DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-12
УДК: 502.521:543.393

З. В. ЛАВРИНЮК[1], канд. хім. наук, доц.,
доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища
e-mail: lavrynyuk.zoryana@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1906-3330
О. А. КАРАЇМ[1], канд. екон. наук, доц.,
доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища
e-mail: olha.karaim@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1722-4110
О. Ю. РАБАН[1],
Магістр
e-mail: olaraban7@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-8096-5915
В. П. КАРАЇМ[1],
Аспірант
e-mail: karaim.volodymyr@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4053-8019
[1]*Волинський національний університет імені Лесі Українки,*
Пр-т Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., 43025, Україна

ВПЛИВ ПЕСТИЦИДІВ НА МІКРОФЛОРУ ҐРУНТУ В АСПЕКТІ ЗБАЛАНСОВАНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Мета. Дослідження впливу пестицидів *Pesticol* та *KarateGold* на мікрофлору ґрунту, зокрема на бактеріальні угруповання родів *Sphingomonas, Streptomyces, Bacillus* та *Micrococcus* в аспекті збалансованого природокористування.

Методи. Метод серійних розведень, Дригальського, метод Грама та мікроскопії, методи дифузії в агар, методи статистичного опрацювання даних..

Результати. Відібрано проби ґрунту в різних локаціях міста Луцьк: 1 – ботанічний заказник «Воротнів», лісова зона; 2 – ділянка автошляху Е85 на вулиці Окружній, 37; 3 – квітник біля гуртожитку № 2 ВНУ імені Лесі Українки на вулиці Винниченка, 22. Для дослідження обрано два види найбільш вживаних пестицидів *Pesticol* (концентрація діючої речовини 6,0 %) та *KarateGold* (концентрація діючої речовини 0,075 %). Аналіз впливу пестицидів на мікроорганізми показав, що обрані препарати, такі як *Pesticol* і *KarateGold*, мають різний ефект на різні види ґрунтових бактерій, що підкреслює важливість вивчення їх дії на мікробіоту. Отримані результати досліджень чітко показують, що препарат із меншою концентрацією діючої речовини є менш агресивним та екологічнішим порівняно з іншим. Визначено, що для бактерій *Streptomyces* мінімальна інгібуюча концентрація (МІК) пестициду *Pesticol* становить 16 мкг/мл, тоді як *KarateGold* – 2 мкг/мл, що свідчить про високу чутливість до першого пестициду. У випадку бактерій *Micrococcus*, МІК для *Pesticol* становить 2 мкг/мл, тоді як до *KarateGold* бактерії виявили високу стійкість, що підтверджується їх присутністю в усіх пробірках, окрім першої.

Висновки. Негативний вплив використання пестицидів на зазначені мікроорганізми може спричинити порушення ґрунтової екосистеми. Врахування впливу пестицидів на мікрофлору має велике значення при розробці стратегії захисту рослин для забезпечення збалансованого використання хімічних засобів захисту. Дослідження можуть сприяти кращому розумінню дії пестицидів на мікроорганізми в ґрунті, що важливо для збалансованого природокористування та забезпечення сталого розвитку агросфери.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *екологічний аналіз, пестициди, мікроорганізми, ґрунт, мікрофлора, бактерії, зона пригнічення росту, збалансоване природокористування, сталий земельний менеджмент, агросфера*

Як цитувати: Лавринюк З. В., Караїм О. А., Рабан О. Ю., Караїм В. П. Вплив пестицидів на мікрофлору ґрунту в аспекті збалансованого природокористування. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2025. Вип. 43. С. 156–165. DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-12

In cites: Lavrynyuk, Z. V., Karaim, O. A., Raban, O. Yu., & Karaim, V. P. (2025). The pesticides impact on soil microflora in the context of sustainable natural resource use. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (43), 156-165. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-12 (in Ukrainian)

© Лавринюк З. В., Караїм О. А., Рабан О. Ю., Караїм В. П., 2025
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.

Вступ

Використання пестицидів у сільському господарстві є невід'ємною складовою сучасних агротехнологій, спрямованих на захист рослин від шкідників, хвороб і бур'янів. Однак, масове застосування цих хімічних речовин призводить до значних негативних наслідків для навколишнього середовища, зокрема для ґрунтової мікрофлори, яка відіграє ключову роль у підтриманні родючості ґрунтів, кругообігу поживних речовин і самоочищенні екосистем. Пестициди можуть порушувати баланс мікробних угруповань, знижувати їх різноманітність і активність, що в кінцевому підсумку впливає на продуктивність сільськогосподарських угідь та здоров'я людей через ланцюги живлення. Тому дослідження впливу пестицидів на ґрунтові мікроорганізми є надзвичайно актуальним для розробки екологічно безпечних методів захисту рослин і забезпечення сталого розвитку агросфери.

