УДК 631.46:633.15:579.64 DOI: 10.33730/2310-4678.1.2025.328372

ФУНКЦІОНУВАННЯ МІКРОБНОГО КОМПЛЕКСУ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ В АГРОЦЕНОЗІ КУКУРУДЗИ ЗА ДІЇ БІОПРЕПАРАТІВ

Ю.П. Борко
кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник
ТОВ "Інститут прикладної біотехнології" (м. Київ, Україна)
e-mail: borko.y@btu-center.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6277-8980

С.А. Вдовенко
доктор сільськогосподарських наук, професор
Вінницький національний аграрний університет (м. Вінниця, Україна)
e-mail: sloi@i.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4991-7234

С.Г. Корсун
доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
ТОВ "Інститут прикладної біотехнології" (м. Київ, Україна)
e-mail: korsuns@i.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8753-9356

В.В. Болоховський
кандидат сільськогосподарських наук
ТОВ "БТУ-ЦЕНТР" (м. Ладижин, Україна)
e-mail: vlad@btu-center.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0007-0074-6362

В.А. Болоховська
кандидат технічних наук
ТОВ "БТУ-ЦЕНТР" (м. Ладижин, Україна)
e-mail: va@btu-center.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0005-2728-4589

У роботі наведені результати комплексного дослідження впливу біопрепаратів — фосфор-калій мобілізатора Граундфікс і мікоризоутворюючого препарату Мікофренд — на чисельність ґрунтових мікроорганізмів, спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті, його агрохімічний стан та врожайність кукурудзи. Методологія досліджень включала використання польових (оцінювання біометричних показників та врожайності культури) і лабораторних методів аналізу (мікробіологічних — визначення чисельності мікроорганізмів фізіологічних і таксономічних груп, спрямованості мікробіологічних процесів; агрохімічних — визначення вмісту гідролізованого азоту, рухомого фосфору, обмінного калію, гумусу, pH). Проведені дослідження дозволили встановити, що внесення мікоризоутворюючого препарату сприяло збільшенню у 1,1–2,9 раза порівняно з контролем чисельності амоніфікаторів, амілолітиків, олігонітрофілів (зокрема бактерій роду Azotobacter), мобілізаторів органічних фосфатів, целюлозолітиків, оліготрофів, педотрофів і мікроміцетів. Використання фосфор-каліймобілізуючого препарату зумовило зростання у 1,2–3,0 рази кількості амоніфікаторів, мобілізаторів органічних фосфатів, бактерій роду Azotobacter, педотрофів і мікроміцетів. Застосування обох біопрепаратів сприяло оптимізації функціонування мікробного комплексу ґрунту, підвищенню його біогенності, зменшенню частки патогенів, інтенсифікації мікробіологічних процесів перетворення органічної речовини ґрунту, покращенню забезпеченості мікробіоти легкодоступними елементами живлення та ґрунту — рухомим фосфором, а також отриманню вищої врожайності кукурудзи на 18% (Граундфікс) і 19% (Мікофренд) порівняно з контролем. Отже, використання комплексних біопрепаратів в екологічно обґрунтованих технологіях вирощування культур може бути ефективним методом підвищення продуктивності агроекосистем та отримання екологічно безпечної продукції рослинництва.

Ключові слова: *ґрунтовий мікробіом, мікробні препарати, фізіологічні групи мікроорганізмів, мікробіологічні процеси, біогенність, агрохімічні показники, врожайність.*

ВСТУП

Функціонування мікробного ценозу ґрунту є важливим чинником, що визначає його родючість, стабільність агроекосистем та ефективність сільськогосподарського виробництва [1]. Відомо, що ґрунтові мікроорганізми суттєво впливають на продукційний процес культурних рослин як посередник між ґрунтом і рослинами

в забезпеченні їхнього життєвого ресурсу [2]. Проте сучасний стан агроценозів характеризується негативними тенденціями порівняно з природними екосистемами. Виявлено збіднення біорізноманітності мікробних угруповань і зміну показників агрохімічного та фізичного стану ґрунту, що призводить до погіршення умов живлення рослин і засвоєння ними діючої речовини з добрив [2–4].

Поряд з дотриманням екологічно та фізіологічно доцільних норм добрив, ефективним вирішенням цієї проблеми є використання комплексних мікробних препаратів, які здатні підвищувати доступність поживних елементів рослинам та їхню стійкість до ураження хворобами, покращувати структуру ґрунту і, як результат, сприяти активному росту та розвитку рослин [2; 5; 6]. Це своєю чергою дозволяє оптимізувати агроекосистеми та отримувати екологічно безпечну продукцію рослинництва [7].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Стан мікробного комплексу ґрунту є важливим показником його родючості та екологічної стійкості [3]. Наукові дослідження показують, що застосування біопрепаратів суттєво впливає на біологічну активність ґрунту, спричиняє перерозподіл у структурі ґрунтового мікробного комплексу, сприяє збільшенню чисельності та біорізноманіття мікроорганізмів агрономічно цінних груп, зниженню частки патогенних мікроорганізмів та, відповідно, підвищенню стійкості рослин до захворювань [6; 8]. Дослідження, проведені в різних ґрунтово-кліматичних умовах, вказують, що використання мікробних препаратів впливає на склад та активність функціонування прикореневого мікробіому, фізико-хімічні властивості ґрунту, сприяє покращенню фосфорного живлення рослин, доступності азоту та підвищенню врожайності сільськогосподарських культур [2; 9; 10]. За даними науковців [11; 12], при застосуванні мікробних препаратів ступінь засвоєння азоту з добрив зростає на 20–30%, а інтенсивність міграції сполук біогенних елементів у ґрунтовому профілі зменшується. При цьому дія біопрепаратів на продуктивність сільськогосподарських культур еквівалентна впливу 30–60 кг/га мінерального азоту та 20–40 кг/га фосфору.

Значна увага в сучасних наукових дослідженнях приділяється впливу біопрепаратів на ризосферний мікробіом та його взаємозв'язок із станом рослин [13; 14]. Деякі автори зазначають, що застосування мікробних препаратів сприяє покращенню симбіотичних зв'язків між рослинами та мікроорганізмами, що зумовлює підвищення врожайності й стійкості агроценозів до стресових чинників довкілля [13; 15].

