

ВПЛИВ БІОДЕСТРУКТОРІВ НА СЕКВЕСТРАЦІЮ ЛАБІЛЬНИХ ВУГЛЕЦЕВИХ СПОЛУК ҐРУНТУ В АГРОЦЕНОЗАХ КУКУРУДЗИ

А.О. Лунгул¹, М.А. Журба², О.В. Пиріг²,
О.М. Омеляненко³, В.А. Болоховська⁴,
В.В. Болоховський⁴, Т.О. Хоменко^{4,5}

¹ ТОВ «Кернел-Трейд» (м. Київ, Україна)

e-mail: agronauka74@gmail.com; ORCID: 0009-0002-0501-0497

² СТОВ «Дружба-Нова» (с-ще Варва, Чернігівська обл., Україна)

e-mail: zhurbam2017@gmail.com; ORCID: 0009-0003-1775-5696

e-mail: altrockman1986@gmail.com; ORCID: 0000-0001-5127-6451

³ Сумський національний аграрний університет (м. Суми, Україна)

e-mail: makedonsky321@gmail.com; ORCID: 0009-0006-6980-2222

⁴ ТОВ «БТУ-ЦЕНТР» (м. Ладизжин, Вінницька обл., Україна)

e-mail: valent2006@ukr.net; ORCID: 0009-0005-2728-4589

e-mail: vlad@btu-center.com; ORCID: 0009-0007-0074-6362

⁵ Національний університет біоресурсів і природокористування України
(м. Київ, Україна)

e-mail: volyata@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4095-3706

В умовах багаторічного стаціонарного польового досліджування в чорноземі типовому малогумусному було досліджено вплив мікробних препаратів — біодеструкторів рослинних решток на депонування лабільних вуглецевих сполук у ґрунті за тривалого беззмінного вирощування кукурудзи. Встановлено збільшення показників вмісту лабільного вуглецю в ґрунті в варіантах із використанням біодеструкторів Екостерн Класичний та Екостерн Бактеріальний + Екостерн Триходерма на 0,11% і 0,18% відповідно, порівняно з контролем. Підтвердженням отриманих даних збільшення вмісту лабільного вуглецю було визначення в динаміці коефіцієнта трансформації органічної речовини, збільшення якого свідчить про посилення мікробіологічних процесів у ґрунті і перевагу процесів синтезу органічної речовини над її мінералізацією. Так, за використання біодеструкторів цей показник був достовірно більшим за контрольні впродовж усього періоду досліджень. Акцентувавши увагу на приживаності грибного біоагента препаратів Екостерн Класичний та Екостерн Триходерма у ґрунті, визначали в динаміці чисельність грибів роду *Trichoderma*. Результати досліджень вказує про підвищення чисельності цього мікроміцету у варіантах із внесенням Екостерн Класичний у середньому на 19 тис. КУО/г ґрунту, за сумісного застосування Екостерн Бактеріальний з Екостерн Триходерма — на 34 тис. КУО/г ґрунту, при показниках на контролі — 28 тис. КУО/г ґрунту. Це опосередковано може свідчити про приживаність цього біоагента, який входить до складу біопрепаратів. Під час визначення індексу екофізіологічного різноманіття ґрунту за технологією BIOTREX встановлено, що у контрольних зразках ґрунту індекс становив 3,66, тоді як за використання біодеструкторів він зростає до 4,87–5,61, залежно від досліджуваного варіанта. До того ж згідно з оцінкою BIOTREX, застосування біодеструкторів сприяло не тільки збільшенню ґрунтового біорізноманіття, а й покращувало його активність. Використання біодеструкторів забезпечило збільшення врожайності зерна кукурудзи порівняно з контролем на 3,2 ц/га у варіанті з Екостерн Класичний та на 1,76 ц/га за сумісного застосування Екостерн Бактеріальний з Екостерн Триходерма.

Ключові слова: кукурудза, лабільний вуглець, біодеструктори, гриби роду *Trichoderma*.