Останні дослідження українських та зарубіжних вчених свідчать про те, що пестициди суттєво впливають на структуру та функціонування ґрунтових мікробних угруповань. Наприклад, авторами [1 – 3] доведено, що пестициди можуть порушувати структуру мікробних угруповань через пряму токсичну дію на окремі види бактерій, що призводить до зміни мікробного різноманіття та функціональної активності ґрунтової біоти. Дослідження авторів [4, 5] щодо впливу пестицидів на ґрунтову мікрофлору ґрунтуються на положеннях про ключову роль мікроорганізмів у підтриманні ґрунтової родючості та біогеохімічних циклів. Сучасні концепції екології ґрунтів підкреслюють, що тривалий вплив пестицидів може викликати формування стійких мікробних угруповань із зниженою біологічною активністю, що в подальшому може негативно вплинути на агроекосистеми. На думку авторів [6, 7], різні групи пестицидів (синтетичні та природні) можуть мати відмінні механізми впливу на мікроорганізми, що обумовлено їх хімічною структурою та специфікою біологічної дії. У праці [8] проаналізовано вплив пестицидів на ґрунтові мікробні організми, ґрунтові біохімічні реакції та ґрунтові ферменти. Зміни біологічного складу ґрунту під впливом пестицидів досліджено в [9]. Вплив на біорізноманіття та структуру ґрунтових бактерій та грибів, а також пов'язані з ними функції ґрунту (дихання, розкладання) у швейцарських виноградниках внаслідок тривалого застосування хімічних препаратів представлено в [10]. Дослідження [11] показало, що вища різноманітність пестицидів може суттєво та негативно впливати на функції ґрунтових мікробів. Вивчення впливу одного або кількох видів пестицидів на ґрунтові мікроорганізми висвітлено в [12 – 14]. Особливості управління використанням пестицидів у ґрунтах у розрізі критичного огляду, зосередженого на сталості сільського господарства розкрито в [15]. У роботі [16] науковці підкреслюють значний вплив пестицидів на довкілля та необхідність екологічної політики для вирішення загроз які виникають унаслідок їх застосування. Автори [17] розглядають вплив агрохімічних речовин на мікробне різноманіття ґрунтів та навколишнє середовище, підкреслюючи важливу роль дрібних фермерів у впровадженні рішень для сталого захисту та підвищення продуктивності сільськогосподарських культур, а також аналізують управлінські стратегії, що можуть бути корисними для науковців, політиків і землевласників у контексті інтеграції практик відновлення ґрунтів і принципів сталого розвитку в малих фермерських господарствах. Поточний огляд сприяє глибшому розумінню ефективного управління сільськогосподарськими землями задля зміцнення продовольчої та харчової безпеки.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Аналіз робіт вищезгаданих авторів свідчить про наявність значної теоретичної та емпіричної бази щодо забруднення від пестицидів та його впливу, однак бракує сучасних досліджень саме з вивчення дії на мікрофлору ґрунту часто вживаних у нашому регіоні пестицидів *Pesticol* та *KarateGold*.

Метою роботи **є** дослідження впливу пестицидів *Pesticol* та *KarateGold* на мікрофлору ґрунту, зокрема на бактеріальні угруповання родів *Sphingomonas, Streptomyces, Bacillus* та *Micrococcus* в аспекті збалансованого природокористування. У роботі передбачається оцінити ступінь чутливості цих мікроорганізмів до дії пестицидів, визначити мінімальні інгібуючі концентрації (МІК) та проаналізувати зміни у структурі мікробних спільнот під їх впливом. Отримані результати дозволять зробити висновки щодо екологічних ризиків застосування даних пестицидів та обґрунтувати необхідність розробки більш безпечних методів захисту рослин.

Об'єкти та методи дослідження

Методологія дослідження базується на комплексному підході, що включає відбір проб ґрунту з трьох ділянок із різним антропогенним навантаженням (лісова зона, придорожня територія та міський квітник), подальше виділення мікроорганізмів методами серійних розведень, Дригальського та визначення колонієутворюючих одиниць, їх ідентифікацію за допомогою методу Грама та мікроскопії. Для оцінки впливу пестицидів *Pesticol* та *KarateGold* на мікрофлору використовували методи дифузії в агар з вимірюванням зон пригнічення росту та визначення мінімальної інгібуючої концентрації (МІК). Отримані дані піддавали статистичному опрацюванню з розрахунком середніх значень, побудовою графіків та кореляційним аналізом, що дозволило оцінити токсичний вплив пестицидів на різні види ґрунтових бактерій та зробити висновки щодо їхньої екологічної небезпеки.

Результати та обговорення

Для проведення екологічного аналізу впливу пестицидів на мікрофлору ґрунту нами було відібрано проби ґрунту у трьох різних локаціях міста Луцьк: 1 – ботанічний заказник «Воротнів», лісова зона; 2 – ділянка автошляху Е85 на вулиці Окружній, 37 м. Луцьк; 3 – квітник біля гуртожитку № 2 ВНУ імені Лесі Українки на вулиці Винниченка, 22. Ґрунт із лісу відрізнявся своєю вологістю, тоді як ґрунт з клумби та біля магістралі був сухим і демонстрував добру водопроникність. На основі отриманих зразків проводили посіви методом Дригальського на чашках Петрі за відповідною методикою [18]. Вибрані бактерії пересіяли в пробірку. Через 3 дні до культивованих мікроорганізмів вливали фізіологічний розчин і перемішували за допомогою вортекса. З отриманої суміші відбирали 0,1 мл субстанції і проводили посів методом Дригальського на заздалегідь підготовлені агарові середовища в 48 чашках Петрі по 8 чаш на кожен штамм бактерій. Всі підготовлені чаші були розділені на 4 для кожного штамму бактерій на один обраний пестицид (рис. 1).