Застосування біопрепаратів, таких як мікоризні гриби, актиноміцети та ризобактерії, є перспективним напрямом у покращенні агрохімічного стану ґрунтів, оскільки вони сприяють підвищенню ефективності поглинання поживних речовин, синтезу біологічно активних сполук і посиленню антагоністичних властивостей щодо фітопатогенів [16; 17].

У науковій літературі накопичено значний обсяг даних стосовно ефективності мікробних препаратів в агротехнологіях. Однак різноманіття ґрунтово-кліматичних умов в Україні та швидкий розвиток індустрії біопрепаратів у світі зумовлюють актуальність дослідження впливу цих препаратів на екосистему ґрунту з метою оптимізації їх використання у сільському господарстві.

Мета роботи — дослідження впливу мікоризоутворюючого та фосфор-каліймобілізуючого мікробних препаратів на показники біологічного і агрохімічного стану ґрунту та продуктивність кукурудзи.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили в агроценозі кукурудзи (гібрид ДКС 3939 F_1) на сірому лісовому ґрунті в науково-дослідному господарстві "Агрономічне" Вінницького національного аграрного університету (Вінницька обл.). Попередником культури була також кукурудза, що додатково підвищує актуальність посилення агротехнології мікробними препаратами. Фоном на всіх дослідних ділянках було внесення 150 кг карбаміду в рядок при посіві. Схемою польового досліду передбачено 3 варіанти: контроль (без внесення біопрепаратів) і два варіанти із застосуванням біопрепаратів — фосфор- і каліймобілізуючого препарату Граундфікс (4 л/га під передпосівну культивацію) та мікоризоутворюючого препарату Мікофренд (5 кг/т — обробка насіння в сівалці при посіві). Площа облікової ділянки — 0,6 га. Повторність у досліді — триразова.

Оцінку стану мікробного комплексу та поживного режиму ґрунту проводили на базі ТОВ "Інститут прикладної біотехнології" групи компаній BTU. Виконували дослідження орного шару ґрунту в період технічної стиглості зерна (стадія ВВСН 99).

Коротко характеризуючи біопрепарат Граундфікс, слід зазначити, що це комплексне мікробіологічне добриво, яке сприяє мобілізації важкодоступних сполук фосфору та калію з ґрунту, азотфіксації та підвищенню засвоювання мінеральних добрив. До складу біопрепарату входить комплекс бактерій (*Bacillus velezensis*,

Bacillus subtilis, *Priestia megaterium*, *Agrobacterium pusense*, *Agrobacterium salinitolerans*, *Paenibacillus polymyxa*, молочнокислі бактерії — загальний титр 0,5–1,5×10^9 КУО/$см^3$), а також продуценти мікроорганізмів: вітаміни, фітогормони, амінокислоти та інші фізіологічно-активні речовини [18].

Препарат Мікофренд (торфова форма) має свої особливості. Це комплексний мікоризоутворюючий біопрепарат, який застосовують для збільшення площі поглинання елементів живлення та вологи кореневою системою завдяки розвитку мікоризи, утримання вологи в кореневій зоні рослини, а також для захисту рослин від збудників кореневих гнилей і пліснявіння насіння. Склад біопрепарату: гриби *Rhizophagus irregularis*, *Trichoderma harzianum*, бактерії *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum*, *Bacillus mucilaginosus*, *Enterobacter* sp. та стрепроміцети *Streptomyces* sp. Загальний титр — 1,0×10^8 КУО/г [19].

Визначення чисельності мікроорганізмів основних фізіологічних і таксономічних груп здійснювали згідно з ДСТУ 7847:2015 методом посіву ґрунтової суспензії відповідного десятикратного розведення на тверді живильні середовища, зокрема: амоніфікувальних мікроорганізмів — на м'ясо-пептонний агар, амілолітичних мікроорганізмів та актиноміцетів — на крохмале-аміачний агар, оліготрофів — на голодний агар, педотрофів — на ґрунтовий агар, олігонітрофілів — на середовище Ешбі, мікроорганізмів, що здатні мінералізувати органічні сполуки фосфору — на середовище Мєнкіної, целюлозоруйнівних мікроорганізмів — на середовище Виноградського, мікроміцетів — на картопляний агар [20]. Ідентифікацію мікроскопічних грибів проводили згідно з методиками [21–23].

Коефіцієнти мінералізації-іммобілізації, оліготрофності, педотрофності, а також мікробної трансформації органічної речовини ґрунту розраховували за співвідношенням окремих груп мікроорганізмів згідно з ДСТУ 3750-98 та за В.Д. Мухою [24; 25].

Агрохімічні показники ґрунту визначали за такими методиками: pH — за ДСТУ ISO 10390: 1994, вміст гумусу — за ДСТУ 4289: 2004, гідролізного азоту — за ДСТУ 7863:2015, рухомих сполук фосфору і калію (за Мачигіним) — за ДСТУ 4114: 2002 [26–29]. Облік біометричних показників і врожайності кукурудзи проводили згідно з [30]. Статистичну обробку та математичний аналіз результатів досліджень здійснювали за допомогою програм MS Excel 10.0 та STATISTICA 7.0.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Як відомо, використання біологічних препаратів насамперед впливає на склад і структуру мікробного ценозу ґрунту. Тому на першому етапі наших досліджень ми визначали чисельність мікроорганізмів основних фізіологічних і таксономічних груп у сірому лісовому ґрунті (*рис. 1, 2*).

Результати мікробіологічних досліджень свідчать, що ступінь збагачення сірого лісового ґрунту мікроорганізмами циклу азоту й вуглецю (за шкалою Д.Г. Звягінцева) у період технічної стиглості зерна кукурудзи був нерівномірним і варіював від дуже бідного (олігонітрофіли) до дуже багатого (амоніфікатори). При

