


АГРОНОМІЯ

УДК 632.9:502; 616.36

Оцінка сумісного пестицидного та кадмієвого навантаження на ґрунт з використанням вищих рослинХижняк С.В. , Коверсун І.В. , Березовський О.В. , Войціцький В.М. 

Національний університет біоресурсів і природокористування України

 khs2014@ukr.net

Хижняк С.В., Коверсун І.В., Березовський О.В., Войціцький В.М. Оцінка сумісного пестицидного та кадмієвого навантаження на ґрунт з використанням вищих рослин. Збірник наукових праць «Агробіологія», 2022. № 1. С. 71–78.

Khyzhnyak S., Koversun I., Berezovsky O., Voytsitsky V. Assessment of the combined pesticide and cadmium load on the soil using higher plants. «Agrobiologia», 2022. no. 1, pp. 71–78.

Рукопис отримано: 22.02.2022 р.
Прийнято: 09.03.2022 р.
Затверджено до друку: 24.06.2022 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2022-171-1-71-78

Багатокомпонентність забруднення агроєкосистем ускладнює ефективність його контролю. Небезпечність пестицидного та кадмієвого навантаження на ґрунт досліджували в умовах лабораторного дослідження із застосуванням сільськогосподарських рослин. Метою роботи було інтегральне оцінювання методом біотестування сумісного навантаження на ґрунт пестицидів та Кадмію. Як тест-культуру використали пшеницю *Triticum aestivum* L. У досліді застосовували пестициди, що широко використовують у сільському господарстві: системні фунгіциди Азимут (д.р.: тебуконазол, 125 г/дм³ + триадимефон, 100 г/дм³) та Азимут Класик (д.р.: тебуконазол, 250 г/дм³), а також гербіцид ґрунтової дії Екстрабіт (д.р.: S-метолахлор, 960 г/дм³). Визначали накопичення рослинами Кадмію (методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою) та активних речовин пестицидів (методом високоефективної рідинної хроматографії з мас-детектором). Встановлено, що перевищення дози внесення пестицидів призводить до їх накопичення рослинами. За комплексного навантаження ґрунту Кадмієм (відповідає 3 ГДК) та відповідного пестициду (з перевищенням дози) спостерігається збільшення накопичення пестициду рослинами: для Азимут та Азимут Класик у 1,85 та 1,47 рази (визначали за вмістом тебуконазолу), а для Екстрабіт – у 1,74 рази (визначали за вмістом S-метолахлору). Крім того, в умовах дослідження відмічено фітотоксичність пестицидів. Так, встановлено для фунгіциду Азимут та гербіциду Екстрабіт зниження величини показників початкового росту рослин (довжина коренів та проростків) більш як на 40 % вказує на рівень фітотоксичності вище середнього. Зроблено висновок про необхідність у разі застосування нових пестицидних формуляцій (зокрема пестицидів ґрунтової дії) проводити випробування з оцінювання їх токсичності щодо вищих рослин. Це важливо для розроблення контрзаходів щодо зменшення надходження пестицидів до сільськогосподарських рослин, особливо в умовах забруднення ґрунтів важкими металами.

Ключові слова: біотестування, сумісна дія, пестициди, Кадмій, фітотоксичність, *Triticum aestivum* L.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Хімізація землеробства унаслідок використання пестицидів та мінеральних добрив на сільськогосподарських угіддях впливає на структуру та біологічну активність ґрунту [1, 2]. Пестициди є дієвим чинником в агроєкосистемах, тому зростає небезпека забруднення ними ґрунту та інших компонентів навколишнього середовища. Серед пестицидів найбільш рухомими у ґрунтах є гербіциди, крім

того, переважно їх вносять безпосередньо у ґрунт, що зумовлює найбільшу небезпеку щодо його забруднення [3]. Залишається актуальною проблема забруднення земель сільськогосподарського призначення залишковими кількостями пестицидів. Хімічна стійкість пестицидів зумовлює їх накопичення в об'єктах довкілля, а також динаміку міграції трофічними ланцюгами. Це є небезпечним для всіх живих організмів, створюючи несприятливі умови для жит-

тедіяльності і функціонування як екосистеми, так і безпосередньо людини [4].

Крім того, внесення мінеральних добрив, пестицидів та матеріалів для вапнування є значним джерелом забруднення сільськогосподарських угідь важкими металами, зокрема Плюмбумом, Кадмієм, Купрумом та Цинком [5, 6]. Водночас існує висока небезпека міграції важких металів з ґрунту у сільськогосподарські рослини, які на них вирощуються [7], що унеможлиблює їх подальше використання [8]. Згідно з даними ВООЗ 30–40 % злоякісних онкологічних захворювань спричинено споживанням забруднених токсикантами харчових продуктів [9].