У кожну з них було розміщено по 1 кружечку з фільтрувального паперу. За допомогою електронної піпетки на нього наносили 10 мкл обраного пестициду і залишали для інкубації на 4 дні.

Пестицид *Pesticol* має вищу концентрацію діючої речовини – 6,0 %. Він містить апельсинову олію (сполука з групи ефірних олій) – 60 г/л. Другий обраний пестицид – *KarateGold*, який використовується для знищення комах і, отже, є інсектицидом. Він містить лямбда-цигалотрин (сполука з групи піретроїдів) – 0,75 г/л (0,075 %). Виробником препаратів є компанія *SyngentaPolskaSp* (Варшава).

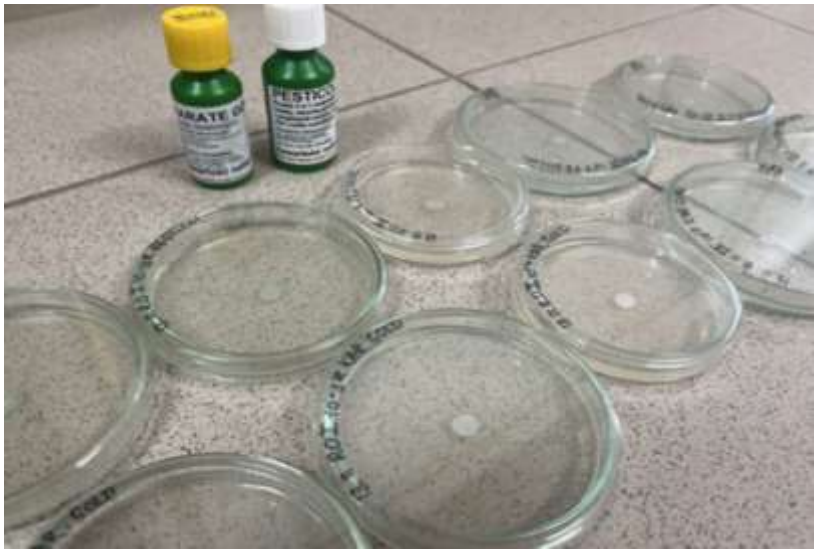


Рис. 1 – Посів методом Дригальського і пестициди на кружечку з фільтрувального паперу
Fig. 1 – Inoculation using the Drigalski spatula method and pesticides applied on a disc of filter paper

Проведене дослідження показало, що різні види встановлених бактерій, а саме *Sphingomonas, Streptomyces, Micrococcus, Bacillus*, мають різну чутливість до токсичної дії пестицидів *Pesticol* та *KarateGold.* Встановлено, що через вищу концентрацію діючої речовини в першому препараті майже на всіх плитках спостерігалося пригнічення зростання мікроорганізмів. Це проявлялося у вигляді кільця навколо краплі пестициду, де відсутні були будь-які бактерії (рис. 2–4. а). Проте, в другому препараті теж спостерігалось пригнічення росту з дуже малим кільцем та на малій кількості чашок Петрі (рис. 2–4. б). Це вказує на те, що другий препарат є менш агресивним та більш екологічно безпечним у порівнянні з першим, що демонструє високий рівень знищення.

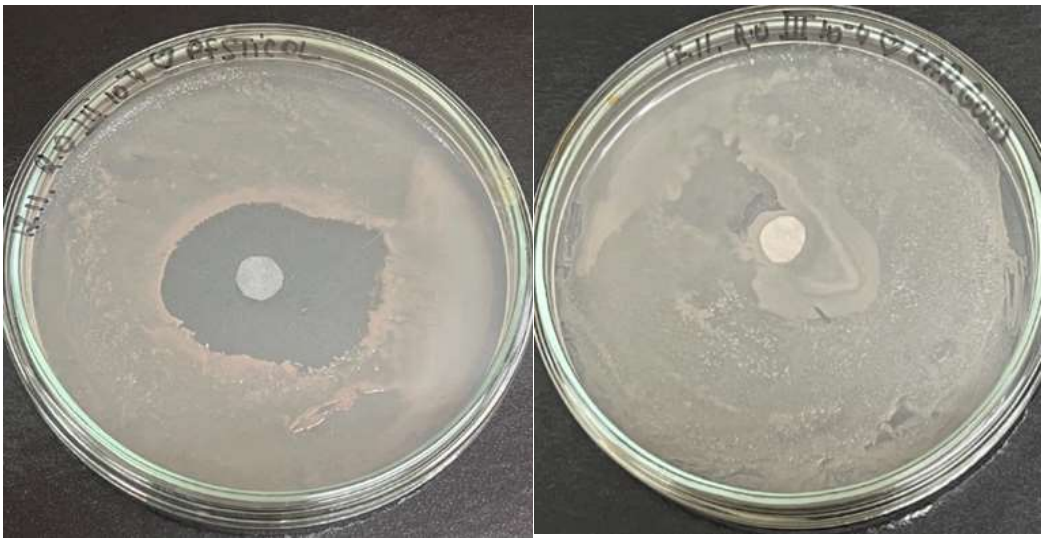
Після культивування мікроорганізмів вимірювали розміри зони пригнічення росту за допомогою лінійки. Результати подано у табл. 1 та на рис. 5.

