

ЕКОЛОГІЯ

УДК 502/504; 579.2

DOI <https://doi.org/10.32782/2786-5681-2025-1.01>

Володимир ДВОРЕЦЬКИЙ

аспірант, Інститут агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук України
dvchim@ukr.net

ORCID: 0000-0001-8427-7813

Альона БУНАС

кандидат біологічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник лабораторії екології мікроорганізмів, Інститут агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук України

bio-206316@ukr.net

ORCID: 0000-0003-4806-7004

Євгенія ТКАЧ

доктор біологічних наук, старший дослідник, заступник завідувача відділу агроекології і біобезпеки, Інститут агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук України

bio_eco@ukr.net

ORCID: 0000-0002-0666-1956

СТРУКТУРА МІКРОБІОМУ ҐРУНТУ КОРЕНЕВОЇ ЗОНИ ПШЕНИЦІ ЯРОЇ ЗА ДІЇ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНОГО ДОБРИВА DIAMOND GROW МАРКИ HUMI [K] BIO + “PLUS”

Анотація. Мікробіом агроценозу – це відкрита саморегулююча система, яка формується безпосередньо під впливом фітоценозу, агротехнічних заходів та інтродукованих мікроорганізмів. На українському ринку добрив з'явилося нове, сучасне, багатокomпонентне органо-мінеральне добриво Diamond Grow марки HUMI [K] BIO + “Plus”, до складу якого входять макро-, мікроелементи, гумінові кислоти, екстракт водоростей та комплекс з 16 штамів мікроорганізмів різних таксономічних груп. Відповідно склад даного добрива робить його надзвичайно цікавим у питаннях впливу на існуючий мікробіоценоз та можливі перебудови в мікробіомі, які можуть бути викликані інтродукцією значної кількості різних таксономічних мікроорганізмів у ґрунт агроценозу пшениці ярої. З огляду на вище викладене **метою статті** є встановлення впливу органо-мінерального добрива Diamond Grow марки HUMI [K] BIO + “Plus” на структуру, склад та функціонування мікробіому ґрунту в агроценозі пшениці ярої та направленості мікробіологічних процесів. **Методологія дослідження** передбачала застосування загальноприйнятих мікробіологічних методів, а саме посіву ґрунтової суспензії на елективні агаризовані поживні середовища та підрахунку КУО на чашках Петрі. **Наукова новизна роботи** полягає в тому, що вперше досліджено структуру мікробіому та розраховано направленість мікробіологічних процесів в ґрунті агроценозу пшениці ярої за застосування нового і недослідженого органо-мінерального добрива Diamond Grow марки HUMI [K] BIO + “Plus”. **Висновки.** У результаті проведеного дослідження встановлено вплив DG H[K]B “Plus” на структуру та функціонування мікробіому ґрунту агроценозу пшениці ярої. Виявлено, що передпосівне застосування DG H[K]B “Plus”, а також комбінація передпосівне + вегетація сприяє зростанню чисельності мікроорганізмів всіх еколого-трофічних та таксономічних груп. Збільшення чисельності мікроорганізмів фіксували в межах 1,5–2,7 рази відносно контролю та у 1,3 рази вище ніж у варіанті, де вносили лише мінеральні добрива. Для даних варіантів $K_{ол.} = 0,7$ і $0,8$; $K_{м.} = 1,5$ і $1,3$, а $K_{мм.} = 13,9$ і $15,8$. На основі розрахованих коефіцієнтів встановлено високий рівень протікання фізіолого-метаболических процесів досліджуваного мікробіому та відсутність дефіциту поживних речовин.

Ключові слова: угруповання мікроорганізмів, амоніфікатори, мікроміцети, оліготрофи, трансформація органічної речовини, екологічні коефіцієнти.

Volodymyr DVORETSKY

Postgraduate Student, Researcher, Department of Agroecology and Biosafety, Institute of Agroecology and Environmental Management of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

dvchim@ukr.net

ORCID: 0000-0001-8427-7813

Alyona BUNAS

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Senior Research Officer at the Laboratory of Microorganism Ecology, Institute of Agroecology and Environmental Management of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

bio-206316@ukr.net

ORCID: 0000-0003-4806-7004

Yevgenia TKACH

Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Deputy Head of the Department of Agroecology and Biosafety, Institute of Agroecology and Environmental Management of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

bio_eco@ukr.net

ORCID: 0000-0002-0666-1956

STRUCTURE OF THE SOIL MICROBIOME OF THE ROOT ZONE OF SPRING WHEAT UNDER THE ACTION OF ORGANOMINERAL FERTILIZER DIAMOND GROW BRAND HUMI [K] BIO + “PLUS”

