

ВПЛИВ СИДЕРАЛЬНИХ КУЛЬТУР НА ЧИСЕЛЬНІСТЬ ҐРУНТОВИХ МІКРООРГАНІЗМІВ В АГРОЦЕНОЗАХ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

Ю.А. Кравчук, І.В. Безноско

Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: doslidna_skvira@meta.ua; ORCID: 0009-0003-6878-7700

e-mail: beznoskoirina@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2217-5165

Використання сидеральних культур у агроценозах пшениці озимої сприяє активізації мікробіологічних процесів у ґрунті, підвищенню його біологічної активності, поліпшенню структурно-агрономічних властивостей і формуванню екологічно стійкої агроєкосистеми. Тому метою роботи було дослідження структури та складу комплексу ґрунтових мікроорганізмів під сидеральними культурами, що є необхідним для розуміння впливу чинників навколишнього середовища, властивостей ґрунту, агротехнічних заходів і систем удобрення на перебіг біологічних процесів у ньому. Для сидерації використовували вику яру (*Vicia sativa* L.), редьку олійну (*Raphanus sativum* d. var. *oleifera* Metrg.), гірчицю жовту (*Brassica juncea* L.) та розторопшу плямисту (*Silybum marianum* L.). Такий вибір сидеральних культур обґрунтовано належністю їх до різних біологічних груп із відповідно різним впливом на поживний режим та вологість ґрунту, а отже, і врожайність цих культур. У статті наведено результати дослідження впливу різних сидеральних культур на мікробіологічну активність ґрунту на різних етапах онтогенезу рослин. Встановлено, що застосування бобових сидератів (гороху на зерно, гороху сидерату та вики ярої) спричиняє посилення мінералізаційних процесів, активізацію ґрунтової мікробіоти та підвищення біологічної стійкості агроєкосистеми. У варіантах із гірчицею жовтою, редькою олійною та розторопшою стають доступними для покращання живлення рослин, однак інтенсивність мікробіологічних процесів була нижчою, ніж за використання бобових культур. Найменшу біологічну активність ґрунту зафіксовано на контролі (пару). Біомаса сидератів є природним джерелом вуглецю, азоту та інших поживних елементів, які після розкладання стають доступними для основних культур, сприяючи поліпшенню їх живлення. Крім того, завдяки різноманітності біологічних груп сидеральних культур (бобові, хрестоцвітні, айстрові тощо) формується різноспрямований вплив на ґрунтову мікробіоту, структуру ґрунту та його вологоутримувальну здатність. Отримані результати допомагають глибшому розумінню біологічних процесів у ґрунті, оптимізації систем удобрення, підвищенню родючості та екологічної стійкості агроєкосистем, а також забезпеченню стабільного виробництва високоякісної рослинницької продукції.

Ключові слова: агроєкосистема, мікроміцети, екологічна рівновага, родючість ґрунту, мікробіологічна активність, трансформація органічної речовини, показники педотрофності, оліготрофності, мінералізації — іммобілізації.

ВСТУП

Сучасне землеробство дедалі більше орієнтується на екологічно безпечні технології вирощування сільськогосподарських культур, що забезпечують стабільну продуктивність агроєкосистем без надмірного використання хімічних засобів захисту рослин. Одним із важливих напрямів такого підходу є застосування сидеральних культур, які виконують роль природного добрива, покращують структуру ґрунту,

збагачують його органічною речовиною та активізують біологічну активність мікроорганізмів.

Ґрунтові мікроорганізми беруть участь у процесах ґрунтоутворення, трансформації органічної речовини, мобілізації елементів живлення та формування фітосанітарного стану агроценозів. За даними численних досліджень (Gao; Liu; Панько та ін.), використання сидеральних культур сприяє зростанню чисельності бактерій, актиноміцетів і мікроскопічних грибів, підвищує

ферментативну активність ґрунту та стабілізує мікробіологічну рівновагу.

Особливе значення такі процеси мають в агроценозах пшениці озимої, де збереження родючості ґрунту й біологічної рівноваги є запорукою високої урожайності та якості зерна [1]. Водночас, питання впливу сидеральних культур в агроценозах пшениці озимої на чисельність ґрунтових мікроорганізмів залишається недостатньо дослідженим в Україні, що зумовлює актуальність даної тематики.

Водночас досить загострилася проблема збереження та підвищення родючості ґрунтів. Існуюча система землеробства не забезпечує збереження родючості ґрунту: мікробна біомаса нижче у 4 рази, дихання удвічі, вміст гумусу — удвічі порівняно із незадіяними у сільськогосподарське виробництво земельними угіддями. За вирощування багаторічних культур у агроценозі формуються бідні по видовому різноманіттю комплекси мікроорганізмів менш стійкі проти несприятливих чинників середовища [2; 3].