а **б**

а – пестицид *Pesticol*; б – пестицид *KarateGold*

Рис. 2 – Зона пригнічення росту, на прикладі бактерії виду *Streptomyces,* 10^{-3}:
а – pesticide *Pesticol*; b – pesticide *KarateGold*

Fig. 2 – Growth inhibition zone on the example of *Streptomyces* bacteria, 10^{-3} dilution:

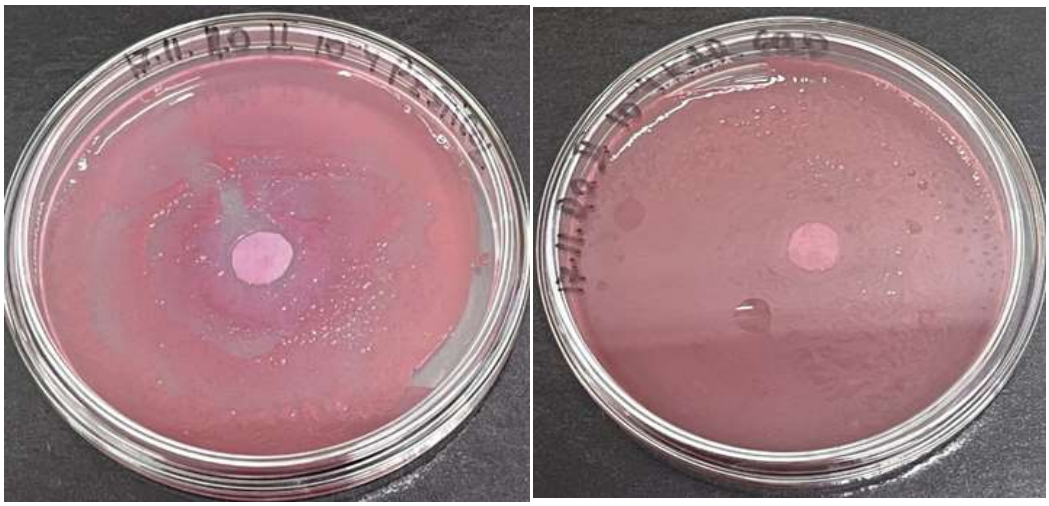


а **б**

а – пестицид *Pesticol*; б – пестицид *KarateGold*

Рис. 3 – Зона пригнічення росту, на прикладі бактерії виду *Bacillus,* 10^{-4}:
а – pesticide *Pesticol*; b – pesticide *KarateGold*.

Fig. 3 – Growth inhibition zone on the example of *Bacillus* bacteria, 10^{-4} dilution:



а **б**

а – пестицид *Pesticol*; б – пестицид *KarateGold*

Рис. 4 – Зона пригнічення росту, на прикладі бактерії виду *Micrococcus,* 10^{-4}:
а – pesticide *Pesticol*; b – pesticide *KarateGold*.
Fig. 4 – Growth inhibition zone on the example of *Micrococcus* bacteria, 10^{-4} dilution:

Таблиця 1

Величина зон пригнічення росту під впливом пестицидів для досліджуваних мікроорганізмів

Table 1

The size of growth inhibition zones under the influence of pesticides for the studied microorganisms

№ зразків ґрунту/ No. of soil samples		**Розмір зони пригнічення росту, мм/ Size of growth inhibition zone, mm**	
		Pesticol	***Karate Gold***
Перший зразок ґрунту, ліс/ First soil sample, forest	10^{-3}(a) *Sphingomonas*	40	11
		35	10
		35	12
		36	-
	10^{-3}(b) *Streptomyces*	35	3
		48	20
		45	12
		43	-
Другий зразок ґрунту, біля дороги/ Second soil sample, near the road	10^{-4} *Micrococcus*	-	-
		10	-
		15	-
		-	-
	10^{-5} *Bacillus а*	27	11
		25	10
		26	20
		21	-
Третій зразок ґрунту, квітник/ Third soil sample, flower garden	10^{-3} *Bacillus б*	17	-
		12	10
		14	-
		10	-
	10^{-4} *Bacillus в*	43	-
		32	-
		40	-
		15	-

