

ВПЛИВ ГЕРБИЦИДІВ НА ЧИСЕЛЬНІСТЬ І РОЗВИТОК *LUMBRICUS TERRESTRIS*

С.О. Мазур

кандидат сільськогосподарських наук

Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: mazurlanalana@gmail.com;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5025-0134>

Г.Д. Матусевич

кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник

Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: matusevichgalina1971@gmail.com;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6513-5287>

І.М. Городиська

кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник

Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: anni0479@gmail.com;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1580-3450>

С.С. Бухтик

аспірант

Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: s.buhtik@profi.land;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2543-7346>

Ф.Ф. Мурсюкаєв

аспірант

Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: philipmursykaev@gmail.com;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7500-2629>

Необмежене використання гербіцидів для боротьби з бур'янами в сільському господарстві призводить до зменшення окремих чутливих популяцій ґрунтової біоти, серед яких варто звернути увагу на *Lumbricus terrestris*. Оскільки саме вони складають доволі значну частину живої біомаси ґрунту та відіграють важливу роль у функціонуванні ґрунту. Застосування ґрунтових гербіцидів суцільної дії може викликати не лише 100% летальність, але й впливати на функціонування, ріст, розмноження та габітус особин *Lumbricus terrestris*. У статті наведено результати польових дослідів і лабораторних досліджень впливу ґрунтових гербіцидів різних хімічних класів на чисельність і розвиток *Lumbricus terrestris*. Результатами досліджень встановлено негативну дію на розвиток і чисельність особин дощового черв'яка (*Lumbricus terrestris*) у ґрунті агроценозу соняшнику за застосування гербіцидів. Кількість особин дощового черв'яка зменшувалась у 2,1 раз за внесення триазинових гербіцидів (Гезагард) і в 3,7 раз за внесення хлорацетомідів (Дуал Голд, Харнес) на 30-ту добу порівняно до контролю. Крім того, лабораторні дослідження довели, що застосування ґрунтових гербіцидів у рекомендованих нормах внесення активізує синтез глутатіон-S-трансферази в дощового черв'яка, і його вміст збільшується на 5,6–8,9% вже через добу контакту з Харнесом та Дуал Голд (1 min D), тоді як при контакті із гербіцидом Гезагард зростання було на 4,1% лише на 7-у добу експерименту. Пригнічення синтезу ацетилхолінестерази дощового черв'яка при контакті з Харнесом та Дуал Голд відбулося в середньому на 43,0% вже через 24 год і з Гезагардом — на 23,4%.

Ключові слова: засоби захисту рослин, ґрунтові гербіциди, дощові черв'яки, глутатіон-S-трансфераза, ацетилхолінестераза, соняшник, хлорацетиліди, триазини.

ВСТУП

Інтенсивна практика господарювання (обробіток ґрунту, монокультура, велика кількість технологічних операцій, використання хімічних

засобів захисту рослин) сприяє деградаційним процесам, погіршує функціонування агроєко-систем і призводить до втрати біорізноманіття [15]. Застосування засобів захисту рослин е

невід'ємною складовою частиною інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур, істотним резервом поліпшення якості врожаю та підвищення продуктивності рослин [16]. Пестициди є постійно діючим фактором в агроєкосистемах, у ґрунті вони адсорбуються частинками ґрунту та гумусу й призводять до втрати органічної речовини [4]. Їх застосування перешкоджає природному відновленню родючості, знижується інтенсивність процесів самоочищення ґрунту, зменшується біологічна продуктивність і нормальне функціонування ґрунтових мікробіоценозів.

Дощові черв'яки становлять значну частину живої біомаси ґрунту та відіграють важливу роль у функціонуванні ґрунту. Як інженери екосистеми [4] вони впливають на динаміку органічної речовини, структуру ґрунту й мікробне співтовариство [5]. Вони беруть активну участь в аерації ґрунту, інфільтрації води та перемішуванні ґрунтових горизонтів, сприяють відновленню ґрунту [6].

Дощові черв'яки, а особливо звичайний дощовий черв'як (*Lumbricus terrestris*), є найчутливішими до застосування пестицидів на поверхні ґрунту. Їх використовують як біоіндикатори якості ґрунту та впливу на навколишнє природне середовище.

Тому метою досліджень було вивчення використання *Lumbricus terrestris* в якості біомаркера для оцінювання негативних ефектів забруднюючих речовин на ґрунтові організми.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У науковій літературі існують численні дані стосовно впливу застосування різних пестицидів на ґрунтову біоту, а саме на кільчастих черв'їв. Застосування засобів захисту рослин порушує ферментагивні процеси, підвищує індивідуальну смертність, знижує плодючість і ріст черв'яків, призводить до зменшення їх загальної біомаси та щільності тощо [7; 8].

За даними вчених, гербіциди мають тенденцію накопичуватися в ґрунті та ґрунтових водах і стають токсикологічним ризиком для безхребетних. Гербіциди впливають на біологічні параметри дощових черв'яків, а саме на зниження утворення коконів, на харчову поведінку дощових черв'яків, що позначається на втраті ваги та репродуктивній здатності [9; 10]. Callahan С. ще у 1984 р. підкреслив важливість дощових черв'яків для оцінки загального впливу на забруднення ґрунту.

