

ГІГІЄНИЧНА ОЦІНКА ТРАНСЛОКАЦІЇ НОВИХ ПЕСТИЦИДІВ У СИСТЕМІ «ГРУНТ – РОСЛИНА»

Гігієнічна оцінка транслокації нових пестицидів у системі «ґрунт – рослина»

М. М. Коршун, Ю. В. Мартіянова, О. М. Коршун

Національний медичний університет
імені О. О. Богомольця, м. Київ

Резюме. Оцінка та мінімізація ризику шкідливого впливу пестицидів на здоров'я населення є важливим завданням профілактичної медицини. Зокрема, вивчення міграції нових пестицидів у системі «ґрунт – рослина» є актуальним з огляду на провідну роль перорального шляху їх надходження в організм людини.

Мета дослідження – встановити закономірності транслокації з ґрунту в сільськогосподарські культури нових пестицидів: триазолонового гербіциду амікарбазону, трикетонного гербіциду біциклопірону та карбоксамідного фунгіциду підіфлуметофену.

Матеріали і методи. Проведено математичне моделювання міграції досліджуваних пестицидів у системі «ґрунт – рослина» з використанням рівнянь регресії, що описують залежність між гранично допустимою концентрацією (ГДК) речовини у ґрунті та її максимально допустимим рівнем (МДР) в продуктах харчування рослинного походження (I етап). У 3-х серіях лабораторних гігієнічних експериментів вивчено транслокацію амікарбазону, біциклопірону та підіфлуметофену в системі «ґрунт – рослина» (II етап). Визначення вмісту досліджуваних речовин в зеленій масі хлібних зернових та овочевих культур здійснено методом високоєфективної рідинної хроматографії.

Результати. Пороговими концентраціями в ґрунті за транслокаційним показником шкідливості визнано концентрації: амікарбазону – 0,2 мг/кг, біциклопірону – 0,25 мг/кг, підіфлуметофену – 0,12 мг/кг, які формуються в орному шарі ґрунту при внесенні досліджуваних пестицидів відповідно у 4-х, 5-и і 2-х максимальних нормах витрати і при яких вміст речовин у зеленій масі усіх фіто-тестів рослин не перевищить гігієнічно значущий рівень 0,02 мг/кг, 0,02 мг/кг та 0,01 мг/кг відповідно. Порівнюючи результати I та II етапів дослідження, встановлено, що експериментально визначена порогова концентрація у ґрунті амікарбазону співпала із результатом математичного моделювання; біциклопірону – незначно (на 39 %) перевищила розрахунковий результат; підіфлуметофену – виявилася у 2,4 раза вищою за розрахункове значення.

Висновки. Встановлено, що міграція амікарбазону, біциклопірону та підіфлуметофену з ґрунту не переви-

Hygienic assessment of new pesticides translocation in "soil – plant" system

M. M. Korshun, Y. V. Martianova, O. M. Korshun

O. Bohomolets National Medical University, Kyiv

e-mail: ulia.martianova@gmail.com

Summary. Assessment and risk minimization of the harmful effects of pesticides on public health is an important task of preventive medicine. In particular, the study of the migration of new pesticides in the "soil-plant" system is relevant because of the leading role of the oral route of their entry into the human body.

The aim of the work – to establish the translocation patterns from soil to agricultural crops with new pesticides such as triazolone, amicarbazone, triketone, and bicyclopyrone carboxamide fungicide pydiflumetofen.

Materials and Methods. Mathematical modeling of the studied pesticide migration in the "soil-plant" system was carried out using regression equations. They describe the dependence between the maximum permissible concentration (MPC) of a substance in soil and its maximum residue limit (MRL) in food products of plant origin (stage I). The translocation of amicarbazone, bicyclopyrone and pydiflumetofen in the "soil-plant" system was studied in three series of laboratory hygiene experiments (stage II). Content determination of the studied substances in the green mass of bread grains and vegetable crops was carried out by the method of high-performance liquid chromatography (HPLC).

