
ЕКОЛОГІЯ АГРОВИРОБНИЦТВА

УДК 579.64:632.4:633.11

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.2.1>

ЧИСЕЛЬНІСТЬ МІКРООРГАНІЗМІВ ТРОФІЧНИХ ГРУП РИЗОСФЕРИ РОСЛИН ЯЧМЕНЮ ЯРОГО В УМОВАХ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ

Безноско І.В., Горган Т.М., Мосійчук І.І., Гуменний Д.В.

Інститут агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук України
вул. Метрологічна, 12, 03143, м. Київ
beznoskoirina@gmail.com

Використання в сучасних технологіях мікробіологічних препаратів не тільки підвищує стійкість рослин, продуктивність і якість продукції, але й сприяє формуванню мікробного комплексу притаманного кожній рослині. За результатами дослідження встановлено, що чисельність мікроорганізмів трофічних груп змінювалась залежно від умов вирощування рослин ячменю ярого, фази онтогенезу та ґрунтово-кліматичних умов. Високу чисельність мікроорганізмів трофічних груп спостерігалась у фазі дозрівання, що є найбільш фізіологічно активною для росту та розвитку культури, де значення гідротермічних умов було оптимальним і становило в середньому вище 1. Визначено, що високою чисельністю мікроорганізмів педотрофічних груп характеризувався ґрунт рослин ячменю ярого сортів Себастьян і Геліос із застосуванням препарату Вимпел 2 та суміші Вимпел 2 + Оракул мультикомплекс. У контрольному варіанті (обробка водою) визначено високу чисельність патогенних мікроміцетів. Водночас у варіантах, де застосовували Вимпел 2 та суміші Вимпел 2 + Оракул мультикомплекс, чисельність патогенних мікроміцетів ґрунту рослин ячменю ярого істотно знижувалася. Що свідчить, що препарат Вимпел 2, як окремо так і у суміші здатний захистити рослини від хвороб шляхом посилення імунітету. Чисельність мікроорганізмів оліготрофічних груп була найвищою у контрольному варіанті, а найнижчою – із застосуванням усіх досліджуваних препаратів відповідно і чисельність мікроорганізмів гуматутворюючих груп зменшувалася у 1–1,5 рази порівняно з контролем. Із внесенням препаратів Вимпел 2 та Оракул мультикомплекс суттєво посилено розвиток мікроорганізмів амоніфікуючих, амілолітичних та целюлозоруйнівних груп. Отже, ризосферний ґрунт рослин ячменю ярого здатний формувати мікробний комплекс який істотно залежить від умов вирощування культури. *Ключові слова:* ґрунтова мікобіота, агроценоз, чисельність, гідротермічний та мікробіологічні коефіцієнти, кореневі виділення рослин, елементи технології вирощування.

The number of microorganisms of the rhizosphere of spring barley plants in the conditions of environmentally safe cultivation technologies. Beznosko I., Gorgan T., Mosichuk I., Humennyi D.

The use of microbiological preparations in modern technologies not only increases the resistance of plants, productivity and quality of products, but also contributes to the formation of the microbial complex inherent in each plant. According to the results of the study, it was established that the number of microorganisms of trophic groups changed depending on the growing conditions of spring barley plants, the phase of ontogenesis, and soil and climatic conditions. A high number of microorganisms of trophic groups was observed in the ripening phase, which is the most physiologically active for the growth and development of the culture, where the value of hydrothermal conditions was optimal and was on average above 1. It was determined that the soil of spring barley plants of Sebastian and Helios varieties with the use of Vimpel 2 and the mixture of Vimpel 2 + Oracle multicomplex was characterized by a high number of microorganisms of pedotrophic groups. In the control variant (treatment with water), a high number of pathogenic micromycetes was determined. At the same time, in the variants where Vypmel 2 and mixtures of Vypmel 2 + Oracle multicomplex were used, the number of pathogenic micromycetes in the soil of spring barley plants decreased significantly. Which shows that the drug Vimpel 2, both individually and in a mixture, is able to protect plants from diseases by strengthening immunity. The number of microorganisms of oligotrophic groups was the highest in the control version, and the lowest – with the use of all the studied drugs, respectively, and the number of microorganisms of humate-forming groups decreased by 1–1.5 times compared to the control. With the introduction of Vimpel 2 and Oracle multicomplex, the development of microorganisms of ammonifying, amylolytic and cellulose-destroying groups has significantly increased. Therefore, the rhizospheric soil of spring barley plants is able to form a microbial complex that significantly depends on the growing conditions of the crop. *Key words:* soil mycobiota, agroecology, number, hydrothermal and microbiological coefficients, root secretions of plants, elements of growing technology.

