

УДК 579.64:631.46:631.

8:633.11

© 2022

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ МІКРОБНОГО ЦЕНОЗУ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ В АГРОЦЕНОЗІ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

Ю.П. Борко¹, С.Е. Дегодюк², Е.Г. Дегодюк³,
М.В. Пати́ка⁴, О.А. Літві́нова⁵

^{1,5}кандидати сільськогосподарських наук

^{2,3}доктори сільськогосподарських наук

⁴доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН

¹⁻³ННЦ «Інститут землеробства НААН»

вул. Машинобудівників, 2Б, смт Чабани Фастівського р-ну Київської обл., 08162, Україна

^{4,5}Національний університет біоресурсів і природокористування України

вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 1303041, Україна

e-mail: ¹julia_borko@ukr.net, ²s.degodyuk@ukr.net, ³degodiuk@ukr.net,

⁴npatyka@gmail.com, ⁵litvinova19@ukr.net

ORCID: ¹0000-0002-6277-8980, ²0000-0002-1994-0970, ³0000-0003-2977-5961,

⁴0000-0002-2506-8699, ⁵0000-0002-0962-406

Надійшла 08.02.2022

Мета. Дослідити формування чисельності, структури та якісного складу мікробного біому сірого лісового ґрунту при вирощуванні пшениці озимої за різних систем удобрення. **Методи.** Чисельність мікроорганізмів основних фізіологічних груп визначали методом мікробіологічного посіву ґрунтової суспензії на поживні середовища. Структуру та якісний склад мікробіоти ґрунту досліджували згідно із загальноприйнятими методами за морфологічно-культуральними властивостями. Різноманіття мікробних комплексів ґрунту оцінювали за екологічними індексами Шеннона і Сімпсона. **Результати.** Чисельність мікроорганізмів різних фізіологічних груп змінювалася залежно від системи удобрення (від 0,9 до 27,5 млн КУО/г ґрунту). Унесення мінеральних добрив у дозі $N_{100}P_{60}K_{100}$ спричинило зниження чисельності мікроорганізмів усіх фізіологічних груп порівняно з іншими системами удобрення в 1,1–3,5 рази. За внесення органо-мінеральних біоактивних добрив (ОМБД), гною великої рогатої худоби та поєднаного застосування гною великої рогатої худоби із мінеральними добривами в дозі $N_{100}P_{60}K_{100}$ чисельність мікроорганізмів підвищувалася в 3,5 рази. Установлено, що мікробний біом ґрунту диференціювався за кількістю виявлених морфотипів (бактерій – 35–46, мікроміцетів – 16–20, актиноміцетів – 20–25) і структурою їх розподілу (0,62–16,36%). Найбільше різноманіття бактерій, мікроміцетів і актиноміцетів (за індексами Шеннона і Сімпсона) виявлено за внесення гною великої рогатої худоби, найменше – за мінерального удобрення (бактерії та актиноміцети) і внесення ОМБД (мікроміцети). При цьому найбільшим видовим багатством характеризувалася бактеріальна мікробіота. **Висновки.** Застосування різних систем удобрення в агроценозі пшениці озимої істотно впливає на формування мікробного ценозу в орному шарі сірого лісового ґрунту, що

проявляється в диференціації кількісного складу, структури та різноманіття мікроорганізмів і перерозподілі функціональної активності мікробної складової ґрунту.

Ключові слова: чисельність мікробіоти, фізіологічні групи мікроорганізмів, морфотипи, індекси різноманіття, орний шар ґрунту, мінеральні і органічні добрива, органо-мінеральні біоактивні добрива.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovysnyk202204-02>

За сучасних умов розвитку аграрного виробництва (нові види добрив, системи землеробства, обробітку ґрунту тощо) перед аграріями постає непросте завдання ведення ефективного сільськогосподарського виробництва, за якого системи землеробства та агротехнічні заходи мають створюватися з урахуванням агроекологічних принципів, що передбачають одночасно з отриманням високої продуктивності культур збереження і відтворення ґрунтової родючості, яка залежить від функціонування і стану ґрунтового мікробіому. Крім того, у зв'язку з необхідністю адаптації систем землеробства до глобальних змін клімату зменшення антропогенного навантаження, поліпшення деградованих ґрунтів і реалізація генетичного потенціалу сучасних сортів сільськогосподарських культур питання впливу елементів технологій вирощування рослин на збереження структури та біорізноманіття ґрунтової мікробіоти є надзвичайно актуальним [1–3]. Адже формування ефективної родючості ґрунту дуже тісно пов'язане з функціонуванням мікробного ценозу в ньому.