Abstract. The microbiome of the agrocenosis is an open self-regulating system that is formed directly under the influence of phytocenosis, agrotechnical measures and introduced microorganisms. A new, modern, multicomponent organo-mineral fertilizer Diamond Grow of the HUMI [K] BIO + “Plus” brand has appeared on the Ukrainian fertilizer market, which includes macro-, microelements, humic acids, algae extract, and a complex of 16 strains of microorganisms of different taxonomic groups. It is the composition of this fertilizer that makes it extremely interesting in terms of its impact on the existing microbiocenosis and possible restructuring in the microbiome, which can be caused by the introduction of a significant number of different taxonomic microorganisms into the soil of the spring wheat agrocenosis. In view of the above, **the purpose of the article** is to establish the impact of the Diamond Grow organic-mineral fertilizer of the HUMI [K] BIO + “Plus” brand on the structure, composition and functioning of the soil microbiome in the spring wheat agrocenosis and the direction of microbiological processes. **The research methodology** involved the use of generally accepted microbiological methods, namely, seeding of soil suspension on elective agar nutrient media and counting CFU on Petri dishes. **The scientific novelty of the work** lies in the fact that for the first time the structure of the microbiome was investigated and the direction of microbiological processes in the soil of the spring wheat agrocenosis was calculated using the new and unexplored organo-mineral fertilizer Diamond Grow of the HUMI [K] BIO + “Plus” brand. **Conclusions.** As a result of the study, the effect of DG H[K]B “Plus” on the structure and functioning of the soil microbiome of spring wheat agrocenosis was established. It was found that pre-sowing application of DG H[K]B “Plus”, as well as the combination of pre-sowing + vegetation, contributes to the growth of the number of microorganisms of all ecological-trophic and taxonomic groups. The increase in the number of microorganisms was recorded within 1.5–2.7 times relative to the control and 1.3 times higher than in the variant where only mineral fertilizers were applied. For these variants, Kol. = 0.7 and 0.8; Km. = 1.5 and 1.3, and Kmt. = 13.9 and 15.8. Based on the calculated coefficients, a high level of physiological and metabolic processes of the studied microbiome and the absence of nutrient deficiency were established.

Key words: groups of microorganisms, ammonifiers, micromycetes, oligotrophs, transformation of organic matter, ecological coefficients.

Постановка проблеми. Мікробіом – це унікальне поєднання мікроорганізмів у певному середовищі, які існують у ньому разом із синтезованими ними речовинами. Специфічні угруповання мікроорганізмів (мікробіоми), котрі своєрідні за своїм складом та функціями, можна зустріти в організмі людини, тварин, рослин, ґрунтах, океанах та інших середовищах [21].

Ґрунт як природне утворення та середовище існування та життєдіяльності мікроорганізмів представляє собою складну систему, що включає фізіологічно і таксономічно різноманітні види, які забезпечують біологічний кругообіг речовин, процеси формування ґрунтів та їх стійкість до природних і антропогенних чинників [3]. Мікробіом ґрунту складається з ґрун-

тової мікробіоти, а також мікробних структур, генетичних елементів та реліктової ДНК. Всі мікроорганізми ґрунту зазвичай поділяють на чотири основні групи (бактерії, гриби, археї та протисти) [21]. Експериментально доведено, що понад 50 000 видів мікроорганізмів мешкає в 1 г ґрунту [19], відповідно мікробіом ґрунту є найбільш генетично різноманітним. Вважається, що досліджено лише 1% угруповань мікроорганізмів ґрунту, оскільки саме його різноманіття є ключем у підтримці широкого спектру функцій та властивостей, які підтримують життя [20]. На склад конкретного ґрунтового мікробіому впливає низка чинників, а саме: погодні умови, агрохімічні показники ґрунту, фітоценоз, зооценоз, добрива, засоби захисту рослин, технології вирощування агрокультури та багато іншого. Саме ці чинники діють як у просторі, так і часі. Але важливим є те, що окремо жоден з перерахованих чинників не є визначальним для структури та функціонування мікробіому. Деякі чинники впливають на деякі групи мікроорганізмів більше, ніж на інші. Більшість ґрунтових мікроорганізмів знаходяться у ризосфері, верхньому шарі ґрунту, де доступність поживних речовин висока, і поруч з корінням рослин, з якими вони вступають у симбіотичні стосунки [2; 13; 16; 22].

Нині для корекції складу й функцій мікробіому застосовують біопрепарати, які є одним із важливих агротехнічних заходів для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур та покращення ґрунту.

Аналіз джерел та останніх досліджень. Дослідженнями провідних українських вчених Патики В., Волкогона В., Шерстобоевої О., Іутинської Г., Демянюк О., Надкерничної О., Копилова Є., Курдіша І., та їх наукових шкіл показано, що саме ґрунт володіє найскладнішим, найцікавішим і найрізноманітнішим мікробіом у Біосфері.

Практично показано, що власне мікробіом ґрунту та його біологічна активність визначає родючість, екологічний та трофічний стан ґрунтів. Структурно-функціональний склад мікро- та мікобіоти поряд з фізичними, фізико-хімічними властивостями – важливий показник якості ґрунту [1; 5; 6; 9; 14–17]. Склад мікробного угруповання безпосередньо можна корегувати за допомогою біопрепаратів, які дозволяють інтродукувати агрономічно-корисних

мікроорганізмів з різними функціями (захист від фітопатогенів та фітофагів, ріст стимуляція, деструкція органічного матеріалу) в кореневу зону рослин та філосферу. Проведений мікробіологічний моніторинг ґрунтів [9; 18] різних екосистем з різних кліматичних зон України свідчить про чітку тенденцію між співвідношенням агроєкологічних умов і активності мікробіоценозу. Застосування агротехнічних заходів, спрямованих на досягнення максимальної продуктивності, зокрема поєднання мінеральних, органічних і біологічних добрив, сприяє збільшенню в середньому в 1,3–4,1 рази у загальній кількості мікроорганізмів у ґрунті порівняно з неудобренними варіантами. На основі проведених досліджень Потапенко Л. та Горбаченко Н. дійшли висновку, що для зменшення невиробничих втрат вологи, водорозчинної органічної речовини та сполук біогенних елементів доцільно використовувати зелену масу сидератів та мікробні препарати на фоні мінеральної системи та системи удобрення NPK + гній. Застосування мікробних препаратів сприяє зменшенню втрат нітратного азоту на 5–18%, магнію – на 5–14%, кальцію – на 6–16% [10].