Один із найбільш токсичних важких металів – Кадмій, враховуючи його здатність до біоаккумуляції в екосистемах та значний період напіврозпаду в організмі людини [10]. Йони кадмію характеризуються рухливістю у ґрунтах. Так, до 70 % Кадмію, що потрапляє у ґрунт, легко переходить до рослин, накопичується в них, а потім надходить до організму тварин та людини. Забруднені рослини можуть містити навіть до 400 мг/кг Cd і більше.

Значна увага приділяється дослідженням фізіолого-біохімічних реакцій рослин пшениці на дію важких металів, що пов'язано із широким ареалом поширення та важливістю цієї культури [11]. На відміну від інших елементів (за винятком Zn), Кадмій може накопичуватися у порівняно великих кількостях в генеративних органах, а його вміст у зерні в середньому може збільшуватись з 0,2 до 4 мг/кг [10].

Слід враховувати, що багатокомпонентність забруднення агроекосистем ускладнює ефективність його контролю. Це передбачає необхідність удосконалення підходів щодо оцінювання хімічних навантажень на агроекосистеми.

У сучасній науковій літературі широко висвітлено негативні наслідки пестицидів для людини та довкілля [12, 13]. Залишається актуальним питання оцінювання рівнів залишкових кількостей пестицидів у системі ґрунт–рослина, а також розроблення заходів щодо обмеження надходження цих речовин до рослин. Актуальним є дослідження ефекту сумісного впливу пестицидного та кадмієвого (чи інших важких металів) навантажень на компоненти агробіоценозу. Результати цих досліджень можна врахувати, зокрема, для попередження негативних екологічних наслідків за використанням пестицидів у районах, які забруднені важкими металами [14].

Достовірну інформацію щодо забруднення компонентів довкілля, зокрема ґрунтів, здатні надавати методи біотестування, які засновані на

реакції живих організмів на негативний вплив забруднювальних речовин. Вони є: швидкими та доступними; мають високу відтворюваність та достовірність; об'єктивні за отриманими результатами. Наявність широкого спектра рослинних біотестів, зокрема дикоростучих та сільськогосподарських рослин, дає змогу використовувати їх для тестування різноманітних чинників хімічної та фізичної природи [13].

Мета дослідження – інтегральне оцінювання методом біотестування щодо токсичності сумісного навантаження ґрунту пестицидами та Кадмієм з використанням пшениці *Triticum aestivum* L.

Матеріал і методи дослідження. У дослідженнях використано пестициди, що широко застосовують у сільському господарстві. Фунгіциди у препаративній формі концентрат, що емульгується (КЕ): Азимут Класик, КЕ (д.р.: тебуконазол, 250 г/дм³) з нормою витрати за однократного оброблення 1 дм³/га, а також Азимут, КЕ (д.р.: тебуконазол, 125 г/дм³ + триадимефон, 100 г/дм³) з нормою витрати за 2-кратного використання 1,5–2 дм³/га. Активні речовини (д.р.) фунгіцидів належать до хімічного класу триазоли. Системний гербіцид ґрунтової дії Екстрабіт, КЕ (д.р.: S-метолахлор, 960 г/дм³) з нормою витрати за однократного оброблення – 1,6 дм³/га. Активна речовина належить до хімічного класу хлорацетаніліди (аміди, хлорацетаміди).

В умовах лабораторного дослідження проводили тестування за показниками проростання насіння та початкового росту рослин згідно з ISO 11269–1:2004 [15]. Цей метод застосовують під час моніторингу забруднення ґрунтів, а також екоотоксикологічного оцінювання пестицидів [16].

Підготовлений ґрунтовий субстрат наважували по 100 г у чисті сухі стакани, після чого обробляли пестицидами чи CdCl₂. Для рівномірного розподілу в ґрунті пестициди вносили у вигляді розчинів водної емульсії відповідних пестицидних формуляцій (2-кратне перевищення норми внесення), які готували методом поступових розведень. Кадмій вносили у вигляді водного розчину кадмію хлориду з розрахунку, що 1 ГДК Кадмію у ґрунті становить 3 мг/кг ґрунту. Було сформовано наступні варіанти для дослідження: 1 – контроль; 2 – Кадмій, вміст якого у ґрунті відповідає 3 ГДК; 3 – фунгіцид Азимут, вміст якого в ґрунті еквівалентний кількості 2 та 4 дм³/га; 4 – фунгіцид Азимут Класик, вміст якого в ґрунті еквівалентний кількості 2 дм³/га; 5 – гербіцид Екстрабіт, вміст якого в ґрунті еквівалентний кількості 3,2 дм³/га;

6–10 – сумарне внесенні у ґрунт CdCl_2 та пестицидів у відповідних кількостях.