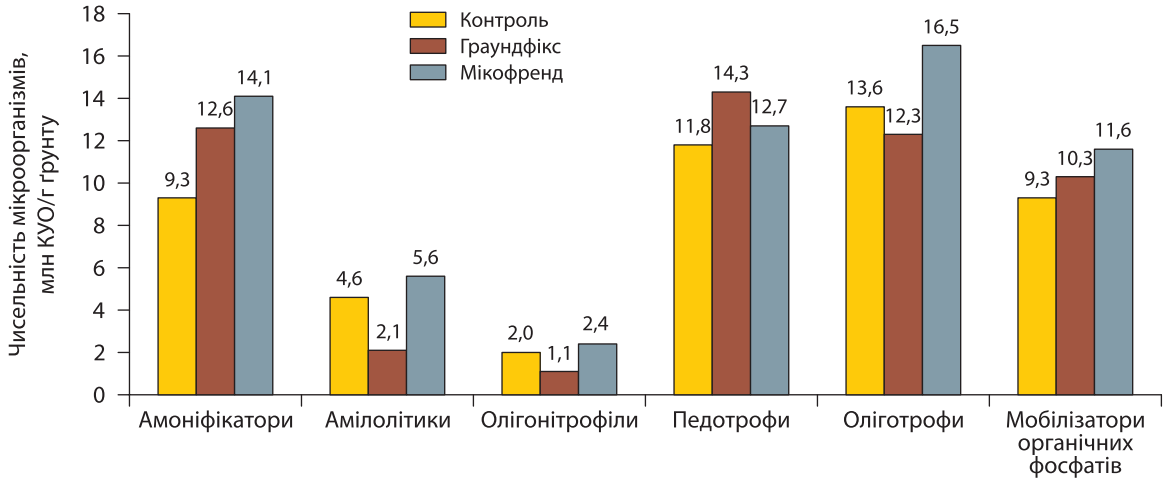

Рис. 1. Чисельність мікроорганізмів основних фізіологічних груп у сірому лісовому ґрунті, млн КУО/г ґрунту

Джерело: розроблено на основі власних досліджень і розрахунків.

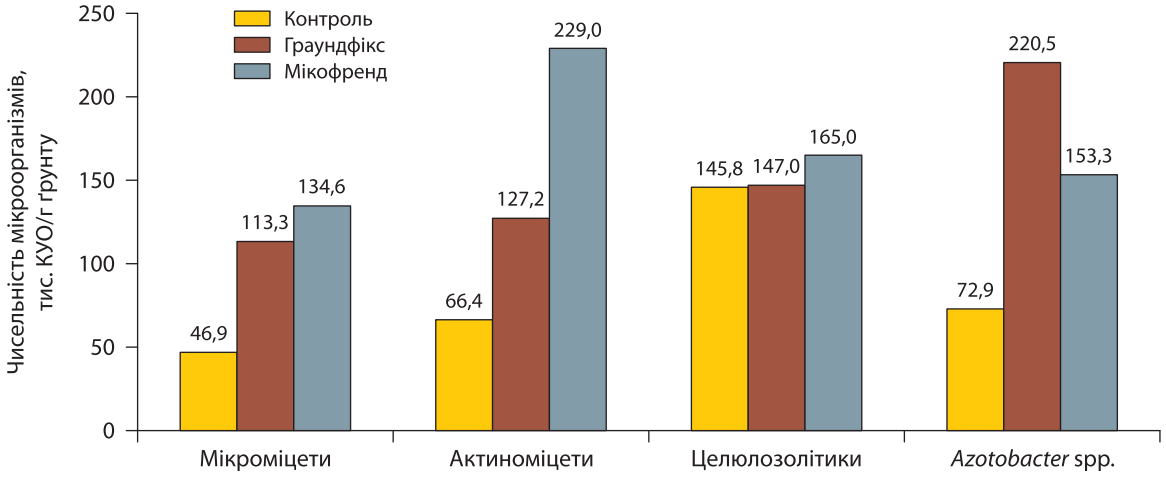

Рис. 2. Чисельність мікроорганізмів основних таксономічних і фізіологічних груп у сірому лісовому ґрунті, тис. КУО/г ґрунту

Джерело: розроблено на основі власних досліджень і розрахунків.

цьому було виявлено тенденцію до збільшення кількості мікроорганізмів агрономічно цінних груп за внесення біопрепаратів Граундфікс і Мікофренд.

Так, використання препарату Мікофренд порівняно з контролем, де біопрепарати не вносили, сприяло зростанню чисельності мікробіоти всіх досліджуваних груп у 1,1–2,9 раза, що свідчить про формування сприятливих умов для активного розвитку мікробного ценозу ґрунту та, відповідно, активізації ґрунтових мікробіологічних процесів.

Внесення препарату Граундфікс стимулювало збільшення чисельності амоніфікаторів, педотрофів, мобілізаторів органічних фосфатів, бактерій роду *Azotobacter* і мікроміцетів у 1,2–3,0 рази порівняно з контролем. Водночас чисельність мікроорганізмів решти досліджуваних груп (амілолітиків, олігонітрофілів, оліготрофів і актиноміцетів) знизилась у 1,1–2,2 раза, що може свідчити про перерозподіл у структурі мікробного комплексу на користь інших груп мікроорганізмів. Слід зазначити, що за внесення препарату Граундфікс чисельність олігонітрофілів, які активно розвиваються за незначного вмісту доступних азотвмісних сполук у ґрунті та здатні до несимбіотичної фіксації азоту, хоч і знизилась, проте частка бактерій, які здатні фіксувати молекулярний азот з повітря, а саме бактерій роду *Azotobacter*, навпаки зросла (до 220,5 тис. КУО/г ґрунту порівняно з показником на контролі — 72,5 тис. КУО/г ґрунту) і була найвищою серед досліджуваних варіантів, що є очевидним, оскільки до складу біопрепарату входять азотфіксувальні бактерії. Зменшення чисельності амілолітичних мікроорганізмів може свідчити про зниження інтенсивності процесів зв'язування в мікробних клітинах мінерального азоту, який утворюється внаслідок амоніфікації білкових речовин рослинних залишків та органічних добрив. Як наслідок, знижується рівень конкуренції між мікробіотою та рослинами за доступні джерела азоту. Зниження чисельності оліготрофів за внесення препарату Граундфікс може свідчити про збільшення вмісту в ґрунті легкодоступних елементів живлення.

Зростання чисельності амоніфікувальної та азотфіксувальної мікробіоти, а також мікроорганізмів, здатних мобілізувати фосфор з органічних сполук у ґрунтах, де вносили мікробні препарати, у 1,3–3,0 рази порівняно з контролем, вказує на покращення азотного та фосфорного режимів ґрунту. Вища кількість педотрофів і мікроміцетів у варіантах із біопрепаратами (у 1,1–2,9 раза порівняно з контролем) свідчить про посилення процесів деструкції органічних сполук та утворення доступних для рослин форм поживних речовин, а також про позитивний тренд щодо гуміфікації.