ВСТУП

Україна — одна з найбагатших країн світу, адже має родючі ґрунти, зокрема володіє найбільшою часткою світового фонду чорноземів. Ґрунт є основним засобом сільськогосподарського виробництва і тому успіх землеробської галузі залежить саме від родючості ґрунтів. Однак, в умовах сучасного сільськогосподарського виробництва України спостерігається посилення антропогенного впливу на ґрунти, змінюється їх біологічний і гумусовий стан. У зв'язку з цим стає дедалі більш важливим дослідження закономірностей мікробіологічних, біохімічних та хімічних процесів у ґрунті залежно від застосованих агрозаходів. Нагальна потреба у відновленні природних екосистем для підтримки їхнього біорізноманіття на рівнях, що гарантують екологічну стабільність, ставить перед наукою нові завдання щодо забезпечення термінових заходів, спрямованих на захист навколишнього середовища від забруднення та руйнування [1].

Мета роботи — дослідити вплив біодеструкторів на депонування лабільних вуглецевих сполук у ґрунті за тривалого беззмінного вирощування кукурудзи.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Вуглець лабільної органічної речовини ґрунтів — досить важливий компонент кругообігу Карбону через його динамічність та чутливість до змін у довкіллі. Однак чітко не встановлено як трансформуються органічна речовина ґрунтів у відповідь на кліматичні зміни, що обмежує можливості прогнозу та моделювання. Вміст органічного вуглецю у верхньому шарі ґрунту, як визначено модельними розрахунками та регресійною апроксимацією, залежить від кліматичних параметрів, найперше — сезонної кількості опадів. У підповерхневих горизонтах на кількість вуглецю органічної речовини впливають локальні особливості розміщення, передусім, тип ґрунту і його щільність (близько 20%), а також вид землекористування (до 60%) й кліматичні особливості (близько 20%) [2].

За даними світових вчених, відмічено важливу роль мікробіологічного біорізноманіття ґрунту у кругообігу вуглецю, їх активність вважається основним чинником відмінностей у потенціалі зберігання вуглецю у ґрунтах [3]. Hartmann, 2015; Khatoon, 2017; Jansson та Hofmockel, 2020 показали, що ґрунтова мікробіота відіграє вирішальне значення у процесі трансформації органічної речовини в ґрунті [4–6].

У роботах (Панфілова, Бунас, 2022) відмічено, що для пришвидшення розкладання рослинних решток й вивільнення у ґрунт макро- та мікроелементів широко використовуються біодеструктори стерні. Мікроорганізми, ферменти та біологічно активні речовини, що містяться в цих біопрепаратах, прискорюють процеси трансформації нерозкладеної органічної речовини в гумус і доступні (лабільні) для рослин форми елементів живлення, перешкоджають розвитку та поширенню хвороб, покращують мікробіологічні й агрохімічні властивості ґрунтів [7; 8].

Саме тому, заорювання у ґрунт після-жнивних решток сільськогосподарських культур, застосування сучасних біодеструкторів, а також вивчення біологічної активності ґрунтів є вирішальним завданням на сучасному етапі розвитку аграрного сектору. Глибше розуміння мікробіологічних процесів дасть змогу виявити закономірності трансформації органічної речовини, наслідки антропогенного впливу на ґрунти та шляхи їх усунення. Одним із таких заходів є використання біодеструкторів у сучасних агротехнологіях для ефективного розкладання рослинних решток [9].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження здійснювали впродовж 2020–2023 рр. в умовах стаціонарного польового досліді науково-дослідного відділу СТОВ «Дружба-Нова» поле № 90.25. 04.14.26.10, Чернігівської обл., с-ще Варва. Ґрунт — чорнозем типовий малогумусний, орний шар якого характеризується такими основними показниками: вміст гумусу — 3,4%, рН — нейтральний, слаболужний,

вміст рухомих форм фосфору підвищений – високий – 14,7–16,5 мг/100 г ґрунту, обмінного калію від середнього до високого – 7,8–11,1 мг/100 г ґрунту, вміст легкогидролізованого азоту – 6,8 мг/100 г.

Сівозміна у досліді – кукурудза в монокультурі. Посів гібрида кукурудзи DKC 4351 – 82 тис. шт./га.