Відтоді дощові черв'яки були прийняті міжнародним співтовариством як контрольні види для вивчення впливу на навколишнє природне середовище (Ecological Risk Assessment

(ERA)) антропогенних забруднювачів, а саме пестицидів [11].

Результати міжнародних досліджень свідчать про те, що сублетальні параметри, такі як розмноження або вага дощових черв'яків, загалом є більш чутливими, ніж смертність при оцінці ефекту гербіцидів. Хоча при внесенні низки гербіцидів дощові черв'яки не обов'язково гинуть, натомість може страждати їх здатність до розмноження. Відомо, що внесення атразину, параквату та інших синтетичних гербіцидів різко зменшує кількість коконів *Eisenia fetida* [12]. Кілька міжнародних досліджень повідомляють, що застосування гліфосату сприяє зменшенню ваги дощового черв'яка в результаті процесів інтоксикації організму [5; 14].

Відомо, що при несприятливих умовах довкілля будь-який організм намагається якнайбільше залишити нащадків. Не винятком є і дощовий черв'як. Так спостерігається підвищення кількості коконів, але вони мають набагато меншу фертильність, або ж молоді особини страждають на порушення гомеостазу і їх габітус не відповідає нормі. Таким чином, це призводить до порушення або цілковитої нездатності виконувати ключові функції екосистеми загалом.

Низкою вчених було доведено, що оскільки зовнішні покриви олігохет багаті хеморецепторами і вони мають значну рухову активність, то такі організми мають здатність виявляти забруднені ґрунти і, відповідно, мігрувати від нього. Ґрунтуючись на таких результатах, дослідники припустили, що в природних польових умовах дощові черв'яки, найімовірніше, мігруватимуть на поверхню забрудненого ґрунту, де вони будуть піддані впливу хижаків, ультрафіолетовому випромінюванню та/або висиханню. Таким чином, хоча низка гербіцидів не можуть безпосередньо вбити дощових черв'яків, їх застосування опосередковано впливає на активність дощових черв'яків, що потенційно може поставити під загрозу їхнє виживання [14].

Для комплексної екологічної оцінки використовують як біомаркери "впливу", так і біомаркери "ефекту". Біомаркери "впливу" можуть запропонувати альтернативу деяким хімічним аналізам або вимірюванням ефектів "короткоживучих" хімічних речовин. З іншого боку, біомаркери ефекту дають змогу розкрити якісні аспекти з'ясування механізмів небезпечних речовин [2]. Вони здатні давати відповідь як на механізми причин небезпечних факторів, так і на екологічні наслідки за рахунок визначення ступеня специфічності біомаркера.

Ацетилхолінестерази, металлотіонеїни, ферменти біотрансформації та антиоксидантного захисту є одними з найчастіше використо-

уваних маркерів, у зв'язку з їх вирішальною роллю клітинного гомеостазу для запобігання токсичної дії хімічних речовин [13]. До того ж дослідженню нових біомаркерів дощових черв'яків приділяється значна увага як на найбільш потенційного об'єкта в області моніторингу та оцінці забруднення ґрунтів [12–13].

Доведено, що мікрофлора кишечника дощового черв'яка та присутні там ферменти, такі як целюлаза, амілаза, ендоглюканаза, пектиназа, кислотна і лужна фосфатаза та нітратредуктаза, мають здатність до деградації складних органічних молекул. Відомо, що вплив як органічних, так і неорганічних забруднюючих речовин спричиняє оксидативний стрес у клітинах. Побічними продуктами якого, по-перше, є виробництво вільних радикалів; по-друге, утворення активних форм кисню, таких як пероксид водню (H_2O_2), супероксид (O_2^-) і гідроксид ($-OH$) [12].

Супероксиддисмутаза, каталаза, глутатіонпероксидаза та глутатіонредуктаза є основними ферментативними антиоксидантами біохімічної відповіді оксидативного стресу: супероксиддисмутаза метаболізує супероксидний аніон (O_2^-) у молекулярний кисень і H_2O_2 , який потім дезактивується каталазою, запобігаючи таким чином окисному пошкодженню. Глутатіонредуктазний фермент також відіграє неабияку роль у клітинному захисті, способом зменшення глутатіону в окисленій формі до активної форми. Дія ксенобіотиків [1; 3] викликає реакцію стресу в антиоксидантних ферментах, що свідчить про їхнє потенційне застосування як загальних біомаркерів для оцінки впливу забруднювачів у наземних екосистемах на ранніх рівнях і з низькими концентраціями. Однак дозозалежна та залежна від часу реакція антиоксидантних ферментів на експозицію забруднюючих речовин іноді є складною і для їх застосування в програмах моніторингу та оцінки впливу забруднюючих речовин необхідне поглиблене вивчення їх поведінкових реакцій в умовах стресу. Наприклад, Лю зі спів., продемонстрували, що вплив толуолу, етилбензолу та ксилолу на дощових черв'яках (*Eisenia fetida*) спричиняє динамічну зміну діяльності супероксиддисмутази та каталази з тенденцією спочатку підвищення, а потім гальмування з підвищенням концентрації забруднюючих речовин [13].