Науковими дослідженнями встановлено вплив системи удобрення та обробітку ґрунту, ЗЗР, пестицидів, сівозмін і монокультур на функціонування ґрунтового мікробіоценозу [1, 4–10]. Так, застосування різних рівнів удобрення значно впливає на формування мікробних комплексів в агроценозі сільськогосподарських культур (структуру чисельності агрономічно цінних груп мікроорганізмів, якісний склад, біорізноманіття) і функціонування цілісної системи «рослини–мікроорганізми–ґрунт» загалом із відповідними трофічними зв'язками і спрямованістю ґрунтових мікробіологічних процесів [10–12].

Сірі лісові ґрунти, які є основним ресурсом родючих ґрунтів після чорноземів,

характеризуються високим біорізноманіттям та адаптивним потенціалом [4]. Підтримання різноманіття мікробіоти та родючості ґрунту неможливе без удосконалення наявних систем удобрення. Тому для ведення ефективного сільськогосподарського виробництва на цих ґрунтах за рахунок удосконалення сучасних екологічно обґрунтованих агрозаходів необхідно проводити комплексні дослідження, включаючи визначення кількісного і якісного складу мікробних угруповань агроценозів за різних систем удобрення як показників екологічного стану ґрунту та ступеня антропогенного навантаження на нього. Це сприятиме ефективному управлінню ґрунто-мікробіологічними процесами та дасть змогу забезпечити високий потенціал продуктивності сільськогосподарських культур.

Мета досліджень — вивчити особливості формування чисельності, структури та якісного складу мікробного комплексу сірого лісового ґрунту при вирощуванні пшениці озимої за різних систем удобрення.

Методи досліджень. Дослідження проводили в тривалому польовому досліді, закладеному в 2010 р. відділом агрохімії ННЦ «Інститут землеробства НААН» на сірому лісовому ґрунті у фазі молочно-воскової стиглості пшениці озимої в 2021 р.

Схема досліді містила такі варіанти: контроль (без добрив), органічна система удобрення (гній великої рогатої худоби, 12 т/га ріплі, післядія 4-го року), органо-мінеральна система удобрення (гній великої рогатої худоби, 12 т/га ріплі, післядія 4-го року + $N_{100}P_{60}K_{100}$), мінеральна система ($N_{100}P_{60}K_{100}$), органо-мінеральне біоактивне добриво (ОМБД, 1 т/га).

Чисельність мікроорганізмів основних фізіологічних груп визначали методом мікробіологічного посіву ґрунтової суспензії

відповідного розведення на живильні середовища [13]. Структури якісного складу мікроорганізмів ґрунту вивчали за загальноприйнятими методиками за морфологічно-культуральними властивостями. Для оцінки ступеня домінування використовували показник насиченості виду [14]. Різноманіття мікробних комплексів ґрунту оцінювали за екологічними індексами Шеннона і Сімпсона [15]. Статистичну обробку результатів досліджень проводили в *Ms Excel*.

Результати досліджень. Мікробіологічні дослідження орного (0–20 см) шару пшениці озимої (фаза молочно-воскової стиглості) показали, що чисельність мікроорганізмів різних фізіологічних груп змінювалася залежно від системи удобрення. Так, чисельність бактерій у сірому лісовому ґрунті варіювала в межах 15,03–26,63 млн КУО/г абсолютно сухого ґрунту (далі КУО/г ґрунту), мікроміцетів — 0,49–1,00, актиноміцетів — 3,19–7,30 млн (табл. 1). Застосування органічної, органо-мінеральної систем удобрення та внесення ОМБД у дозі 1 т/га сприяло зростанню чисельності бактеріальної мікробіоти на 27,8–52,9 % порівняно з контролем, тоді за мінеральної системи, навпаки, їх кількість зменшувалася на 21,8%. Натомість у варіанті контролю спостерігалось значне підвищення чисельності мікроміцетів та актиноміцетів порівняно з варіантами, де вносили добрива, у яких може зростати частка фітопатогенних і токсинотворювальних видів, що негативно впливає на здоров'я ґрунту і розвиток рослин.

Чисельність мікроорганізмів решти фізіологічних груп змінювалася залежно від застосовуваних агрозаходів: амоніфіку-

вальних — 15,72–25,79 млн КУО/г ґрунту, нітрифікувальних — 19,70–27,49, педотрофних — 17,69–26,72, оліготрофних — 14,88–25,09, олігонітрофільних — 9,81–19,90, фосфатмобілізівних — 9,57–20,53, спороутворювальних — 0,8–2,78, целюлозоруйнівних — 0,49–1,17 млн КУО/г ґрунту-відповідно (рис. 1).

Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{100}P_{60}K_{100}$ призвело до зниження чисельності мікроорганізмів усіх фізіологічних груп порівняно з іншими системами удобрення в 1,1–3,5 раза, що зумовлено погіршенням ґрунтових умов (зростання ґрунтовтоми) і зниженням доступності для мікроорганізмів легкозасвоюваних поживних речовин. Також про недостатню забезпеченість мікроорганізмів доступними вуглець- і азотвмісними поживними речовинами, активну мінералізацію складних органічних сполук у ґрунті контрольного варіанта свідчить зростання чисельності оліготрофів, педотрофів і нітрифікаторів (на 7,6–43,0% порівняно з іншими варіантами досліду). Унесення ОМБД, гною великої рогатої худоби та поєданого застосування гною великої рогатої худоби із мінеральними добривами у дозі $N_{100}P_{60}K_{100}$ створювало більш сприятливі умови для функціонування ґрунтової мікробіоти порівняно з мінеральним удобренням, що супроводжувалося зростанням її чисельності та активізації процесів перетворення органічних сполук у ґрунті. Так, чисельність фосфатмобілізівних, спороутворювальних і целюлозоруйнівних мікроорганізмів найбільше підвищувалася (у 2,4–3,5 раза) за внесення гною великої рогатої худоби, амоніфікувальних (у 1,6) — за внесення ОМБД, олігонітро-

1. Чисельність бактерій, мікроміцетів і актиноміцетів в орному (0–20 см) шарі сірого лісового ґрунту за вирощування пшениці озимої

Удобрення на 1 га ріллі		Бактерії	Мікроміцети	Актиноміцети
гній, т/га	NPK			
контроль (без добрив)		18,64±0,63	1,00±0,12	7,30±0,34
12	—	23,82±1,42	0,70±0,04	4,79±0,13
12	$N_{100}P_{60}K_{100}$	25,15±1,66	0,71±0,02	4,05±0,09
—	$N_{100}P_{60}K_{100}$	15,03±0,28	0,73±0,08	3,19±0,07
ОМБД, 1 т/га		26,63±1,72	0,49±0,01	3,99±0,17

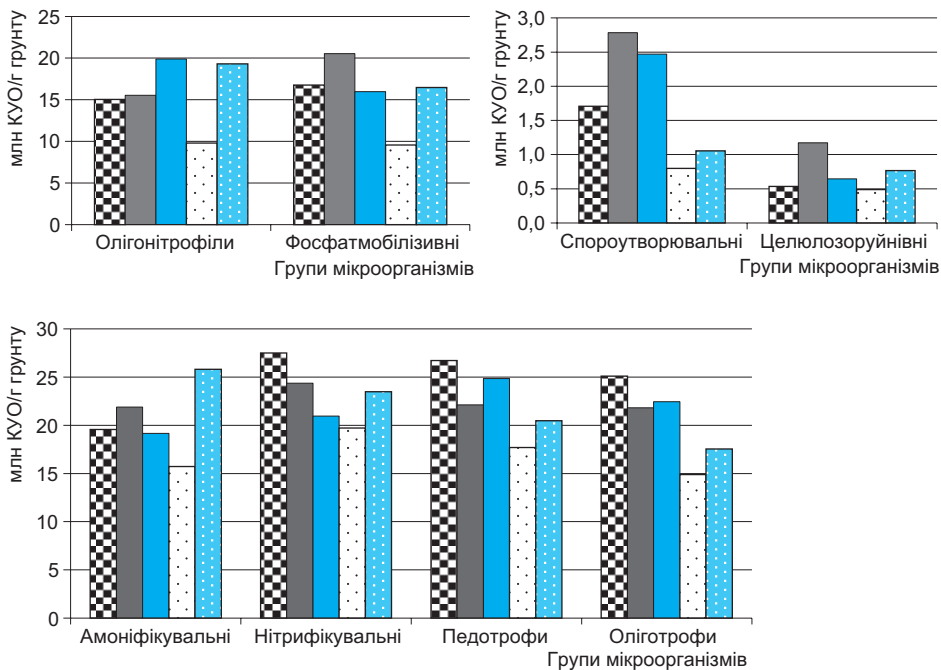


Рис. 1. Чисельність мікроорганізмів різних фізіологічних груп в орному шарі сірого лісового ґрунту за вирощування пшениці озимої: — контроль; — гній, 12 т/га; — 12 т/га гною + N₁₀₀P₆₀K₁₀₀; — ОМБД, 1 т/га

фільних (у 2 рази) — за поєднаного застосування гною великої рогатої худоби і N₁₀₀P₆₀K₁₀₀, що свідчить про різну спрямованість процесів перетворення органічних сполук у ґрунті.