Контрольні і дослідні варіанти піддавали компостуванню впродовж 14 діб за температури 20 °С. Під час компостування підтримували вологість на рівні $(65 \pm 2) \%$. Випробування проводили у 3-кратній повторності.

Після компостування відбирали проби ґрунту і проводили дослідження методом часткового висівання насіння на ґрунт в чашках Петрі. Як тест-культуру використано пшеницю озиму (*Triticum aestivum* L.) сорту Подолянка. Чашки з насінням закривали і пророщували у термостаті за температури 24 °С упродовж 48 год (до проростання у контролі 90–100 % від загальної кількості пророслих насінин), після чого проводили підрахунок пророслих насінин. Пророслою вважається насінина, у якої корінець прорвав насіннюву оболонку [16]. Фітотоксичний ефект (ФЕ) оцінювали за показниками початкового росту рослин (довжина коренів чи проростків рослин), який розраховували за формулою:

$$\text{ФЕ} = \frac{M_0 - M_x}{M_0} \cdot 100\%,$$

де M_0 – значення біопараметра (висота проростків чи довжина коренів) у посуді з контрольним субстратом;

M_x – значення аналогічного біопараметра у посуді з досліджуванним субстратом.

Статистично достовірна різниця між дослідом та контролем більше 20 % вказує на середній рівень фітотоксичності, а більше 40 % – більше середнього [16].

Масову концентрацію Кадмію у рослинних зразках визначали за використання атомно-емісійного спектрометра з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-AES) згідно з [17].

Визначення вмісту в досліджуваних зразках активних речовин пестицидів базується на їх екстракції органічним розчинником, очищенні екстрактів та наступним детектуванням з використанням хромато-мас-спектрометра Agilent Technologies 7900-MSD 5975C [18]. Колонка HP-5 MS 15m x 0.25mmID x 0.25um. Кількісне визначення проводили за допомогою прикладної програми Аналітика-Chrom методом співвідношення зі стандартом за висотою піків.

Результати щодо вмісту активних речовин (чи Кадмію) у рослинах наведено у розрахунку на суху речовину. Повторність у досліді 3-разова. Результати виражені як середнє арифметичне. Математичне опрацювання результатів дослідження проводили на персональному комп'ютері з використанням програм

ми Statistica-10 та пакету прикладних програм Microsoft Excel.

Результати дослідження та обговорення.

Пестициди, що є екологічно агресивними забруднювачами довкілля, за хімічним складом належать до різних класів хімічних сполук, тому їх вплив на біологічні властивості ґрунтів та перебіг біохімічних процесів у живих організмах, що стосується і рослинних культур, на яких вони застосовуються, залежать від хімічної природи, доз, систематичності застосування тощо [19]. В експериментах використано пестицидні формуляції тебуконазолу, які застосовують як системні фунгіциди в боротьбі з фітопатогенами для захисту сільськогосподарських культур, та гербіцид ґрунтової дії, що містить S-метолахлор, щодо впливу на *Triticum aestivum* L.

Результати дослідження в лабораторних умовах фітотоксичного ефекту пестицидів наведено в таблиці 1. Слід підкреслити, що за цих умов не виявлено змін за показниками проростання насіння (дані не наведено). Встановлено, що внесення у ґрунт Кадмію у кількості еквівалентній 3 ГДК, незначно впливає на показники початкового росту рослин (статистично значуща різниця між дослідом та контролем менше 20 %). Внесення фунгіциду Азимут (д.р.: тебуконазол + триадимефон) в кількості еквівалентній 2 чи 4 $\text{дм}^3/\text{га}$ призводить до зниження показників початкового росту рослин: середня довжина коренів знижується на 15 та 54,3 %, а проростків – на 18,3 та 61,7 % відповідно щодо контролю. Подібні зміни спостерігаються і за сумісного внесення Кадмію та фунгіциду Азимут. За умов внесення фунгіциду Азимут в кількості еквівалентній 4 $\text{дм}^3/\text{га}$ (окремо чи сумісно з Кадмієм) розрахована величина фітотоксичного ефекту (ФЕ) за показниками початкового росту рослин більше 40 %, що вказує на рівень фітотоксичності більше середнього.

Застосування фунгіциду Азимут Класик в кількості еквівалентній 2 $\text{дм}^3/\text{га}$ (окремо чи сумісно з Кадмієм) також призводить до зниження величини показників початкового росту рослин: довжина кореня знижується в середньому на 19,1 %, а проростків на 24,7 % щодо відповідного контролю. Розрахована величина фітотоксичного ефекту відповідає середньому рівню фітотоксичності.

