	47 ± 2,9	52 ± 3
Розвиток хвороб, %	0,5 ± 0,1	1,8 ± 0,4	2,1 ± 0,2

Фітопатологічна оцінка агроценозу кукурудзи виявила поступове зростання як поширення, так і розвитку хвороб упродовж вегетації. Найвищі показники ураженості відзначено у 2022 р.: встановлено поширення на рівні 68 % із розвитком хвороб, що не перевищували 3,5 %. Вважаємо, що високий рівень поширення та розвитку хвороб імовірно, зумовлено контрастними умовами зволоження, які сприяють розвитку фітопатогенних мікроорганізмів. Натомість у 2023 р., завдяки високій мікробіологічній активності ґрунту, рівень ураження рослин кукурудзи був нижчим, що може свідчити про посилення конкурентних взаємодій у мікробіомі та зростання ролі супресивності ґрунту. Отже, інтенсивність розвитку хвороб зростає упродовж вегетаційного періоду й значною мірою залежить від гідротермічних умов. Контрастний режим зволоження сприяє підвищенню рівня ураження рослин, тоді як активне функціонування мікроорганізмів ґрунту може виконувати регуляторну функцію, знижуючи прояви впливу фітопатогенів за рахунок конкурентних і антагоністичних взаємодій.

Аналіз продуктивності кукурудзи показав (рис. 3), що найвищу врожайність зерна

7,3 т/га і зелену масу рослин (41,7 т/га) отримано у 2022 р. Тоді як у 2023 р., попри максимальну біологічну активність ґрунту, врожайність знизилася до 5,2 т/га, формування зеленої маси фіксували на рівні 30,8 т/га. Найнижчий рівень урожайності, на нашу думку, пов'язаний із температурним стресом, саме у 2023 р. фіксували низьку кількість опадів у червні, що вплинуло на формування вегетативної маси рослин і в подальшому на формування врожаю. Це свідчить про те, що продукційний процес лімітується не лише біологічними, а й абіотичними чинниками, зокрема водним режимом у критичні фази органогенезу навіть за умов активного функціонування мікробіоценозу. У 2021 р. формування врожаю відбувалося за порівняно збалансованих умов зволоження, що забезпечило середній рівень продуктивності культури в межах років досліджень.

Отже, встановлено тісний взаємозв'язок між агрокліматичними чинниками, мікробіологічною активністю ґрунту, фітопатогенним станом агроценозу й продуктивністю кукурудзи. Отримані результати польових досліджень підтверджують, що оптимальне поєднання температури й вологості є визначаль-

ним для формування стабільного функціонування ґрунтового мікробіому та реалізації продукційного потенціалу культури. Перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення адаптивних біологічно орієнтованих технологій управління мікробіоценозом ґрунту, спрямованих на підвищення його резистентності до кліматичних стресів і забезпечення стабільності агроєкосистем у контексті глобальних кліматичних змін. Узагальнюючи отримані результати, можна стверджувати, що стабільність функціонування агроценозу кукурудзи досягається за умов оптимального балансу температури й вологості, який забезпечує синхронізацію процесів росту рослин, активності мікробіоти й обмеження розвитку хвороб. Перспективи подальших досліджень доцільно пов'язати з розробкою адаптивних біотехнологічних підходів до управління ґрунтовим мікробіомом, спрямованих на підвищення стійкості агроєкосистем до кліматичних коливань та оптимізацію реалізації продукційного потенціалу культури.