Results. The concentrations of: amicarbazone – 0.2 mg/kg, bicyclopyrone – 0.25 mg/kg, and pydiflumetofen – 0.12 mg/kg were recognized as threshold concentrations in soil according to the translocation indicator of harmfulness. They are formed in soil arable layer when applying the studied pesticides, respectively, in 4, 5, and 2 maximum rates of consumption. At these concentrations, the content of substances in the green mass of all phyto test plants does not exceed the hygienically significant level of 0.02 mg/kg, 0.02 mg/kg, and 0.01 mg/kg, therefore. Comparing the results of the I and II stages of the study, it was established that the experimentally determined threshold concentration of amicarbazone in soil coincided with the result of mathematical modeling; of bicyclopyrone – slightly (by 39 %) exceeded the calculated result; of pydiflumetofen – 2.4 times higher than the calculated value.

Conclusions. It was established that the migration of amicarbazone, bicyclopyrone and pydiflumetofen from the soil will not exceed their hygienically significant level in

щити їх гігієнічно значущий рівень у рослинах при їх вмісті у ґрунті відповідно 0,2 мг/кг; 0,25 мг/кг; 0,12 мг/кг і нижче. Метод математичного моделювання транслокації продемонстрував достатню прогностичну спроможність стосовно усіх 3 досліджуваних пестицидів. Отримані результати використані при обґрунтуванні ГДК амікарбазону, біциклопірону та підіфлуметофену в ґрунті.

Ключові слова: пестициди; фітотоксичність; рослини; ґрунт; міграція; порогова концентрація.

ВСТУП

Потенційна небезпека застосування хімічних засобів захисту рослин (ХЗЗР) у сільському та лісовому господарствах для здоров'я населення та стану довкілля зумовлена як токсичністю їх діючих речовин для теплокровних тварин та інших представників біоти, так і особливостями поведінки у навколишньому середовищі. Оскільки ґрунт є провідною ланкою міграції хімічних речовин у довкіллі, саме персистентність у ґрунті та здатність мігрувати з нього у рослини, підземні води, поверхневі водойми, атмосферне повітря за короткими та довгими ланцюгами зумовлюють опосередкований негативний вплив ксенобіотиків, що забруднюють ґрунт, на організм теплокровних тварин і людини.

Основним шляхом надходження пестицидів в організм людини, яка не має професійного контакту з ХЗЗР, є пероральний із харчовими продуктами рослинного і тваринного походжень (до (70–80) % від добового надходження) та питною водою (до 10 % від добового надходження) [1]. Крім того, серед 93 пестицидів, для яких на сьогодні експериментально при обґрунтуванні гранично допустимої концентрації (ГДК) у ґрунті встановлено лімітуючий показник шкідливості, тобто фактично визначено провідну ланку міграції, у 60 % випадків такою виявилась система «ґрунт – рослина», в 23 % випадків – «ґрунт – вода», у 9 % випадків – обидві зазначені системи [2]. Тобто міграція у системі «ґрунт – рослина» є надзвичайно важливою для оцінки ризиків шкідливого впливу пестицидів на здоров'я населення, особливо для високостійких у ґрунті речовин, які здатні зберігатися до наступного вегетаційного сезону, накопичуватися (депонуватися) у ґрунті та мігрувати з нього у культури сівозміни. Саме цими обставинами була зумовлена мета нашого дослідження.

Метою дослідження було встановити закономірності транслокації з ґрунту в сільськогосподарські культури нових пестицидів: триазолонового гербіциду амікарбазону, трикетонного гербіциду біциклопірону та карбоксамідного фунгіциду підіфлуметофену.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Вибір пестицидів для дослідження був зумовлений тим, що вони є доволі стабільними у ґрунті

plants when their content in soil is accordingly 0.2 mg/kg; 0.25 mg/kg; 0.12 mg/kg and below. The method of mathematical modeling of translocation demonstrated sufficient prognostic ability concerning all 3 researched pesticides. The obtained results were used in the substantiation of MPCs of amicarbazone, bicyclopyrone and pydiflumetofen in soil.

Key words: pesticides; phytotoxicity; plants; soil; migration; threshold concentration.

та належать до різних хімічних класів і груп за механізмом дії на цільовий об'єкт.

Так, амікарбазон за стабільністю у ґрунті є стійким, підіфлуметофен – високостійким як в лабораторних, так і в натурних умовах; біциклопірон – високостійким у лабораторних експериментах та помірно стійким – у польових дослідах [3]. Зокрема, період напіврозпаду підіфлуметофену в різних типах ґрунтів коливається у межах (84–4170) діб в лабораторних та (29–8540) діб у польових дослідженнях [3], що робить цілком ймовірним надходження зазначеної речовини з ґрунту в рослини сівозміни в наступному вегетаційному сезоні. Останнє було підтверджено за результатами низки експериментів [4].