Застосування гербіциду Екстрабіт в кількості еквівалентній 3,2 $\text{дм}^3/\text{га}$ (окремо чи сумісно з Кадмієм) призводить до зниження довжини коренів у середньому на 51,5 %, а проростків – на 43 % щодо контролю, а рівень фітотоксичності за дії гербіциду (окремо чи сумісно з Кадмієм) більше середнього.

Таблиця 1 – Показники початкового росту пшениці *Triticum aestivum* L. за впливу фунгіциду Азимут, КЕ (д.р.: тебуконазол, 125 г/дм³ + триадимефон, 100 г/дм³), фунгіциду Азимут Класик, КЕ (д.р.: тебуконазол, 250 г/дм³), гербіциду Екстрабіт, КЕ (S-метолахлор, 960 г/дм³) та Кадмію; (M±m, n=8)

Умови дослідю: внесення у ґрунт (еквівалентна кількість)	Довжина кореня		Довжина проростка	
	мм	до контролю, %	мм	до контролю, %
Контрольний ґрунт	32,08±0,31	-	14,96±0,13	-
Кадмій (3 ГДК)	30,01±0,26	93	13,95±0,05	93,2
Фунгіцид Азимут (2 дм ³ /га)	27,31±0,21	85,1	12,22±0,10	81,7
Фунгіцид Азимут (2 дм ³ /га) + Кадмій (3 ГДК)	26,02±0,22	81,0	11,87±0,11	79,3
Фунгіцид Азимут (4 дм ³ /га)	14,66±0,43*	45,7	5,88±0,04*	39,3
Фунгіцид Азимут (4 дм ³ /га) + Кадмій (3 ГДК)	14,96±0,43*	46,6	6,14±0,04*	41,0
Фунгіцид Азимут Класик (2 дм ³ /га)	25,95±0,43*	80,9	11,27±0,11*	75,3
Фунгіцид Азимут Класик (2 дм ³ /га) + Кадмій (3 ГДК)	24,63±0,43*	76,8	11,12±0,10*	74,3
Контрольний ґрунт	28,0±0,33	-	10,65±0,05	-
Кадмій (3 ГДК)	26,6±0,4	95,0	9,88±0,06	92,8
Гербіцид Екстрабіт (3,2 дм ³ /га)	13,57±0,28*	48,5	6,07±0,05*	57,0
Гербіцид Екстрабіт (3,2 дм ³ /га) + Кадмій (3 ГДК)	12,91±0,33*	46,1	6,01±0,06*	56,3

Примітка: * $p \leq 0,05$ щодо контролю.

Отже, в умовах лабораторного дослідю доведено, що зростання норми використання пестицидів призводить до інгібуючого ефекту щодо початкових фаз розвитку рослин пшениці як за окремого внесення, так і сумісно із Кадмієм.

Надалі визначали накопичення Кадмію та активних речовин пестицидів рослинами. Встановлено, що в умовах внесення у ґрунт Кадмію (3 ГДК) рівень його накопичення рослинами становить 0,70–0,78 мг/кг сухої маси рослин. Ця величина перевищує ГДК Кадмію для сіна, яка становить 0,3 мг/кг сухої маси рослин [10]. Водночас, встановлений рівень накопичення Кадмію рослинами не призводить до вираженого фітотоксичного ефекту (табл. 1).

Внесення у ґрунт відповідних пестицидів сумісно із Кадмієм обумовлює нижчий рівень накопичення Кадмію рослинами. Зокрема, за використання фунгіциду Азимут встановлено зниження цієї величини на 51 та 71 %, фунгіциду Азимут Класик – на 37 % та гербіциду Екстрабіт – на 67 % (табл. 2).

Поглинання та накопичення рослинами фунгіцидів оцінювали за вмістом тебуконазолу, а для гербіциду – за вмістом S-метолахлору. Порівнюючи вміст активних речовин пести-

цидів у рослинах з МДР, яке становить для тебуконазолу 0,1–0,2 мг/кг, а для S-метолахлору – 0,1 мг/кг [13], слід відмітити перевищення цієї величини в умовах дослідю (табл. 2). Крім того, у разі використання фунгіциду Азимут встановлено, що за 2-разового збільшення внесення пестициду у ґрунт вміст тебуконазолу у рослинах зростає в 1,7 раза (табл. 2). Водночас необхідно враховувати, що в роботі використано модельні експерименти.

Сумісне внесення у ґрунт Кадмію та відповідного пестициду призводить до ще більшого накопичення рослинами їх активних речовин порівняно з внесенням лише пестицидів. Так, за використання фунгіциду Азимут накопичення тебуконазолу зростає у 1,85 та 1,75 раза, а за використання фунгіциду Азимут Класик – у 1,47 раза. За внесення гербіциду Екстрабіт накопичення S-метолахлору зростає у 1,74 раза (табл. 2).