Виявлено обернений кореляційний зв'язок між чисельністю мікроміцетів і бактерій та амоніфікаторів ($r = -0,60$ і $-0,57$), і прямий ($r = 0,66$ – $0,97$) між чисельністю фосфатомобілізувальних, олігонітрофільних, амоніфікувальних і нітрифікувальних мікроорганізмів, що свідчить про тісні функціональні взаємозв'язки між цими групами мікроорганізмів у всіх варіантах досліджу.

Аналіз якісного складу мікробіоти сірого лісового ґрунту на основі опису морфолого-культуральних властивостей мікроорганізмів показав, що мікробні комплекси різняться між собою за кількістю виявлених морфотипів і структурою їх розподілу. Так, кількість морфотипів бактерій залежно від варіанта досліджу варіювала в межах 35–46 КУО, мікроміцетів — 16–20, актиноміцетів — 20–25 КУО з насиченістю 0,62–16,36% (рис. 2). Найбільше різ-

номаніття мікроорганізмів виявлено в зразках ґрунту, де вносили ОМБД (крім мікроміцетів) та гній великої рогатої худоби, що свідчить про позитивний вплив органо-мінеральних біоактивних добрив на мікробний пул ґрунту. Найменшу кількість морфотипів бактерій і актиноміцетів виявлено за внесення N₁₀₀P₆₀K₁₀₀, мікроміцетів — ОМБД.

Установлено, що найбільшу частку бактерій, мікроміцетів та актиноміцетів — 26,7–85,7% займали морфотипи, які часто трапляються. Частка субдомінантів становила 8,1–53,3%, домінантів — 2,2–20,0% (рис. 3). Також у структурі мікробного комплексу сірого лісового ґрунту було виявлено випадкові види бактерій і мікроміцетів, що належать до категорії «інші», які не є постійними представниками мікробного комплексу та активізуються лише за наявності значної кількості легкозасвоюваних поживних речовин у ґрунті (ексудати, рослинні рештки). Їх насиченість у загальній кількості морфотипів бактерій становила 10,8–31,1% (крім варіанта мінерального удобрення), мікроміцетів — 8–13%. Отже, зростання