За механізмом дії на шкідливі рослини амікарбазон належить до інгібіторів фотосинтезу, біциклопірон – до інгібіторів 4-гідроксифенілпіруват-діоксигенази. Обидва гербіциди та препарати на їх основі рекомендовані для захисту посівів кукурудзи, оскільки є фітотоксичними для багатьох інших сільськогосподарських культур [5, 6]. Фунгіциди на основі підіфлуметофену – інгібітора сукцинат-дегідрогенази фітопатогенів – рекомендовані для захисту багатьох культур: зернових, зернобобових, овочевих і плодових.

На I етапі досліджень було проведено математичне моделювання міграції пестицидів, що вивчались, в системі «ґрунт – рослина» з використанням рівнянь регресії, запропонованих в [7–9]. Зазначені рівняння описують залежність між ГДК речовини у ґрунті та її максимально допустимим рівнем (МДР) в продуктах харчування рослинного походження (табл. 1). Оскільки ГДК пестициду в ґрунті за лімітуючим транслокаційним показником шкідливості чисельно дорівнює пороговій концентрації, при якій міграція речовини в товарній частині рослин не перевищує МДР [10], то зазначені рівняння можна використовувати як регресійні моделі процесу міграції з ґрунту в рослини для розрахункового обґрунтування орієнтовної порогової концентрації пестициду в ґрунті за транслокаційним показником шкідливості.

На II етапі досліджень були проведені 3 серії лабораторних гігієнічних експериментів із вивчення поведінки досліджуваних пестицидів у системі «ґрунт

Таблиця 1. Формули та результати розрахунків орієнтовно допустимих концентрацій досліджуваних речовин у ґрунті

Формула	Джерело інформації	Амікарбазон	Біциклопірон	Підіфлуметофен
$Y = 1,23 + 0,48 \lg \text{МДР}$ (1)	[7]	0,41	0,41	0,27
$Y = 1,15 + 0,76 \lg \text{МДР}$ (2)	[8]	-0,14	-0,14	-0,37
$Y = 0,27 + 0,55 \text{МДР}$ (3)	[9]	0,28	0,28	0,28
$Y = 1,11 + 0,53 \lg \text{МДР}$ (4)	[9]	0,21	0,21	0,05
$Y = 1,29 \times \sqrt{\text{МДР}}$ (5)	[9]	0,18	0,18	0,13

Примітка. Y – ОДК у ґрунті, мг/кг; МДР – мінімальна величина МДР у продуктах харчування: амікарбазону та біциклопірону в зерні кукурудзи – 0,02 мг/кг; підіфлуметофену в капусті, моркві, картоплі, помідорах, огірках, цибулі-ріпі, кавунах – 0,01 мг/кг.

– рослина». Вегетаційні дослідження проводили згідно з [7, 8, 10] у фітокліматичній установці «BINDER» (Німеччина), яка дозволяє в автоматичному режимі моделювати добові коливання рівнів інсоляції, температури та вологості повітря.

Вегетаційні ємності завантажували чорноземом вилуженим. В день закладки досліду в ґрунт вносили і рівномірно розподіляли речовину в кількостях, що дозволили створити відповідні вихідні концентрації (табл. 2).

Контролем були рослини, які вирощували без внесення досліджуваних речовин. ґрунт зволожували водопровідною дехлорованою водою до 60 % повної вологоємності.

Як фіто-тест рослини були використані хлібні зернові (пшениця, овес, кукурудза – представники родини Злакові) та овочеві (салат – родина Айстрові, редис – родина Капустяні або Хрестоцвіті) культури. Серед них цільовими культурами були пшениця для підіфлуметофену та кукурудза для амікарбазону і біциклопірону. Салат, редис, овес та пшениця (у разі біциклопірону) були обрані як можливі культури сівозміни. Пророщене насіння рослин було посіяне у день закладки досліду. Полив рослин здійснювали на підставі візуальної оцінки стану ґрунту через (1–2) доби водопровідною дехлорованою водою.

Підготовка проб зеленої маси рослин та кількісне визначення методом вискоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ) досліджуваних речовин виконані відповідно до [11–13]. Межа кількісного визначення (МКВ) та межа виявлення (МВ) зазначених методів становили (мг/кг): амікарбазону – 0,02 та 0,007; біциклопірону – 0,02 та 0,006; підіфлуметофену – 0,01 та 0,003 відповідно.