Постановка проблеми. Структура мікробних ценозів – невід’ємна складова ґрунтів, включаючи процеси та чинники, що прямо чи опосередковано впливають на їх особливості. Кожен вид рослини має специфічний мікробіом ризосфери, залежний від наявного ґрунтового угруповання. Нестачу елементів живлення у ґрунті людина традиційно

намагається скоригувати за рахунок застосування різних добрив, що спричиняє більший рівень антропогенного навантаження на ґрунти, погіршуючи їх агрохімічні та біологічні характеристики [6]. Під впливом біологічних добрив суттєво змінюється біорізноманіття та структура основних фізіологічних груп мікроорганізмів, що сприяє

погіршенню або покращенню мікробіологічних процесів у ґрунті [7–9].

Актуальність дослідження. Велика роль у підвищенні продуктивності зернових культур і збереженні екологічної рівноваги належить екологічно безпечним технологіям вирощування. Використання в сучасних технологіях мікробіологічних препаратів не тільки підвищує стійкість рослин до фітопатогенів, продуктивність і якість продукції, але й сприяє оздоровленню агроценозів від шкідливої дії хімічних препаратів. На сучасному етапі розвитку сільськогосподарського виробництва використання екологічно безпечних технологій набуває дедалі більшого поширення, оскільки базується на застосуванні нових ефективних та екологічно безпечних мікробіологічних препаратів і регуляторів росту й розвитку рослин, які здатні спрямовано регулювати процеси життєдіяльності рослин і ґрунтової мікобіоти [13].

Наразі використання біологічних препаратів, зокрема, регуляторів росту рослин, мікродобрив, біологічних фунгіцидів та деструкторів є елементами сучасних екологічно безпечних технологій вирощування зернових культур [14–16]. Отже, однією із основних умов екологізації землеробства є раціональне застосування добрив у сівзміні зі збереженням біорізноманіття ґрунтової мікобіоти та її фізіологічних властивостей.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконували в рамках завдання 24.01.02.05.Ф «Розроблення науково-методичних основ регуляції чисельності мікроміцетів в агроценозах сільськогосподарських культур у Центральному Лісостепу України».

Новизна викладеного матеріалу полягає в тому, що чисельність мікроорганізмів трофічних груп ризосферного ґрунту рослин ячменю ярого змінювалась залежно від умов вирощування рослин, фази онтогенезу та ґрунтово-кліматичних умов.

Аналіз останніх джерел і публікацій. Дослідженнями вітчизняних та зарубіжних вчених [1–3] встановлено, що мікобіота здійснює як редуцційні, так і деструкційні процеси [4]. Особливості взаємодії мікроорганізмів між собою і рослинами мають різноманітні функціональні характеристики, що формують стійкі мікробні комплекси агроєкосистем [5].

Дослідженнями вчених [10] встановлено, що за поєднаного застосування гербіцидів і регуляторів росту рослин природного походження має місце послаблення негативної дії хімічних препаратів на розвиток основних ризосферних мікроорганізмів. Доведено також, що інокуляція насіння активними штамми ризобактерій сприяє активізації розвитку ризосферної мікобіоти [11]. Зокрема, І.М. Малиновська стверджує, що обробка насіння азотфіксувальними та фосфатмобілізувальними мікроорганізмами сприяє збільшенню об'єму корневих

виділень, завдяки яким чисельність ризосферних мікроорганізмів зростає [12].