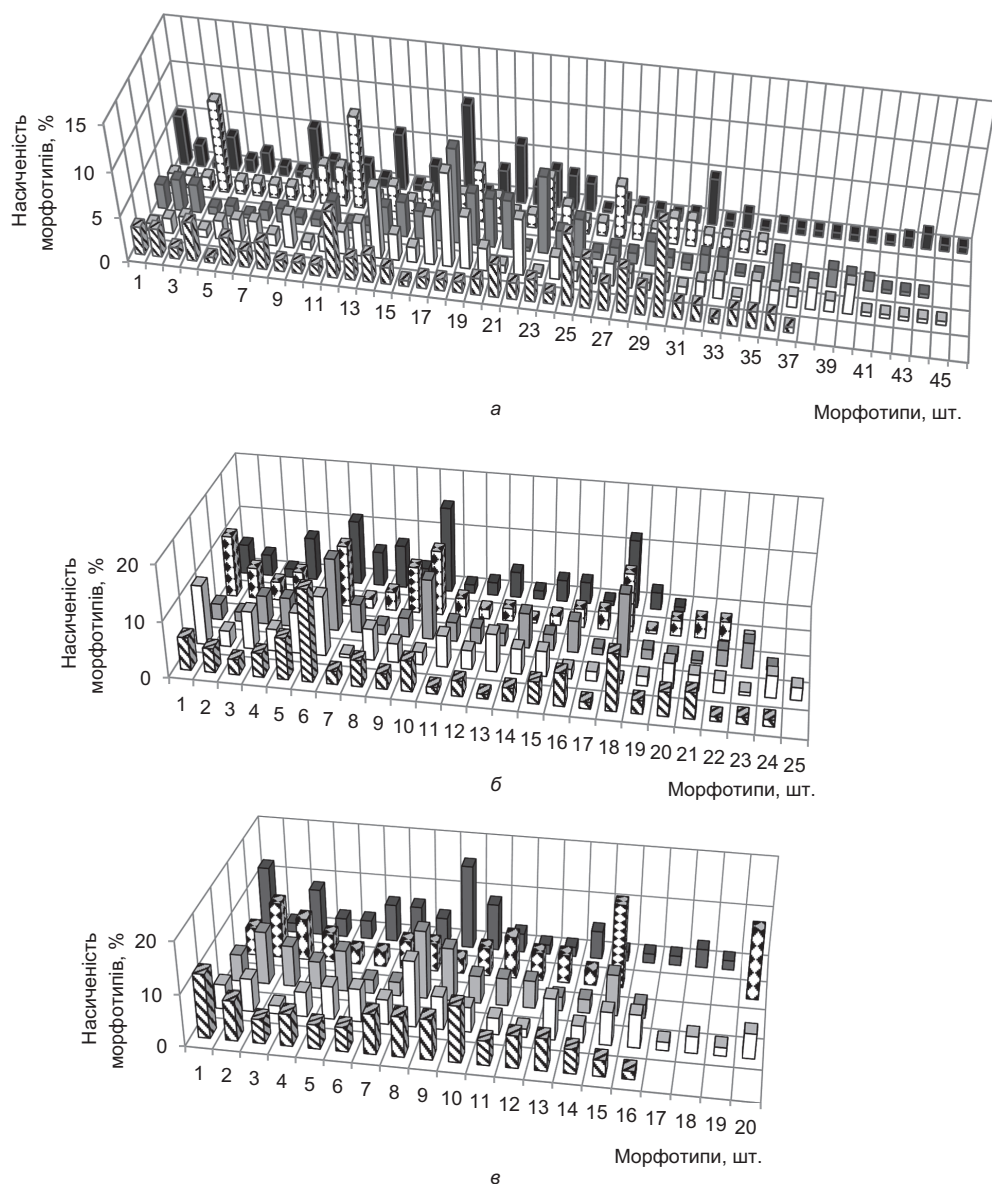


Рис. 2. Структура якісного складу бактерій, мікроміцетів і актиноміцетів в орному шарі сірого лісового ґрунту: варіанти дослідів: — контроль; — гній, 12 т/га; — 12 т/га гною + $N_{100}P_{60}K_{100}$; — $N_{100}P_{60}K_{100}$; — ОМБД, 1 т/га; **а** — бактерії, **б** — мікроміцети, **в** — актиноміцети

різноманіття морфотипів відбувалося за рахунок збільшення кількості представників, які часто трапляються, та інших. Це пов'язано зі збільшенням кількості легкодоступних органічних сполук, що сприяють формуванню мікробного різноманіття.

Розподіл домінувальних представників мікробіоти сірого лісового ґрунту у фазі молочно-воскової стиглості пшениці озимої був нерівномірним, що зумовлено особливостями культури і системою удобрення. Серед морфотипів бактерій і мікроміцетів

виявлено по 4 доміанти (рис. 4). Морфотип бактерій № 17 (брудно-біла, блискуча, кругла, рівний край, випукла, непрозора) з насиченістю 10,3–10,4 % був найпоширенішим

і займав домінувальне положення в зразках ґрунту, відібраних у варіантах за органічного, органо-мінерального удобрення і внесення ОМБД. Морфотип № 6 (реверзум

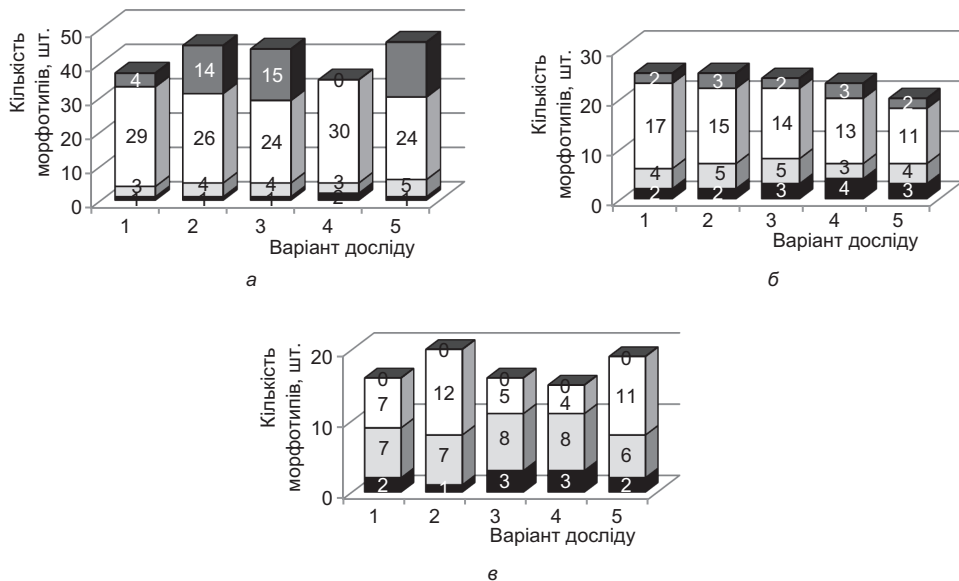


Рис. 3. Розподіл виявлених морфотипів бактерій, мікроміцетів та актиноміцетів в орному шарі сірого лісового ґрунту за вирощування пшениці озимої: 1 – контроль; 2 – гній великої рогатої худоби, 12 т/га; 3 – гній великої рогатої худоби, 12 т/га + $N_{100}P_{60}K_{100}$; 4 – $N_{100}P_{60}K_{100}$; 5 – ОМБД, 1 т/га: Морфотипи: ■ – інші; ■ – часто трапляються; □ – субдомінанти; ■ – доміанти; а – бактерії, б – мікроміцети, в – актиноміцети (для рис. 3, 4)