РЕЗУЛЬТАТИ Й ОБГОВОРЕННЯ

Результати математичного моделювання транслокації досліджуваних пестицидів в системі «ґрунт – рослина» (I етап досліджень) наведені в таблиці 1. Значення, які були отримані за рівнянням (2), позбавлені сенсу. Відповідно до принципу агравації – одного з основних принципів гігієни як науки, з 4 інших значень, що отримані за формулами (1), (3) – (5), обрали найменше. Отже, транслокація амікарбазону та біциклопірону в рослини кукурудзи не перевищуватиме 0,02 мг/кг при їх вмісті у ґрунті на рівні 0,18 мг/кг і нижче, транслокація підіфлуметофену в рослині не перевищуватиме 0,01 мг/кг при його вмісті у ґрунті на рівні 0,05 мг/кг і нижче. Орієнтовними пороговими концентраціями у ґрунті за транслокаційним показником шкідливості можна вважати концентрації амікарбазону і біциклопірону – 0,18 мг/кг кожної речовини, підіфлуметофену – 0,05 мг/кг.

У лабораторних експериментах з вивчення міграції в системі «ґрунт – рослина» (II етап) сходи з'явилися одночасно у контрольних вегетаційних ємностях (без внесення речовини у ґрунт) та в усіх варіантах із внесенням досліджуваних пестицидів: у I серії (амікарбазон) – через 3 (кукурудза, редис) і 5 (салат) діб після посіву, в II серії (біциклопірон) – через 2 (салат), 3 (овес) та 4 (кукурудза, пшениця) доби після посіву, у III серії (підіфлуметофен) – через 2 (салат) і 3 (пшениця, овес) доби після посіву. Тобто досліджувані пестициди в усіх початкових концентраціях не гальмували появу сходів фіто-тесту рослин, що збігається з даними літератури. Так, біциклопірон при застосуванні у нормі витрати 1200 г/га не затримував і не пригнічував появу сходів у жодній з одинадцяти видів нецільових культур (4 однодольних і 7 дводольних) [6].

Таблиця 2. Схема експерименту з вивчення транслокації досліджуваних пестицидів із ґрунту в фіто-тестах рослини

Серія	Речовина	Кількість максимальних норм витрати*	Вихідні концентрації у ґрунті, мг/кг	Фіто-тест рослини	Відбір проб, доба після обробки пестицидом
I	Амікарбазон	1, 4 і 10	0,05; 0,2 і 0,5	Кукурудза, салат, редис	20 і 40
II	Біциклопірон	5 і 20	0,25 і 1,0	Кукурудза, салат, овес, пшениця	15 і 30
III	Підіфлуметофен	2 і 20	0,12 і 1,2	Пшениця, овес, салат	20 і 30

Примітка. * – максимальна норма витрати становить: амікарбазону – 0,14 кг/га, біциклопірону – 0,15 кг/га, підіфлуметофену – 0,18 кг/га.

У пробах зеленої маси контрольних фіто-тестів рослин, які зростали без внесення у ґрунт досліджуваних пестицидів, в усі терміни спостереження (табл. 2) амікарбазон, біциклопірон та підфлуметофен не були виявлені методом ВЕРХ при МВ 0,007; 0,006 та 0,003 мг/кг відповідно.

В I серії лабораторних досліджень у перший термін спостереження при обробці чорнозему, вилуженого амікарбазоном, в 1 максимальній нормі витрати (м. н. в.) транслокації гігієнічно значимих кількостей речовини в зелену масу рослин кукурудзи, редису і салату не зареєстровано (табл. 3). При початковій концентрації 0,2 мг/кг, що відповідає 4 м. н. в., кількість амікарбазону лише у зеленій масі кукурудзи становила (0,028±0,003) мг/кг, тоді як у зеленій масі рослин редису і салату була нижчою за МКВ та МВ відповідно. При початковій концентрації 0,5 мг/кг, що відповідає 10 м. н. в., кількість амікарбазону в зеленій масі рослин салату була меншою за МКВ; в зеленій масі кукурудзи і редису – перевищувала гігієнічно значиму величину 0,02 мг/кг в 1,85 і 1,45 рази.