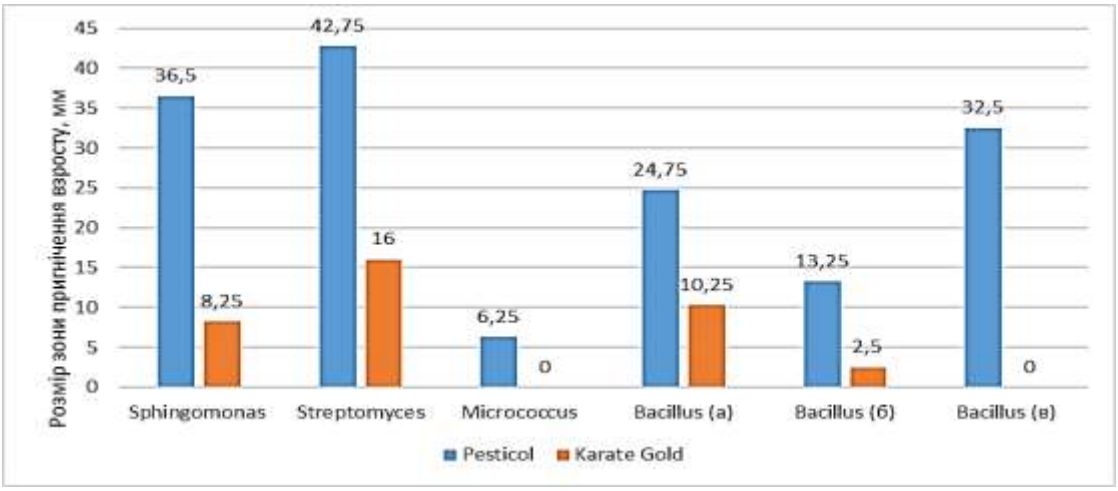


Рис. 5 – Вплив пестицидів *Pesticol* і *KarateGold* на ґрунтові бактерії
Fig. 5 – The effects of Pesticol and KarateGold pesticides on soil bacteria

Аналіз результатів та діаграми розміру зони пригнічення росту (ЗПР) різних видів бактерій на середовищі з різними концентраціями пестицидів *Pesticol* і *KarateGold* дозволяє зробити кілька важливих висновків. По-перше, різні види бактерій мають різну чутливість до пестицидів, причому *Bacillus* (б) з 3 ділянки та *Micrococcus* є найбільш стійкими до обох речовин. Крім того, *Sphingomonas* і *Streptomyces* показали більшу чутливість до обох пестицидів, тоді як *Bacillus* (в) з третьої ділянки виявилися найбільш чутливими до *Pesticol*, а в *KarateGold* пригнічення не відбулось. Збільшення концентрації пестицидів призводить до збільшення розміру ЗПР бактерій, що зумовлює прототоксичну дію цих речовин на мікроорганізми. Загалом, *Pesticol* виявився більш токсичним для бактерій, в рекомендованих виробником концентраціях, хоч є більш екологічним за складом.

Також був проведений тест на мінімальну інгібуючу концентрацію для 2 видів ґрунтових бактерій, а саме *Streptomyces* з першого зразка ґрунту та *Micrococcus* з другого зразка ґрунту. Метод мінімальної інгібуючої концентрації (МІК) є лабораторним методом, призначеним для визначення найменшої концентрації антибіотика або іншого протимікробного засобу, яка пригнічує ріст мікроорганізмів [19, 20].

У ході дослідження було встановлено, що для бактерії *Streptomyces* мінімальна інгібуюча концентрація (МІК) пестициду *Pesticol* становить 16 мкг/мл, тоді як для пестициду *KarateGold* МІК складає 2 мкг/мл. Це свідчить про вищу ефективність *Pesticol* у пригніченні росту цих мікроорганізмів. Виявлення наявності бактерій здійснювалося шляхом струшування пробірок, що дозволяло візуально оцінити їх помутніння.

Щодо бактерії *Micrococcus*, МІК пестициду *Pesticol* становить 2 мкг/мл, що було підтверджено відсутністю бактерій у першій пробірці, яка змінила колір бульйону через зелений відтінок пестициду, при цьому бактерії мали рожеве забарвлення. *KarateGold* виявився менш ефективним проти *Micrococcus*, оскільки бактерії були присутні у всіх пробірках, а колір бульйону змінився зі світло-коричневого на рожевий, що свідчить про високу стійкість бактерій до цього пестициду.

Загалом, за результатами дослідження можемо стверджувати, що пестициди створюють значну небезпеку для ґрунтового середовища. Тому надзвичайно важливим є вміле та зважене використання пестицидів, оскільки низка шкідливих наслідків спричинені дозами застосування, що перевищують рекомендовані норми. У цьому аспекті важливими є дотримання засад збалансованого природокористування на основі сталого земельного менеджменту, що у свою чергу передбачає навчання персоналу сільськогосподарських підприємств, зокрема в напрямку управління пестицидами та земельними ресурсами агросфери.

Висновки

Дослідження впливу пестицидів *Pesticol* та *KarateGold* на ґрунтову мікрофлору визначило: різні види бактерій мають диференційовану чутливість до дії пестицидів. Найбільш вразливими виявилися представники родів *Streptomyces* та *Sphingomonas*, тоді як *Micrococcus* продемонстрував найвищу стійкість, особливо до препарату *Pesticol*, що містить 6 % апельсинової олії та показав вищу токсичність порівняно з *KarateGold* (0,075 % лямбда-цигалотрину). Це підтверджено як розмірами зон пригнічення росту, так і значеннями мінімальної інгібуючої концентрації. Особливо варто відзначити, що на забруднених ділянках (зокрема, біля автошляху) спостерігалося менше чутливих мікроорганізмів, що може свідчити про їх адаптацію до хімічного навантаження.