За результатами дослідження сумісне внесення у ґрунт Кадмію та пестицидів призводить до зниження накопичення Кадмію рослинами, а також до зростання накопичення пестицидів. Водночас встановлений ефект фітотоксичності, за показниками початкового росту рослин (табл. 1), пов'язаний із накопиченням активних речовин пестицидів, а не Кадмію.

Таблиця 2 – Рівень накопичення Кадмію, тебуконазолу чи S-метолахлору (мг/кг сухої маси рослин) *Triticum aestivum* L. (M±m, n=6)

Умови досліджу		Внесена у ґрунт еквівалентна кількість	Вміст Кадмію (мг/кг сухої маси рослин)	Вміст тебуконазолу чи S-метолахлору (мг/кг сухої маси рослин)
1	Фунгіцид Азимут	2 дм ³ /га	-	0,33±0,01
	Кадмій	3 ГДК	0,70±0,11	-
	Фунгіцид Азимут + Кадмій	2 дм ³ /га + 3 ГДК	0,34±0,02*	0,61±0,02*
2	Фунгіцид Азимут	4 дм ³ /га	-	0,56±0,03
	Кадмій	3 ГДК	0,78±0,09	-
	Фунгіцид Азимут + Кадмій	4 дм ³ /га + 3 ГДК	0,23±0,01*	0,98±0,03*
3	Фунгіцид Азимут Класик	2 дм ³ /га	-	1,10±0,05
	Кадмій	3 ГДК	0,73±0,08	-
	Фунгіцид Азимут Класик + Кадмій	2 дм ³ /га + 3 ГДК	0,46±0,02*	1,62±0,05*
4	Гербіцид Екстрабіт	3,2 дм ³ /га	-	1,76±0,04
	Кадмій	3 ГДК	0,75±0,04	-
	Гербіцид Екстрабіт + Кадмій	3,2 дм ³ /га + 3 ГДК	0,25±0,02*	3,06±0,05*

Примітка:* $p \leq 0,05$ щодо відповідного окремого внесення.

Отже, в умовах забруднення ґрунту важкими металами може зростати токсичність пестицидів для рослин. Це небезпечно, зокрема для тебуконазолу, оскільки він повільно розкладається в ґрунті, водночас швидко надходить до рослини та рівномірно розповсюджується тканинами. У разі, якщо сполуки пестицидів та їх метаболітів є малорухомими, вони можуть зберігатися у рослинах тривалий час, аж до повного дозрівання урожаю. Відмічали, що токсична дія пестицидів залежить як від норм витрат, так і від хімічних властивостей пестициду, а в умовах забруднення ґрунту Кадмієм, це, можливо, пов'язано із конкуренцією за способи надходження хімічних речовин до рослин.

Нині питання безпечного використання пестицидів вирішують зменшенням їх навантаження на агроценози нормуванням вмісту залишкової кількості у природних середовищах, продуктах харчування, удосконаленням асортименту, а також регламентацією хімічного оброблення сільськогосподарських культур [20].

Розроблення екологічних нормативів щодо ґрунтів значно відрізняє від створення нормативів для інших середовищ (атмосфера, водні системи). Це пов'язано зі складністю і неоднорідністю об'єкта – ґрунт складається із кількох фаз: тверда, рідка, газоподібна і біотична, що

відрізняє його від інших природних середовищ, та значно ускладнює нормування вмісту забруднювальних речовин, особливо в разі комплексного забруднення. Використання методів біотестування, які засновані на реакції живих організмів на негативний вплив забруднювальних речовин, дає змогу надавати об'єктивну інформацію щодо токсичності компонентів навколишнього середовища, зокрема ґрунтів. Отже, цей підхід можна використовувати для вивчення питань комплексного навантаження екотоксикантів на агробіоценози, а застосування пестицидів на великих площах сільськогосподарських культур розпочинати лише після випробувань щодо їх безпечності для рослин.

Під час оцінювання екотоксичності пестицидів необхідно проводити випробування щодо їх впливу на вищі рослини, з урахуванням забрудненості ґрунту іншими поллютантами. Це важливо для розроблення заходів щодо зменшення надходження екотоксикантів до сільськогосподарських рослин.