У жодній пробі зеленої маси усіх фіто-тестів рослин, які були зібрані через 40 днів після посіву, речовина не була виявлена методом ВЕРХ з МВ 0,007 мг/кг.

Таким чином, пороговою концентрацією амікарбазону в ґрунті за транслокаційним показником шкідливості можна визнати концентрацію 0,2 мг/кг, при якій через 40 днів вегетації вміст речовини у зеленій масі усіх 3 фіто-тестів рослин не перевищував гігієнічно значиму величину 0,02 мг/кг. Порівнюючи результати I та II етапів дослідження, варто зазна-

чити, що порогова концентрація у ґрунті амікарбазону (0,2 мг/кг), яка була встановлена експериментальним шляхом, співпала із результатом (0,18 мг/кг), який отримали на підставі рівнянь регресії, що засвідчує доволі високу прогностичну спроможність застосованого розрахункового методу.

У II серії лабораторних досліджень біциклопірон в обох початкових концентраціях спричинив значний пригнічуючий ефект на розвиток рослин салату, вівса та пшениці. Це збігається з даними інших авторів щодо фітотоксичності досліджуваної речовини. Зокрема, фітотоксичність була виявлена при досходовій обробці біциклопіроном 11-ти видів наземних нецільових рослин (4 однодольних і 7 сім дводольних), найбільш чутливою з яких виявилась капуста з ER_{50} (за пригніченням біомаси) 16,7 г/га [6].

Оскільки на 7–9-ту доби рослини салату майже припинили розвиток, то на 10-ту – дослід із цієї рослиною було припинено; отримана кількість зеленої маси рослин не дозволила здійснити визначення у ній біциклопірону. Щодо рослин пшениці та вівса, то через 15 днів від початку експерименту здійснили відбір проб зеленої маси цих рослин, після чого експеримент з цими культурами також був припинений. Відбір проб зеленої маси рослин кукурудзи був проведений через 30 днів від початку експерименту.

Результати вивчення транслокації біциклопірону з ґрунту в рослини наведені у таблиці 4.

Встановлено, що при обох початкових концентраціях біциклопірону в ґрунті через 15 днів вегетації у пробах зеленої маси рослин пшениці речовина не була виявлена (табл. 4).

Таблиця 3. Вміст амікарбазону в зеленій масі рослин при вивченні транслокації гербіциду з чорнозему вилуженого через 20 днів після обробки

Культура	Концентрація амікарбазону в рослинах (мг/кг)* залежно від початкового вмісту речовини у ґрунті (мг/кг)			
	0,00	0,05	0,2	0,5
Кукурудза	н. в.	<0,02	0,028±0,003	0,037±0,004
Редис	н. в.	н. в.	<0,02	0,029±0,004
Салат	н. в.	н. в.	н. в.	<0,02

Примітки: 1) * – наведено середні значення з трьох визначень;
2) н. в. – не виявлено при межі виявлення 0,007 мг/кг.

Таблиця 4. Вміст біциклопірону в зеленій масі рослин при вивченні транслокації гербіциду з чорнозему вилуженого

Культура	Концентрація біциклопірону в рослинах* (мг/кг) залежно від початкового вмісту речовини у ґрунті (мг/кг) та терміну спостереження (доба)					
	0,00		0,25		1,0	
	15	30	15	30	15	30
Пшениця	н. в.	–	н. в.	–	н. в.	–
Овес	н. в.	–	<0,02	–	0,067±0,021	–
Кукурудза	–	н. в.	–	<0,02	–	0,078±0,011

Примітки: 1) * – наведено середні значення з трьох визначень;
2) н. в. – не виявлено при МВ 0,006 мг/кг;
3) «–» – визначення не проводили.

Транслокація біциклопірону з чорнозему вилуженого в зелену масу рослин вівса та кукурудзи залежала від початкової концентрації речовини у ґрунті. Так, через 15 діб вегетації при початковій концентрації біциклопірону в ґрунті 0,25 мг/кг, що відповідала 5 м. н. в., вміст речовини у зеленій масі рослин вівса був нижчим за МКВ 0,02 мг/кг; при початковій концентрації 1,0 мг/кг, що відповідала 20 м. н. в., кількість біциклопірону становила $(0,067 \pm 0,021)$ мг/кг і була вищою за гігієнічно значущу в 3,35 раза. Через 30 діб вегетації при початковій концентрації біциклопірону в ґрунті 0,25 мг/кг вміст речовини у зеленій масі рослин кукурудзи був нижчим за МКВ 0,02 мг/кг; при початковій концентрації 1,0 мг/кг кількість біциклопірону становила $(0,078 \pm 0,011)$ мг/кг і була вищою за гігієнічно значущу в 3,9 раза (табл. 4).