Тому **метою нашої роботи** було дослідження структури та складу комплексу ґрунтових мікроорганізмів під сидеральними культурами, що є необхідним для розуміння впливу чинників навколишнього середовища, властивостей ґрунту, агротехнічних заходів і систем удобрення на перебіг біологічних процесів у ґрунті.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В останні десятиліття у розвинених країнах значно зростає інтерес до виробництва органічної сільськогосподарської продукції [4]. Інтенсивно використовуються біологічні чинники у системі землеробства: чергування культур на принципах плодозміни, внесення нетоварної частини урожаю на добриво, розміщення по найефективніших попередниках та ін. Актуальним завданням сьогодення є активізація агрономічно корисних процесів, що пов'язані із участю рослин в утворенні ґрунту [5].

Біологічна система землеробства передбачає, з одного боку, повну відсутність або

різке скорочення застосування мінеральних добрив, пестицидів, регуляторів росту, а з іншого боку, впровадження сівозмін, максимальне використання органічних добрив, раціональний обробіток ґрунту, застосування ґрунтових структуроутворювачів, біологічні методи боротьби із хворобами, шкідниками та бур'янами. Проміжні культури сприяють кращому використанню сонячної енергії, очищенню ґрунту від нітратів, збагаченню його гумусом. Окрім того, хрестоцвіті мають велику фітосанітарну дію. Велике значення багаторічних трав та інших кормових культур у одержанні екологічно чистої продукції.

Зелене добриво — найдешевший та найефективніший спосіб комплексного відродження екосистеми. Зелені добрива відносяться до таких, що легко мінералізуються, тому їх значення в підвищенні біогенності ґрунтів є надзвичайно важливим [6–8].

На відміну від природних рослинних угруповань, де взаємовідносини між ґрунтовим та рослинним покривом мають гармонічний характер, дія агрофітоценозів на ґрунтове середовище неоднозначна. До позитивних наслідків впливу культурних рослин необхідно віднести: постачання до ґрунту свіжої органічної речовини у вигляді біомаси різних рослин; симбіотичну фіксацію атмосферного азоту бульбочковими бактеріями, що поселяються на коренях бобових рослин; збагачення поживними речовинами верхнього шару ґрунту за рахунок підґрунтя; зростання ступеня засвоєності деяких елементів мінерального живлення рослин під впливом корневих виділень, продуктів мінералізації рослинних залишків та ін. [9; 10].

Дослідженнями іноземних учених Zhang, Kusch-Brandt, Salter, Heaven [11], а також українських науковців Волкогон [12], Бурикіної, Ужєвської та Куліджанова вивчено вплив сидеральних культур на мікробіологічні процеси в агроценозах, динаміку чисельності основних фізіологічних груп ґрунтових мікроорганізмів, а також особливості трансформації органічної речовини під дією різних біологічних

груп рослин. Виявлено, що використання в короткоротаційній сівозміні як сидеральні культури вико-вівсяної сумішки, гірчиці білої і гороху є ефективним заходом покращання поживного режиму ґрунту, збільшення врожайності культур та її продуктивності. Втім залишення рослинних залишків призводить до концентрації мікробної біомаси у шарі від 5 до 15 см, і це у такий спосіб сприяє розповсюдженню не лише корисних ґрунтоутворних мікроміцетів, але і патогенних мікроорганізмів [11; 12].

Для життя рослин важливе значення має не тільки мікробіота ґрунту загалом, але особливо мікроорганізми зони кореневої системи рослин. Корені змінюють структуру ґрунту, виділяють значну кількість вуглекислоти, яка досить різко впливає на розчинність деяких мінеральних сполук, енергетичні речовини (цукри, органічні кислоти, амінокислоти, спирти та ін.), вітаміни, стимулятори росту, що обумовлюють розмноження тут багатой сапрофітної мікрофлори. Органічна речовина, яка синтезується автотрофними організмами, включається в біологічний колообіг, де споживається консументами [13; 14].

Загальновідомим є той факт, що чисельність мікроорганізмів у ґрунті постійно змінюється. Крім того, у всякому ґрунтовому покриві є певний природний рівень чисельності мікробіоти, що можна розглядати як запаси мікроорганізмів ґрунту, який не забезпечується енергетичною речовиною, необхідною для безперервного розмноження, але знаходиться у стані підтримання [15]. В ризосфері рослин за дії мікроорганізмів відбувається як деструкція, так і синтез органічної речовини.