Дослідженнями Роя А. та Курдіша І. відмічено позитивний вплив комплексного бактеріального препарату Азограну (*Bacillus subtilis* IMB В-7023 та *Azotobacter vinelandii* IMB В-7076) на енергію проростання, схожість та масу паростків досліджених видів рослин, зменшення ступеня ураження насіння мікроміцетами. Відповідно дослідники рекомендують даний біопрепарат для передпосівного оброблення насіння сільськогосподарських рослин [11].

Токмаковою Л. з колегами встановлена ефективність передпосівної інокуляції насіння соняшника культуральною рідиною фосфатмобілізувальної бактерії *Bacillus* sp. 2473. Інтродукція *Bacillus* sp. 2473 в кореневу зону рослин соняшника сприяла підвищенню чисельності фосфатмобілізувальних бактерій, фосфатазної активності та ступеня рухомості фосфатів у ризосферному ґрунті рослин. Внаслідок цього підсилюється засвоєння рослинами Фосфору, що підтверджується підвищенням виносу його з урожаєм культури від 47,3 кг/га до 74,8 кг/га, водночас ефективність фосфорного живлення рослин складає 53,8 % (по фоні $N_{90}P_{90}K_{90}$) [12].

Іншими дослідженнями [8] показано, передпосівне оброблення соняшника біопрепаратом в поєднанні з мінеральною та органо-мінеральною системами удобрення істотно впливало на отримання врожаю. Найбільшу врожайність соняшника фіксували 3,82 т/га за органо-мінеральної системи удобрення з використанням біопрепарату.

В умовах Лівобережного Полісся України проводили дослідження з встановлення ефективності біопрепаратів на різні сорти льону олійного. Вчені [7] дійшли висновку, що застосування Поліміксобактерину дозволяє отримати найвищу врожайність сортів льону олійного різних типів скоростиглості, навіть за несприятливих погодних умов вегетаційного періоду. В середньому за три роки передпосівна інокуляція Поліміксобактерином насіння льону олійного сприяла зростанню загальної висоти рослин, як порівняти з контролями (без інокуляції): у фазі ялинки – на 1,4 см (11,1 %), у період швидкого росту – на 2,1 см (10,1 %), бутонізації – на 2,1 см (7,5 %), цвітіння – на 2,4 см (6,8 %) та повної стиглості – на 2,3 см (5,5 %).

З огляду на вищевикладене, зрозуміло, що інтродукція мікроорганізмів у кореневу зону та філосферу сільськогосподарських рослин є доцільним, еколого безпечним та економічно ефективним способом отримання високоякісних врожаїв, збереження родючості ґрунтів та відновлення екологічних взаємозв'язків між усіма складовими агроценозу.

Нині агровиробникам пропонується нове, сучасне, багатоконпонентне органо-мінеральне добриво Diamond Grow марки HUMI [K] BIO + “Plus” (далі DG H[K]B “Plus”). Даний засіб поєднує комплекс макро- та мікроелементів, гумінові кислоти, екстракт водоростей та комплекс з 16 штамів мікроорганізмів. А саме: *Bacillus licheniformis*, *B. megaterium*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. Pumilus*; *Glomus intraradices*, *G. mosseae*, *G. aggregatum*, *G. etunicatum*, *Rhizopogon villosulus*, *R. luteolus*, *R. amylopogon*, *R. fulvigleba*, *Pisolithus tinctorius*, *Scleroderma cepa*, *S. citrinum*. Саме склад даного добрива робить його надзвичайно цікавим у питаннях впливу на існуючий мікробіоценоз та можливі перебудови викликані інтродукцією значної кількості різних таксономічних мікроорганізмів у ґрунт агроценозу пшениці ярої.

Метою дослідження є визначення впливу органо-мінерального добрива Diamond Grow марки HUMI [K] BIO + “Plus” на функціонування та склад мікробіому ґрунту та направленості процесів в агроценозі пшениці ярої.

Матеріали та методи дослідження. Для лабораторних досліджень зразки ґрунту відбирали з тимчасового польового дослідження (Скви́рська дослідна станція Органічного виробництва Інституту агроєкології та природокористування, 2024 р.) у фазу молочно-воскової стиглості пшениці ярої у межах верхнього біологічно активного шару ґрунту (до 20 см).

Дослідження передбачало наступні варіанти: 1) контроль – оброблення насіння пшениці стерильною водою та без внесення добрив; 2) $N_{12}P_{24}K_{12}$ (одноразово, фоново при посіві у ґрунт); 3) $N_{12}P_{24}K_{12}$ + Біополіцид оброблення насіння 1 л/т (контроль-порівняння дослідів по впливу біопрепарату); 4) $N_{12}P_{24}K_{12}$ + DG H[K]B “Plus” оброблення насіння 200 г/т; 5) $N_{12}P_{24}K_{12}$ + DG H[K]B “Plus” оброблення по вегетації 100 г/га (фаза кущення); 6) $N_{12}P_{24}K_{12}$ + DG H[K]B “Plus” оброблення насіння 200 г/т + по вегетації 100 г/га (фаза кущення).

Чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних та таксономічних груп визначали загальноприйнятими мікробіологічними методами, шляхом посіву ґрунтових суспензій на відповідні елективні поживні середовища. З подальшим підрахунком колоній та перерахуванням кількості колоній утворюючих одиниць (КУО) на 1 г абсолютно-сухого ґрунту. Спрямованість мікробних процесів у ґрунті визначено за допомогою коефіцієнтів мінералізації-імобілізації азоту (Км.), мікробної трансформації органічної речовини ґрунту (Кмт), оліготрофності (Ко.) [4; 14]. Статистичне оброблення експериментальних даних здійснювали з використанням програм Microsoft Excel та Statistica 6.

Виклад основного матеріалу. Відомо, що передпосівне оброблення насіння мікроорганізмами з агрономічно корисними властивостями сприяє не лише кращому онтогенезу рослин та отриманню якіснішого врожаю, а й впливає на стан ґрунту та процесів, що в ньому відбуваються. За результатами дослідження мікробіому ґрунту агроценозу пшениці ярої у фазі молочно-воскової стиглості визначали чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних та таксономічних груп (табл. 1).

Таблиця 1

**Чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних та таксономічних груп
в ґрунті агроценозу пшениці ярої**

№	Варіанти дослідження	Амоніфікатори, млн. КУО/г ґрунту	Бактерії, що асимілюють мін. форми азоту, млн. КУО г/ґрунту	Оліготрофи, млн. КУО/г ґрунту	Стрептоміцети, млн. КУО г/ґрунту	Мікроміцети, тис. КУО г/ґрунту
1	Контроль	5,14±0,36	4,63±0,28	12,25±0,92	2,97±0,19	17,36±0,99
2	NPK	5,82±0,41	9,44±0,57	13,16±0,99	1,64±0,1	15,89±0,91
3	Біополіцид	7,43±0,52	11,89±0,71	15,28±1,15	2,54±0,16	19,27±1,1
4	DG H[K]B “Plus” (насіння)	8,35±0,58	12,48±0,75	14,03±1,05	2,78±0,18	22,06±1,26
5	DG H[K]B “Plus” (вегетація)	6,01±0,42	7,25±0,44	13,49±1,01	1,84±0,12	16,35±0,93
6	DG H[K]B “Plus” (насіння+вегетація)	9,06±0,63	12,16±0,73	17,84±1,34	3,09±0,19	26,17±1,49

Безумовно мікробіом реагував на внесені речовини, так у всіх дослідних варіантах загальна чисельність мікроорганізмів всіх еколого-трофічних груп була вищою відносно контролю. Внесення мінеральних добрив сприяло незначному підвищенню чисельності амоніфікаторів та олігонітрофілів, чисельність стрептоміцетів та мікроміцетів була на рівні контролю. Але в даному варіанті відмічали збільшення в 2 рази чисельність бактерій, що засвоюють мінеральні форми азоту. Передпосівне оброблення насіння пшениці перед посівом біопрепаратами Біополіцид та DG H[K]B “Plus” сприяло зростанню чисельності досліджуваних груп мікроорганізмів порівняно з контролем у 1,5–2,7 разів, і внесенням мінерального добрива – у 1,1–1,7 раз. Чисельність усіх досліджуваних еколого-трофічних груп мікроорганізмів у варіанті де проводили оброблення вегетуючих рослин DG H[K]B “Plus” фіксували на рівні з контролем та варіантом де вносили лише мінеральне добриво. Вважаємо, що оброблення вегетуючих рослин DG H[K]B “Plus”, в складі якого є мікроорганізми, не чинить безпосереднього впливу на склад і функціонування мікробіому ґрунту пшениці ярої. Оскільки основними чинниками формування будь-якого мікробіому ґрунту є коренева система рослини. Саме рослина є ключовим та визначальним елементом, за рахунок корневих виділень, які мають специфічні та різні багатокomпонентні речовини, які забезпечують основні трофічні потреби мікробіому. Доречно

зауважити, що мікробіом рослини формується з самих перших етапів онтогенезу (проростання насіння та сім'ядольних листків). Власне в цей період відбувається заселення ризосфери мікроорганізмами, де одні групи починають домінувати над іншими і запускається величезна кількість біохімічних реакцій між рослиною і мікроорганізмом, між рослиною і ґрунтом, ґрунтом і мікроорганізмами. Відповідно логічним є те, що за оброблення вегетуючих рослин DG H[K]B “Plus” у фазі куцання не мали значного впливу на вже сформований мікробіом ґрунту агроценозу пшениці ярої. Застосування DG H[K]B “Plus” при передпосівному обробленні насіння та вегетуючих рослин пшениці ярої сприяло зростанню чисельності мікроорганізмів усіх досліджуваних еколого-трофічних та таксономічних груп. Чисельність амоніфікаторів, олігонітрофілів та мікроміцетів збільшувалась у середньому більше ніж 1,5 рази. Чисельність бактерій, що здатні засвоювати мінеральні форми азоту зростає у 2,7 рази порівняно з контролем та у 1,3 рази вище, ніж у варіанті, де вносили лише мінеральні добрива. Припускаємо, що таке значне зростання чисельності бактерій, що засвоюють мінеральні форми азоту при двократному застосуванні DG H[K]B “Plus” пов'язане з тим, що в агроценозі склалися сприятливі умови для засвоєння нітратних форм азоту, які доступні мікроорганізмам за рахунок внесених добрив та перетворених високомолекулярних органічних сполук корневих виділень.