Мета та задачі дослідження. Метою роботи було, визначення чисельності мікроорганізмів трофічних груп ризосферного ґрунту рослин ячменю ярого залежно від екологічно безпечних технологій вирощування рослин.

Матеріали та методи. Досліджено чисельність мікроміцетів трофічних груп у ризосферному ґрунту рослин ячменю ярого двох сортів (Себастьян, Геліос). Дослідження проводили впродовж 2021–2023 рр. на базі стаціонарних і тимчасових польових дослідів, які розташовані у Сквирській дослідній станції органічного виробництва ІАП НААН (Київська обл.). Відбір проб ґрунту для лабораторного аналізу здійснюється відповідно до Державного стандарту України 7847 (2015). Для визначення кількості мікроорганізмів у ґрунті з досліджуваної території відбирали від 3 до 7 окремих проб масою 100–200 г та готували середню пробу ґрунту. Зразки ґрунту відбирали у три фази онтогенезу: кущення, цвітіння і дозрівання.

Для характеристики гідротермічних умов території розраховували гідротермічний коефіцієнт (ГТК) за формулою:

$$ГТК = R \times 10 / \sum T > 10$$

де R – сумарна кількість опадів за відповідний період, мм;
 $\sum T > 10$ – сума температур повітря понад 10°C за той самий період, °C.

За даними обласної метеостанції Київської області вивчено погодні умови впродовж вегетаційних періодів 2020–2022 рр. (таблиця 1).

Таблиця 1

Значення гідротермічного коефіцієнта (ГТК) протягом вегетаційного періоду в роки проведення досліджень (Сквирська ДСОВ ІАП НААН)

Рік	Місяць				Середнє
	Квітень	Травень	Червень	Липень	
2020	0,5	1,6	1,5	0,8	1,6
2021	0,8	0,9	1,7	1,8	1,3
2022	1,3	1,4	1,8	1,9	1,6

Примітка: ГТК ≥ 1 – достатнє зволоження; ГТК 0,8–1,0 – помірне зволоження; ГТК 0,6–0,7 – недостатнє зволоження.

Вегетаційний період 2021–2023 року характеризувався як достатньо вологий (ГТК 1,3–1,6). Висока температура повітря та велика кількість опадів протягом вегетації, мали суттєвий вплив на формування мікробного комплексу ґрунту під посівом ячменю ярого.

Протягом вегетаційного періоду були використані екологічно безпечні технології вирощування, що включали різні системи удобрення та захисту посівів ячменю ярого. Схему дослідів закладено рендомізованим способом. Перша технологія включала

оброблення по листку у фазу кущення стимулятором росту рослин Вимпел 2 у нормі 0,5 л/га; друга – обробка комплексним мікродобривом Оракул мультикомплекс у нормі 1 л/га; третя обробка сумішшю Вимпел 2 + Оракул мультикомплекс та контрольна ділянка – обробка водою.

Лабораторні дослідження проводили в лабораторії біоконтролю агроєкосистем та органічного виробництва Інституту агроєкології і природокористування. Чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп визначали методом висівання ґрунтової суспензії на стандартні поживні середовища [17]: для визначення чисельності амілолітичних ґрунтових мікроорганізмів використовували крохмало-аміачний агар (КАА); оліготрофних – голодний агар (ГА); педотрофних мікроорганізмів – ґрунтовий агар (ПА); гуматрозкладаючих – гуматне середовище (ГС); целюлозолітичних – середовище Гетчинсона і Клейтона та для визначення чисельності патогенних мікроміцетів використовували картопляно-глюкозний агар (КГА); для визначення амоніфікуючих використовували м'ясо пептидний агар (МПА).