Перспективними напрямами подальших досліджень можуть бути: вивчення тривалого впливу пестицидів на структуру мікробних угруповань та їх функціональну активність; створення менш токсичних засобів захисту рослин на основі природних сполук або мікробних препаратів; впровадження інноваційних еколого-орієнтованих та міждисциплінарних методів управління земельним ресурсами. Реалізація цих напрямів досліджень дозволить розробити ефективні стратегії збереження ґрунтової мікрофлори та мінімізації екологічних ризиків, пов'язаних із застосуванням пестицидів у сільському господарстві, сприятиме збалансованому використанню земельних ресурсів та забезпеченню сталого розвитку агросфери.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Список використаної літератури

1. Лоханська В. Й. Вивчення забруднення агроценозів пестицидами. Наукові доповіді НАУ. 2008. № 2 (10). С. 1–12.
2. Yushchenko D. Y., Paj Z. P., Khlebnikova T. B., Bukhtiyarov V. I., Moroz B. L., Pyryaev P. A. Method for producing n-(phosphonomethyl)-glycine. 2017. URL: https://scispace.com/papers/method-for-producing-n-phosphonomethyl-glycine-4new88xkm8
3. Найдьонова О. Є. Динаміка чисельності мікрофлори і біохімічної активності чорнозему типового за застосування комплексу пестицидів. Агрохімія і ґрунтознавство. Вип. 90. Харків: ННЦ «ІҐА ім. О. Н. Соколовського». 2020. С. 65–75. DOI: https://doi.org/10.31073/acss90-07
4. Моклячук Л., Ліщук А., Матусевич Г. Еколого-економічні засади ремедіації забруднених пестицидами ґрунтів. Екологічний Вісник. 2013. Т. 6, № 81. С. 20–21.
5. Streletskii R., Astaykina A., Cheptsov V. S., Belov A. S., Gorbatov V. Effects of the Pesticides Benomyl, Metribuzin and Imidacloprid on Soil Microbial Communities in the Field. Agriculture. 2023. Vol. 13(7). 1330. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture13071330
6. Lishchuk A., Parfenyk A., Horodyska I., Boroday V. V., Ternovyi Y., Tymoshenko, L. Environmental Risks of the Pesticide Use in Agrocenoses and their Management. Journal of Ecological Engineering. 2023. Vol. 24(3). P. 199–212. DOI: https://doi.org/10.12911/22998993/158537
7. Ruba U. B., Chakma K., Ali Md. P., Khan A. U., Talucder M. S. A. Environmental Pollution from Injudicious Application of Pesticides: Bangladesh Context. Journal of Agroforestry and Environment. 2023. Vol. 16(1). P. 40–49. DOI: https://doi.org/10.55706/jae1606
8. Hussain S., Siddique T., Saleem M., Arshad M., Khalid A. Impact of pesticides on soil microbial diversity, enzymes, and biochemical reactions. In D. L. Sparks (Ed.), Advances in agronomy. 2009. Vol. 102. P. 159–200. Academic Press. DOI: https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01005-0
9. Gangola S., Joshi S., Bhandari G., Pant G., Sharma A., Perveen K., Bukhari N. A., Rani R. Exploring microbial diversity responses in agricultural fields: A comparative analysis under pesticide stress and non-stress conditions. Frontiers in Microbiology. 2023. Vol. 14. Article 1271129. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1271129
10. Steiner M., Falquet L., Fragnière A.-L., Brown A., Bacher S. Effects of pesticides on soil bacterial, fungal and protist communities, soil functions and grape quality in vineyards. Ecological Solutions and Evidence. 2024. Vol. 5(2). e12327. DOI: https://doi.org/10.1002/2688-8319.12327

11. Ni, B. Xiao L., Lin D., Zhang T., Zhang Q., Liu Y., Chen Q., Zhu D., Qian H., Rillig M. C., Zhu. Y. Increasing pesticide diversity impairs soil microbial functions, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2025. Vol. 122 (2). e2419917122. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.2419917122
12. Beaumelle L., Tison L., Eisenhauer N., Hines J., Malladi S., Pelosi C., Thouvenot L., Phillips H. R. P. Pesticide effects on soil fauna communities – A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology. 2023.* Vol. *60*(7). P. 1239–1253. DOI: https://doi.org/10.1111/1365-2664.14437
13. Riedo J., Wettstein F. E., Rösch A., Herzog C., Banerjee S., Büchi L., Charles R., Wächter D., Martin-Laurent F., Bucheli T. D., Walder F., Van der Heijden M. G. A. (2021). Widespread occurrence of pesticides in organically managed agricultural soils – the ghost of a conventional agricultural past? Environmental Science & Technology. 2021. Vol. 55(5). P. 2919–2928. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06405
14. Sim J. X. F., Zhang X., Liu Y., Lau T. C. Impact of twenty pesticides on soil carbon microbial functions and community composition. *Chemosphere. 2022.* Vol. *307*. 135820. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135820
15. Sarker A., Kim D., Jeong W.-T. (2024). Environmental Fate and Sustainable Management of Pesticides in Soils: A Critical Review Focusing on Sustainable Agriculture. Sustainability. 2024. Vol. 16(23). P. 10741. DOI: https://doi.org/10.3390/su162310741
16. Meidl P., Lehmann A., Bi, M. et al. Combined application of up to ten pesticides decreases key soil processes. Environ Sci Pollut Res. 2024. Vol. 31. P. 11995–12004. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-024-31836-x
17. Meena R. S., Kumar S., Datta R., Lal, R., Vijayakumar V., Brtnicky M., Sharma M. P., Yadav G. S., Jhariya M. K., Jangir C. K., Pathan S. I., Dokulilova T., Pecina V., Marfo T. D. (2020). Impact of Agrochemicals on Soil Microbiota and Management: A Review. Land. 2020. Vol. 9(2). P. 34. DOI: https://doi.org/10.3390/land9020034
18. Gurfinkel E., Shmueli Y. Process toprepare diazinon. 1994. URL: https://typeset.io/papers/process-to-prepare-diazinon-4enq6hrpcu
19. Meena R. S.; Meena V. S.; Meena S. K.; Verma J. P. The needs of healthy soils for a healthy world. J. Clean. Prod. 2015. Vol. 102. P. 560–561.
20. Zhang F., Yang Y., Zhang X., Li G., Di C., Zhang S., Li X., Sha N., Lian H., Shao Z., Wang X. Dichlorodiphenyltrichloroethane degrading bacterium as well as culturing method and application thereof. 2016. URL: https://typeset.io/papers/dichlorodiphenyltrichloroethane-degrading-bacterium-as-well-3iq87sub1n