Важливим показником біологічної активності ґрунту та його екологічного стану, що визначає рівень продуктивності агроекосистем і можливість сталого ведення сільського господарства, є біогенність ґрунту (загальна чисельність виявлених мікроорганізмів). Найвищим цей показник (63,2 млн КУО/г ґрунту) був у варіанті досліду, де вносили Мікофренд, тоді як за використання препарату Граундфікс він був нижчим на 15,0% (55,0 млн КУО/г ґрунту), а найнижчим (50,8 млн КУО/г ґрунту) — у варіанті контролю. Таким чином, застосування біопрепаратів виробництва BTU сприяло покращенню умов для розвитку ґрунтових мікроорганізмів і підвищенню рівня їхньої активності.

Підтвердженням вищезазначеного є зміна величин показників коефіцієнтів спрямованості ґрунтових мікробіологічних процесів у варіантах застосування біопрепаратів (*табл. 1*). Так, показник коефіцієнта мінералізації-іммобілізації ($К_{М.-І.}$) за внесення препарату Мікофренд знизився до 0,40, а за внесення Граундфіксу — до 0,17, при $К_{М.-І.} = 0,49$ на контролі. Це свідчить про зростання активності процесів деструкції органічних сполук азоту, внаслідок чого ґрунт збагачується легкодоступними формами азоту, необхідними для росту та розвитку рослин, а також зниження інтенсивності процесів іммобілізації (зв'язування азоту в мікробних клітинах). При цьому процеси трансформації органічної речовини ґрунту (за величиною $К_{ТОР}$) найбільш інтенсивно проходили за використання препарату Граундфікс ($К_{ТОР} = 88,2$). Внесення препарату Мікофренд також сприяло інтенсифікації процесів перетворення органіки ($К_{ТОР} = 49,6$) порівняно з контролем ($К_{ТОР} = 28,1$).

Активізація вищезгаданих процесів своєю чергою сприяла покращенню забезпеченості ґрунтової мікробіоти легкодоступними елементами живлення. Про це свідчить зменшення величин коефіцієнта оліготрофності ($К_{О.}$) з 1,46 на контролі до 1,17 у варіанті з Мікофрендом (знизився дефіцит поживних елементів) та до 0,98 у варіанті з Граундфіксом (мікробіота достатньо забезпечена легкодоступними елементами живлення, необхідними для активного функціонування). Також за використання біопрепаратів зменшувалася величина показника коефіцієнта педотрофності ($К_{П.}$) з 1,27 на контролі до 1,13 у варіанті з Граундфіксом, що може свідчити про зниження інтенсивності засвоєння мікроорганізмами поживних речовин із запасів гумусу (порівняно з контролем). Водночас у варіанті з Мікофрендом величина коефіцієнта педотрофності ($К_{П.} = 0,90$) вказувала на збереження органічної речовини в ґрунті.

При моніторингу стану мікробного ценозу ґрунту важливим є проведення фітопатологічного аналізу для виявлення потенційно небезпечних фітопатогенних мікроорганізмів, які можуть спричиняти хвороби рослин. Результати цього аналізу дають змогу оцінити ефективність агротехнічних заходів і біопрепаратів, а також знизити ризики втрати врожаю та підвищити екологічну безпеку агросистем.

Результати фітопатологічного аналізу ґрунтів показали, що патогенні гриби були представлені збудниками фузаріозної кореневої гнилі та фузаріозу качанів *Fusarium oxysporum*, *F. sporotrichioides*. *F. culmorum*, *F. Verticillioides*. Встановлено, що за внесення комплексного мікробіологічного добрива Граундфікс і комплексного мікоризоутворюючого препарату Мікофренд, в яких біофунгіцидна функція не є основною, знижувалася частка представників роду *Fusarium* з 15,4% на контролі до 12,9% за використання Граундфіксу і до 8,6% за використання Мікофренду.

Варто зазначити, що на фоні зменшення частки патогенних грибів у ґрунтах, де вносили біопрепарати, спостерігалося зростання чисельності мікроміцетів, що було обумовлено збільшенням кількості та різноманіття інших сапротрофних представників мікофауни. Так, у варіанті контролю, де біопрепарати не вносили, непатогенна сапротрофна мікобіота, яка становила 39,7 тис. КУО/г ґрунту, була представлена мікроміцетами 5 видів із 4 родів: *Penicillium* (*Penicillium canescens* Sopp.), *Mucor* (*Mucor hiemalis* Wehmer), *Gliocladium* (*Gliocladium catenulatum* J.C. Gilman & E.V. Abbott), *Trichoderma* (*Trichoderma viride* Pers., *T. harzianum* Rifai). Внесення біопрепарату Граундфікс сприяло збільшенню чисельності (98,7 тис. КУО/г ґрунту) та різноманіття сапротрофних грибів, які були представлені 9 видами з 5 родів: *Penicillium* (*Penicillium variabile* Sopp., *P. glaucolanosum* Chalabuda, *P. canescens* Sopp.), *Gliocla-*

Таблиця 1

Показники коефіцієнтів спрямованості мікробіологічних процесів у ґрунті за внесення біопрепаратів в агроценозі кукурудзи

Коефіцієнт	Варіант досліду		
	без біопрепаратів (контроль)	Граундфікс	Мікофренд
Мінералізації-іммобілізації ($К_{М.-І.}$)	0,49	0,17	0,40
Оліготрофності ($К_{О.}$)	1,46	0,98	1,17
Педотрофності ($К_{П.}$)	1,27	1,13	0,90
Мікробної трансформації органічної речовини ґрунту ($К_{ТОР}$)	28,1	88,2	49,6

Джерело: розроблено на основі власних досліджень і розрахунків.

dium (*Gliocladium catenulatum* J.C. Gilman & E.V. Abbott), *Mortierella* (*Mortierella alpine* Peyronel), *Aspergillus* (*Aspergillus wentii* Wehm., *A. Ustus* (Bain.) Thom & Church, *A. clavatus* Dasm.), *Trichoderma* (*Trichoderma harzianum* Rifai). Використання ж препарату Мікофренд збільшувало чисельність (115,4 тис. КУО/г ґрунту) і різноманіття сапротрофних мікроміцетів, які також були представлені 9 видами із 5 родів: *Penicillium* (*Penicillium variabile* Sopp., *P. funiculosum* Thom., *P. glauco-lanosum* Chalabuda, *P. viridicatum* Westling, *P. canescens* Sopp.), *Absidia* (*Absidia butleri* Lendn.), *Gliocladium* (*Gliocladium roseum* Bainier), *Aspergillus* (*Aspergillus ustus* (Bain.) Thom & Church), *Trichoderma* (*Trichoderma viride* Pers.).