Глутатіон-S-трансфераза — цитозольний фермент, який виконує вирішальну роль у детоксикації та біотрансформації низки електрофільних сполук за рахунок споживання глутатіону. Використання пестицидів у сільському господарстві може призвести до змін ферментативної активності, що виявляється порушенням метаболізму та пошкодженням

клітин у специфічних тканинах. Збільшення кількості глутатіон-S-трансферази — це реакція захисту організму, що використовується як біомаркер забруднення, за рахунок нейтралізації широкого спектра пестицидів та ендогенних метаболічних побічних продуктів способом кон'югації ферментативного глутатіону, глутатіон-залежної активності пероксидази або реакції ізомеризації [13].

Ацетилхолінестераза (AChE) — основний фермент нервової системи, що припиняє нервові імпульси, каталізуючи гідроліз нейромедіатора ацетилхоліну. Зокрема, відомо, що фосфорорганічні пестициди гальмують ферментну активність способом ковалентного фосфорилування залишків серину всередині групи активної ділянки. Вони незворотно пригнічують ацетилхолінестеразу, в результаті чого відбувається надмірне накопичення ацетилхоліну, що призводить до гіперактивності, а отже, і до порушення функції нервової та м'язової систем [13].

Дослідження ацетилхолінестерази в дощових черв'яків нині розглядається як ранне попередження несприятливих наслідків пестицидів, зокрема гербіцидів [1], і занесено до переліку біомаркерів, що використовуються для раннього оцінювання впливу забруднювачів на природне навколишнє середовище в наземних екосистемах [3].

Аналіз літературних джерел виявив зосередженість досліджень на таких речовинах: циперметрин, гліфосат, манкоцеб, хлорпірифос, карбендазим і диметоат, тобто три інсектициди, фунгіциди та два гербіциди. Усі ці дослідження були проведені із використанням різноманітних субстратів, води та фільтрувального паперу й загалом при використанні рекомендованих норм внесення не показали ніякого летального та сублетального ефекту на індивідуальному рівні [1–5], хоча спостерігалось зупинка або зменшення довжини та маси дощових черв'яків, а також порушення у процесі відтворення.

Наприклад, використання хлорпірифосу призводило до затримки зростання молодих особин і зниження утворення коконів *A. caliginosa* [12]. Гліфосат може впливати на час утворення та дозрівання коконів, а, отже, і кількість молодих особин, що порушує вікову структуру популяції. Хоча варто відмітити, що ці дані відрізняються залежно від видів дощового черв'яка. Наприклад, Casabe et al. не виявив будь-якого впливу хлорпірифосу, використовуючи для дослідження *E. andre*. [12]. Такі ж дані отримали і Burroughs and Edwards, досліджуючи вплив карбендазиму на *E. Andrei* [12]. Водночас Yasmin and D'Souza зафіксували значне зниження росту й розмноження *E. fetida*.

Також для вивчення хімічних речовин використовують “поведінкові” маркери, що базуються на моделі поведінки і вважаються одними з найбільш чутливих маркерів. Перевагами поведінкових маркерів є: 1) широкий спектр функцій, пов’язаних, наприклад, з руховим апаратом, відтворенням, годуванням та ін.; 2) їх низькою специфічністю, тобто вони реагують на широкий спектр забруднюючих речовин і 3) їх екологічною значимістю, тобто ефекти можуть бути пов’язані з наслідками на вищих біологічних рівнях.

Актуальність вивчення ролі дощових черв’яків, як біоіндикаторів ґрунту, забрудненого пестицидами, визначається насамперед тим, що ці речовини викликають відповідні реакції ґрунтової біоти. Дані реакції залежать як від тривалості забруднення, так і від норми витрати забруднювача. У наукових публікаціях майже немає даних про вплив сучасних пестицидів на дощових черв’яків. Актуальність і недостатня вивченість цієї проблеми стали причиною нашого дослідження.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Польові дослідження проведені на чорноземі типових Хмільницького району Вінницької області на дослідному полі Інституту агро-екології і природокористування НААН. Кліматична характеристика ґрунту: вміст гумусу — 4,25%, рН — 6,65, вміст рухомого фосфору й калію (за Чириковим) — 126,1 і 119,2 мг/кг ґрунту відповідно, вміст лужногідролізованого азоту (за Корнфілдом) — 124,25 мг/кг ґрунту. Площа облікової ділянки — 25 м², розміщення систематичне, кількість повторностей — 3.

У польових і лабораторних дослідженнях застосовували гербіциди: Харнес 90 к.е. (д.р. ацетохлор), Гезагарт 500 FW к.с. (д.р. прометрин), Дуал Голд 960 ЕС (д.р. С-метолахлор) на посівах соняшнику (гібрид Сонячний настрої).

Для екотоксикологічного оцінювання гербіцидів використовували кільчасті черв’яки *Eisenia fetida* (модельний вид дощових черв’яків, який використовується в дослідженнях токсикології кільчастих черв’яків) з добре сформованим кліткульом масою 300–500 мг. Вплив забруднювальних речовин на ґрунтових черв’яків визначали згідно з ДСТУ ISO 11268-2:2003.

Активність ферментів ацетилхолінестерази, глутатіон-S-трансферази визначали за загальноприйнятими методиками [11].

Для відбору та обліку дощового черв’яка використовували загальноприйняті методи ручного відбору.