Дослідженнями вчених Francesca Cotrufo та Smith із колегами відомо, що за сприятливих умов розкладання рослинної маси відбувається вже у перші дні після заорювання її у ґрунт і супроводжується бурхливим виділенням CO_2 . Через 4–11 діб активно виділяється аміак внаслідок діяльності амоніфікувальних бактерій, що змінюються на нітрофікатори. Також за дослідженнями О. Демиденка [16] вста-

новлено, що чисельність мікроорганізмів (автотрофних, олігонітрофільних та ендотрофних) зростає у перші 90 діб за внесення на зрошуваних землях сидеральних культур. Родючість ґрунтів формується за дії складного комплексу природних і антропогенних чинників, серед яких головна роль належить діяльності ґрунтових мікроорганізмів [17; 18]. За аналізом наукових праць вчених С.П. Танчик і С.В. Рєзнік із співавт. [19; 20] визначено, що кількісний та якісний склад ґрунтової мікробіоти, як чутливий індикатор стану агроєкосистеми, відображає ступінь антропогенного навантаження, тому використовується як діагностичний показник за оцінювання екологічного стану ґрунту, що дає можливість виявити певні зміни екосистеми ще на ранніх стадіях.

Отже, визначення впливу сидеральних культур на чисельність ґрунтових мікроорганізмів в агроценозах пшениці озимої сприятиме глибшому розумінню біологічних процесів у ґрунті, оптимізації систем удобрення, підвищенню родючості та екологічної стійкості агроєкосистем, а також забезпеченню стабільного виробництва високоякісної рослинницької продукції.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили впродовж 2023–2025 рр. на базі тимчасових польових дослідів, які розташовані у Сквирській дослідній станції органічного виробництва НААН. Для сидерації використовували вику яру (*Vicia sativa* L.), редьку олійну (*Raphanus sativum* d. var. *oleifera* Metrg.), гірчицю жовту (*Brassica juncea* L.) та розторошшу плямисту (*Silybum marianum* L.). Такий вибір сидеральних культур обґрунтовано належністю їх до різних біологічних груп із відповідно різним впливом на поживний режим та вологість ґрунту, а отже, і врожайність цих культур. Сидерати також дають можливість розширити сівозміну, збільшити її біорізноманіття та розірвати за необхідності зернову ланку.

Зразки ґрунту (12–14 індивідуальних проб) відбирали тростинним буром із гли-

бини 0–20 см із подальшою підготовкою до аналізів згідно з ДСТУ 7847:2015 [21].

Лабораторні дослідження виконували в лабораторії біоконтролю агроєкосистем та органічного виробництва НААН. Чисельність мікроорганізмів здійснювали методом висівання ґрунтової суспензії на стандартні поживні середовища [22–24].

Для визначення у пробі ґрунту чисельності мікроміцетів застосовували метод глибинного посіву, де 1 см³ суспензії, певного розведення стерильною піпеткою переносять у чашку Петрі, заливають розплавленим та охолодженим до 45–50°C поживним середовищем і обережно круговими рухами змішують посівний матеріал із суспензією клітин. Чашки залишають на горизонтальній поверхні, поки середовище не застигне, після чого ставлять у термостат перевернутими догори дном. Чашки інкубують за температури 28°C упродовж 3–7 діб залежно від швидкості росту мікроорганізмів.

Кількість колоній, які виросли, підраховують за допомогою автоматичного лічильника SCAN4000 (Interscience, France). За більшої кількості колоній і їхнього рівномірного розташування дно чашки Петрі умовно ділять на 4 або більше однакових секторів, рахують кількість колоній у двох–трьох секторах (але не менше, ніж на 1/3 поверхні чашки), знаходять середнє арифметичне число колоній і множать на загальну кількість секторів на одній чашці.

Чисельність мікроорганізмів в розрахунку на 1 г сухого ґрунту (X) в КУО обчислювали за формулою [24]:

$$X = (a \times b \times 10^n) / V, \quad (1)$$

де X — кількість клітин в 1 г сухого ґрунту; a — середня кількість підрахованих колоній, од.; b — коефіцієнт вологості, розрахований згідно з ДСТУ ISO 11465-2001; 10^n — коефіцієнт розведення; V — об'єм суспензії, що взяли для посіву, см³.

Чисельність целюлозолітичних мікроорганізмів визначали шляхом розрахунку найбільш вірогідної кількості (НБК) клітин в одиниці об'єму вихідного субстрату за таблицею Мак-Креді.

Чисельність целюлозолітичних мікроорганізмів обчислювали за формулою:

$$X = \text{НБК} \times b, \quad (2)$$

де X — кількість клітин у 1 г сухого ґрунту; НБК — найбільш вірогідна кількість клітин мікроорганізмів у 1 г субстрату, од.; b — коефіцієнт вологості, розрахований.

Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті визначали за відповідними коефіцієнтами [25; 26].

Коефіцієнт мінералізації–імобілізації ($K_{\text{м-і}}$) розраховували за відношенням кількості мікроорганізмів, що імобілізують мінеральні форми нітрогену, до чисельності амоніфікаторів за формулою:

$$K_{\text{м-і}} = \text{КАА} / \text{МПА}, \quad (3)$$

де КАА, МПА — кількість мікроорганізмів, що виросли, відповідно, на крохмально-аміачному та м'ясопептонному агарі.