На основі мікробіологічного посіву і чисельностей мікроорганізмів основних еколого-трофічних та таксономічних груп розраховали екологічні коефіцієнти, які відображають функціональну активність мікробіому та вказують на спрямованість перебігу мікробіологічних процесів у ґрунті (табл. 2).

Коефіцієнт мінералізації розраховували за співвідношенням кількості мікроорганізмів, що засвоюють мінеральний і органічний азот. Даний коефіцієнт вказує на активність амоніфікуючих мікроорганізмів, які приймають участь у трансформації вуглеводів ґрунту і зв'язуванні вільного азоту. У нашому дослідженні встановлено, що коефіцієнт мінералізації був нижче 1 лише у контрольному варіанті ($K_m = 0,9$), для всіх інших варіантів $K_m = 1,2-1,6$. Отже, такий рівень коефіцієнта мінералізації для досліджуваних агроценозів, свідчить про достатній рівень забезпеченості ґрунту амонійним азотом, що є свідченням інтенсивного розвитку амоніфікуючих мікроорганізмів. Саме ця група мікроорганізмів у своїх трофічних шляхах використовує «складні» органічні речовини кореневих виділень розкладаючи їх для інших на мономери.

Коефіцієнт оліготрофності, який вказує на забезпечення ґрунтової біоти легкодоступними поживними речовинами. Встановлено, що на контрольному варіанті $K_{ол.} = 1,3$, при застосуванні DG Н[К]В “Plus” по вегетації $K_{ол.} = 1$, варіанті з мінеральним добривом $K_{ол.} = 0,9$; за передпосівного оброблення насіння біопрепаратами Біополіцид та DG Н[К]В “Plus” $K_{ол.} = 0,8$ та $K_{ол.} = 0,7$, відповідно. У варіанті де було передпосівне оброблення насіння пше-

ниці та вегетуючих рослин DG Н[К]В “Plus” $K_{ол.} = 0,8$. Таким чином збільшення коефіцієнта оліготрофності вище 1 на контрі та варіанті з застосуванням DG Н[К]В “Plus” свідчить про посилення конкуренції за доступний азот між мікроорганізмами і рослинами і в подальшому може спричинити втрати органічної речовини в агроценозі призводить до втрат органічної речовини.

Коефіцієнт мікробної трансформації органічної речовини розраховували за сумарними чисельностями азотзалежних груп мікроорганізмів і їх співвідношень. Встановлено, що найнижчий рівень $K_{мт.} = 9,4$ для варіанту, де вносили лише мінеральні добрива. Для контролю та варіанту з обробленням DG Н[К]В “Plus” вегетуючих рослин пшениці $K_{мт.} = 10,8$ та 11, відповідно. Дані показники $K_{мт.}$ свідчать про те, що в мікробіомі ґрунту пшениці ярої даних варіантів домінують ті групи мікроорганізмів, які здатні використовувати мінеральні форми азоту. Найвищий рівень $K_{мт.} = 15,8$ фіксували у варіанті, де застосували DG Н[К]В “Plus” в агроценозу пшениці по вегетації та передпосівну. Коефіцієнт мікробної трансформації органічної речовини за передпосівного оброблення насіння Біополіцидом та DG Н[К]В “Plus” становив 12,1 та 13,9, відповідно. Таким чином, високий коефіцієнт мікробної трансформації органічної речовини у варіантах з передпосівним застосуванням DG Н[К]В “Plus” ($K_{мт.} = 13,9$) та комбінуванням DG Н[К]В “Plus” передпосівне + вегетація ($K_{мт.} = 15,8$) вказує на те, що в структурі мікробіому ґрунту пшениці ярої домінують ті групи мікроорганізмів, які відповідають за перетворення органічних сполук,

Таблиця 2

Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті агроценозу пшениці ярої у фазі молочно-воскової стиглості

№	Варіанти	Коефіцієнти		
		Мінералізації $K_{мін.}$	Оліготрофності $K_{ол.}$	Трансформації органічної речовини $K_{мт.}$
1	Контроль	0,9	1,3	10,8
2	НРК	1,6	0,9	9,4
3	Біополіцид	1,6	0,8	12,1
4	DG Н[К]В “Plus” (насіння)	1,5	0,7	13,9
5	DG Н[К]В “Plus” (вегетація)	1,2	1,0	11,0
6	DG Н[К]В “Plus” (насіння+вегетація)	1,3	0,8	15,8

направленість метаболічних процесів у даному мікробіомі в бік синтезу ґрунтоутворювальних сполук та доброї забезпеченості інших трофічних груп мікроорганізмів поживними речовинами без деструкції гумусу.