Стаття надійшла до редакції 16.04.2025
Стаття рекомендована до друку 22 05 2025

Z. V. LAVRYNYUK[1], PhD (Chemistry), Associate Prof.,
Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment,
e-mail: lavrynyuk.zoryana@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1906-3330
O. A. KARAIM[1], PhD (Economics), Associate Prof,
Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment,
e-mail: olha.karaim@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1722-4110
O. Yu. RABAN[1],
Master's Student,
e-mail: olaraban7@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0001-8096-5915
V. P. KARAIM[1],
PhD Student,
e-mail: karaim.volodymyr@vnu.edu.ua ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4053-8019
[1]*Lesya Ukrainka Volyn National University,*
13, Voli Ave., Lutsk, Volyn region, 43025, Ukraine

THE PESTICIDES IMPACT ON SOIL MICROFLORA IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE NATURAL RESOURCE USE

Purpose. Study of the impact of the pesticides Pesticol and KarateGold on soil microflora, specifically on bacterial communities of the genera *Sphingomonas*, *Streptomyces*, *Bacillus*, and *Micrococcus*, in the context of balanced nature management.

Methods. Serial dilutions, Drygalsky, the Gram method and microscopy, agar diffusion methods, statistical processing.

Results. Soil samples were selected in different locations of the city of Lutsk: 1 – botanical reserve "Vorotniv", forest zone; 2 – section of the E85 highway on Okruzhnaya Street, 37; 3 – flower garden near the dormitory No. 2 of the VNU on Vynnychenko Street, 22. Two types of the most commonly used pesticides were selected for the study: *Pesticol* (active substance concentration 6.0 %) and *KarateGold* (active substance concentration 0.075 %). Analysis of the effect of pesticides on microorganisms showed that the selected drugs, such as *Pesticol* and *KarateGold*, have different effects on different types of soil bacteria, which emphasizes the importance of studying their effect on the microbiota. The obtained research results clearly show that the drug with a lower concentration of the active substance is less aggressive and more environmentally friendly compared to the other. The results showed that for Streptomyces bacteria, the minimum inhibitory concentration (MIC) of the pesticide *Pesticol* is 16 μg/ml, while for *KarateGold* it is 2 μg/ml, which indicates high sensitivity to the first pesticide. In the case of *Micrococcus* bacteria, the MIC for *Pesticol* is also 2 μg/ml, while the bacteria showed high resistance to *KarateGold*, which is confirmed by their presence in all tubes except the first.

Conclusions. The negative impact of pesticide use on these microorganisms, which may cause disruption of the soil ecosystem. Taking into account the impact of pesticides on microflora is of great importance when developing a plant protection strategy to ensure a balanced use of chemical protection agents. Research can contribute to a better understanding of the effect of pesticides on microorganisms in the soil, which is important for balanced environmental management.

KEY WORDS: *pesticides, microorganisms, soil, microflora, bacteria, growth inhibition zone, balanced nature management, sustainable land management, agrosphere*

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest regarding the publication of this manuscript. Furthermore, the authors have fully adhered to ethical norms, including avoiding plagiarism, data falsification, and duplicate publication.