Для визначення у пробі ґрунту чисельності амілолітичних, оліготрофних, педотрофних, гуматрозкладаючих та патогенних мікроміцетів застосовується метод глибинного посіву. Засіяні пробірки інкубували у термостаті при 28 С протягом 3–4 тижнів.

Кількість колоній, які вирости, підраховували за допомогою автоматичного лічильника SCAN4000 (Interscience, France). При більшій кількості колоній і їхнього рівномірного розташування дно чашки Петрі умовно ділили на 4 або більше однакових секторів, рахували кількість колоній у двох-трьох секторах, знаходили середнє арифметичне числа колоній і множили на загальну кількість секторів на одній чашці. Чисельність мікроорганізмів в розрахунку на 1 г сухого ґрунту (X) в КУО обчислювали за формулою [18; 19].

$$X = \frac{a \times b \times 10^n}{V}$$

де: X – кількість клітин в 1 г сухого ґрунту;

a – середня кількість підрахованих колоній, од.;

b – коефіцієнт вологості, розрахований згідно 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 в розрахунку на 1 г сухого ґрунту (X) в КУО обчислювали за формулою:

$$X = НБК \times b$$

де: X – кількість клітин в 1 г сухого ґрунту;

НБК – найбільш вірогідна кількість клітин мікроорганізмів в 1 г субстрату, од.;

b – коефіцієнт вологості, розрахований.

Результат виражали у колонієутворюючих одиницях (КУО) в 1 г досліджуваної проби ґрунту.

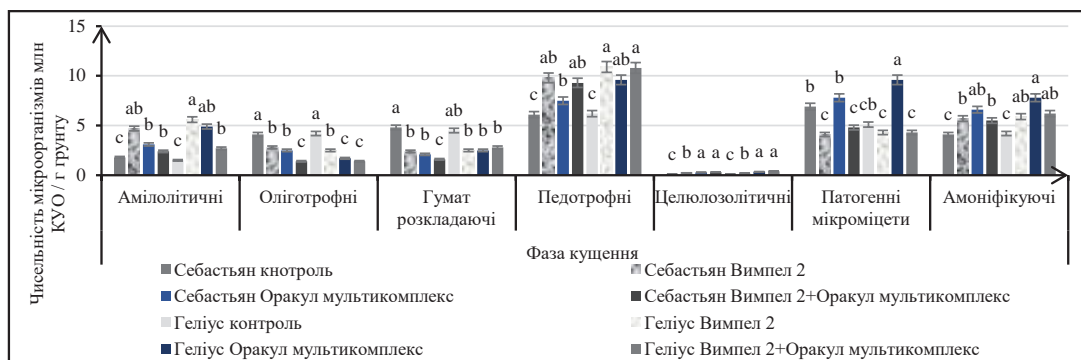
Був проведений однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA, тест Тьюкі). Різниця між контрольними і експериментальними показниками вважалася значною, коли ймовірність різниці становила $P < 0.05$.

Результати досліджень та їх обговорення.