Коефіцієнт оліготрофності ($K_{\text{ол.}}$) розраховували за відношенням чисельності мікроорганізмів, що здатні засвоювати елементи живлення з дуже розріджених розчинів до загальної чисельності евтрофних мікроорганізмів за формулою:

$$K_{\text{ол.}} = \text{ГА} / (\text{КАА} + \text{МПА}), \quad (4)$$

де ГА — кількість мікроорганізмів, що виросли на голодному агарі.

Коефіцієнт педотрофності ($K_{\text{пед.}}$) розраховували за відношеннями кількості мікроорганізмів на ґрунтовому агарі (ГрА) до кількості мікроорганізмів, що виросли на м'ясопептонному агарі (МПА):

$$K_{\text{пед.}} = \text{ГрА} / \text{МПА}. \quad (5)$$

Статистичну обробку експериментальних даних проводили за загальноприйнятими в мікробіології методиками з використанням комп'ютерних програм Microsoft Excel та здійснено однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA, тест Тьюкі). Різниця між контрольними і експериментальними показниками вважали значними, коли ймовірність різниці становила $P < 0,05$.

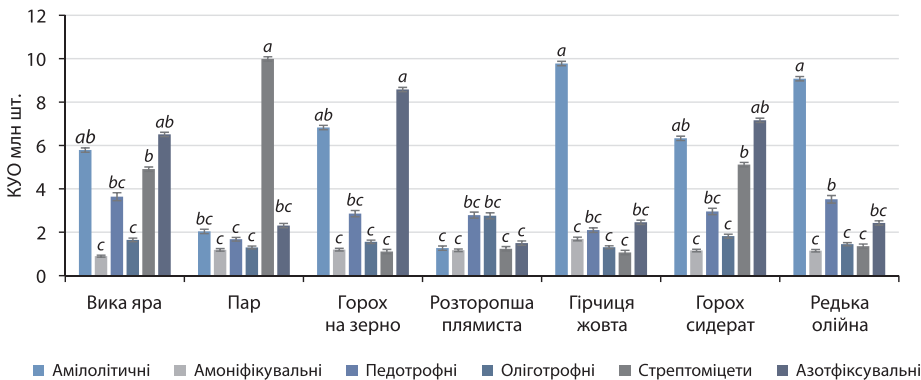
РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Досліджено вплив різних сидеральних культур на чисельність мікроорганізмів еколого-трофічних груп у мікробіомі ґрунту. На початку вегетаційного періоду вста-

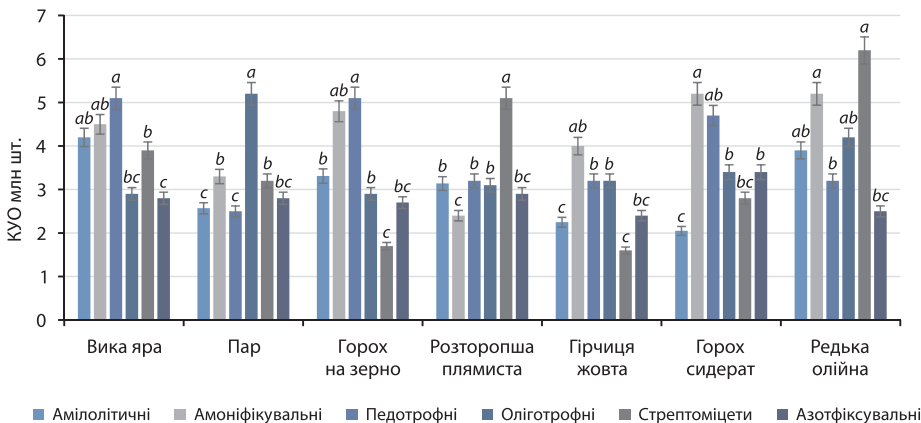
новлено, що у мікробіомі ґрунту бобових культур (вика яра, горох сидерат та горох на зерно) підвищується чисельність азотфіксувальних мікроорганізмів на 20% порівняно із іншими сидератами, що підтверджує їхню ґрунтополіпшувальну роль. У мікробіомі ґрунту хрестоцвітих культур (гірчиця жовта, редька олійна) виявлено стимульований розвиток мікроорганізмів амілолітичних та амоніфікувальних груп їх чисельність зростала на 5% вище за інші сидерати. Це означає, що вони сприяють мінералізації органічних решток і швидшому кругообігу поживних речовин у ґрунті.

У мікробіомі ґрунту розторопші плямистої спостерігалася висока чисельність оліготрофів на 40% вища, ніж у інших культур, що свідчить, що вона виділяє менше доступних органічних речовин у ризосферу, і мікроорганізми змушені розвиватися за дефіциту поживних субстратів. Мікробіом ґрунту під паром характеризувався високою чисельністю стрептоміцетів, що вказує на перевагу мікроорганізмів-деструкторів у відсутності культурних рослин (рис. 1, а).