Математичний аналіз здійснювали та опрацьовували за допомогою програм Statistica 10

(StatSoft. Inc., 2011) і Microsoft Excel 2010. Для визначення відмінностей між середніми значеннями застосовували критерій Стьюдента. Порівняння великих масивів даних для встановлення кореляційних зв’язків здійснювали на основі багатofакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) — визначали середні значення, дисперсію, похибки.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У польовому досліді нами було проведено облік особин *Lumbricus terrestris* у динаміці за внесення гербіцидів. Використовували рекомендовані виробником норми витрат гербіцидів: Харнес (2 л/га), Дуал Голд (1,5 л/га), Гезагарт (2 л/га). Отримані результати показали, що кількість дощового черв’яка (*Lumbricus terrestris*) у ґрунті агрофітоценозу соняшнику через 30 діб після внесення гербіцидів зменшувалась у 2,1 раза за внесення триазинових гербіцидів (Гезагарт) та у 3,7 раза за внесення хлорацетомідів (Дуал Голд, Харнес) у порівнянні з контрольним варіантом.

Для дослідження морфометричних показників та для визначення токсичного ефекту ґрунтових гербіцидів на живі організми проведено низку досліджень із використанням біомаркерів біологічної моделі дощового черв’яка. Для дослідження обрано *E. fetida*, оскільки вид легко розводиться, з коротким часом генерації, але не поширений у природному середовищі та менш чутливий до пестицидів, ніж види, присутні в оброблюваних полях.

У лабораторних умовах досліджено морфометричні особливості (довжина, маса) *Eisenia fetida*. Для визначення екотоксикологічного впливу пестицидів гербіциди вносили у двох дозах: 1 min D (норма витрати рекомендована виробником) та 10 тах D (норма витрати у 10 разів більша від рекомендованої виробником). Дослідження проводили на 7-му, 14-ту, 21-шу, 30-ту добу від внесення гербіцидів.

Виявлено, що вже на 7-му добу експериментальних лабораторних досліджень у контрольованих умовах спостерігали незначні морфологічні зміни в черв’яків за умов хімічного стресу. На чотирнадцяту добу спостерігається статистично достовірне середнє зменшення маси особин черв’яків як за мінімальної, так за максимальної норми внесення гербіцидів (табл. 1).

На 30-ту добу експериментального застосування ґрунтових гербіцидів довжина тіла *Eisenia fetida* зменшилася у середньому на 8,1% за використання Гезагарт порівняно з контролем, на 9,2% — за використання Дуал Голд та на 9,5% — за використання Харнес. Вага дос-

Таблиця 1

Вплив ґрунтових гербіцидів на морфологічні показники *Eisenia fetida*

Варіант	Доза	Доба			
		7-ма	14-та	21-ша	30-та
<i>Довжина, мм</i>					
Контроль	без обробки	39,0±0,2	39,0±0,1	39,0±0,2	40,0±0,3
Гезагард	1 min D	39,0±0,1	38,0±0,2	37,5±0,2	37,1±0,1
	10 max D	39,0±0,3	36,0±0,1	35,5±0,1	35,2±0,2
Дуал Голд	1 min D	39,0±0,2	37,4±0,2	36,5±0,3	36,4±0,2
	10 max D	39,2±0,1	37,3±0,3	36,5±0,4	36,2±0,3
Харнес	1 min D	39,0±0,4	36,7±0,2	35,5±0,3	35,4±0,4
	10 max D	39,1±0,3	35,8±0,1	35,0±0,2	35,0±0,3
<i>Маса, г</i>					
Контроль	без обробки	0,42±0,01	0,42±0,02	0,41±0,02	0,40±0,01
Гезагард	1 min D	0,41±0,01	0,39±0,01	0,37±0,03	0,37±0,01
	10 max D	0,40±0,02	0,39±0,04	0,37±0,01	0,37±0,03
Дуал Голд	1 min D	0,41±0,01	0,38±0,03	0,37±0,01	0,35±0,02
	10 max D	0,39±0,02	0,37±0,02	0,35±0,03	0,34±0,01
Харнес	1 min D	0,40±0,02	0,37±0,01	0,36±0,03	0,35±0,01
	10 max D	0,40±0,02	0,37±0,02	0,35±0,02	0,35±0,01

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

ліджуваних об'єктів також зменшилася в статистично достовірних значеннях на 14,2–15,4%. Таким чином, при дослідженні морфометричних показників не виявлено дозозалежності застосованих хімічних засобів захисту.

Біологічним показником резистентності й адаптації за впливу різноманітних стресових чинників є зміна активності ферментів (ацетилхолінестерази (AChE), глутатіон-S-трансферази (GST)). Дослідження проводили через добу та через 7 днів після внесення гербіцидів.

Результати досліджень через добу експерименту показали, що внесення в субстрат з *Eisenia fetida* гербіцидів Харнес та Дуал Голд у 1-кратній максимальній дозі сприяло

зменшенню активності ацетилхолінестерази майже вдвічі 0,045 та 0,048 нкатал/мг відповідно в порівнянні з контролем без внесення гербіцидів 0,081 нкатал/мг. Активність ферменту за внесення гербіциду Гезагард зменшилась до 0,062 нкатал/мг. За 10-кратної дози препаратів спостерігалось суттєве зменшення ферменту ацетилхолінестерази. Так, при внесенні гербіцидів Харнес та Дуал Голд активність ацетилхолінестерази у середньому зменшилася на 63% в порівнянні з контролем, а при внесенні Гезагард — тільки на 42% (рис. 1).