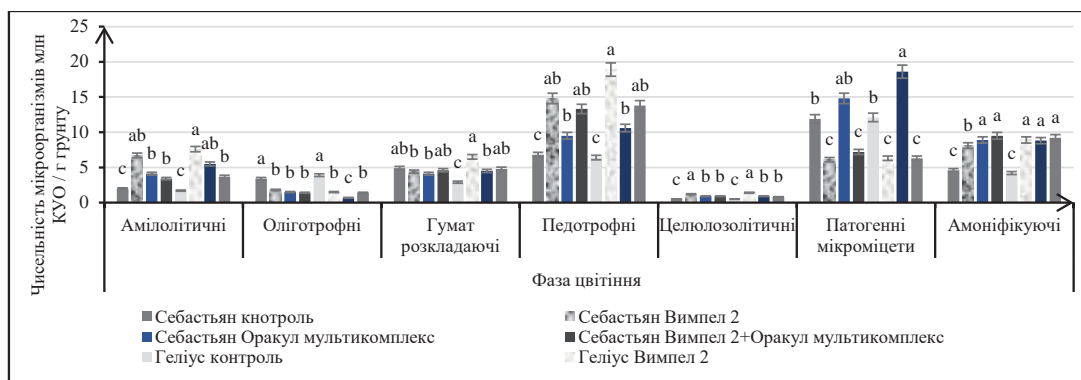
Зростання чисельності мікроорганізмів трофічних груп ґрунту рослин ячменю ярого сортів Себастьян та Геліос спостерігали у фазі дозрівання, що є найбільш фізіологічно активною для росту та розвитку культури. Саме у цій фазі онтогенезу значення гідротермічних умов було оптимальним і становило в середньому вище 1, що сприяло наявності доступної вологи в ґрунті і збільшенню чисельності мікробіоти (рис. 1).

За результатами дослідження представленими на рисунку 1, показано, що у ризосферному ґрунті рослин ячменю ярого чисельності мікроорганізмів педотрофних груп зростала і становили від 6,11 до $20,91 \times 10^6$ КУО/г ґрунту. Це підтверджує, що ґрунт містить достатню кількість органічної речовини. Високою чисельністю мікроорганізмів педотрофних груп характеризувався ґрунт рослин сортів Себастьян і Геліос із застосуванням препарату Вимпел 2 та суміші Вимпел 2+Оракул мультикомплекс, де їх кількість сягала $20,91 \times 10^6$ КУО/г ґрунту. Поряд з тим, у ризосферному ґрунті рослин ячменю ярого із застосуванням препарату Оракул мультикомплекс чисельність мікроорганізмів педотрофних груп була нижчою і становила $12,60 \times 10^6$ КУО/г ґрунту. Найменшою чисельністю мікроорганізмів педотрофних груп характеризувався ґрунт у контрольному варіанті, де їх чисельність була 2,0–2,5 рази меншою ніж на варіантах із внесенням препаратів. Слід зазначити, що кількість мікроорганізмів педотрофних груп ґрунту рослин ячменю ярого сорту Геліос була дещо вищою порівняно із сортом Себастьян. Це дає підстави вважати, що на чисельність мікроорганізмів впливають не лише препарати, а і метаболіти рослин.

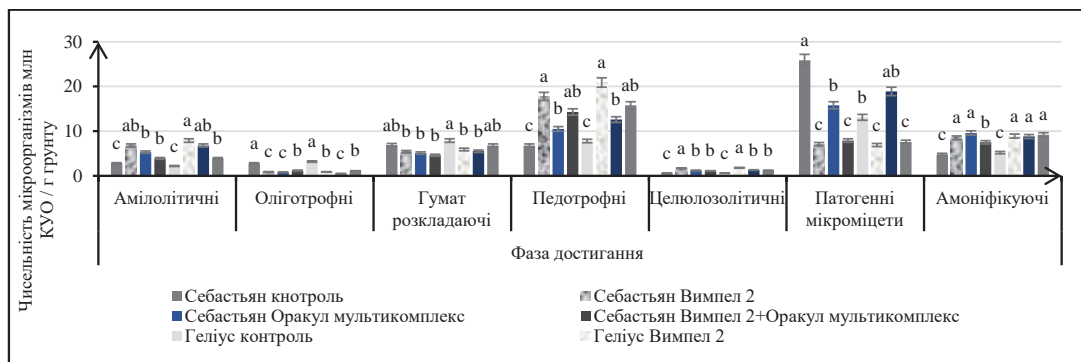
Також впродовж вегетаційного періоду в агроценозах ячменю ярого високою чисельністю характеризувалася патогенна мікобіота, яка була в межах від 4,0 до $25,5 \times 10^6$ КУО/г ґрунту. Найвищою чисельністю патогенних мікроміцетів характеризувався ґрунт у контрольному варіанті, де їх кількість під посівом ячменю ярого сорту Себастьян сягала від 6,8 до $25,6 \times 10^6$ КУО/г ґрунту. Також високою чисельністю патогенних мікроміцетів характеризувався ґрунт із застосуванням препарату Оракул мультикомплекс в агроценозах ячменю ярого, де їхня чисельність варіювалася від 7,9 до $18,8 \times 10^6$ КУО/г ґрунту. Водночас у варіантах, де застосовували Вимпел 2 та суміші Вимпел 2 + Оракул мультикомплекс, чисельність патогенних мікроміцетів ґрунту рослин ячменю ярого істотно знижувалася і сягала до $6,0 \times 10^6$ КУО/г ґрунту. Що свідчить, що препарат Вимпел 2 здатний