За даними представленими на рис. 1, б встановлено, що після заорювання сидератів бобових культур (горох на сидерат



а



б

Рис. 1. Чисельність мікроорганізмів еколого-трофічних груп:
а – вегетація; б – після заорювання сидератів

Примітки: $\bar{x} \pm SD$, Тьюкі тест, $n = 5$ повторів; а, b, c – статистично значущі відмінності кількості речовин ($P < 0,05$).

та зерно, вика яра) у мікробіомі ґрунту переважають амоніфікатори та педотрофи, де їхня чисельність була у 1,5 раза вища, ніж у інших сидератів, що зумовлено відмиранням бульбочок. За використання хрестоцвітних сидератів (гірчиця жовта, редька олійна) майже у 2 рази зростає чисельність амоніфікаторів й стрептоміцетів, які швидко активізують процеси мінералізації. Натомість за заорювання сидерату розторопші плямистої у мікробіомі ґрунту різко збільшується чисельність актиноміцетів, що пояснює розвиток деградаційних процесів і зниження біологічної стійкості ґрунту. Мікробіом ґрунту під паром вирізняється високою часткою оліготрофів, що вказує на виснаження легкодоступної органіки в ґрунті без надходження ексудатів від культур.

Наведені дані у *табл. 1* підтверджують істотний вплив видів сидеральних культур на мікробіологічну активність ґрунту в агроценозах пшениці озимої як на ранніх етапах вегетації, так і після заорювання сидератів.

На початкових етапах онтогенезу сидератів активність мікроорганізмів була

відносно низькою. Високі показники педотрофності та трансформації органічної речовини спостерігалися під розторопшею плямистою (1,03; 2,24) і гірчицею жовтою (0,48; 1,98), що свідчить про активне мікробіологічне розкладання органічних сполук і підвищену біологічну активність цих варіантів. Особливо вирізняється сидерат — горох на зерно (1,1; 3,3; 1,3), де фіксували найвищий рівень процесів мінералізації—імобілізації, що пов'язано з високим вмістом азоту у кореневих рештках. Водночас, вика яра та горох-сидерат мали нижчі показники, що характерно для культур із меншою біомасою та повільнішим розкладанням.

Отже, найсприятливіший вплив на мікробіологічні процеси ґрунту виявлено за використання сидератів: редьки олійної, гороху-сидерата та гірчиці жовтої, які стимулюють процеси мінералізації та трансформації органічної речовини. Це вказує на їхню високу ефективність у підвищенні біологічної активності та родючості ґрунту в агроценозах пшениці озимої.

Досліджено зміни у чисельності мікроорганізмів еколого-трофічних груп за впли-

Таблиця 1. Вплив сидеральних культур на мікробіологічні процеси та трансформацію органічної речовини в ґрунті

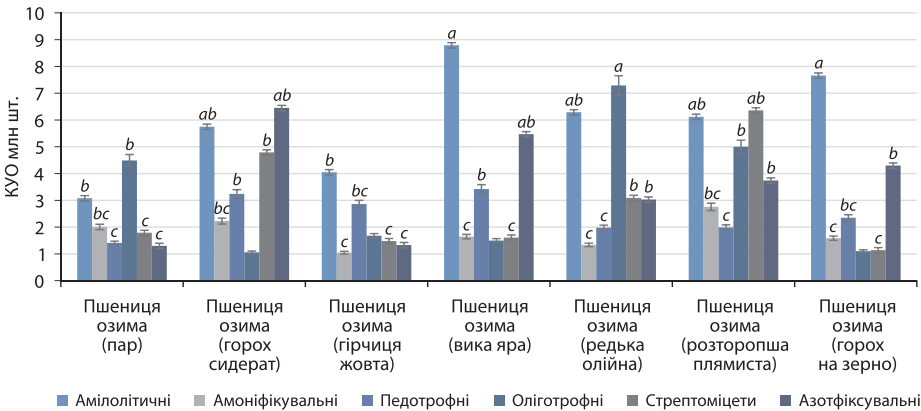
Веgetаційний період	Сидерат	Оліготрофності	Педотрофності	Мінералізації — імобілізації	Трансформація органічної речовини
Веgetація на ранніх етапах онтогенезу	Вика яра	0,10	0,38	0,61	1,03
	Пар	0,24	0,52	0,63	1,88
	Горох на зерно	0,13	1,1	3,3	1,3
	Розторопша плямиста	0,69	1,03	0,47	2,24
	Гірчиця жовта	0,09	0,48	2,27	1,98
	Горох-сидерат	0,10	0,28	0,60	1,37
	Редька олійна	0,11	0,86	2,22	1,29
Після заорювання сидератів	Вика яра	0,30	0,94	0,77	9,32
	Пар	0,74	0,56	0,58	7,53
	Горох на зерно	0,32	0,92	0,60	11,7
	Розторопша плямиста	0,49	1,03	1,01	4,23
	Гірчиця жовта	0,46	0,69	0,48	11,1
	Горох-сидерат	0,40	0,74	0,32	18,3
	Редька олійна	0,42	0,54	0,66	12,1

ву різних сидератів у агроценозах пшениці озимої на ранніх етапах онтогенезу (рис. 2).