Через 7 днів кількість ацетилхолінестерази за внесення гербіцидів Дуал Голд та Харнес

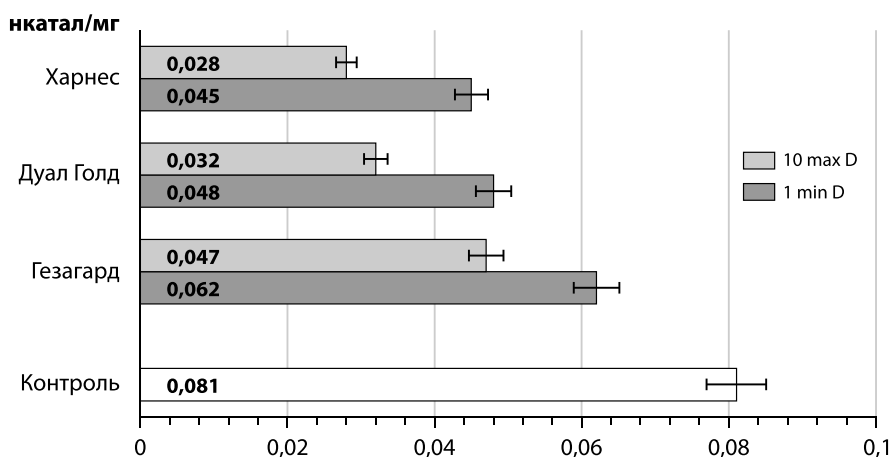


Рис. 1. Вплив ґрунтових гербіцидів на активність ацетилхолінестерази *Eisenia fetida* через добу

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

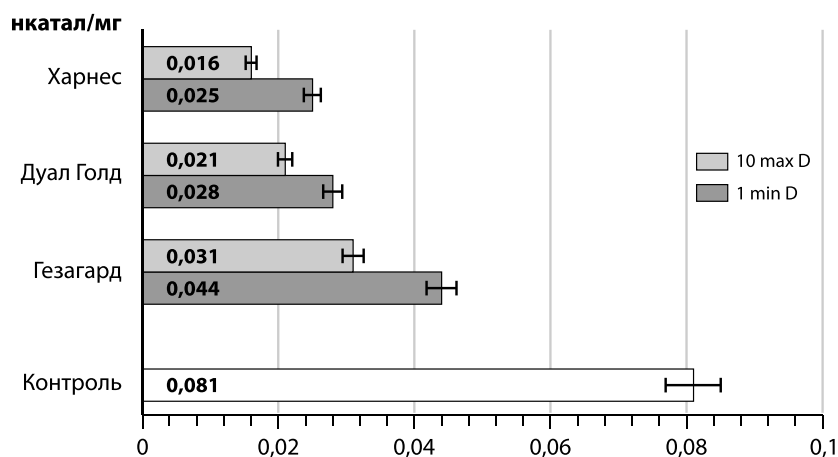


Рис. 2. Вплив ґрунтових гербіцидів на активність ацетилхолінестерази *Eisenia fetida* через 7 діб
Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

зменшилася на 74–80% порівняно з контролем. Препарат на основі прометрину (Гезагард) виявив меншу здатність критично впливати на досліджуваний фермент, його кількість зменшилась усього лише на 42,0% (рис. 2).

Отримані результати свідчать, що ґрунтові гербіциди на основі сполук хлору інгібують ацетилхолінестеразу *Eisenia fetida* залежно від дози застосування, що, ймовірно, пов'язано зі здатністю хімічної сполуки проникати в клітини організму, швидкістю інактивації та збільшенням конкуренції з природним субстратом на активних ділянках.

Відомо, що одним із ферментів, що каталізують кон'югацію різноманітних ксенобіотиків, є глутатіон-S-трансфераза (GST), який за рахунок відновленого глутатіону здійснює пряму регенерацію ліпоперекису в мембра-

нах, без попереднього фосфоліпазного гідролізу, знижуючи наслідки окисного стресу й ендогенної інтоксикації. Кон'югація з глутатіоном токсичних продуктів перекисного окислення ліпідів (ПОЛ) і окисної модифікації білків (ОМБ) сприяє їх виведенню з організму. Таким чином, глутатіон-S-трансферазу широко використовують як біомаркер впливу хімічних речовин на біохімічному рівні організації живого (рис. 3).