а



б



с

Рис. 1. Чисельність мікроорганізмів ризосферного ґрунту рослин ячменю ярого у фази онтогенезу: а – куцєння, в – цвітіння, с – дозрівання ($x \pm SD$ Тьюкі тест, $n = 5$ повторів); літери а–с позначають статистично значущі відмінності кількість мікроорганізмів у межах групи ($P < 0.05$)

захистити рослини від хвороб шляхом стимуляції природної здатності рослини чинити опір хворобам. Це дає підстави вважати, що рослини оброблені препаратом через кореневі виділення здатні пригнічувати розвиток патогенної мікобіоти ґрунту.

Чисельність мікроорганізмів оліготрофних груп інтенсивно розвивається на збіднених ґрунтах, що обумовлено їх трофічною специфічністю та відсутністю конкуренції. З огляду на це чисельність мікроорганізмів оліготрофних груп найвищою була у контрольному варіанті і сягала $4,10 \times 10^6$ КУО/г

ґрунту. Виявлені закономірності свідчать про вичерпання запасів легкодоступних поживних елементів та посилення гуміфікаційних процесів, де кількість гуматрозкладаючих мікроорганізмів у контрольному варіанті була найбільшою і сягала $7,98 \times 10^6$ КУО/г ґрунту. Найнижчою чисельністю мікроорганізмів оліготрофних груп характеризувався ґрунт в агроценозах ячменю із застосуванням препаратів на всіх варіантах, де їх кількість була від $0,51$ до $2,82 \times 10^6$ КУО/г ґрунту і відповідно кількість гуматутворюючих мікроорганізмів теж зменшувалася у 1–1,5 рази.

Застосування різних умов вирощування рослин ячменю ярого із внесенням різних препаратів суттєво посилило розвиток амоніфікуючих мікроорганізмів. Найвищу кількість амініфікуючих мікроорганізмів ґрунту спостерігали із застосування препарату Оракул мультикомплекс, що становила $9,60 \times 10^6$ КУО/г ґрунту, найменшу на контрольному варіанті – $4,81 \times 10^6$ КУО/г ґрунту. Також зростали амілолітичні та целюлозоруйнівні мікроорганізми ризосферного ґрунту рослин із застосуванням препаратів Вимпел 2 та Оракул мультикомплекс. Дані мікроорганізми за наявності ферментів здійснюють деградацію целюлозовмісних субстратів. Отже, ризосферний ґрунт рослин ячменю ярого здатний формувати мікробний комплекс, чисельність якого істотно залежить від технологій вирощування рослин.

Чисельність популяцій у ґрунті визначається не тільки сезонними коливаннями едафічних факторів (вміст елементів живлення, температура ґрунту, наявність доступної вологи), а й застосуванням різних технологій вирощування рослин [23]. Роботами вчених [9; 21; 24] з'ясовано, що під впливом різних норм добрив змінюється біорізноманіття та чисельність основних фізіологічних груп мікроорганізмів, що істотно впливає на перебіг мікробіологічних процесів у ґрунті [9, 20, 22]. З вище зазначених результатів досліджень показано, що структура ґрунтового мікробіому визначається біотичними, абіотичними та антропогенними факторами. Таким чином, склад мікробного ценозу ґрунту, вміст у ньому як корисної, так і фітопатогенної мікробіоти для рослин ячменю ярого є динамічний процес, у якому важливе значення відіграє гідротермічний коефіцієнт під час вегетаційного періоду, кореневі виділення рослин різних сортів ячменю ярого, фаза розвитку та умови вирощування культури.