Висновки. Проведені лабораторні дослідження методом біотестування з використанням тест-об'єкта *Triticum aestivum* L. свідчать про токсичність сумісного навантаження ґрунту Кадмію та відповідних системних фунгіцидів: Азимут (д.р.: тебуконазол, 125 г/дм³ +

триадимефон, 100 г/дм³) та Азимут Класик (д.р.: тебуконазол, 250 г/дм³), а також гербіциду ґрунтової дії Екстрабіт (д.р.: S-метолахлор, 960 г/дм³). Збільшення дози застосування пестицидів супроводжується інтенсифікацією фітотоксичності (за показниками початкового росту рослин). Перевищення цього показника для пестицидів Азимут та Екстрабіт > 40 % свідчить про рівень фітотоксичності вище середнього. За цих умов сумісне надходження пестицидів та Кадмію (3 ГДК у ґрунті) додатково не впливає на початкові параметри росту рослин.

Водночас збільшення дози застосування пестицидів призводить до зростання накопичення активних речовин рослинами, а сумісне надходження відповідних пестицидів та Кадмію сприяє ще більшому накопиченню активних речовин рослинами (показник зростає у 1,47–1,85 раза).

Зроблено висновок щодо необхідності перед застосуванням нових пестицидних формуляцій (особливо пестицидів ґрунтової дії чи протруювачів насіння) проводити випробування щодо їх токсичності для с./г. рослин.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Risks of large-scale use of systemic insecticides to ecosystem functioning and services / Chagnon M. et al. *Environ. Sci. Pollut.* 2015. 22. P. 119–134.
2. Найдюнова О.Є. Динаміка чисельності мікрофлори і біохімічної активності чорнозему типового за застосування комплексу пестицидів. Агрохімія і ґрунтознавство. міжвід. тем. наук. збірник. Харків. 2020. Вип. 90. С. 65–75. DOI: 10.31073/acss90-07
3. Rashid B., Husnain T., Riazuddin S. Herbicides and Pesticides as potential pollutants: A Global Problem. *Plant adaptation and Phytoremediation*. Chapter 19. 2010. Part 2. P. 427–447. DOI: 10.1007/978-90-481-9370-7_19.
4. Mixture toxicity of copper, cadmium and zinc to barley seedlings is not explained by antioxidant and oxidative stress biomarkers / Versieren L. et al. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2016. № 36(1). P. 456–460. DOI: 10.1002/etc.3529
5. Plant transcriptomics and responses to environmental stress: an overview / Imadi S.R. et al. *Journal of Genetics*. 2015. № 94(3). P. 525–537. DOI: 10.1007/s12041-015-0545-6.
6. Разанов С.Ф., Ткачук О.П. Інтенсивна хімізація землеробства як передумова забруднення зернової продукції важкими металами. Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. Біла Церква. 2017. № 1(134). С. 66–71.
7. DalCorso G., Farinati S., Furini A. Regulatory networks of cadmium stress in plants. *Plant Signaling & Behavior*. 2010. № 5(6). P. 663–667. DOI: 10.4161/psb.5.6.11425
8. Chorna V.I., Voroshylova N.V., Syrovatko V.A. Cadmium distribution in soils of Dnipropetrovsk oblast

and its accumulation in crop production. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. 8(1). P. 910–917. DOI: 10.15421/2018_293

9. Гученко М.М., Козловська Т.Ф., Гученко М.І. Дослідження причинно-наслідкових зв'язків між експозицією хлорорганічних сполук і станом здоров'я населення. Екологічна безпека. Наукове видання Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. Кременчук: КДПУ. 2009. Вип. 1(5).

10. Quantitative trait loci associated with phenological development, low-temperature tolerance, grain quality and agronomic characters in Wheat (*Triticum aestivum L.*) / Fowler D. et al. *PLoS One*. 2016. № 11(3). DOI: 10.1371/journal.pone.0152185

11. Khyzhnyak S.V. Cellular mechanisms of cadmium toxicity. К.: „LAT&K”. 2010. 213 p.

12. Cunningham M. Use of pesticides: benefits and problems associated with pesticides. *Food and Chemical Toxicology*. 2015. № 43 (2). P. 261–269.

13. Пестициди та їх еколого-токсикологічна оцінка / Хижняк С.В. та ін. К.: РВВ НУБіП України. 2019. 226 с.

14. Фурдичко О.І. Наукові основи сталого розвитку агроєкосистем України. Екологічна безпека агропромислового виробництва. К.: ДІА. 2021.

15. ДСТУ ISO 11269–1:2004. Якість ґрунту. Визначення дії забрудників на флору ґрунту. Частина 1. Метод визначення інгібіторної дії на ріст коренів.

16. Застосування рослинних тест-систем для оцінки комбінованої дії факторів різної природи / Гродзинський Д.М. та ін. К.: Фітосоціоцентр. 2006. 103 с.

17. ДСТУ ISO 11885:2005. Якість води. Визначення 33 елементів методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою. К.: Держпромстандарт України, 2006. 12 с.