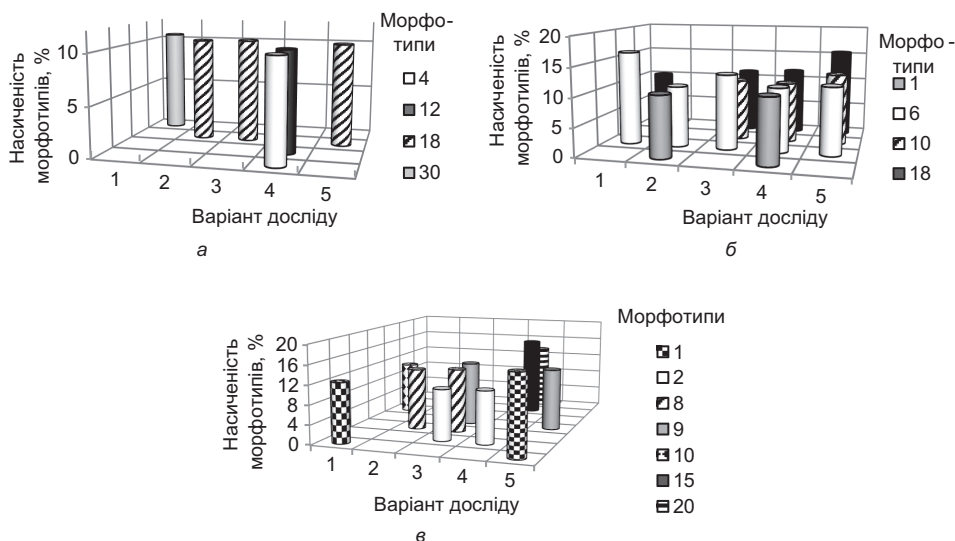


Рис. 4. Розподіл домінувальних морфотипів бактерій, мікроміцетів та актиноміцетів в орному шарі сірого лісового ґрунту за вирощування пшениці озимої

2. Екологічні індекси різноманіття та домінування мікробіоти в орному шарі сірого лісового ґрунту за вирощування пшениці озимої

Удобрень на 1 га ріплі		Бактерії		Мікроміцети		Актиноміцети	
гній, т/га	НРК	$I_{\text{ш}}$	$I_{\text{с}}$	$I_{\text{ш}}$	$I_{\text{с}}$	$I_{\text{ш}}$	$I_{\text{с}}$
контроль (без добрив)		1,458	0,044	1,274	0,068	1,165	0,074
12	—	1,510	0,041	1,301	0,058	1,258	0,064
12	$N_{100}P_{60}K_{100}$	1,483	0,043	1,262	0,067	1,140	0,082
—	$N_{100}P_{60}K_{100}$	1,443	0,046	1,226	0,073	1,107	0,089
ОМБД 4-4-4 — 1 т/га		1,505	0,041	1,173	0,083	1,166	0,084

блід-жовтий, верх брудно-білий, слабо пухнастий, непрозорий) з насиченістю 10,6–16,3 % був виявлений у всіх досліджуваних зразках ґрунту, морфотипи № 10 (реверзум темно-жовтий, верх світло-жовтий, пухнастий, непрозорий) та № 18 (реверзум білий, верх білий, пухнастий, утворював зелені конідії, спричинив затримку росту інших мікроміцетів) з насиченістю 10,1–15,5 % — за внесення органічного, мінерального, мінерального удобрення і ОМБД, а також № 18 — на контролі. Серед актиноміцетів виявлено 7 домінувальних морфологічних типів із насиченістю 10,5–16,4 % (див. рис. 4). Закономірностей характеру розподілу домінантів за системами удобрення не було виявлено. Зростання частки домінувальних морфотипів бактерій, мікроміцетів і актиноміцетів за внесення мінеральних добрив у дозі $N_{100}P_{60}K_{100}$ свідчить про формування однорідного мікробного комплексу ґрунту і зниження мікробного різноманіття.