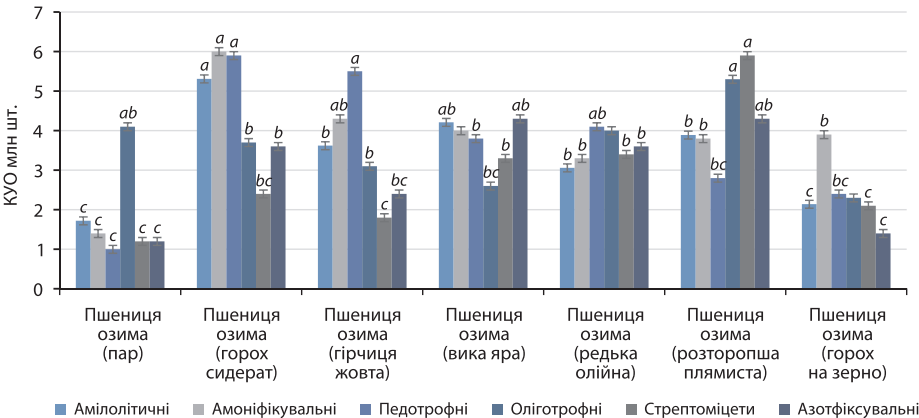
За даними поданими на рис. 2 встановлено, що на ранніх етапах онтогенезу рослин найвищу біологічну активність ґрунтового мікробіому забезпечують сидерати бобових культур, особливо сидерат — вика яра, що сприяють інтенсивному розвитку амоніфікаторів та амілолітичних мікроорганізмів, чисельність яких на 25% вища ніж, у інших сидератів. Хрестоцвіті (гір-

чиця жовта, редька олійна) стимулюють чисельність амілолітичних мікроорганізмів і процеси мінералізації. Натомість сидерат із розторопші зумовлює різке зростання чисельності актиноміцетів на 50% вище, ніж у інших варіантах, що свідчить про ознаки деградаційних процесів у ґрунті та зниження його біологічної стійкості (див. рис. 2, а).

Наприкінці вегетації пшениці озимої виявлено, що у ризосфері ґрунту пшениці озимої найвищу чисельність мікроорга-



а



б

Рис. 2. Чисельність мікроорганізмів еколого-трофічних груп в агроценозах пшениці: а — на ранніх етапах онтогенезу; б — на пізніх етапах онтогенезу

Примітки: $x \pm SD$, Тьюкі тест, $n = 5$ повторів; а, б, с — статистично значущі відмінності кількості речовин ($P < 0,05$).

нізмів забезпечує горох як сидерат, де переважають амоніфікатори та педотрофи, що на 12% вище, ніж у інших сидеральних культур. Це сприяє активній трансформації органічної речовини в ґрунті. Гірчиця жовта та вика яра стимулюють розвиток амілолітичних і амоніфікувальних форм, підвищуючи мікробіологічну активність. У ризосфері після редьки олійної спостерігається більш збалансований розподіл між основними групами мікроорганізмів. Натомість використання розторопші плямистої

як сидерат зумовлює різке зростання чисельності актиноміцетів (стрептоміцетів), що на 50% вище за інші варіанти та пояснює дисбаланс мікробіому і зменшення його екологічної стійкості.

За даними у *табл. 2* представлено, що на ранніх етапах онтогенезу пшениці озимої найвищі показники оліготрофності (0,75) спостерігалися у варіанті з редькою олійною, що свідчить про активне розмноження мікроорганізмів, здатних засвоювати малодоступні сполуки вуглецю. Високу

Таблиця 2. Вплив сидеральних культур на мікробіологічні процеси та трансформацію органічної речовини в ризосфері пшениці озимої