Досліджуючи вплив ґрунтових гербіцидів на глутатіон-S-трансферазу *Eisenia fetida*, ми виявили чітку залежність між кількістю гербіциду та кількістю ферменту. У результаті проведених досліджень вже через добу експерименту кількість ферменту в організмі дощового черв'яка при внесенні гербіциду (1 min D) Гезагард залишились на рівні контролю (1,79 нкатал/мг), а при внесенні Харнес та

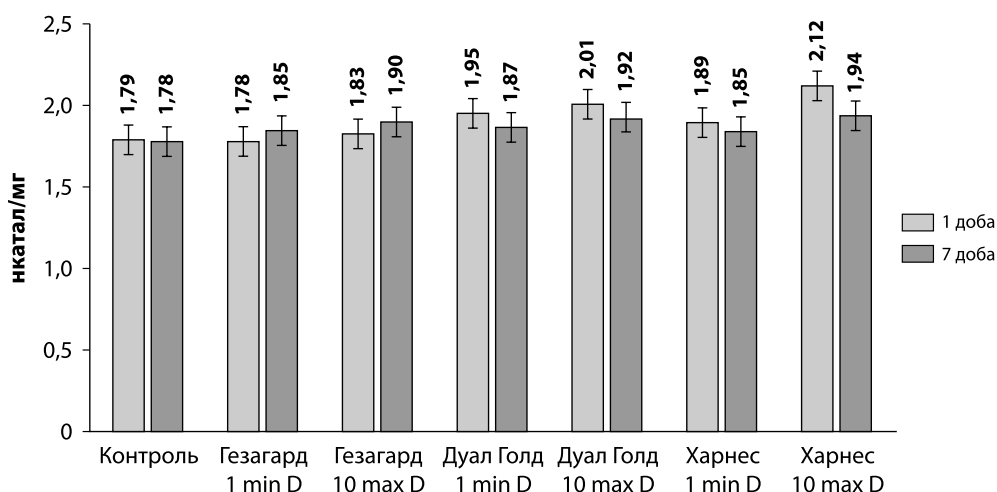


Рис. 3. Вплив ґрунтових гербіцидів на активність глутатіон-S-трансферази *Eisenia fetida*
Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

Дуал Голд (1 min D) збільшилась на 5,6–8,9% у порівнянні з контролем, що свідчить про активацію антиоксидантної системи біохімічного захисту організму від забруднюючих речовин. На сьому добу експерименту кількість глутатіон-S-трансферази з гербіцидом Гезагард збільшилася до 1,85 нкатал/мг, а з Харнес та Дуал Голд — зменшилась до 1,85–1,87 нкатал/мг.

Внесення препаратів у 10-кратній максимальній дозі призвело до збільшення кількості ферменту на першу добу на 2,8–24,0% порівняно контрольного варіанту. На сьому добу динаміка перевищення вмісту ферменту в організмі піддослідних за внесення ґрунтового гербіциду Гезагард зберігалася, а за внесення Харнес та Дуал Голд відбулося зменшення до рівня 1,92–1,94 нкатал/мг.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень встановлено, що застосування в досліді ґрунтових гербіцидів різних хімічних класів мало негативну дію на розвиток і чисельність особин

дощового черв'яка (*Lumbricus terrestris*) у ґрунті агроценозу соняшнику. Кількість особин дощового черв'яка зменшувалась у 2,1 раза за внесення триазинових гербіцидів (Гезагард) і в 3,7 раза за внесення хлорацетомідів (Дуал Голд, Харнес) на 30-ту добу порівняно до контролю.

Доведено, що застосування ґрунтових гербіцидів у рекомендованих виробником нормах внесення активізує синтез глутатіон-S-трансферази в дощового черв'яка, і його вміст збільшується на 5,6–8,9% вже через добу контакту з Харнесом та Дуал Голд, тоді як при контакті із гербіцидом Гезагард зростання було на 4,1% лише на 7-у добу експерименту. Пригнічення синтезу ацетилхолінестерази дощового черв'яка при контакті з Харнес та Дуал Голд відбулося в середньому на 43,0% вже через 24 год і з Гезагард — на 23,4%.

Отже, незважаючи на природу та клас токсичності, ґрунтові гербіциди суцільної дії негативно впливають на ріст, розвиток і, як наслідок, розмноження особин *Lumbricus terrestris* у ґрунтах.