18. EVS-EN 15662 (2008) Foods of plant origin – Determination of pesticide residues using GC-MS and/or LC-MS/MS following acetonitrile extraction/partitioning and cleanup by dispersive SPE–QuEChERS-method. URL: <https://www.evs.ee/products/evs-en-15662-2008>.

19. Devi Y.B., Meetei T.T., Kumari N. Impact of Pesticides on Soil Microbial Diversity and Enzymes: A Review. *Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2018. Vol. 7. Issue 6. P. 952–958. DOI: 10.20546/ijemas.2018.706.113

20. Влізлю В.В., Салига Ю.Т. Проблеми біологічної безпеки застосування пестицидів в Україні. *Вісн. аграр. науки*. 2012. № 1. С. 24–28.

REFERENCES

1. Chagnon, M., Kreutzweiser, D., Mitchell, E.A.D., Morrissey, C.A., Noome, D.A., Sluijs, J.P.V. (2015). Risks of large-scale use of systemic insecticides to ecosystem functioning and services. *Environ. Sci. Pollut.* no. 22, pp. 119–134.
2. Naidyonova, O.E. (2020). Dinamika chiselnosti mikroflori i biokhimichnoi aktivnosti chornozemy tipovogo za zastosyvannya kompleksy pestitsidov [Dynamics of the number of microflora and biochemical

activity of chernozem typical for the use of pesticide complex]. *Agrokhimiiay i gruntoznavstvo: mizhvid. tem. nayk. zbirnyk [Agrochemistry and soil science. Interdepartmental. Topics. Science. Digest]. Kharkiv, Vol. 90, pp. 65–75. DOI: 10.31073/acss90-07.*

3. Rashid, B., Husnain, T., Riazuddin, S. (2010). Herbicides and Pesticides as potential pollutants: A Global Problem. *Plant adaptation and Phytoremediation. Chapter 19. Part 2, pp. 427–447. DOI: 10.1007/978-90-481-9370-7_19.*

4. Versieren, L., Evers, S., Elgawad, H., Asard, H., Smolders, E. (2016). Mixture toxicity of copper, cadmium and zinc to barley seedlings is not explained by antioxidant and oxidative stress biomarkers. *Environmental Toxicology and Chemistry. no. 36(1), pp. 456–460. DOI: 10.1002/etc.3529*

5. Imadi, S.R., Kazi, A.G., Ahanger, M.A. (2015.) Plant transcriptomics and responses to environmental stress: an overview. *Journal of Genetics. no. 94(3), pp. 525–537. DOI: 10.1007/s12041-015-0545-6.*

6. Razanov, S.F., Tkachuk, O.P. (2017). Intensyvna khimizatsiia zemlerobstva yak peredumova zabrudnennia zernovoi produktsii vazhkymy metalamy [Intensive chemicalization of agriculture as a prerequisite for contamination of grain products with heavy metals]. *Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynytstva [Technology of production and processing of livestock products]. Bila Tserkva, no. 1(134), pp. 66–71.*

7. DalCorso, G., Farinati, S., Furini, A. (2010). Regulatory networks of cadmium stress in plants. *Plant Signaling & Behavior. no. 5(6), pp. 663–667. DOI: 10.4161/psb.5.6.11425*

8. Mudryi, I.V. (2005). Deiaki aspekty problemy vyroshchuvannya yakisnoi roslynnytskoi produktsii pry zastosuvanni mineralnykh dobryv ta metodychni pidkhody shchodo toksykoloho-hihienichnoi yikh otsinky [Some aspects of the problem of growing quality crop products using mineral fertilizers and methodological approaches to their toxicological and hygienic assessment]. *Problemy kharchuvannya. Medychna Ukraina [Nutrition problems. Medical Ukraine], no. 4, pp. 44–47.*

9. Guchenko, M.M., Kozlovs'ka, T.F., Guchenko, M.I. (2009). Doslydzhennya pruchuno-naslidkovykh zvyazkiv mizh ekspozitsiyeu khlororganichnykh spoluk i stanom zdorov'ya naseleण्या. *Ekologichna bezpeka. [Investigation of the causal relationship between organochlorine exposure and public health. Ecological safety]. Naukove vydannja Kremenchtskogo derzhavnogo pjlytekhnychnogo universytetu imeni Mykhayla Ostrogradskogo [Scientific publication Kremenchug State Polytechnic University named after Mykhailo Ostrogradsky]. Kremenchuk, KNPU, no. 1(5).*

10. Fowler, D., Diaye N., Laudencia-Chinguanco, D., Pozniak, C. (2016). Quantitative trait loci associated with phenological development, low-temperature tolerance, grain quality and agronomic characters in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *PLoS One. no. 11(3). DOI: 10.1371/journal.pone.0152185*