Висновки. У підсумку проведених досліджень встановлено, що підвищення температурного фону в поєднанні з періодично достатнім зволоженням стимулює розвиток та активність мікробіоценозу. Це підтверджується зростанням вмісту біомаси мікроорганізмів й інтенсифікацією емісії CO₂ з ґрунту. Максимальна мікробіологічна активність формується у фазі інтенсивного росту рослин за зростання вмісту біомаси мікроорганізмів у 1,5–2,5 раза у порівнянні з початковими етапами онтогенезу рослин кукурудзи. Водночас дефіцит вологості на початку вегетації має пролонгований негативний ефект, знижуючи рівень активності мікробіоценозу. Показано, що фітопатогенний стан агроценозу значною мірою залежить від режиму зволоження та мікробіологічної активності: за контрастних умов (2022 р.) поширення хвороб сягало 68 % (розвиток — 3,5 %), тоді як за вищої мікробіологічної активності (2023 р.) ці показники знижувалися до 52 % і 2,1 % відповідно, що вказує на формування антагоністичних властивостей ґрунту. Встановлено, що найвища врожайність кукурудзи (7,3 т/га) сформувалася за умов порівняно збалансованого температурно-вологісного режиму, натомість його порушення знижує ефективність реалізації біотичного потенці-

алу навіть за високої активності мікробіоценозу.

Отже, продуктивність кукурудзи залежить від синхронізації мікробіологічної активності ґрунту та гідротермічних умов у критичні фази онтогенезу рослин. Отримані результати обґрунтовують необхідність розроблення адаптивних стратегій управління ґрунтовим мікробіомом, спрямованих на підвищення стійкості агроєкосистем до кліматичних коливань і забезпечення стабільної реалізації продукційного потенціалу кукурудзи.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Solokha M., Demyanyuk O., Symochko L., Mazur S., Vynokurova N., Sementsova, K., Mariychuk R. Soil Degradation and Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine. *Land*. 2024. Vol. 13, № 10. 1614. <https://doi.org/10.3390/land13101614>
2. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Eds. H. Lee and J. Romero]. *IPCC, Geneva, Switzerland*. 2023. P. 1–34. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf
3. Demyanyuk O. S., Patyka V. P., Sherstoboeva O. V., Bunas A. A. Formation of the structure of microbiocenoses of soils agroecosystems depending on trophic and hydrothermic factors. *Biosystems diversity*. 2018. Vol. 26, № 2. P. 103–110. <https://doi.org/10.15421/011816>
4. Liu Z., Liu W., Liu H., Gao T., Zhao H., Geng Li ... Ning T. Capture of soil respiration for higher photosynthesis with lower CO₂ emission. *Journal of Cleaner Production*, 2020. Vol. 246. 119029. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119029>
5. Sun W., Ubierna N., Ma J. Y., Walker B. J., Kramer D. M., Cousins A. B. The coordination of C₄ photosynthesis and the CO₂-concentrating mechanism in maize and *Miscanthus x giganteus* in response to transient changes in light quality. *Plant Physiol*. 2014. Vol. 164, № 3. P. 1283–1292. <https://doi.org/10.1104/pp.113.224683>
6. Zhang S., Bai J., Zhang G., Xia Z., Wu M., Lu H. Negative effects of soil warming, and adaptive cultivation strategies of maize: A review. *Science of The Total Environment*. 2023. Vol. 862. 160738. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160738>
7. Bunas A., Tkach Ye. Activity of the microbiocenose of the root zone of corn plants under the action of plant protection agents. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. 2023. Vol. 13, № 4. P. 11–16. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2025.333839>

8. Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Сучасний стан, проблеми та перспективи виробництва зерна кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*. 2025. № 144. С. 164–174. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.144.22>
9. Zhao J., Xie X., Jiang Yu., Li J., Fu Q., Qiu, Y. ... Chen H. Effects of simulated warming on soil microbial community diversity and composition across diverse ecosystems. *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 911. 168793. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168793>
10. Zhou J., Deng Y., Shen L., Wen C., Yan Q., Ning D. ... Bown J. H. Temperature mediates continental-scale diversity of microbes in forest soils. *Nat Commun*, 2016. Vol. 7. 12083. <https://doi.org/10.1038/ncomms12083>
11. Trivedi P., Leach J. E., Tringe S. G., Sa T., Singh B. K. Plant-microbiome interactions: from community assembly to plant health. *Nat Rev Microbiol*. 2020. Vol. 18. P. 607–621. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0412-1>
12. Volkogon V., Pyrig O., Dimova S., Volkogon K. Focus of mineralization-synthesis processes of the organic matter in the leached chernozem while cultivating potatoes on different fertilization backgrounds. *Agricultural Science and Practice*. 2020. Vol. 7, № 1. P. 40–48. <https://doi.org/10.15407/agrisp7.01.040>
13. Pathan S. I., Ganugi P., Arfaio P., Masoni A., Pietramellara G. Resilience of root and soil bacteria to drought stress depends on host plant's colonization affinity towards arbuscular mycorrhiza fungi. *European Journal of Soil Biology*. 2023. Vol. 118. 103540. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2023.103540>
14. Kuzyakov Y., Razavi B. S. Rhizosphere size and shape: Temporal dynamics and spatial stationarity. *Soil Biology and Biochemistry*. 2019. Vol. 135. P. 343–360. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.05.011>
15. Vries F. T. D., Griffiths R. I., Knight C. G., Nicolitch O., Williams A. Harnessing rhizosphere microbiomes for drought-resilient crop production. *Science*. 2020. Vol. 368, № 6488. P. 270–274. <https://doi.org/10.1126/science.aaz5192>
16. Городиська І. М., Терновий Ю. В., Мазур С. О. Регулювання фітопатогенного фону посівів пшениці озимої за органічного вирощування. *Агробіологія*. 2024. № 1. С. 251–259. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2024-187-1-251-259>
17. Naylor D., Coleman-Derr D. Drought Stress and Root-Associated Bacterial Communities. *Front Plant Sci*. 2018. Vol. 8. 2223. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02223>
18. Burlakoti S., Devkota A. R., Poudyal S., Kaundal A. Beneficial Plant-Microbe Interactions and Stress Tolerance in Maize. *Applied Microbiology*. 2024. Vol. 4, № 3. P. 1000–1015. <https://doi.org/10.3390/applmicrobiol4030068>
19. Liu Y., Wen M., Li M., Zhao W., Li P., Cui J., Ma F. Effects of reduced nitrogen application rate on drip-irrigated cotton dry matter accumulation and yield under different phosphorus and potassium managements. *Agronomy Journal*. 2021. Vol. 113, № 3. P. 2524–2533. <https://doi.org/10.1002/agj2.20625>
20. Salako J. T., Oluwasemiire K. O., Adu-ramigba-Modupe V. O., Olanipekun S. O., Uthman A. C. O., Ojo A. O. Integrated Nutrient Management for Sustainable Soil and Crop Productivity. *European Journal of Agriculture and Forestry Research*. 2025. Vol. 13, № 1. P. 89–106. <https://doi.org/10.37745/ejafr.2013/vol13n189106>
21. Експериментальна ґрунтова мікробіологія / за наук. ред. В. В. Волкогона. Київ : Аграрна наука, 2010. 464 с.
22. Пересипкін В. Ф. Сільськогосподарська фітопатологія. Київ : Аграрна освіта, 2000. 415 с.

Отримано: 17.03.2026

Прийнято до друку: 21.04.2026

Опубліковано онлайн: 29.05.2026

THE IMPACT OF HYDROTHERMAL FACTORS AND SOIL MICROBIOLOGICAL ACTIVITY ON CORN YIELD

A. A. Bunas, <https://orcid.org/0000-0003-4806-7004>,

Ye. D. Tkach, <https://orcid.org/0000-0002-0666-1956>,

O. V. Sherstoboieva, <https://orcid.org/0000-0001-8239-0847>,

I. P. Movchan, <https://orcid.org/0009-0002-0647-6133>

Institute of Agroecology and Environmental Management, NAAS, Kyiv
e-mail: bio-206316@ukr.net