ЛІТЕРАТУРА

- Calisi A., Grimaldi A., Leomanni A., Lionetto M.G., Dondero F., Schettino T. Multibiomarker response in the earthworm *Eisenia fetida* as tool for assessing multiwalled carbon nanotube ecotoxicity. *Ecotoxicology*. 2016. № 25. P. 677–687. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-016-1626-x>
- Calisi A., Lionetto M., Lemanni A., De Lorenzis E., Schettino T. Metallothionein induction in the coelomic fluid of the earthworm *Lumbricus terrestris* following heavy metal exposure: a short report. *Biomed Research International*. 2014. Vol. 2014. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/109386>
- Calisi A., Zaccarelli N., Lionetto M., Schettino T. Integrated biomarker analysis in the earthworm *Lumbricus terrestris*: application to the monitoring of soil heavy metal pollution. *Chemosphere*. 2013. Vol. 90. P. 2637–2644. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.11.040>
- Chen C., Wang Y., Zhao X., Wang Q., Qian Y. Comparative and combined acute toxicity of butachlor, imidacloprid and chlorpyrifos on earthworm *Eisenia fetida*. *Chemosphere*. 2014. № 100. P. 111–115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.12.023>
- Garcia-Torres T., Guiffre L., Romaniuk R., Rios R.P., Pagano E.A. Exposure assessment to glyphosate of two species of annelids. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2014. № 93. P. 209–214. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00128-014-1312-8>
- Kalogiannidis S., Kalfas D., Chatzitheodoridis F., Papaevangelou O. Role of Crop-Protection Technologies in Sustainable Agricultural Productivity and Management. *Land*. 2022. № 11 (10). P. 1–21. DOI: <https://doi.org/10.3390/land11101680>
- Kautenburger R. Impact of different agricultural practices on the genetic structure of *Lumbricus terrestris*, *Arion lusitanicus* and *Microtus arvalis*. *Animal Biodiversity and Conservation*. 2006. № 29 (1). P. 19–32. DOI: <https://www.researchgate.net/publication/26440952>
- Leomanni A., Schettino T., Calisi A., Lionetto M. Mercury induced haemocyte alterations in the terrestrial snail *Cantareus apertus* as novel biomarker. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 2016. № 183–184. P. 20–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2016.01.004>
- Lionetto M., Caricato R., Giordano M., Schettino T. The complex relationship between carbonic anhydrase and trace metals: new insight and perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*. 2016. № 17. P. 127–141. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms17010127>
- Lionetto M., Caricato R., Calisi A., Giordano M.E., Erroi E. Biomonitoring of water and soil quality: a case study of ecotoxicological methodology application to the assessment of reclaimed agroindustrial wastewaters used for irrigation. *Rendiconti lincei*. 2016. Vol. 27. P. 105–112. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12210-015-0486-2>
- Pelosi C., Joimel S., Makowski D. Searching for a More Sensitive Earthworm Species to be Used in Pesticide Homologation Tests — A Meta-Analysis. *Chemosphere*. 2013. № 90. P. 895–900. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.09.034>
- Santadino M., Coviella C., Momo F. Glyphosate sub lethal effects on the population dynamics of the earthworm *Eisenia fetida* (Savigny, 1826). *Water soil Pollut.* 2014. № 225. P. 2207. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11270-014-2207-3>

13. Tiwari R.K., Singh S., Pandey R.S., Sharma B. Enzymes of Earthworm as Indicators of Pesticide Pollution in Soil. *Advances in Enzyme Research*. 2016. №4. P. 113–124. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/aer.2016.44011>
14. Yasmin S., D'Souza D. Effect of pesticides on the reproductive output of *Eisenia fetida*. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2007. № 79. P. 529–532. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00128-007-9269-5>
15. Іванців В.В. Дощові черв'яки (*Lumbricidae*) ґрунто-субстратів відвалів Бориславського озокеритового родовища. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій: зб. наук. пр.* 2013. № 10. С. 113–118.
16. Мазур С.О., Матусевич Г.Д. Вплив ґрунтових гербіцидів на біометричні показники та врожайність соняшнику. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 1. С. 90–96.

INFLUENCE OF HERBICIDES ON NUMBERS AND DEVELOPMENT LUMBRICUS TERRESTRIS

Mazur S.

Candidate of Agricultural Sciences
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (Kyiv, Ukraine)
e-mail: mazurlanana@gmail.com;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5025-0134>

Matusevych H.

Candidate of Agricultural Sciences
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (Kyiv, Ukraine)
e-mail: matusevichgalina1971@gmail.com;
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6513-5287>

Horodyska I.

Candidate of Agricultural Sciences
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (Kyiv, Ukraine)
e-mail: anni0479@gmail.com;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1580-3450>

Bukhtyk S.

Postgraduate Student
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (Kyiv, Ukraine)
e-mail: s.buhtyk@profi.land;
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2543-7346>

Mursiukaiev F.

Postgraduate Student
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS (Kyiv, Ukraine)
e-mail: philpmursyukaev@gmail.com;
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7500-2629>

Unrestricted use of herbicides to control weeds in agriculture causes a decrease in sensitive individual populations of soil biota, among which Lumbricus terrestris should be noted. Because they make up a fairly significant part of the living biomass of the soil and play an important role in the functioning of the soil. The use of continuous-acting soil herbicides can cause not only 100% lethality, but also affect the functioning, growth, reproduction and habit of individuals of Lumbricus terrestris. The article has presented the results of field experiments and laboratory studies of the effect of soil herbicides of different chemical classes on the number and development of Lumbricus terrestris. The research results have established a negative effect on the development and number of individuals of the earthworm (Lumbricus terrestris) in the soil of the sunflower agrocenosis due to the use of herbicides. The number of earthworm individuals was reduced by 2.1 times when applying triazine herbicides (Gezagard) and 3.7 times when applying chloracetomids (Dual Gold, Harness) on the 30th day compared to the control. In addition, laboratory studies have proven that the use of soil herbicides in the recommended application rates activates the synthesis of glutathione-S-transferase in earthworms, and its content increases by 5.6–8.9% already after a day of contact with Harness and Dual Gold (1 min D), while in contact with the herbicide Gezagard the growth was 4.1% only on the 7th day of the experiment. Inhibition of earthworm acetylcholinesterase synthesis in contact with Harness and Dual Gold occurred on average by 43.0% already after 24 h and by 23.4% with Gezagard.

Keywords: plant protection products, soil herbicides, earthworms, glutathione-S-transferase, acetylcholinesterase, sunflower, chloracenilides, triazines.