Схема досліду:

- 1) Контроль КАС 32–28 л/га;
- 2) Екостерн Класичний – 2 л/га + КАС-32 – 28 л/га;
- 3) Екостерн Бактеріальний – 2 л/га + Екостерн Триходерма – 1 л/га + КАС-32 – 28 л/га.

Розміщення ділянок – рендомізоване.

Площа облікової ділянки – 0,152 га.

Фоном у досліді було локальне внесення восени на глибину 15–17 см: FERTIS NPK 7-20-28 + S + B + 1%Zn – 100 кг/га, та як основне добриво навесні КАС-32 350 кг/га по всіх варіантах досліду. За сівби в рядок вносили додатково рідке комплексне добриво Квантум Діафан 5:20:5 (NPK) – 20 кг/га + Квантум Хелат Цинку 1,0 л/га + Гуміфілд ВР – 18 0,4 л/га.

Біопрепарати компанії БТУ-ЦЕНТР, які використовувались у стаціонарному досліді: Екостерн Класичний до складу препарату входять бактерії роду *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Enterococcus*, *Agrobacterium* та гриби роду *Trichoderma*. Загальне число життєздатних ефективних мікроорганізмів не менше ніж $3,5 \times 10^9$ КУО/см³ [Посвідчення про держ. реєстрацію А № 08717].

Екостерн Бактеріальний до складу препарату входять бактерії роду *Bacillus*, *Paenibacillus polymyxa*, *Azotobacter chroococcum*, *Enterobacter* sp., *Enterococcus faecium*, *Pseudomonas fluorescens* та ін. Загальне число життєздатних ефективних мікроорганізмів не менше ніж $5,0 \times 10^9$ КУО/см³ [Посвідчення про держ. реєстрацію А № 08717].

Екостерн Триходерма у складі препарату містяться спори та міцелій грибів антагоністів роду *Trichoderma*. Загальне число життєздатних ефективних мікроорганізмів не менше ніж 1×10^7 КУО/см³ [Посвідчення про держ. реєстрацію А № 08716].

Облік урожайності кукурудзи проводили шляхом суцільного збирання та зважування бункерної маси з кожної ділянки з наступним перерахунком на стандартну вологість і засміченість згідно з ДСТУ 2240-93 та загальноприйнятими методиками [10; 11].

Математично-статистичну обробку даних виконували за допомогою програмно-інформаційного комплексу «Agrostat».

Зразки ґрунту відбирали в динаміці (весна–літо–осінь) методом конверту на глибину 0–30 см, потім аналізували як на агрохімічні (лабільний вуглець) [12], так і мікробіологічні показники [13; 14].

Індекс екофізіологічного різноманіття та активності ґрунтового мікробіому визначали за технологією BIOTREX [15].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Вміст лабільного вуглецю – це динамічний показник, його збільшення демонструє направленість процесів гуміфікації органічної речовини, тобто переходу вуглецю в більш складні високомолекулярні сполуки, з яких і складається органічна речовина. Підвищення показників вмісту лабільного вуглецю у ґрунті, в середньому за три роки, спостерігалось у варіантах із використанням біодеструкторів (рис. 1): Екостерн Класичний 2 л/га + КАС-32–

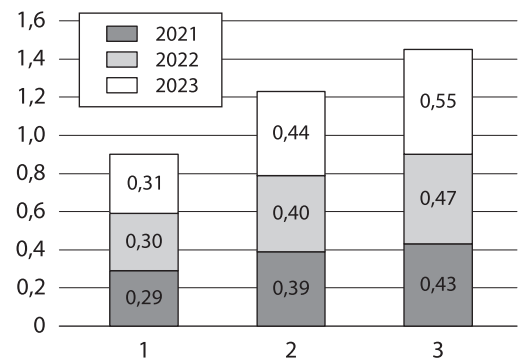


Рис. 1. Вміст лабільного вуглецю у ґрунті за внесення мікробіологічних препаратів в агроценозах кукурудзи (СТОВ «Дружба-Нова», 2021–2023 рр.), %

28 л/га – на 0,11% та Екостерн Бактеріальний 2 л/га + Екостерн Триходерма 1 л/га + КАС-32 – 28 л/га – на 0,18% порівняно з контролем. До того ж встановлено динаміку до зростання цього показника на цих варіантах із кожним наступним роком досліджень.