Оцінка агрохімічних показників ґрунту є необхідною складовою комплексного аналізу ефективності біопрепаратів, оскільки вона дозволяє не лише визначити їхній вплив на мікробіологічні процеси, а й відстежувати зміни в родючості ґрунту та забезпеченні рослин елементами живлення.

Аналіз агрохімічних показників сірого лісового ґрунту показав, що застосування біопрепаратів суттєво не змінило рівень кислотності ґрунтового розчину (pH = 4,5–4,6), що є важливим для підтримки стабільності ґрунтових процесів (*табл. 2*). Уміст гумусу в усіх варіантах досліду був на одному рівні.

Найбільш помітні зміни відбулися у вмісті рухомих форм азоту, фосфору та калію. Так, за використання біопрепаратів було виявлено нижчий уміст гідролізованого азоту (на 15,4% за внесення Граундфіксу та на 10,1% за внесення Мікофренду), що, ймовірно, пов'язано з активнішим його поглинанням рослинами, які сформували порівняно вищий урожай (*табл. 4*). Уміст рухомого фосфору при застосуванні мікробних препаратів мав тенденцію до зростання — з 210 мг/кг на контролі до 222,5 мг/кг за використання Граундфіксу та до 231,8 мг/кг — Мікофренду. При цьому забезпеченість ґрунту фосфором тісно корелювала з чисельністю фосфатмобілізувальних мікроорганізмів ($r = 0,79$), що свідчить про суттєвий внесок цієї групи мікроорганізмів у процеси мобілізації фосфору в ґрунті. Уміст рухомого калію у варіанті з Мікофрендом також підвищився (з 80,5 мг/кг у контролі до 89,0 мг/кг), що може бути наслідком мікоризації коріння і, як результат, мобілізації калію в доступні форми для рослин. Проте у варіанті, де вносили Граундфікс, забезпеченість ґрунту рухомим калієм була на 3,2% нижчою від аналогічного показника контролю, що може бути пов'язано з активнішим виносом цього елемента врожаєм.

Поліпшення ґрунтових умов під впливом біопрепаратів позитивно вплинуло на формування урожаю кукурудзи (*табл. 3*). У варіантах "Граундфікс" і "Мікофренд" порівняно з контролем спостерігалося збільшення довжини качана (на 0,9 і 1,7 см відповідно), кількості зерен у ряду (на 2 і 4 шт.), маси 1000 зерен (на 14 і 60 г) та загальної ваги качана (на 54 і 60 г). Це свідчить про покращення засвоєння поживних

Таблиця 2

Агрохімічні властивості ґрунту за внесення біопрепаратів в агроценозі кукурудзи, 2024 р.

Варіант досліду	pH сольове	Гумус, %	Гідролізований азот	Рухомий фосфор, P_2O_5	Рухомий калій, K_2O
			мг/кг		
Без біопрепаратів (контроль)	4,6±0,06	2,04±0,05	84,0±1,2	210,0±3,2	80,5±1,2
Граундфікс	4,5±0,10	2,00±0,07	72,8±1,4	222,5±2,7	78,0±1,7
Мікофренд	4,6±0,08	2,03±0,04	76,3±2,1	231,8±2,9	89,0±1,1

Джерело: розроблено на основі власних досліджень і розрахунків.

Таблиця 3

Біометричні показники продуктивності кукурудзи, середнє за 2022–2024 рр.

Варіант досліду	Довжина качана, см	К-сть рядів зерен, шт.	К-сть зерен у ряду, шт.	Маса 1000 зерен, г	Вага качана, г
Без препаратів (контроль)	18,4	16,0	35,0	336,0	191,0
Граундфікс	19,3	18,0	37,0	350,0	245,0
Мікофренд	20,1	15,0	39,0	396,0	251,0
$НІР_{05}$	0,7	1,5	1,6	10,4	49,7

Джерело: розроблено на основі власних досліджень і розрахунків.

Таблиця 4

Урожайність кукурудзи в досліді, т/га

Варіант досліду	Роки ведення досліду			Середнє за роки досліджень	± до контроля		Коефіцієнт стабільності Левіса
	2022 р.	2023 р.	2024 р		т/га	%	
Без біопрепаратів (контроль)	9,1	8,2	7,9	8,4	—	—	1,15
Граундфікс	11,0	9,5	9,2	9,9	1,5	18	1,19
Мікофренд	12,2	9,2	8,6	10,0	1,6	19	1,42
$НІР_{05}$	1,3	0,9	0,6				

Джерело: розроблено на основі власних досліджень і розрахунків.

речовин рослинами та підтверджує підвищення врожайності культури.

Урожайність зерна кукурудзи за роки ведення досліду варіювалася та залежала від досліджуваних елементів технології. Найвищу врожайність було отримано в 2022 році та дещо нижчу — в 2024 році. На досліджуваний показник, ймовірно, впливали як біопрепарати, так і кліматичні умови. Однак у середньому за роки досліджень за внесення Граундфіксу врожайність була досить високою та становила 9,9 т/га, що перевищувало врожайність рослин контрольного варіанту на 1,5 т/га, або на 18% (*табл. 4*). Застосування Мікофренду також мало позитивний достовірний вплив на агроценоз кукурудзи. У зазначеному варіанті врожайність зерна становила 10,0 т/га, що перевищувало врожайність рослин контрольного варіанта на 1,6 т/га, або на 19%. Стабільність результатів характеризується коефіцієнтом Левіса. За цим показником урожайність кукурудзи з використанням препарату Граундфікс демонструє вищу стабільність позитивного впливу порівняно з Мікофренд.

ВИСНОВКИ

Застосування біопрепаратів позитивно вплинуло на стан мікробного ценозу ґрунту: збільшилася чисельність і різноманіття мікроміцетів за одночасного зменшення частки патогенів, зросли біогенність ґрунту, активність процесів мінералізації та трансформації органічної речовини ґрунту, покращилася забезпеченість мікробіоти легкодоступними елементами живлення. За внесення фосфор-калій мобілізатора Граундфікс чисельність амоніфікаторів, педотрофів, мобілізаторів органічних фосфатів, бактерій роду *Azotobacter* та мікроміцетів підвищилась у 1,2–3,0 рази порівняно з контролем. При використанні мікоризоутворюючого препарату Мікофренд кількість мікроорганізмів усіх досліджуваних агрономічно цінних груп зросла у 1,1–2,9 раза.