Для оцінки різноманіття мікробіоти визначено екологічні індекси видового багатства Шеннона і Сімпсона (табл. 2). За показниками індексу Шеннона ($I_{\text{ш}}$, 1,107–1,510) встановлено, що найвище різноманіття бактерій, мікроміцетів і актиноміцетів було за внесення гною великої рогатої худоби, за мінерального удобрення спостерігалось

зниження різноманіття бактерій і актиноміцетів порівняно з іншими системами, що підтверджувалося зростанням частки домінувальних морфотипів у мікробоценозі, а мікроміцетів — за внесення ОМБД. При цьому найбільшим видовим багатством характеризувалась бактеріальна мікробіота. Показники індексу Сімпсона ($I_{\text{с}}$) варіювали у межах 0,041–0,046 (бактерії) та 0,058–0,089 (мікроміцети і актиноміцети), відзначаючи рівномірний розподіл бактерій у складі мікробного комплексу ґрунту та зниження різноманіття мікроміцетів і актиноміцетів порівняно з бактеріями в 1,2–2 рази, особливо за внесення мінеральних добрив у дозі $N_{100}P_{60}K_{100}$ (актиноміцети) та ОМБД (мікроміцети) (див. табл.2).

Виявлено тісний взаємозв'язок між чисельністю бактерій і показниками індексів Шеннона і Сімпсона ($r=0,90$ і $-0,91$), тобто з підвищенням чисельності бактерій зросло їх різноманіття і, навпаки, тоді як аналогічні взаємозв'язки для мікроміцетів і актиноміцетів були значно нижчими ($r=0,64$ і $-0,51$; $r=0,32$ і $-0,57$). Також між величинами індексів Сімпсона та Шеннона (бактерій, мікроміцетів та актиноміцетів) виявлено обернену кореляційну залежність ($r=-0,93$ – $0,98$), що підтверджує достовірність отриманих даних.

Висновки

Аналіз результатів досліджень показує, що чисельність, структура і різноманіття мікробних комплексів чітко відображають специфіку змін, що відбуваються в ґрунті агроценозу пшениці озимої за різного антропогенного навантаження.

Позитивний вплив (у порядку спадання) порівняно з контролем на функціонування мікробного ценозу сірого лісового ґрунту мало застосування органічних, органіко-мінеральних біоактивних і органіко-мінеральних добрив, негативний — мінеральних

добрих. Так, унесення гною великої рога-тої худоби найбільше сприяло активізації мікробіологічної діяльності ґрунту за рахунок збільшення чисельності і біорізноманіття мікробіоти, що визначає процеси трансформації органічної речовини в ґрунті. Унесення мінеральних добрив у дозі

$N_{100}P_{60}K_{100}$ зумовило зменшення чисельності мікроорганізмів основних фізіологічних груп, яке супроводжувалося спрощенням трофічних зв'язків і зниженням біорізноманіття, що може спричинити погіршення трофічного режиму та екологічного стану ґрунту.

Borko Yu.¹, Dehodiuk S.², Dehodiuk E.³, Patyka M.⁴, Litvinova O.⁵

¹⁻³NSC «Institute of agriculture of NAAS», 2b Mashynobudivnykiv Str., vil. Chabany, Fastiv district, Kyiv oblast, 08162, Ukraine; ⁴ National university of life and environmental science of Ukraine, 13 Heroiv Oborony Str., Kyiv, 03041, e-mail: ¹yulia_borko@ukr.net, ²s.degodyuk@ukr.net, ³degodiuk@ukr.net, ⁴npatyka@gmail.com, ⁵litvinova19@ukr.net; ORCID: ¹0000-0002-6277-8980, ²0000-0002-1994-0970, ³0000-0003-2977-5961, ⁴0000-0002-2506-8699, ⁵0000-0002-0962-8406

Peculiarities of formation of microbial coenosis of gray forest soil with different fertilizer systems in the agrocoenosis of winter wheat

Goal. To study the formation of the number, structure, and qualitative composition of the microbial biome of gray forest soil in the cultivation of winter wheat under different fertilizer systems. **Methods.** The number of microorganisms of the main physiological groups was determined by the method of microbiological sowing of soil suspension on nutrient media. The structure and qualitative composition of soil microbiota were studied by generally accepted methods for morphological and cultural properties. The diversity of soil microbial complexes was assessed by the Shannon and Simpson ecological indices. **Results.** The number of microorganisms of different physiological groups varied depending on the fertilizer system (from 0.9 to 27.5 million CFU/g of soil). Application of mineral fertilizers in the dose