Підтвердженням отриманих даних збільшення вмісту лабільного вуглецю є визначення в динаміці коефіцієнта трансформації органічної речовини (КТОР) – це добуток суми кількості мікроорганізмів, що засвоюють органічні і мінеральні сполуки азоту, та їх співвідношення. Підвищення показників КТОР свідчить про посилення мікробіологічних процесів у ґрунті і перевагу процесів синтезу органічної речовини над її мінералізацією. Так, за використання біодеструкторів, цей показник був достовірно більшим за контрольні впродовж усього періоду досліджень (рис. 2).

У наших дослідженнях було акцентовано увагу на приживаність грибного біоагента препаратів Екостерн Класичний та Екостерн Триходерма у ґрунті. Для цього у динаміці визначали чисельність грибів роду *Trichoderma*. Результати досліджень свідчать про збільшення чисельності цього мікроміцету у варіантах із внесенням Екостерн Класичний у середньому на 19 тис. КУО/г ґрунту, за сумісного застосування Екостерн Бактеріальний з Екостерн Триходерма – на 34 тис. КУО/г ґрунту, при середніх показниках на контролі – 28 тис. КУО/г ґрунту (рис. 3). Це опосередковано може свідчити про приживаність цього біоагента, який входить до складу біопрепаратів. Що стосується контрольного варіанта КАС-32 – 28 л/га, то тут ми також спостерігаємо незначний ріст чисельності грибів роду *Trichoderma* за рахунок додаткової стимуляції аборигенних грибів роду *Trichoderma* в ґрунті азотними добривами.

Чим більша біологічна різноманітність, тим стабільніший, стійкіший і здоровіший мікробіом, у цьому полягає загальний науковий консенсус визначення індексу екофізіологічного різноманіття за технологією BIOTREX.

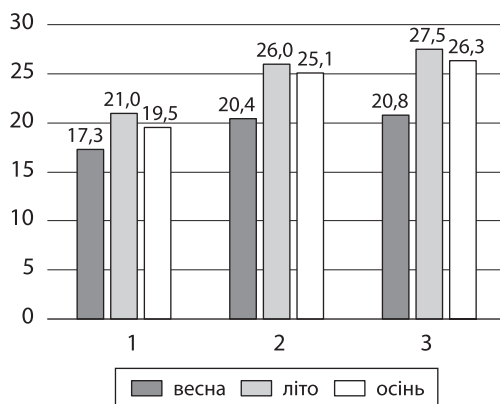


Рис. 2. Показники КТОР (коефіцієнт трансформації органічної речовини) за внесення мікробіологічних препаратів в агроценозах кукурудзи (СТОВ «Дружба-Нова», 2023 р.)

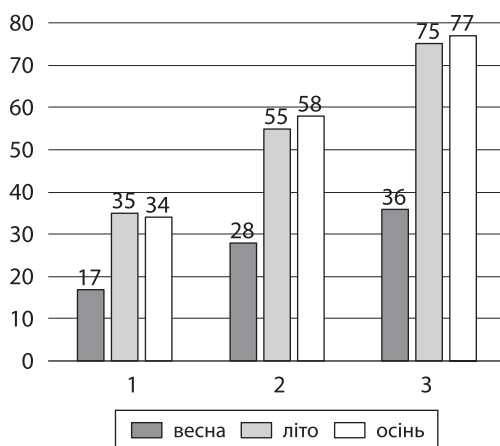


Рис. 3. Динаміка чисельності грибів роду *Trichoderma* за внесення мікробіологічних препаратів в агроценозах кукурудзи (СТОВ «Дружба-Нова», 2023 р.), тис. КУО/г ґрунту

Згідно з даними рис. 4, у контрольних зразках ґрунту індекс екофізіологічного різноманіття становив 3,66 тоді як на варіантах з КАС в комплексі з біодеструкторами він значно зростає. За внесення у ґрунт Екостерн Класичний 2 л/га + КАС-32 – 28 л/га цей індекс сягав – 5,61, за внесення Екостерн Бактеріальний 2 л/га +