Висновки. Проведено дослідження впливу DG H[K]B “Plus” на структуру та функціонування мікробіому ґрунту агроценозу пшениці ярої. Виявлено, що застосування DG H[K]B “Plus”, як передпосівне так і комбінація передпосівне + вегетація сприяє зростанню чисельності мікроорганізмів всіх еколого-трофічних та таксономічних груп. Для вище згаданих варіантів чисельність амоніфікаторів, олігонітрофілів та мікроміцетів збільшувалась більше ніж у 1,5 рази порівняно з контролем. Чисельність бактерій, що здатні засвоювати мінеральні форми азоту зросла у 2,7 рази порівняно з контролем та у 1,3 рази вище, ніж у варіанті, де вносили лише мінеральні добрива.

Визначено спрямованість мікробіологічних процесів в агроценозі пшениці ярої за впливу DG H[K]B “Plus” на основі коефіцієнтів, оліготрофності, мінералізації та мікробної трансформації органічної речовини. У варіантах, де застосовували DG H[K]B “Plus” для передпосівного оброблення насіння та комбінації оброблення передпосівне + вегетація, коефіцієнт оліготрофності свідчить про відсутність дефіциту поживних речовин (Кол. = 0,7; 0,8); коефіцієнт мінералізації вказує, що у мікробіомі на момент дослідження домінували групи амоніфікуючих мікроорганізмів, які відповідають за трансформацію органічних речовин агроценозу ($K_m = 1,5; 1,3$). Коефіцієнт мікробної трансформації органічної речовини для даних варіантів фіксували на найвищому рівні ($K_{mt} = 13,9; 15,8$), що вказує на високий рівень протікання фізіолого-метаболічних процесів досліджуваного мікробіому.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Волкогон В.В. Роль мікроорганізмів у первинних процесах формування родючості ґрунтів. *Сільськогосподарська мікробіологія*, 2024. Вип. 39. С. 3–21. URL: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.39.3-21>
2. Волкогон В.В., Москаленко А.М., Дімова С.Б., Халеп Ю.М., Горбань В.П., Волкогон, К.І., Земська, І.А. Оптимізація азотного удобрення сільськогосподарських культур за додаткового надходження до ґрунту свіжої органічної речовини. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2023. Вип. 38. С. 3–15. URL: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.38.3-15>
3. Екологія агросфери / І.О. Фурдичко та ін. Київ: ДІА, 2022. 336 с. DOI: <https://doi.org/10.33730/978-617-7785-30-8>
4. Експериментальна ґрунтова мікробіологія / [В. Волкогон, О. Надкернична, Л. Токмакові та ін.]; за наук. ред. В. Волкогона. К.: Аграрн. Наука, 2010. 464 с.
5. Копилов Є.П., Шаховніна О.О., Надкернична О.В., Новікова Т.П., Тарасов В.В. Мікроміцети кореневої зони рослин сої культурної та їхня функціональна дія на рослини. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2022. Вип. 36. С. 13–27. URL: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.36.13-27>
6. Курдиш І.К. Інтродукція мікроорганізмів у агроєкосистеми. К.: Наукова думка. 2010. 254 с.
7. Локоть О.Ю., Селінний С.М., Пархоменко М.М., Логоша, О.В. Ефективність інокуляції насіння різних сортів льону олійного в умовах Лівобережного Полісся. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2024. Вип. 39. С. 60–70. URL: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.39.60-70>
8. Мащенко Ю.В., Кернасюк Ю.В., Сергієнко О.Д., Ткач А.Ф. Вплив систем удобрення та біопрепарату на економічну ефективність вирощування соняшнику залежно від виходу олії. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2024. № 36. С. 117–124. DOI: 10.36710/ІОС-2024-36-10
9. Патики М.В., Тонха О.Л., Сінченко В.М., Гончар А.М., Патики Т. І. Особливості формування структурово-функціонального складу мікробіому чорнозему цілинного в Степу України. *Мікробіологічний журнал*. 2019. Вип. 81(4). С. 90–106. doi: <https://doi.org/10.15407/microbiolj81.04.090>
10. Потапенко Л.В., Горбаченко Н.І. Особливості міграції водорозчинної органічної речовини та біогенних елементів у дерново-підзолистому ґрунті залежно від систем удобрення та мікробних препаратів. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2021. Вип. 33. С. 81–87. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.33.81-87>
11. Рой А.О., Скороход І.О., Курдиш І.К. Вплив комплексного бактеріального препарату Азогран на розвиток паростків культурних рослин. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2022. Вип. 35. С. 58–65. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.35.58-65>
12. Токмакова Л.М., Трепач А.О., Пищур І.М. Мікробіологічна трансформація фосфору в кореневій зоні рослин соняшнику за дії *Bacillus* sp. 2473 та різного ступеня удобрення культури. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2023. Вип. 38. С. 40–50. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.38.40-50>