Вегетаційний період	Сидерат	Оліготрофності	Педотрофності	Мінералізації — іммобілізації	Трансформація органічної речовини
На ранніх етапах онтогенезу рослин	Пшениця озима (пар)	0,34	0,14	0,30	3,32
	Пшениця озима (горох-сидерат)	0,10	0,72	1,28	3,09
	Пшениця озима (гірчиця жовта)	0,27	1,32	1,87	1,32
	Пшениця озима (вика яра)	0,12	1,19	3,06	1,95
	Пшениця озима (редька олійна)	0,75	0,59	1,90	1,62
	Пшениця озима (розторопша плямиста)	0,50	0,52	1,61	4,04
	Пшениця озима (горох на зерно)	0,09	0,65	2,13	1,92
На пізніх етапах онтогенезу рослин	Пшениця озима (пар)	0,99	0,41	0,71	2,53
	Пшениця озима (горох-сидерат)	0,30	0,86	0,78	12,7
	Пшениця озима (гірчиця жовта)	0,34	1,01	0,67	9,40
	Пшениця озима (вика яра)	0,27	0,74	0,82	7,80
	Пшениця озима (редька олійна)	0,47	0,77	0,57	6,85
	Пшениця озима (розторопша плямиста)	0,60	0,57	0,79	7,51
	Пшениця озима (горох на зерно)	0,33	0,50	0,44	11,01

педотрофність (1,32) і мінералізаційно-імобілізаційну активність (1,87) відзначено в ґрунті після гірчиці жовтої, що вказує на збагачення ґрунту легкодоступними поживними речовинами. Найбільш інтенсивна трансформація органічної речовини відбувалася у варіанті з паром (3,32) і розторопшею плямистою (4,04), що демонструє сприятливе середовище для розвитку мікробіоти та активне розкладання органічних решток.

На пізніх етапах онтогенезу пшениці озимої у всіх варіантах спостерігається різке зростання активності мікробіологічних процесів. Найвищі значення були у варіантах із використанням гороху як сидерата (12,7) та гороху на зерно (11,01), що вказує на позитивний вплив бобових культур на накопичення біомаси та інтенсивність фізіолого-біохімічних процесів. У варіантах із гірчицею жовтою (9,40), викою ярою (7,80) та розторопшею плямистою (7,51) визначено нижчі коефіцієнти, що свідчить про меншу ефективність цих сидератів у покращанні живлення та структури ґрунту. Найменші показники відзначено у варіанті пару (2,53), що підтверджує обмеженість безсидерального варіанта для забезпечення рослин необхідними елементами живлення на пізніх етапах розвитку.

Отже, застосування сидеральних культур, особливо бобових, значно підвищує фізіологічну активність і продуктивність пшениці озимої в пізні періоди онтогенезу.

ВИСНОВКИ

На ранніх етапах онтогенезу пшениці озимої найвищі показники педотрофності та мінералізаційно-імобілізаційної актив-

ності спостерігалися у варіантах із гірчицею жовтою (1,32; 1,87) та горохом на зерно (1,10; 3,30), що свідчить про інтенсивне мікробіологічне розкладання органічних решток і покращання поживного режиму ґрунту.

На пізніх етапах онтогенезу встановлено істотне зростання інтенсивності мікробіологічних процесів у всіх варіантах досліджу. Найвищі показники трансформації органічної речовини зафіксовано у варіантах із горохом як сидератом (12,7) та горохом на зерно (11,01), що зумовлено високим вмістом азоту в рослинній масі бобових культур.

У ґрунтах після хрестоцвітних сидератів (гірчиці жовтої та редьки олійної) простежувалася стимуляція розвитку амоніфікаторів і амілолітичних мікроорганізмів, що забезпечує швидке мінералізування органічних сполук і прискорення кругообігу поживних елементів.

У варіанті з розторопшею плямистою відмічено підвищення чисельності актиноміцетів і оліготрофів, що вказує на сповільнення мінералізаційних процесів і розвиток ознак біологічного виснаження ґрунту.

Найменшу біологічну активність ґрунтового мікробіому встановлено у варіанті пару (2,53), що підтверджує обмежену здатність безсидерального варіанта підтримувати мікробіологічну рівновагу та родючість ґрунту.

Найвищу ефективність у посиленні мікробіологічної активності, інтенсивності процесів трансформації органічної речовини та забезпеченні біологічної стійкості ґрунту показали сидерати бобових культур — горох-сидерат, горох на зерно та вика яра.

ЛІТЕРАТУРА

1. Господаренко, Г. М., & Лисянський, О. Л. (2015). Алеропатичний вплив сидеральних культур на пшеницю озиму. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*, 2(1), 190–198.
2. Писаренко, В. М., Писаренко, П. В., Писаренко, В. В., Горб, О. О., & Чайка, Т. О. (2019). Формування родючості ґрунту в умовах органічного землеробства. *Scientific Progress & Innovations*, (3), 85–91. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk> 2019.03.11.
3. Дроздовський, А. Б., & Огородник, Н. З. (2023). Потенціал вирощування сидеральних культур. In *The V International Scientific and Practical Conference «Priority directions of science development», February 06–08 (p. 12–15). Hamburg, Germany.*