REFERENCES

1. Calisi, A., Grimaldi, A., Leomanni, A., Lionetto, M.G., Dondero, F., Schettino, T. (2016). Multibiomarker response in the earthworm *Eisenia fetida* as tool for assessing multiwalled carbon nanotube ecotoxicity. *Ecotoxicology*, 25, 677–687. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-016-1626-x> [in English].

2. Calisi, A., Lionetto, M., Lemanni, A., De Lorenzis, E., Schettino, T. (2014). Metallothionein induction in the coelomic fluid of the earthworm *Lumbricus terrestris* following heavy metal exposure: a short report. *Biomed Research International*, 2014, 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/109386> [in English].
3. Calisi, A., Zaccarelli, N., Lionetto, M., Schettino, T. (2013). Integrated biomarker analysis in the earthworm *Lumbricus terrestris*: application to the monitoring of soil heavy metal pollution. *Chemosphere*, 90, 2637–2644. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.11.040> [in English].
4. Chen, C., Wang, Y., Zhao, X., Wang, Q., Qian, Y. (2014). Comparative and combined acute toxicity of butachlor, imidacloprid and chlorpyrifos on earthworm *Eisenia fetida*. *Chemosphere*, 100, 111–115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.12.023> [in English].
5. Garcia-Torres, T., Guiffre, L., Romaniuk, R., Ríos, R.P., Pagano, E.A. (2014). Exposure assessment to glyphosate of two species of annelids. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 93, 209–214. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00128-014-1312-8> [in English].
6. Kalogiannidis, S., Kalfas, D., Chatzitheodoridis, F., Papaevangelou, O. (2022). Role of Crop-Protection Technologies in Sustainable Agricultural Productivity and Management. *Land*, 11 (10), 1–21. DOI: <https://doi.org/10.3390/land11101680> [in English].
7. Kautenburger, R. (2006). Impact of different agricultural practices on the genetic structure of *Lumbricus terrestris*, *Arion lusitanicus* and *Microtus arvalis*. *Animal Biodiversity and Conservation*, 29 (1), 19–32. DOI: <https://www.researchgate.net/publication/26440952> [in English].
8. Leomanni, A., Schettino, T., Calisi, A., Lionetto, M. (2016). Mercury induced haemocyte alterations in the terrestrial snail *Cantareus apertus* as novel biomarker. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 183–184, 20–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2016.01.004> [in English].
9. Lionetto, M., Caricato, R., Giordano, M., Schettino, T. (2016). The complex relationship between carbonic anhydrase and trace metals: new insight and perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 17, 127–141. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms17010127> [in English].
10. Lionetto, M., Caricato, R., Calisi, A., Giordano, M.E., Erroi, E. (2016). Biomonitoring of water and soil quality: a case study of ecotoxicological methodology application to the assessment of reclaimed agro-industrial wastewaters used for irrigation. *Rendiconti lincei*, 27, 105–112. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12210-015-0486-2> [in English].
11. Pelosi, C., Joimel, S., Makowski, D. (2013). Searching for a More Sensitive Earthworm Species to be Used in Pesticide Homologation Tests — A Meta-Analysis. *Chemosphere*, 90, 895–900. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.09.034> [in English].
12. Santadino, M., Coviella, C., Momo, F. (2014). Glyphosate sub lethal effects on the population dynamics of the earthworm *Eisenia fetida* (Savigny, 1826). *Water soil Pollut*, 225, 2207. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11270-014-2207-3> [in English].
13. Tiwari, R.K., Singh, S., Pandey, R.S., Sharma, B. (2016). Enzymes of Earthworm as Indicators of Pesticide Pollution in Soil. *Advances in Enzyme Research*, 4, 113–124. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/aer.2016.44011> [in English].
14. Yasmin, S., D'Souza, D. (2007). Effect of pesticides on the reproductive output of *Eisenia fetida*. *Bull Environ Contam Toxicol*, 79, 529–532. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00128-007-9269-5> [in English].
15. Ivantsiv, V.V. (2013). Doshchovi cherviaky (Lumbricidae) grunto-substrativ vidvaliv Boryslavskoho ozokeritovoho rodovyshcha [Earthworms (*Lumbricidae*) of the soil-substrates of the dumps of the Boryslav ozokerite deposit]. *Pryroda Zakhidnoho Polissia ta prylyhlykh terytorii: zb. nauk. pr. — Nature of the Western Polissia and adjacent territories: coll. of science works*, 10, 113–118 [in Ukrainian].
16. Mazur, S.O., Matusevych, H.D. (2023). Vplyv gruntovykh herbitsydiv na biometrychni pokaznyky ta vrozhaisty soniashnyku [Influence of soil herbicides on biometric indicators and yield of sunflower]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannya — Balanced nature using*, 1, 90–96 [in Ukrainian].

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Мазур Світлана Олександрівна, кандидат сільськогосподарських наук, вчений секретар, Інститут агроекології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: mazurlanana@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5025-0134>)

Матусевич Галина Дмитрівна, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут агроекології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: matusevichgalina1971@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6513-5287>)

Городиська Інна Миколаївна, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут агроекології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: anni0479@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1580-3450>)

Бухтик Сергій Сергійович, аспірант, Інститут агроекології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: s.buhtik@profi.land; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2543-7346>)

Мурсюкаєв Філіп Фатіхович, аспірант, Інститут агроекології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: philipmursyukaev@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7500-2629>)