of $N_{100}P_{60}K_{100}$ caused a decrease in the number of microorganisms of all physiological groups compared to other fertilizer systems by 1.1–3.5 times. With the application of organomineral bioactive fertilizers (OMBF), cattle manure, and the combined use of cattle manure with mineral fertilizers at a dose of $NN_{100}P_{60}K_{100}$, the number of microorganisms increased by 3.5 times. It was found that the microbial soil biome was differentiated by the number of detected morphotypes (bacteria — 35–46, micromycetes — 16–20, actinomycetes — 20–25) and the structure of their distribution (0.62–16.36%). The greatest diversity of bacteria, micromycetes, and actinomycetes (according to the Shannon and Simpson indices) was found for the introduction of cattle manure, the least — for mineral fertilizers (bacteria and actinomycetes), and the introduction of OMBF (micromycetes). The bacterial microbiota was characterized by the greatest species richness.

Conclusions. The use of different fertilizer systems in the winter wheat agrocoenosis significantly affects the formation of microbial coenosis in the arable layer of gray forest soil, which is manifested in the differentiation of quantitative composition, structure, and diversity of microorganisms and redistribution of functional activity of microbial soil.

Key words: microbiota number, physiological groups of microorganisms, morphotypes, diversity indices, arable soil layer, mineral and organic fertilizers, organomineral bioactive fertilizers.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovysnyk202204-02>

Бібліографія

1. Марковська О.Є. Мікробний ценоз ґрунту під посівами сої залежно від агротехнічних заходів у сівозміні в умовах півдня України. *Меліорація і родючість ґрунтів*. 2021. № 118. С. 291–297. doi:10.32851/2226-0099.2021.118.37
2. Gadzalo Y.M., Patyka M.V., Zaryshnyak A.S., Patyka T.I. Agroecological engineering in rhizosphere biocontrol plants and formation of soil health. *Mikrobiologichnyi zhurnal*. 2017. V. 79. № 4. P. 88–109. doi:10.15407/microbiolj79.04.088
3. Maçik M., Gryta A., Frąc M. Biofertilizers in agriculture: an overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. *Advances in*

Agropony. 2020. № 162/ P. 31–87. doi:10.1016/bs.agron.2020.02.001

4. Зинченко М.К. Действие приемов основной обработки на микробный потенциал агроландшафтов серой лесной почвы. *Земледелие*. 2016. № 1. С. 16–19.

5. Ai C., Zhang S., Zhang X. et al. Distinct responses of soil bacterial and fungal communities to changes in fertilization regime and crop rotation. *Geoderma*. 2018. № 319. P. 156–166. doi:10.1016/j.geoderma.2018.01.010

6. Karpenko O.Y., Rozhko V.M., Butenko A.O. et al. The activity of the microbial groups of maize

root-zone in different crop rotations. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. V. 10. № 2. P. 137–140. doi:10.15421/2020_76

7. Furtak K., Gajda A. M. Activity and variety of soil microorganisms depending on the diversity of the soil tillage system. *Sustainability of agroecosystems*. 2018. P. 45–61. doi:10.5772/intechopen.72966

8. Kruglov YuV. Microbial community of soil: physiological diversity patterns and assessment. *Agricultural Biology*. 2016. V. 51. № 1. P. 46–59. doi:10.15389/agrobiol.2016.1.46rus

9. Larina G. E., Seraya L. G., Ivanova I. O. et al. Microbial complex adaptation in soils of different cultivation degrees. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (2020, October). IOP Publishing. 2020. V. 579, № 1. P. 1–5. doi: 10.1088/1755-1315/579/1/012068

10. Patyka M.V., Borko Yu.P., Tsuk O.A. The features of diversity formation of eubacterial complex in sugar beet (*Beta vulgaris*) rhizosphere at the application of different agromeasures. *Mikro-*

biologichnyi zhurnal. 2017. V. 79. № 2. P. 86–94. doi:10.15407/microbiolj79.02.086

11. Москалевська Ю.П., Пати́ка М.В. Структурно-функціональне формування метабіотики ризосфери буряку цукрового в чорноземі типовому. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2014. № 1, 2. С. 69–76.

12. Пати́ка М.В., Москалевська Ю.П. Мікробні процеси трансформації вуглецю в ризосфері буряка цукрового чорнозему типового. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2014. № 2. С. 34–39. doi:10.31210/visnyk2014.02.04

13. *Методы почвенной микробиологии и биохимии*; под ред. Д.Г. Звягинцева. Москва: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.

14. Лабутова Н.М. Методы изучения почвообитающих микроорганизмов. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 2008. 48 с.

15. Петриченко В.Ф., Бомба М.Я., Пати́ка М.В. та ін. Землеробство з основами екології, ґрунтознавства та агрохімії. Київ: Аграрна наука, 2011. 492 с.