4. Willer, H., Trávníček, J., & Schlatter, B. (2024). *The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends*. 2024.
5. Hartmann, M., & Six, J. (2023). Soil structure and microbiome functions in agroecosystems. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(1), 4–18.
6. Lei, B., Wang, J., & Yao, H. (2022). Ecological and environmental benefits of planting green manure in paddy fields. *Agriculture*, 12(2), 223. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12020223>.
7. Iderawumi, A. M., & Kamal, T. O. (2022). Green manure for agricultural sustainability and improvement of soil fertility. *Farming and Management*, 7(1), 1–8. DOI: <https://doi.org/10.31830/2456-8724.2022.FM-101>.
8. Бурикiна, С. І., Ужєвська, С. П., & Кулiджанов, Г. В. (2025). Динаміка поживних речовин ґрунту в період розкладання біомаси сидеральних культур. In *The 9th International scientific and practical conference «Scientific research: modern challenges and future prospects», April 14–16, 2025* (p. 25). MDPC Publishing, Munich, Germany.
9. Huang, Q. (2024). Enhancing soil health and biodiversity through nitrogen fixation symbiosis in leguminous plants. *Molecular Microbiology Research*, 14.
10. Цищора, Я. Г., Неїлик, М. М., Дiдур, І. М., & Полiщук, М. І. (2022). Сидерація як базова складова біологізації сучасних систем землеробства. Вінниця: Видавець ТОВ «Друк».
11. Zhang, Y., Kusch-Brandt, S., Salter, A. M., & Heaven, S. (2021). Estimating the methane potential of energy crops: An overview on types of data sources and their limitations. *Processes*, 9(9), 1565. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr9091565>.
12. Волкогон, В. В. (2024). Рначення мікроорганізмів для здоров'я ґрунтів та оптимізації формування біоценозів. *Фізіологія рослин і генетика*, 56(1), 3–26.
13. Prescott, C. E., Rui, Y., Cotrufo, M. F., & Grayston, S. J. (2021). Managing plant surplus carbon to generate soil organic matter in regenerative agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, 76(6), 99A–104A. DOI: <https://doi.org/10.2489/jswc.2021.0920A>.
14. Findlay, S. E. (2021). Organic matter decomposition. In *Fundamentals of ecosystem science* (pp. 81–102). Academic Press. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812762-9.00004-6>.
15. Jiao, S., Chen, W., & Wei, G. (2022). Core microbiota drive functional stability of soil microbiome in reforestation ecosystems. *Global Change Biology*, 28(3), 1038–1047. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.16024>.
16. Демиденко, О. (2021). Кореляційні зв'язки фізіологічних груп мікроорганізмів з показниками родючості чорнозему опідзоленого за різних систем удобрення. *Вісник аграрної науки*, 99(4), 20–27. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202104-03>.
17. Ніколаєва, Ю. Д. (2024). *Сучасний стан моніторингу ґрунтів в Україні*.
18. Михайличенко, В. В. (2025). *Сучасний стан мікробіоти ґрунтів м. Запоріжжя*.
19. Танчик, С. П. (2023). Родючість ґрунту чи фактори життя—основа продуктивності вирощуваних культур. *Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоевної відбудови: виклики для України та світу*, 19.
20. Резнік, С. В. (2021). Вплив різних систем землеробства на еколого-трофічні угруповання мікроорганізмів чорноземів типових в умовах Лівобережного лісостепу України. *Сільськогосподарська мікробіологія*, (33), 62–71.
21. ДСТУ 7847:2015. Якість ґрунту. Визначення чисельності мікроорганізмів у ґрунті методом посіву на тверде (агаризоване) живильне середовище. (2016). [Чинний від 2016-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України.
22. ДСТУ 4180:2003. Карантин рослин. Методи мікологічної експертизи підкарантинних матеріалів. (2003). [Чинний від 2004-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України.
23. Парфенюк, А. І., Безноско, І. В., Туровнік, Ю. А., Бородай, В. В., & Косовська, Н. А. (2023). *Визначення шляхів формування ценотичних популяцій мікроміцетів в агроценозах культурних рослин: науково-методичні рекомендації*. Київ: ТОВ «ДІА».
24. Парфенюк, А. І., Безноско, І. В., Горган, Т. М., Дідик, Ю. А., & Терновий, Ю. В. (2024). *Оцінювання сортів пшениці для екологічно безпечної регуляції фітопатогенного мікобіому*. Київ: ТОВ «ДІА».
25. Дудка, І. А. (1982). *Методы экспериментальной микологии*. Киев: Наукова думка.
26. Єщенко, В. О., Копитко, П. Г., Костогриз, П. В., & Опришко, В. П. (2014). *Основи наукових досліджень в агрономії: підруч.* (В. О. Єщенко, Ред.). Вінниця: ПП «ТД Едельвейс і К».
27. Іутинська, Г. О. (2017). Мікробні біотехнології для реалізації нової глобальної програми забезпечення сталого розвитку агрофери України. *Агроекологічний журнал*, 2, 149–155. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220171>.

Стаття надійшла до редакції журналу 27.10.2025