Authors Contribution: all authors have contributed equally to this work

References

1. Lokhanska, V. Y. (2008). Study of pesticide contamination in agrocenoses. *Scientific Reports of NAU, 2*(10), 1–12. (in Ukrainian).
2. Yushchenko, D. Y., Paj, Z. P., Khlebnikova, T. B., Bukhtiyarov, V. I., Moroz, B. L., Pyryaev, P. A. (2017). Method for producing n-(phosphonomethyl)-glycine. Retrieved from https://scispace.com/papers/method-for-producing-n-phosphonomethyl-glycine-4new88xkm8
3. Naidonova, O. Ye. (2020). Dynamics of microflora population and biochemical activity of typical chernozem under pesticide complex application. *Agrochemistry and Soil Science*, (90), 65–75. https://doi.org/10.31073/acss90-07 (in Ukrainian).
4. Mokliachuk, L., Lishchuk, A., & Matusevych, H. (2013). Ecological and economic principles of remediation of pesticide-contaminated soils. *Ecological Bulletin, 6*(81), 20–21. (in Ukrainian).
5. Streletskii, R., Astaykina, A., Cheptsov, V. S., Belov, A. S., & Gorbatov, V. (2023). Effects of the Pesticides Benomyl, Metribuzin and Imidacloprid on Soil Microbial Communities in the Field. *Agriculture, 13*(7), 1330. https://doi.org/10.3390/agriculture13071330
6. Lishchuk, A., Parfenyk, A., Horodyska, I., Boroday, V. V., Ternovyi, Y., & Tymoshenko, L. (2023). Environmental Risks of the Pesticide Use in Agrocenoses and their Management. *Journal of Ecological Engineering, 24*(3), 199–212. https://doi.org/10.12911/22998993/158537
7. Ruba, U. B., Chakma, K., Ali, Md. P., Khan, A. U., & Talucder, M. S. A. (2023). Environmental Pollution from Injudicious Application of Pesticides: Bangladesh Context. *Journal of Agroforestry and Environment, 16*(1), 40–49. https://doi.org/10.55706/jae1606
8. Hussain, S., Siddique, T., Saleem, M., Arshad, M., & Khalid, A. (2009). Impact of pesticides on soil microbial diversity, enzymes, and biochemical reactions. In D. L. Sparks (Ed.), Advances in agronomy (Vol. 102, pp. 159–200). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01005-0
9. Gangola, S., Joshi, S., Bhandari, G., Pant, G., Sharma, A., Perveen, K., Bukhari, N. A., & Rani, R. (2023). Exploring microbial diversity responses in agricultural fields: A comparative analysis under pesticide stress and non-stress conditions. *Frontiers in Microbiology, 14*, 1271129. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1271129
10. Steiner, M., Falquet, L., Fragnière, A.-L., Brown, A., & Bacher, S. (2024). Effects of pesticides on soil bacterial, fungal and protist communities, soil functions and grape quality in vineyards. *Ecological Solutions and Evidence, 5*(2), e12327. https://doi.org/10.1002/2688-8319.12327
11. Ni, B., Xiao, L., Lin, D., Zhang, T., Zhang, Q., Liu, Y., Chen, V, Zhu, D., Qian, V, Rillig, M. C.& Zhu, Y. (2025). Increasing pesticide diversity impairs soil microbial functions, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 122* (2), e2419917122, https://doi.org/10.1073/pnas.2419917122.

12. Beaumelle, L., Tison, L., Eisenhauer, N., Hines, J., Malladi, S., Pelosi, C., Thouvenot, L., & Phillips, H. R. P. (2023). Pesticide effects on soil fauna communities–A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology, 60*(7), 1239–1253. https://doi.org/10.1111/1365-2664.14437
13. Riedo, J., Wettstein, F. E., Rösch, A., Herzog, C., Banerjee, S., Büchi, L., Charles, R., Wächter, D., Martin-Laurent, F., Bucheli, T. D., Walder, F., & van der Heijden, M. G. A. (2021). Widespread occurrence of pesticides in organically managed agricultural soils—the ghost of a conventional agricultural past? *Environmental Science & Technology, 55*(5), 2919–2928. https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06405
14. Sim, J. X. F., Zhang, X., Liu, Y., & Lau, T. C. (2022). Impact of twenty pesticides on soil carbon microbial functions and community composition. *Chemosphere, 307*, 135820. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135820
15. Sarker, A., Kim, D., & Jeong, W.-T. (2024). Environmental Fate and Sustainable Management of Pesticides in Soils: A Critical Review Focusing on Sustainable Agriculture. *Sustainability, 16*(23), 10741. https://doi.org/10.3390/su162310741
16. Meidl, P., Lehmann, A., Bi, M. Breitenreiter, C., Benkrama, J., Li, E., Riedo, J. & Rillig, M. C. (2024). Combined application of up to ten pesticides decreases key soil processes. *Environ Sci Pollut Res 31*, 11995–12004. https://doi.org/10.1007/s11356-024-31836-x
17. Meena, R. S., Kumar, S., Datta, R., Lal, R., Vijayakumar, V., Brtnicky, M., Sharma, M. P., Yadav, G. S., Jhariya, M. K., Jangir, C. K., Pathan, S. I., Dokulilova, T., Pecina, V., & Marfo, T. D. (2020). Impact of Agrochemicals on Soil Microbiota and Management: *A Review. Land, 9*(2), 34. https://doi.org/10.3390/land9020034
18. Gurfinkel E., Shmueli Y. (1994). Process toprepare diazinon. SCISPACE. Retrieved from https://typeset.io/papers/process-to-prepare-diazinon-4enq6hrpcu
19. Meena, R.S., Meena, V.S., Meena, S.K., & Verma, J.P. (2015). The needs of healthy soils for a healthy world. *J. Clean. Prod. 102*, 560–561.
20. Zhang, F., Yang, Y., Zhang, X., Li, G., Di, C., Zhang, S., Li, X., Sha, N., Lian, H., Shao, Z., & Wang, X. (2016). Dichlorodiphenyltrichloroethane degrading bacterium as well as culturing method and application thereof. Retrieved from https://typeset.io/papers/dichlorodiphenyltrichloroethane-degrading-bacterium-as-well3iq87sub1n

The article was received by the editors 16.04.2025
The article is recommended for printing 22.05.2025