13. Токмакова Л.М., Шевченко Л.А., Трепач А.О. *Paenibacillus polymyxa* KB – продуцент біологічно активних речовин. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2022. Вип. 35. С. 42–57. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.35.42-57>
14. Шерстобоева О.В., Демянюк О.С., Чабанюк Я.В. Біодіагностика і біобезпека ґрунтів агроєкосистем. *Агро-екологічний журнал*. 2017. № 2. С. 142–148. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220170>
15. Biliavska L., Iutynska G., Loboda M., Ropotilov B., Skrotzkyi S. Diagnostics and bioremediation of soils affected by military operations in Ukraine. *Biological Systems: Theory and Innovation*. 2024. № 15(3). P. 67–78. doi: 10.31548/biologiya/3.2024.67
16. Demyanyuk O.S., Sherstoboeva O.V., Bunas A.A., Dmitrenko O.V. Effects of different fertilizer systems and hydrothermal factors on microbial activity in the chernozem in Ukraine. *Biosystems Diversity*. 2018. V. 26(4). P. 309–315. DOI: 10.15421/011846
17. Demyanyuk O.S., Patyka V.P., Sherstoboeva O.V., Bunas A.A. Formation of the structure of microbiocenoses of soils of agroecosystems depending on trophic and hydrothermal factors. *Biosystems Diversity*. 2018. V. 26(2). P. 103–110. doi:10.15421/011816
18. Demyanyuk O., Symochko L., Shatsman D. Structure and Dynamics of Soil Microbial Communities of Natural and Transformed Ecosystems. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*. 2020. V. 76(4). P. 97–105. DOI 10.5755/j01.erem.76.4.23508
19. Fierer N., Wood S.A., Bueno de Mesquita C.P. How microbes can, and cannot, be used to assess soil health. *Soil Biology and Biochemistry*. 2021. V. 153. P. 108–111.
20. Kendzior J., Warren R.D., & Bogdanski A. *A review of the impacts of crop production on the soil microbiome*. FAO, Rome. 2022. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/367e75ca-590a-4409-b6ed-5e9ecd1a60f6/content>
21. Nadeu E., Van Dijk R., Hiller N. The Soil Microbiome: its contribution to soil health and One Health. *Institute for European Environmental Policy, Brussels*. 2023. T. 33. URL: <https://ieep.eu/wp-content/uploads/2023/12/The-Soil-Microbiome-ESAD-IEEP-2023.pdf>
22. Van Leeuwen J.P., Djukic I., Bloem J., Lehtinen T., Hemerik L., Ruiters P.C., Lair G.J. Effects of land use on soil microbial biomass, activity and community structure at different soil depths in the Danube floodplain. *European Journal of Soil Biology*. 2017. V. 79. P. 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2017.02.001>

REFERENCES:

1. Volkohon, V.V. (2024). Rol mikroorhanizmiv u pervynnykh protsesakh formuvannya rodiuchosti ґруntiv [The role of microorganisms in the primary processes of soil fertility formation]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia – Agricultural Microbiology*, 39, 3–21. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.39.3-21> [in Ukrainian].
2. Volkohon, V.V., Moskalenko, A.M., Dimova, S.B., Khalep, Yu.M., Horban, V.P., Volkohon, K.I., ... & Zemska, I.A. (2023). Optymizatsiia azotnoho udobrennia silskohospodarskykh kultur za dodatkovoho nadkhodzhennia do ґруntu svizhoi orhanichnoi rechovyny. [Optimization of nitrogen fertilization of agricultural crops with additional input of fresh organic matter to the soil]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia – Agricultural Microbiology*, 38, 3–15. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.38.3-15> [in Ukrainian].
3. Furdychko, O.I., Drebot, O.I., Dem'yanyuk, O.S., Tkach, E.D., & Bunas, A.A. (2022). *Ekolohiia ahrosfery [Ecology of the Agrosphere]*. Kyiv: DIA. <https://doi.org/10.33730/978-617-7785-30-8> [in Ukrainian].
4. Volkohon, V., Nadkernychna, O., & Tokmakovi, L. (Eds.). (2010). *Eksperymentalna ґруntova mikrobiolohiia [Experimental soil microbiology]*. Kyiv: Ahrarna Nauka [in Ukrainian].
5. Kopylov, Ye.P., Shakhovnina, O.O., Nadkernychna, O.V., Novikova, T.P., & Tarasov, V.V. (2022). Mikromitsety korenevoi zony roslyn soi kulturnoi ta yikhnia funktsionalna diia na roslyny [Micromycetes of the root zone of cultivated soybean plants and their functional effect on plants]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia – Agricultural Microbiology*, 36, 13–27. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.36.13-27> [in Ukrainian].
6. Kurdysh, I.K. (2010). *Introduktsiia mikroorhanizmiv u ahroekosystemy [Introduction of microorganisms into agroecosystems]*. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
7. Lokot, O.Iu., Selinnyi, S.M., Parkhomenko, M.M., & Lohosha, O.V. (2024). Efektyvnist inokuliatcii nasinnia riznykh sortiv lonu oliinoho v umovakh Livoberezhnoho Polissia [Efficiency of seed inoculation of different varieties of oil flax in the conditions of Left Bank Polissya]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia – Agricultural Microbiology*, 39, 60–70. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.39.60-70> [in Ukrainian].
8. Mashchenko, Yu.V., Kernasiuk, Yu.V., Serhiienko, O.D., & Tkach, A.F. (2024). Vplyv system udobrennia ta bio-preparatu na ekonomichnu efektyvnist vyroshchuvannya soniashnyku zalezno vid vykhodu olii [The influence of fertilizer systems and biological products on the economic efficiency of sunflower cultivation depending on oil yield]. *Nauko-vo-tekhnichnyi biuleten Instytutu oliinykh kultur NAAN – Scientific and technical bulletin of the Institute of Oilseeds of the NAAS*, 36, 117–124. DOI: 10.36710/IOC-2024-36-10 [in Ukrainian].