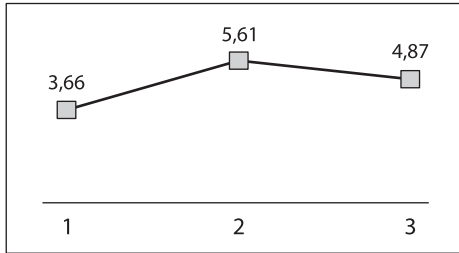


Рис. 4. Вплив мікробіологічних препаратів на індекс екофізіологічного різноманіття за вирощування кукурудзи, осінь 2023 р. (СТОВ «Дружба-Нова»)

Екостерн Триходерма 1 л/га + КАС-32 – 28 л/га – 4,87. Отже, можна стверджувати, що комплексне застосування КАС та біодеструкторів сприяло збільшенню ґрунтового біорізноманіття, що передусім покращує здоров'я ґрунту і підвищує його стійкість до різних біотичних та абіотичних чинників.

Згідно з оцінкою BIOTREX, яка презентує міру мікробної активності ґрунту, отриманої на основі аналітичних результатів встановлено, що комплексне застосування біодеструкторів з КАС сприяло не тільки збільшенню ґрунтового біорізноманіття, а й покращувало його активність (рис. 5).

Зростання мікробної активності ґрунту відмічено у варіанті з внесенням Екостерн Бактеріальний 2 л/га + Екостерн Триходерма 1 л/га + КАС-32 – 28 л/га на 44,9 тис. балів порівняно до контролю відповідно (див. рис. 5).

У 2023 р. урожайність кукурудзи була на доволі високому рівні (табл.). Застосування біодеструкторів сприяло підвищенню врожайності зерна кукурудзи порівняно з контролем на 3,2 ц/га у варіанті з Екостерн Класичний 2л/га + КАС-32 – 28 л/га та на 1,76 ц/га за використання Екостерн Бактеріальний 2 л/га + Екостерн Триходерма 1 л/га + КАС-32 – 28 л/га.

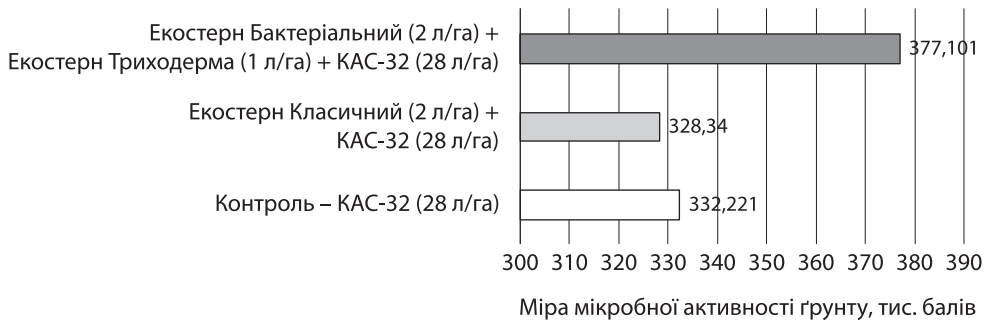


Рис. 5. Вплив КАС та біодеструкторів на індекс BIOTREX (міра мікробної активності ґрунту, тис. балів)

Вплив біопрепаратів на урожайність кукурудзи (СТОВ «Дружба-Нова», 2023 р.), ц/га

Варіанти	Урожайність, ц/га	Різниця до контролю, ц/га
Контроль КАС-32 – 28 л/га	133,9	–
Екостерн Класичний – 2,0 л/га + КАС-32 – 28 л/га	137,1	3,20
Екостерн Бактеріальний – 2,0 л + Екостерн Триходерма – 1,0 л/га + КАС-32 – 28 л/га	135,6	1,76
НІР _{0,05}	1,7	–

ВИСНОВКИ

Встановлено, що такий агроприйом, як внесення біодеструкторів по рештках кукурудзи впродовж 2021–2023 рр. пришвидшує їх трансформацію та забезпечує секвестрацію лабільних сполук вуглецю. За використання біодеструкторів Екостерн Класичний та Екостерн Бактеріальний + Екостерн Триходерма вміст лабільного вуглецю в ґрунті збільшується, порівняно з контролем, на 0,11% і 0,18% відповідно. Відбувається посилення мікробіологічних процесів у ґрунті і переважання процесів синтезу органічної речовини над її мінералізацією. Відмічено підвищення