Головні висновки. Високою чисельністю мікроорганізмів характеризувався ґрунт рослин сортів Себастьян і Геліос із застосуванням препарату Вимпел 2 та суміші Вимпел 2 + Оракул мультикомплекс, де їх кількість сягала $20,91 \times 10^6$ КУО/г ґрунту. Це підтверджує, що ґрунт містить достатню кількість органічної речовини.

Найнижчою чисельністю патогенної мікробіоти характеризувалася ґрунт, де застосовували Вимпел 2 та суміші Вимпел 2 + Оракул мультикомплекс кількість патогенних мікроміцетів ґрунту рослин ячменю ярого істотно знижувалася і сягала до $6,12 \times 10^6$ КУО/г ґрунту. Що свідчить, що препарат Вимпел 2, як окремо так і у суміші здатний захистити рослини від хвороб шляхом посилення імунітету. Чисельність мікроорганізмів оліготрофних груп знижувалася із застосуванням досліджуваних препаратів, відповідно чисельність мікроорганізмів гуматутворюючих груп теж зменшувалася у 1–1,5 рази порівняно з контролем.

Застосування різних умов вирощування суттєво посилило розвиток мікроорганізмів амоніфікуючих, амілолітичних та целюлозоруйнівних груп, які за наявності ферментів здійснюють деградацію целюлозовмісних субстратів.

Отже, ризосферний ґрунт рослин ячменю ярого здатний формувати мікробний комплекс який істотно залежить від умов вирощування рослин та значенням ГТК вегетаційного періоду.

Перспективи використання результатів дослідження. Дослідження в цьому напрямку дозволять краще зрозуміти взаємозв'язок рослин і мікроорганізмів, що визначають їх роль в мікробно-рослинних асоціаціях і в системах паразит-господар в природі. Це надасть можливість підвищити рівень біобезпеки в агроекосистемах, що покращить якість рослинної сировини.

Література

1. Nannipieri P., Ascher J., Ceccherini M. T. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*. 2003. Vol. 54. P. 655.
2. Іутинська Г. О. Ґрунтова мікробіологія : навчальний посібник. Київ: Арістей, 2007. 284 с.
3. Aislabie J. A. Soil microbes and their contribution to soil services. *Ecosystem services in New Zealand – condition sand trends*. New Zealand: Manaaki Whenua Press. 2013. P. 143–161.
4. Bruinsma M., Kowalchuk G.A., Veen J.A. Effects of genetically modified plants on microbial communities and processes in soil. *Biology and Fertility of Soils*. 37(6). 2003 329–337. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-003-0613-6>
5. Giri B., Huong Giang P., Kumari R. Microbial Diversity in Soils. *Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions*. 2005. P. 19–49.
6. Сабадин В. Я., Мурашко Л. А., Кривов'яз І. З. Захист зерна пшениці озимої від насінневої інфекції. *Агробіологія*. 2012 (9). С. 80–83.
7. Терновий Ю., Гавлюк В., Парфенюк А. Екологічно безпечні ахротехнології. *Агроєкологічний журнал*. 2018. № 4. С. 50–58.
8. Bruinsma M., Kowalchuk G. A., Veen J. A. Effects of genetically modified plants on microbial communities and processes in soil. *Biology and Fertility of Soils*. 37(6). 2003 329–337. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-003-0613-6>
9. Romero-Olivares A.L., Allison S.D., Treseder K.K. Soil microbes and their response to experimental warming over time: A meta-analysis of field studies. *Soil Biology and Biochemistry*. 2017. P. 32–40. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.12.026>.
10. Безноско І.В., Дідик Ю.А., Паламарчук С.П. Фітопатогенна мікробіота в агроценозах культурних рослин в умовах центрального лісостепу України. *Науковий журнал «Біологічні системи: теорія та інновації»*. 2023. Том 14(3-4). С. 84–98.
11. Іутинська Г.О. Мікробні біотехнології для реалізації нової глобальної програми забезпечення сталого розвитку агросфери України. *Агроєкологічний журнал*. 2017. № 2. С. 149–155.
12. Бублик Л.І., Діденко Г.С., Чергіна О.Д. Вплив різнополярних гербіцидів на чисельність ґрунтових мікроорганізмів у ризосфері сої. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2012. Вип. 178. С. 137–141.