Оптимізація мікробіологічних процесів у ґрунті завдяки застосуванню мікробних препаратів сприяла покращенню забезпеченості ґрунту рухомими сполуками фосфору та калію. Поліпшення поживного режиму дозволило підвищити врожайність кукурудзи на 1,5 т/га із застосуванням біопрепарату Граундфікс і на 1,6 т/га — із Мікофренд порівняно з контролем.

Використання мікробних препаратів може бути ефективним методом підвищення продуктивності агроекосистем. Для глибшого розуміння їхньої дії в агроценозах (вплив на врожайність культур, динаміку мікробіологічних та агрохімічних показників) у довгостроковій перспективі необхідно проводити подальші комплексні дослідження у різних ґрунтово-кліматичних умовах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Патика М.В., Борко Ю.П., Цюк О.А. Особливості формування різноманіття еубактеріального комплексу ризосфери буряка цукрового (Beta vulgaris) при застосуванні різних агрозаходів. *Мікробіологічний журнал*. 2017. Т. 79. № 2. С. 86–94. DOI: https://doi.org/10.15407/microbiolj79.02.086
2. Волкогон В. Сільськогосподарська мікробіологія в Україні: здобутки, проблеми, перспективи. *Вісник аграрної науки*. 2018. Т. 96 (11). С. 20–27. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-03
3. Борко Ю.П., Патыка Н.В. Колодяжный А.Ю. Структура и разнообразие микробиома чернозема при использовании различных систем земледелия. *Микробное разнообразие: актуальные проблемы и решения:* материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 25-летию Независимости Республики Казахстан. Астана, Республика Казахстан, 2016. С. 68–73.
4. Борко Ю.П. та ін. Особливості формування мікробного ценозу сірого лісового ґрунту за різних систем удобрення в агроценозі пшениці озимої. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 100 (4). С. 14–22. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202204-02
5. Масліёв С.В. Влияние биопрепаратов на рост, развитие и урожайность лопающейся кукурузы. *Scientific Progress & Innovations*. 2015. № 3. С. 58–61.

6. Шерстобоєва О.В. Роль мікробіологічних препаратів у підвищенні продуктивності рослин екологічно безпечними засобами. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2004. № 3. С. 229–238.
7. Бунас А.А., Ткач Є.Д., Дворецький В.В. Біопрепарати в Україні та світі: сучасні тренди та перспективи. *Агроекологічний журнал*. 2024. № 4. С. 132–140. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2024.317163
8. Патика В.П. та ін. Вплив біопрепаратів, фітопатогенних мікроорганізмів на мікробіом ґрунту ризосфери і ефективність функціонування симбіотичної системи бульбочкові бактерії–соя, козлятник. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатюка. Сер. Біологія*. 2017. № 1. С. 123–132. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPU_2017_1_21 (дата звернення: 18.01.2025).
9. Kong Z., Li T., Glick B. R., Liu H. Priority effects of inoculation timing of plant growth-promoting microbial inoculants: role, mechanisms and perspectives. *Plant and Soil*. 2025. P. 1–13. DOI: https://doi.org/10.1007/s11104-025-07291-z
10. Ambrosini A., de Souza R., Passaglia L. M. Ecological role of bacterial inoculants and their potential impact on soil microbial diversity. *Plant and Soil*. 2025. Vol. 400. P. 193–207. DOI: https://doi.org/10.1007/s11104-015-2727-7
11. Волкогон В.В. та ін. Вплив мікробних препаратів на засвоєння культурними рослинами поживних речовин. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 5. С. 25–28.
12. Волкогон В.В. Биологическая трансформация азота. Направленность процессов при различных уровнях удобрения сельскохозяйственных культур. Palmarium Academic publishing. 2013. 116 с.
13. Díaz-Rodríguez A.M. et al Microbial inoculants in sustainable agriculture: advancements, challenges, and future directions. *Plants*. 2025. No. 14 (2), 191. DOI: https://doi.org/10.3390/plants14020191
14. Santos M.S., Nogueira M.A., Hungria M. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *AMB Express*. 2019. No. 9 (205). DOI: https://doi.org/10.1186/s13568-019-0932-0
15. Cao M. et al Optimistic contributions of plant growth-promoting bacteria for sustainable agriculture and climate stress alleviation. *Environmental Research*. 2023. No. 217. 114924. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114924
16. Yadav R. et al. Bacillus subtilis CP4, isolated from native soil in combination with arbuscular mycorrhizal fungi promotes biofortification, yield and metabolite production in wheat under field conditions. *Journal of Applied Microbiology*. 2021. No. 131 (1). P. 339–359. DOI: https://doi.org/10.1111/jam.14951
17. Banerjee A., Bareh D.A., Joshi S.R. Native microorganisms as potent bioinoculants for plant growth promotion in shifting agriculture (Jhum) systems. *Journal of soil science and plant nutrition*. 2017. No. 17 (1). P. 127–140. DOI: https://doi.org/10.4067/S0718-95162017005000010
18. Граундфікс® фосфор-калій мобілізатор. BTU Biotech company. URL: https://btu-center.com/ua/groundfix (дата звернення: 04.01.2025).
19. Мікофренд-т® комплексний мікоризоутворюючий препарат. BTU Biotech company. URL: https://btu-center.com/ua/mikofrend-t (дата звернення: 04.03.2025).
20. ДСТУ ISO 7847:2015. Якість ґрунту. Визначення чисельності мікроорганізмів у ґрунті методом посіву на тверде (агаризоване) живильне середовище. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2016, 12 с.
21. Barnett H.L., Hunter B.B. Illustrated genera of imperfect fungi. 3rd edition, Minneapolis: Burgess Publishing Co., 1972. 241 p.
22. Samson R.A., Frisvad J.C., Horkstra E.S., Filtenborg O. Introduction to food and airborne fungi. New 6th edition. 2001, 396 p.
23. Watanabe T. Pictorial atlas of soil and seed fungi: morphologies of cultured fungi and key to species. Third edition. Boca Raton, 2010. 426 p. DOI: https://doi.org/10.1201/EBK1439804193
24. ДСТУ 3750-98. Мікробіологія ґрунту. Терміни та визначення. [Чинний від 1999-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1999. 30 с.
25. Муха В.Д. О показателях, отражающих интенсивность и направленность почаенных процессов. Сб. тр. Харьков. с.-х. ин-та. 1980. Т. 273. С. 13–16.
26. ДСТУ ISO10390:2007. Якість ґрунту. Визначення pH. [Чинний від 2009-10-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2012. 4 с.
27. ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. [Чинний від 2005-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 10 с.
28. ДСТУ 7863:2015. Якість ґрунту. Визначення легкогідролізного азоту методом Корнфілда. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2016. 5 с.
29. ДСТУ 4114:2002. Ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачигіна. [Чинний від 2003-01-01]. Вид. офіц. Київ: Державний комітет з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. 11 с.
30. Основи наукових досліджень в агрономії / за ред. В.О. Єщенка. К.: Дія, 2005. 286 с.