Objective. To study the impact of weather conditions (air temperature and precipitation) on the dynamics of soil microbiocenosis activity key indicators of, plant productivity, and the phytopathogenic state of the maize agroecosystem. **Methods.** Standard microbiological methods (microbial biomass carbon content, CO₂ emission intensity), phytopathological methods, quantitative analysis of agroecosystem productivity, and methods of mathematical statistics were used. **Results.** A close link between microbiological activity and hydrothermal conditions as well as the plant growth stage was identified: the maximum microbial biomass was recorded in 2023 (198.1 µg C / g soil) during the tasseling stage, while CO₂ emission intensity correlated with biomass dynamics, reaching a maximum in the waxy ripeness stage of corn (up to 36.2 mg CO₂ / kg of soil). The phytopathogenic status of the agroecosystem showed that the contrasting moisture regime in 2022 contributed to the spread of diseases up to 68 % with a development rate not exceeding 3.5 %. In 2023, however, despite high microbiological activity, the infection rate decreased to 52 % and 2.1 %, respectively, indicating the antagonistic properties of the soil microbiome. Corn productivity also depended on the synchronization of microbiological processes and hydrothermal conditions: the highest grain yield (7.3 t/ha) was achieved in 2022 under relatively balanced water and temperature conditions, whereas in 2023, under temperature stress, the yield was 5.2 t/ha. **Conclusions.** The effectiveness of the maize agroecosystem is determined by the synchronization of hydrothermal conditions and microbiological processes in the soil. An active and structured microbiome is a key regulator of agroecosystem resilience, whereas moisture deficiency in critical phases limits the crop's yield potential. The implementation of adaptive, bio-oriented technologies for managing the soil microbiome is perspective for enhancing the resilience of agroecosystems to climatic stresses.

Key words: *Zea mays* L., microbiocenosis, soil microbial biomass, soil biological activity, climate change, drought resistance.

REFERENCES

1. Solokha, M., Demyanyuk, O., Symochko, L., Mazur, S., Vynokurova, N., Sementsova, K., & Mariychuk, R. (2024). Soil Degradation and Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine. *Land*, 13(10), 1614. <https://doi.org/10.3390/land13101614>
2. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 1–34. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf
3. Demyanyuk, O. S., Patyka, V. P., Sherstoboieva, O. V., & Bunas, A. A. (2018). Formation of the structure of microbiocenoses of soils agroecosystems depending on trophic and hydrothermic factors. *Biosystems diversity*, 26(2), 103–110. <https://doi.org/10.15421/011816>
4. Liu, Z., Liu, W., Liu, H., Gao, T., Zhao, H., Geng, Li ... Ning, T. (2020). Capture of soil respiration for higher photosynthesis with lower CO₂ emission. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119029. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119029>
5. Sun, W., Ubierna, N., Ma, J. Y., Walker, B. J., Kramer, D. M., & Cousins, A. B. (2014). The coordination of C₄ photosynthesis and the CO₂-concentrating mechanism in maize and *Miscanthus x giganteus*.