11. Khyzhnyak, S.V. (2010). Cellular mechanisms of cadmium toxicity. *Kyiv, LAT& K, 213 p.*

12. Cunningham, M. (2015). Use of pesticides: benefits and problems associated with pesticides. *Food and Chemical Toxicology. no. 43 (2), pp. 261–269.*

13. Khyzhnyak, S.V., Baranov, Yu.S., Demchenko, V.F., Voitsytskiy, V.M. (2019). Pestytsydy ta yikh ekoloho-toksykologichna otsinka [Pesticides and their ecological and toxicological evaluation]. *Kyiv, NULES Ukraine, 226 p.*

14. Furdychko, O.I. (2021). Naukovy osnovy stalogo rozvytku agroekosistem Ukraine [Scientific bases of sustainable development of agroecosystems of Ukraine]. *Ekologichna bezpeka agropromyslovogo vyrobnytstva [Ecological safety of agro-industrial production]. Kyiv, DIA.*

15. DSTU ISO 11269–1:2004. Soil quality – Determination of the effects of pollutants on soil flora – Part 1. Method for the measurement of inhibition of root growth.

16. Grodzinsky, D.M., Shylina, Yu.V., Kutsokon, N.K. (2006). Zastosuvannya roslynnykh test-system dlia otsinky kombinovanoi dii faktoriv riznoi pryrody [Application of plant test systems to assess the combined action of factors of different nature]. *Kyiv, Phytosocial Center.*

17. DSTU ISO 11885:2005. Water quality. Determination of 33 elements by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry.

18. EVS-EN 15662 (2008) Foods of plant origin – Determination of pesticide residues using GC-MS and/or LC-MS/MS following acetonitrile extraction/partitioning and cleanup by dispersive SPE-QuEChERS-method. Available at: <https://www.evs.ee/products/evs-en-15662-2008>.

19. Devi, Y.B., Meetei, T.T., Kumari, N. (2018). Impact of Pesticides on Soil Microbial Diversity and Enzymes: A Review. *Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. no. 7(6), pp. 952–958. DOI: 10.20546/ijcmas.2018.706.113*

20. Vlizlo, V.V., Salyga, Yu.T. (2012). Problemy biologichnoi bezpeki zastosuvannya pestitsydyv v Ukraine [Problems of biological safety of pesticide use in Ukraine]. *Visnyk agrarnoi' nauky [Bulletin of Agricultural Science], no. 1, pp. 24–28.*

Assessment of the combined pesticide and cadmium load on the soil using higher plants

Khyzhnyak S., Kovarsun I., Berezovsky O., Voytsytsky V.

The multicomponent nature of agroecosystem pollution complicates the effectiveness of the ecotoxicological control. The danger of the combined pesticide and cadmium soil load was investigated in the laboratory conditions using agricultural plants (test crops). The aim of the study was an integral assessment of the complex impact of pesticide and cadmium soil contamination on wheat *Triticum aestivum* L. by biotesting. The widely used pesticides in agriculture were tested: systemic fungicides Azimut (a.i.: tebuconazole, 125 g/dm³ + triadimefon, 100 g/dm³), Azimut Classic (a.i.: tebuconazole, 250 g/dm³) and soil-acting herbicide Extrabit (a.i.: S-metolachlor, 960 g/dm³). The levels of Cadmium accumulation by plants (by

inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy) and pesticide active ingredients (by high-performance liquid chromatography with a mass detector) were determined. It was found that a exceeding the rate of pesticide application leads to their accumulation by plants. At combined soil load with Cadmium (3-fold maximum allowable concentration, MAC) and the associated pesticide, an increase in the accumulation of active ingredients by plants is observed (tebuconazole by 1.85 and 1.47 times for Azimut and Azimut Classic, respectively, and S-metolachlor by 1.47 times for Extrabit) compared to a single pesticide. In addition, phytotoxicity of pesticides was noted in the

conditions of the experiment. Thus, for the fungicide Azimut and the herbicide Extrabit, a decrease in the initial growth rate of plants (length of roots and seedlings) by more than 40 % was found, which indicates a level of phytotoxicity above average. It was concluded that new pesticide formulations (including soil-acting pesticides) should be tested for toxicity in relation to higher plants. This is important for development of countermeasures to reduce pesticide accumulation in agricultural plants, especially in conditions of soil contamination with heavy metals.

Key words: biotesting, combined action, pesticides, cadmium, phytotoxicity, *Triticum aestivum* L.



Copyright: Хижняк С.В та ін. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Хижняк С.В.

Коверсун І.В.

Березовський О.В.

Войціцький В.М.

<https://orcid.org/0000-0001-6745-2894>

<https://orcid.org/0000-0002-5484-4204>

<https://orcid.org/0000-0002-0909-1119>

<https://orcid.org/0000-0002-5641-0071>