13. Малиновська І.М. Стан мікробіоценозу ризосфери сої за комплексного оброблення насіння фосфатмобілізувачами мікроорганізмами і *Bradyrhizobium japonicum* 71Т. *Агроекологічний журнал*. 2007. № 3. С. 79–83.
14. Noreen, S., Fatima, Z., Ahmad, S., Athar, H.-U.-R. & Ashraf, M. Foliar application of micronutrients in mitigating abiotic stress in crop plants (Book Chapter). *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*. 2018. 95–117. DOI: http://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8_3.
15. Іщенко В.А., Козелець Г.М. Формування продуктивності ячменю звичайного ярого залежно від інокуляції насіння біопрепаратом та позакоренових підживлень в Степу України. *Agrology*. 2021. № 4(4). С. 180–186.
16. Ткачук, С.О., Трушева, С.С., Олійник, О.О. Ефективність комплексного застосування регуляторів росту рослин та мікродобрив при вирощуванні ячменю ярого в умовах Західного лісостепу. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2018. 2 (82) 79–87.
17. Якість ґрунту. Визначення чисельності мікроорганізмів у ґрунті методом посіву на тверде (агаризоване) живильне середовище: ДСТУ 7847:2015. [Чинний від 2016.07.01]. К.: ДП «УкрНДНЦ». 2015. Ш. 15 с. (Національний стандарт України).
18. Gardi, C., Jeffery, S., and Saltelli, A. An estimate of potential threats levels to soil biodiversity in EU. *Global Change Biology*, 19: 2013. pp. 1538–1548.
19. Парфенюк А.І., Горган Т.М., Стерлікова О.М., Безноско І.В. Сагановська В.І., Благініна А.А., Тищенко Г.Ф., Ковтун В.В. Науково – методичні рекомендації «Екологічне оцінювання культурних рослин за впливом на формування популяцій фітопатогенних грибів» К., 2015. 40 с.
20. Kirschbaum, M. U. F. (2006). The temperature dependence of organic-matter decomposition – still a topic of debate. *Soil Biology and Biochemistry*. 38(9). 2510–2518. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.01.030>
21. Suseela, V., Conant, R.T., Wallenstein, M.D., Dukes, J.S. Effects of soil moisture on the temperature sensitivity of heterotrophic respiration vary seasonally in an old-field climate change experiment. *Global Change Biology*. 2012. 18. 336–348. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02516.x>.
22. McDaniel, M.D., Kaye, J.P., & Kaye, M.W. Increased temperature and precipitation had limited effects on soil extracellular enzyme activities in a post-harvest forest. *Soil Biology and Biochemistry*. 2013. 56. 90–98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.02.026>
23. Гадзало Я.М., Патика Н.В., Зарішняк А.С. Агробіологія ризосфери рослин: монографія. К.: Аграрна наука, 2015. 386 с.
24. Танчик С.П., Демідов О.А., Манько Ю.П. Екологічна система землеробства в Лісостепу України: метод. рекомендації для впровадження у виробництво. К.: НУБіП України, 2011. 39 с.