- teus in response to transient changes in light quality. *Plant Physiol*, 164(3), 1283–1292. <https://doi.org/10.1104/pp.113.224683>
6. Zhang, S., Bai, J., Zhang, G., Xia, Z., Wu, M., & Lu, H. (2023). Negative effects of soil warming, and adaptive cultivation strategies of maize: A review. *Science of The Total Environment*, 862, 160738. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160738>
7. Bunas, A., & Tkach, Ye. (2023). Activity of the microbiocenose of the root zone of corn plants under the action of plant protection agents. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*, 13(4), 11–16. <https://doi.org/10.31407/ijeess.13.402>
8. Sydiakina, O. V., & Hamula, Ye. A. (2025). Suchasnyi stan, problemy ta perspektyvy vyrobnytstva zerna kukurudzy [Current status, problems and prospects of corn grain production]. *Tavriyskyi naukovyi visnyk — Tavria Scientific Bulletin*, 144, 164–174 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.144.22>
9. Zhao, J., Xie X., Jiang, Yu., Li, J., Fu, Q., Qiu, Y. ... Chen, H. (2024). Effects of simulated warming on soil microbial community diversity and composition across diverse ecosystems. *Science of The Total Environment*, 911, 168793. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168793>
10. Zhou, J., Deng, Y., Shen, L., Wen, C., Yan, Q., Ning, D. ... Brown, J. H. (2016). Temperature mediates continental-scale diversity of microbes in forest soils. *Nat Commun*, 7, 12083. <https://doi.org/10.1038/ncomms12083>
11. Trivedi, P., Leach, J. E., Tringe, S. G., Sa, T., & Singh, B. K. (2020). Plant-microbiome interactions: from community assembly to plant health. *Nat Rev Microbiol*, 18, 607–621. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0412-1>
12. Volkogon, V., Pyrig, O., Dimova, S., & Volkogon, K. (2020). Focus of mineralization-synthesis processes of the organic matter in the leached chernozem while cultivating potatoes on different fertilization backgrounds. *Agricultural Science and Practice*, 7(1), 40–48. <https://doi.org/10.15407/agrisp7.01.040>
13. Pathan, S. I., Ganugi, P., Arfaoli, P., Masoni, A., & Pietramellara, G. (2023). Resilience of root and soil bacteria to drought stress depends on host plant's colonization affinity towards arbuscular mycorrhiza fungi. *European Journal of Soil Biology*, 118, 103540. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2023.103540>
14. Kuzyakov, Y., & Razavi, B. S. (2019). Rhizosphere size and shape: Temporal dynamics and spatial stationarity. *Soil Biology and Biochemistry*, 135, 343–360. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.05.011>
15. Vries, F. T. D., Griffiths, R. I., Knight, C. G., Nicolitch, O., & Williams, A. (2020). Harnessing rhizosphere microbiomes for drought-resilient crop production. *Science*, 368(6488), 270–274. <https://doi.org/10.1126/science.aaz5192>
16. Horodyska, I. M., Ternovyi, Yu. V., & Mazur, S. O. (2024). Rehulivannia fitopatohennoho fonu posviv pshenytsi ozymoi za orhanichnoho vyroshchuvannia [Regulation of phytopathogenic background of winter wheat crops under organic cultivation]. *Ahrobiolohiia — Agrobiology*, 1, 251–259 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2024-187-1-251-259>
17. Naylor, D., & Coleman-Derr, D. (2018). Drought Stress and Root-Associated Bacterial Communities. *Front Plant Sci*, 8, 2223. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02223>
18. Burlakoti, S., Devkota, A. R., Poudyal, S., & Kaundal, A. (2024). Beneficial Plant-Microbe Interactions and Stress Tolerance in Maize. *Applied Microbiology*, 4(3), 1000–1015. <https://doi.org/10.3390/applmicrobiol4030068>
19. Liu, Y., Wen, M., Li, M., Zhao, W., Li, P., Cui, J., & Ma, F. (2021). Effects of reduced nitrogen application rate on drip-irrigated cotton dry matter accumulation and yield under different phosphorus and potassium managements. *Agronomy Journal*, 113(3), 2524–2533. <https://doi.org/10.1002/agj2.20625>
20. Salako, J. T., Oluwasemiire, K. O., Adu-ramigba-Modupe, V. O., Olanipekun, S. O., Uthman, A. C. O., & Ojo, A. O. (2025). Integrated Nutrient Management for Sustainable Soil and Crop Productivity. *European Journal of Agriculture and Forestry Research*, 13(1), 89–106. <https://doi.org/10.37745/ejafr.2013/vol13n189106>
21. Volkogon, V. V. (Ed.). (2010). *Eksperymentalna gruntova mikrobiolohiia* [Experimental soil microbiology]. Kyiv: Agrarian Science [in Ukrainian].
22. Peresyphkin, V. F. (2000). *Silskohospodarska fitopatolohiia* [Agricultural Phytopathology]. Kyiv: Agrarian Education [in Ukrainian].

Received: 17.03.2026

Accepted: 21.04.2026

Published online: 29.05.2026