FUNCTIONING OF THE MICROBIAL COMPLEX OF GRAY FOREST SOIL IN THE MAIZE AGROCENOSIS UNDER THE INFLUENCE OF BIOLOGICAL PRODUCTS

Borko Yu.
Candidate of Agricultural Sciences, Senior Research Fellow
LLC "Institute of Applied Biotechnology" (Kyiv, Ukraine)
e-mail: borko.y@btu-center.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6277-8980

Vdovenko S.
Doctor of Agricultural Sciences, Professor
Vinnytsia National Agrarian University (Vinnytsia, Ukraine)
e-mail: sloi@i.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4991-7234

Korsun S.
Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher
LLC "Institute of Applied Biotechnology" (Kyiv, Ukraine)
e-mail: korsuns@i.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8753-9356

Bolokhovskyi V.
Candidate of Agricultural Sciences
LLC "BTU-CENTER" (Ladyzhyn, Ukraine)
e-mail: vlad@btu-center.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0007-0074-6362

Bolokhovska V.
Candidate of Technical Sciences
LLC "BTU-CENTER" (Ladyzhyn, Ukraine)
e-mail: va@btu-center.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0005-2728-4589

The paper presents the results of a comprehensive study of the impact of the biological preparations Groundfix (phosphorus-potassium mobilizer) and Mycofriend (complex mycorrhizal-forming preparation) on the number of soil microorganisms, the direction of microbiological processes in the soil and its agrochemical state, and corn yield. The research methodology included the use of field (assessment of biometric indicators and crop capacity) and laboratory analysis methods (microbiological — determination of the number of microorganisms of physiological and taxonomic groups, the direction of microbiological processes; agrochemical — determination of the content of hydrolyzed nitrogen, mobile phosphorus, exchangeable potassium, humus, pH). The conducted studies allowed to establish that the application of mycorrhizal preparation contributed to the increase in the number of ammonifiers, amylolytic agents, oligonitrophiles (in particular, bacteria of the genus Azotobacter), organic phosphate mobilisers, cellulosolytics, oligotrophs, pedotrophs and micromycetes by 1.1–2.9 times compared to the control. The use of the phosphorus-potassium mobilising preparation resulted in a 1.2–3.0–fold increase in the number of ammonifiers, organic phosphate mobilisers, Azotobacter bacteria, pedotrophs and micromycetes. The use of both biological preparations contributed to the optimization of the functioning of the soil microbial complex, increased soil biogenicity, reduced the proportion of pathogens, intensified microbiological processes of soil organic matter transformation, improved provision of microbiota with easily accessible nutrients and soil-mobile phosphorus, as well as obtaining a 18% (Groundfix) and 19% (Mycofriend) higher corn yield compared to the control. Thus, the application of complex biological products in environmentally sound crop-growing technologies can be an effective method of increasing the productivity of agroecosystems and obtaining ecologically safe crop products.

Keywords: *soil microbiome, microbial preparations, physiological groups of microorganisms, microbiological processes, biogenicity, agrochemical indicators, productivity.*

REFERENSES

1. Patyka, M.V., Borko, Yu.P., & Tsuk, O.A. (2017). The Features of Diversity Formation of Eubacterial Complex in Sugar Beet (Beta vulgaris) Rhizosphere at the Application of Different Agromeasures. *Microbiological Journal, 79 (2)*, 86–94. doi: https://doi.org/10.15407/microbiolj79.02.086
2. Volkohon, V. (2018). Agricultural microbiology in Ukraine: achievements, problems, prospects. *Bulletin of agricultural science, 96 (11)*, 20–27. doi: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-03
3. Borko, Yu.P., Patyka, N.V., & Kolodyazhnii, A.Yu. (2016). Structure and diversity of chernozem microbiome at the application of different farming systems. *Microbial diversity: actual problems and solutions:* materials Mezhdunaar. scientific and practical conference dedicated to the 25th anniversary of the Independence of the Republic of Kazakhstan (pp. 68–73). Astana, Respublika Kazakhstan.
4. Borko, Yu., Dehodiuk, S., Dehodiuk, E., Patyka, M., & Litvinova, O. (2022). Peculiarities of formation of microbial coenosis of gray forest soil with different fertilizer systems in the agrocoenosis of winter whea. *Bulletin of agricultural science, 100 (4)*, 14–22. doi: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202204-02
5. Masliyov, S.V. (2015). The influence of biopreparations on the growth, development and yield of popping corn. *Scientific Progress & Innovations, 3*, 58–61.
6. Sherstoboieva, O.V. (2004). The role of microbiological preparations in increasing plant productivity by environmentally safe means. *Physiology and biochemistry of cultivated plants, 3*, 229–238.
7. Bunas, A.A., Tkach, Ye.D., & Dvoretskyi, V.V. (2024). Biological products in Ukraine and the world: modern trends and prospects. *Agroecological journal, 4*, 132–140. doi: https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2024.317163
8. Patyka, V.P., Kyrylenko, L.V., Alieksieiev, O.O., Zakharova, O.M., & Hnatiuk, T.T. (2017). Influence of biological products, phytopathogenic microorganism on the microbiom soil in the rhizosphere and the efficiency of symbiotic