чисельності грибів роду *Trichoderma* у варіантах із внесенням біодеструкторів Екостерн, що опосередковано може свідчити про приживаність цього біоагента, який входить до складу досліджуваних біопрепаратів. Встановлено зростання індексу екофізіологічного різноманіття та мікробіологічної активності ґрунту. Застосування біодеструкторів забезпечило збільшення врожайності зерна кукурудзи порівняно з контролем на 3,2 ц/га у варіанті з Екостерн Класичний та на 1,76 ц/га за сумісного використання Екостерн Бактеріальний з Екостерн Триходерма.

ЛІТЕРАТУРА

- Гамаюнова В.В., Хоненко Л.Г., Бакланова Т.В. та ін. Сучасні підходи до застосування мінеральних добрив за збереження ґрунтової родючості в умовах зміни клімату. *Наукові горизонти*. 2020. № 02 (87). С. 89–101. DOI: <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-89-101>.
- Дмитрук Ю.М., Демид І.Е. Оцінка профільного розподілу вуглецю лабільної та водорозчинної форм органічної речовини ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2019. № 88. С. 40–47.
- Bhattacharyya S.S., Ros G.H., Furtak K. et al. Soil carbon sequestration — an interplay between soil microbial community and soil organic matter dynamics. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 815. 152928 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152928>.
- Hartmann M., Frey B., Mayer J. et al. Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *The ISME journal*. 2015. Vol. 9 (5). P. 1177–1194.
- Khatoun H., Solanki P., Narayan M. et al. Role of microbes in organic carbon decomposition and maintenance of soil ecosystem. *International Journal of Chemical Studies*. 2017. Vol. 5 (6). P. 1648–1656.
- Jansson J.K. and Hofmockel K.S. Soil microbiomes and climate change. *Nature Reviews Microbiology*. 2020. Vol. 18 (1). P. 35–46.
- Панфілова А.В., Белов Я.В. Поживний режим ґрунту залежно від деструктора Екостерн Класичний та способу основного обробітку. *Меліорація, землеробство, рослинництво*. 2022. № 16. С. 61–65. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.16.10>.
- Бунас А.А., Ткач Є.Д., Дворецький В.В. та ін. Ефективність застосування препарату БіоСистем Power, KC (BioSistem POWER, SC) для прискорення деструкції післяжнивних решток. *Агро-екологічний журнал*. 2022. № 3. С. 119–125. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266417>.
- Dudchenko V., Markovska O. and Sydiakina O. Soybean productivity in rice crop rotation depending on the Impact of biodestructor on post-harvest rice residues. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. № 22(6). P. 114–121. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/141466>.
- Ушкаренко В.О., Вожегова Р.А. Голобородько С.П. та ін. Методика польового дослід. Херсон: Грінь Д.С., 2014. 445 с.
- ДСТУ 2240-93. Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості: технічні умови. [Чинний від 1997.07.01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1994. 73 с.
- ДСТУ 4732:2007. Якість ґрунту. Методи визначення доступної (лабільної) органічної речовини. [Чинний від 2008–01–01]. Київ, 2008. С. 13.
- Волкогон В.В., Пиріг О.В., Британ Т.Ю. Спрямованість ґрунтово-мікробіологічних процесів за впливу органічних та мінеральних добрив. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 6. С. 5–11. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201806-01>.
- Тонха О.Л. Відновлення біологічної активності і гумусного стану чорноземів типових і звичайних України: автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук: 06.01.03. Київ, 2016. 42 с.
- BIOTREX: New biological indicator for soil health. URL: <https://biotrex.eu/>.