9. Patyka, M.V., Tonkha, O.L., Sinchenko, V.M., Honchar, A.M., & Patyka T.I. (2019). Osoblyvosti formuvannia strukturovo-funktsionalnogo skladu mikrobiomu chornozemu tsilyynoho v Stepu Ukrainy [Peculiarities of the formation of the structural and functional composition of the virgin chernozem microbiome in the Steppe of Ukraine]. *Mikrobiologichnyi zhurnal – Microbiological Journal*, 81(4), 90–106. doi: <https://doi.org/10.15407/microbiolj81.04.090> [in Ukrainian].

10. Potapenko, L.V., & Horbachenko, N.I. (2021). Osoblyvosti mihratsii vodorozchynnoi orhanichnoi rechovyny ta bioghennykh elementiv u dernovo-pidzolistomu gruntі zalezho vid system udobrennia ta mikrobynykh preparative [Peculiarities of migration of water-soluble organic matter and biogenic elements in sod-podzolic soil depending on fertilization systems and microbial preparations]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia – Agricultural Microbiology*, 33, 81–87. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.33.81-87> [in Ukrainian].

11. Roi, A., Ckorokhod I., & Kurdysh I. (2022). Vplyv kompleksnogo bakterialnogo preparatu Azohran na rozvytok parostkiv kulturnykh roslyn [The effect of the complex bacterial preparation Azogran on the development of sprouts of cultivated plants]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia – Agricultural Microbiology*, 35, 58–65. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.35.58-65> [in Ukrainian].

12. Tokmakova, L.M., Trepach, A.O., & Pyshchur, I.M. (2023). Mikrobiologichna transformatsiia fosforu v korenevii zoni roslyn soniashnyku za dii Bacillus sp. 2473 ta riznogo stupenia udobrennia kultury [Microbiological transformation of phosphorus in the root zone of sunflower plants under the action of Bacillus sp. 2473 and different degrees of crop fertilization]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia – Agricultural Microbiology*, 38, 40–50. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.38.40-50> [in Ukrainian].

13. Tokmakova, L., Shevchenko, L., & Trepach, A. (2022). *Paenibacillus polymyxa* KV – produtsent biolohichno aktyvnykh rechovyn. [Paenibacillus polymyxa KV – producer of biologically active substances]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia – Agricultural Microbiology*, 35, 42–57. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.35.42-57> [in Ukrainian].

14. Sherstoboieva, O.V., Demianiuk, O.S., & Chabaniuk, Ya.V. (2017). Biodiagnostyka i biobezpeka gruntiv ahroekosystem. [Biodiagnostics and biosafety of soils of agroecosystems]. *Ahroekolohichnyi zhurnal – Agroecological Journal*, 2, 142–148. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220170> [in Ukrainian].

15. Biliavska, L., Iutynska, G., Loboda, M., Ropotilov, B., & Skrotskyi, S. (2024). Diagnostics and bioremediation of soils affected by military operations in Ukraine. *Biological Systems: Theory and Innovation*, 15(3), 67–78. doi: 10.31548/biologiya/3.2024.67 [in English].

16. Demyanyuk, O.S., Sherstoboieva, O.V., Bunas, A.A., & Dmitrenko, O.V. (2018). Effects of different fertilizer systems and hydrothermal factors on microbial activity in the chernozem in Ukraine. *Biosystems Diversity*, 26(4), 309–315. DOI: 10.15421/011846 [in English].

17. Demyanyuk, O.S., Patyka, V.P., Sherstoboieva, O.V., & Bunas, A.A. (2018). Formation of the structure of microbial communities of soils of agroecosystems depending on trophic and hydrothermal factors. *Biosystems Diversity*, 26(2), 103–110. doi: 10.15421/011816 [in English].

18. Demyanyuk, O., Symochko, L., & Shatsman, D. (2020). Structure and Dynamics of Soil Microbial Communities of Natural and Transformed Ecosystems. *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*, 76(4), 97–105. DOI 10.5755/j01.ere.m.76.4.23508 [in English].

19. Fierer, N., Wood, S.A. & Bueno de Mesquita, C.P. (2021). How microbes can, and cannot, be used to assess soil health. *Soil Biology and Biochemistry*. 153, 108–111. [in English].

20. Kendzior, J., Warren, R.D., & Bogdanski, A. (2022). *A review of the impacts of crop production on the soil microbiome*. FAO, Rome. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/367e75ca-590a-4409-b6ed-5e9ecd1a60f6/content> [in English].

21. Nadeu, E., Van Dijk, R., & Hiller, N. (2023). The Soil Microbiome: its contribution to soil health and One Health. *Institute for European Environmental Policy, Brussels*. 33. URL: <https://ieep.eu/wp-content/uploads/2023/12/The-Soil-Microbiome-ESAD-IEEP-2023.pdf> [in English].

22. Van Leeuwen, J.P., Djukic, I., Bloem, J., Lehtinen, T., Hemerik, L, Ruiter, P.C., & Lair, G. J. (2017). Effects of land use on soil microbial biomass, activity and community structure at different soil depths in the Danube floodplain. *European Journal of Soil Biology*, 79, 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2017.02.001> [in English].