system root nodule bacteria — soybean, goat's-rue. *Scientific notes of the Volodymyr Hnatyuk Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology, 1*, 123–132. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPU_2017_1_21
9. Kong, Z., Li, T., Glick, B.R., & Liu, H. (2025). Priority effects of inoculation timing of plant growth-promoting microbial inoculants: role, mechanisms and perspectives. *Plant and Soil, 2025*, 1–13. doi: https://doi.org/10.1007/s11104-025-07291-z
10. Ambrosini, A., de Souza, R., & Passaglia, L.M. (2025). Ecological role of bacterial inoculants and their potential impact on soil microbial diversity. *Plant and Soil, 400*, 193–207. doi: https://doi.org/10.1007/s11104-015-2727-7
11. Volkohon, V.V., Dimova, S.B., Volkohon, K.I., Borulko, R.O., & Berdnikov, O.M. (2010). The influence of microbial preparations on the assimilation of nutrients by cultivated plants. *Bulletin of Agricultural Science, 5*, 25–28.
12. Volkohon, V. (2013). Biological transformation of nitrogen. Directionality of processes at different levels of fertilization of agricultural crops. Saarbrucken: Palmarium Academic Publishing.
13. Díaz-Rodríguez, A.M., Parra Cota, F.I., Cira Chávez, L.A., García Ortega, L.F., Estrada Alvarado, M.I., Santoyo, G., & de Los Santos-Villalobos, S. (2025). Microbial Inoculants in Sustainable Agriculture: Advancements, Challenges, and Future Directions. *Plants, 14 (2)*, 191. doi: https://doi.org/10.3390/plants14020191
14. Santos, M.S., Nogueira, M.A., & Hungria, M. (2019). Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *AMB Express, 9 (1)*, 205. doi: https://doi.org/10.1186/s13568-019-0932-0
15. Cao, M., Narayanan, M., Shi, X., Chen, X., Li, Z., & Ma, Y. (2023). Optimistic contributions of plant growth-promoting bacteria for sustainable agriculture and climate stress alleviation. *Environmental Research, 217*, 114924. doi: https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114924
16. Yadav, R., Ror, P., Rathore, P., Kumar, S., & Ramakrishna, W. (2021). Bacillus subtilis CP4, isolated from native soil in combination with arbuscular mycorrhizal fungi promotes biofortification, yield and metabolite production in wheat under field conditions. *Journal of Applied Microbiology, 131 (1)*, 339–359.
17. Banerjee, A., Bareh, D.A., & Joshi, S.R. (2017). Native microorganisms as potent bioinoculants for plant growth promotion in shifting agriculture (Jhum) systems. *Journal of soil science and plant nutrition, 17 (1)*, 127–140. doi: https://doi.org/10.4067/S0718-95162017005000010
18. Groundfix® phosphorus-potassium mobilizer. (n.d.). BTU Biotech company. Retrieved from https://btu-center.com/ua/groundfix
19. Mycofriend-t® complex mycorrhizal preparation. (n.d.). BTU Biotech company. Retrieved from https://btu-center.com/ua/mikofrend-t
20. Soil quality. Determination of the number of microorganisms in soil by sowing on solid (agarified) nutrient medium. (2016). *DSTU ISO 7847:2015 from 1st July 2016*. Kyiv: State Standards of Ukraine.
21. Barnett, H.L., & Hunter, B.B. (1972). Illustrated genera of imperfect fungi. Minneapolis: Burgess Publishing Co.
22. Samson, R.A. (2002). Introduction to food and airborne fungi. American Society Microbiology. Utrecht: Centraalbureau voor Schimmelcultures.
23. Watanabe, T. (2002). Pictorial atlas of soil and seed fungi: morphologies of cultured fungi and key to species. Boca Raton: CRC press. doi: https://doi.org/10.1201/EBK1439804193
24. Soil microbiology. Terms and definitions. (1999). *DSTU 3750-98 from 1st July 1999*. Kyiv: State Standards of Ukraine.
25. Mukha, V.D. (1980). About indicators reflecting the intensity and direction of soil processes. *Collected treatises of the Kharkiv Agricultural Institute, 273*, 13–16.
26. Soil quality. Determination of pH. (2012). *DSTU ISO10390:2007 from 1st October 2009*. Kyiv: State Standards of Ukraine.
27. Soil quality. Methods for determining organic matter. (2005). *DSTU 4289:2004 from 1st July 2005*. Kyiv: State Standards of Ukraine.
28. Soil quality. Determination of easily hydrolyzed nitrogen by the Kornfield method. (2016). *DSTU 7863:2015 from 1st July 2016*. Kyiv: State Standard of Ukraine.
29. Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by the modified Machygin method. (2002). DSTU 4114:2002 from 01th January 2016. Kyiv: Kyiv: State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy.
30. Yeshchenko, V.O. (Ed.). (2005). Fundamentals of scientific research in agronomy. K.: Diia.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

БОРКО Юлія Петрівна, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, ТОВ "Інститут прикладної біотехнології" (вул. Академіка Амосова, буд. 1/34, оф. № 1 (к. 84), с. Софіївська Борщагівка, Бучанський район, Київська область, Україна, 08138; e-mail: borko.y@btu-center.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6277-8980).

ВДОВЕНКО Сергій Анатолійович, доктор сільськогосподарських наук, професор, Вінницький національний аграрний університет (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008; e-mail: sloi@i.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4991-7234).

КОРСУН Світлана Георгіївна, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, ТОВ "Інститут прикладної біотехнології" (вул. Академіка Амосова, буд. 1/34, оф. № 1 (к. 84), с. Софіївська Борщагівка, Бучанський район, Київська область, Україна, 08138; e-mail: korsuns@i.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8753-9356).

БОЛОХОВСЬКИЙ Владислав Вікторович, кандидат сільськогосподарських наук, ТОВ "БТУ-ЦЕНТР" (вул. Хлібозаводська, 1, м. Ладижин, Вінницька обл., Україна, 24321; e-mail: vlad@btu-center.com; ORCID: https://orcid.org/0009-0007-0074-6362).

БОЛОХОВСЬКА Валентина Антонівна, кандидат технічних наук, ТОВ «БТУ-ЦЕНТР» (вул. Хлібозаводська, 1, м. Ладижин, Вінницька обл., Україна, 24321; e-mail: va@btu-center.com ORCID: https://orcid.org/0009-0005-2728-4589).

Новини

Новини

Новини • Новини • Новини

Екстремальні посухи по всьому світу стануть частішими і сильнішими, — дослідження. Стійкі багаторічні посухи продовжать прогресувати з потеплінням клімату. Про це попереджається в дослідженні Швейцарського федерального інституту досліджень лісу, снігу та ландшафту за участю професорки Франчески Пелліччіотті з Інституту науки і технологій Австрії.

Міжнародна команда вчених розрахувала аномалії в кількості опадів і евапотранспірації (випаровування води з ґрунту і рослин) та їхній вплив на природні екосистеми в усьому світі. Це дало їм змогу визначити виникнення багаторічних посух як у добре вивчених, так і в менш доступних регіонах планети, особливо в таких областях, як тропічні ліси й Анди, де мало даних спостережень.