REFERENCES

- Hamaiunova, V. V., Khonenko, L.H., Baklanova, T.V. et al. (2020). Suchasni pidkhody do zastosuvannia mineralnykh dobryv za zberezhennia ґruntovoi rodiiu- chosti v umovakh zminy klimatu [Modern approaches to the use of mineral fertilizers to preserve soil fertility in conditions of climate change]. *Naukovi horyzonty* —

- Scientific horizons*, 02 (87), 89–101. DOI: <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-89-101> [in Ukrainian].
2. Dmytruk, Yu.M. & Demyd, I.E. (2019). Otsinka profilnoho rozpodilu vuhletsiu labilnoi ta vodorozchynnoi form orhanichnoi rechovyny gruntiv [Assessment of carbon profile distribution of labile and water-soluble forms of soil organic matter]. *Ahrokhimia i hruntovnavstvo — Agrochemistry and soil science*, 88, 40–47 [in Ukrainian].
 3. Bhattacharyya, S.S., Ros, G.H., Furtak, K. et al. (2022). Soil carbon sequestration — an interplay between soil microbial community and soil organic matter dynamics. *Science of The Total Environment*, 815, 152928. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152928> [in English].
 4. Hartmann, M., Frey, B., Mayer, J. et al. (2015). Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *The ISME journal*, 9 (5), 1177–1194 [in English].
 5. Khatoun, H., Solanki, P., Narayan, M. et al. (2017). Role of microbes in organic carbon decomposition and maintenance of soil ecosystem. *International Journal of Chemical Studies*, 5 (6), 1648–1656 [in English].
 6. Jansson, J.K. & Hofmockel, K.S. (2020). Soil microbiomes and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 18 (1), 35–46 [in English].
 7. Panfilova, A.V. & Bielov, Ya.V. (2022). Pozhyvnyi rezhym gruntu zalezho vid destruktora Ekostern Klasychnyi ta sposobu osnovnoho obrobitku [Nutrient regime of the soil depending on the destructor Ecoster Classic and the method of main cultivation]. *Melioratsiia, zemlerobstvo, roslinnytstvo — Reclamation, agriculture, crop production*, 16, 61–65. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.16.10> [in Ukrainian].
 8. Bunas, A., Tkach, Ye., Dvoretzkyi, V. et al. (2022). Efektyvnist zastosuvannia preparatu BioSystem Power, KS (BioSistem POWER, SC) dlia pryskorennia destruktsii pisliazhnyvnykh reshtok [The effectiveness of the use of BioSistem Power, KS (BioSistem POWER, SC) to accelerate the destruction of post-harvest residues]. *Ahroekolohichniy zhurnal — Agroecological Journal*, 3, 119–125. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266417> [in Ukrainian].
 9. Dudchenko, V., Markovska, O. & Sydiakina, O. (2021). Soybean productivity in rice crop rotation depending on the Impact of biodestructor on post-harvest rice residues. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 22 (6), 114–121. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/141466> [in English].
 10. Ushkarenko, V.O., Vozhegova, R.A., Holoborodko, S.P. et al. (2014). *Metodyka polovoho doslidu [Methodology of the field experiment]*. Kherson [in Ukrainian].
 11. Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Sortovi ta posivni yakosti: tekhnichni umovy [Seeds of agricultural crops. Varietal and sowing qualities: technical conditions]. (1994). *DSTU 2240–93 from 1st of July 1997*. Kyiv: Derzhstandart of Ukraine [in Ukrainian].
 12. Yakist gruntu. Metody vyznachannia dostupnoi (labilnoi) orhanichnoi rechovyny [Soil quality. Methods of determining available (labile) organic matter]. (2008). *DSTU 4732:2007 from 1st of January 2008*. Kyiv: Derzhstandart of Ukraine [in Ukrainian].
 13. Volkohon, V.V., Pyrih, O.V. & Brytan, T.Iu. (2018). Spriamovanist hruntovo-mikrobiolohichnykh protsesiv za vplyvu orhanichnykh ta mineralnykh dobryv [Directionality of soil microbiological processes under the influence of organic and mineral fertilizers]. *Visnyk ahramoi nauky — Bulletin of agricultural science*, 6, 5–11. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk.201806-01> [in Ukrainian].
 14. Tonkha, O.L. (2016). Vidnovlennia biolohichnoi aktyvnosti i humusnoho stanu chornozemiv typovykh i zvychnaynykh Ukrainy [Restoration of biological activity and humus condition of typical and ordinary chernozems of Ukraine]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
 15. BIOTREX: New biological indicator for soil health. URL: <https://biotrex.eu/> [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 13.03.2024