Таким чином, пороговою концентрацією біциклопірону в ґрунті за транслокаційним показником шкідливості можна визнати концентрацію 0,25 мг/кг, при якій вміст речовини у зеленій масі усіх 3 фітотестів рослин не перевищував гігієнічно значиму величину 0,02 мг/кг. Порогова концентрація у ґрунті біциклопірону (0,25 мг/кг), яка була визначена за результатами лабораторного експерименту, незначно (лише на 39 %) перевищувала результат (0,18 мг/кг), який був отриманий розрахунковим методом на I етапі дослідження.

Оцінюючи отримані результати, необхідно зазначити, що при досходовому внесенні радіоактивно міченого біциклопірону загальна кількість радіоактивних залишків у листі кукурудзи протягом вегетації (з 28 до 89 доби після обробки) або не збільшувалась, або зростала не більш ніж у 2 рази. Крім того, у незрілих (на 75–79 добу після обробки) та зрілих (на 89 добу після обробки) качанах і зерні кукурудзи загальна кількість радіоактивних залишків була на один порядок нижчою, ніж у листі [14]. Тобто встановлена порогова концентрація біциклопірону в ґрунті 0,25 мг/кг, при якій вміст речовини у зеленій масі рослин кукурудзи на 30 добу не перевищив 0,02 мг/кг, забезпечить дотримання МДР у зерні кукурудзи.

У III серії лабораторних досліджень транслокація підфлуметофену з чорнозему вилуженого

в зелену масу рослин залежала від початкової концентрації речовини у ґрунті, виду рослин та терміну спостереження (табл. 5). Так, при початковій концентрації підфлуметофену в ґрунті 0,12 мг/кг в обидва терміни спостереження вміст речовини у зеленій масі зернових культур був нижчим за МВ 0,003 мг/кг; при початковій концентрації 1,2 мг/кг кількість підфлуметофену була або нижче, або на рівні МКВ 0,01 мг/кг. Значних відмінностей між двома зерновими культурами – пшеницею та вівсом – не виявлено.

Транслокація підфлуметофену в зелену масу рослин салату відбувалась інтенсивніше, ніж у зелену масу зернових культур. При початковій концентрації 0,12 мг/кг, що відповідає 2 м. н. в. (360 г/га), кількість підфлуметофену в зеленій масі рослин салату в обидва терміни спостереження була нижчою за МКВ 0,01 мг/кг, тобто нижчою за МДР. При початковій концентрації у ґрунті 1,2 мг/кг, що відповідає 20 м. н. в., вміст підфлуметофену в зеленій масі рослин салату на 20 і 30 доби спостереження був відповідно у 3,8 і 3,6 раза вищим за гігієнічно значиму величину 0,01 мг/кг. Отримані дані достатньо добре збігаються з даними інших авторів. Зокрема, при транслокації радіоактивно міченого підфлуметофену з супіщаного ґрунту, який був оброблений у нормі витрати 400 г/га, максимальний рівень залишків вихідної речовини у листі салату та листі ріпи становив 0,015 і 0,008 мг/кг відповідно [4].

Отже, пороговою концентрацією підфлуметофену в ґрунті за транслокаційним показником шкідливості можна визнати концентрацію 0,12 мг/кг, при якій вміст речовини у зеленій масі усіх 3-х фітотестів рослин не перевищував гігієнічно значиму величину 0,01 мг/кг. Порівнюючи результати I і II етапів дослідження, варто зазначити, що порогова концентрація у ґрунті підфлуметофену (0,12 мг/кг), яка була обґрунтована експериментальним шляхом, виявилася у 2,4 раза вищою за значення (0,05 мг/кг), яке було отримано на підставі математичного моделювання. Тобто зроблений розрахунковим методом прогноз порогової концентрації підфлуметофену за транслокаційним показником шкідливості виявився надійним з додатковим коефіцієнтом запасу (2,4)

Таблиця 5. Вміст підфлуметофену в зеленій масі рослин при вивченні транслокації фунгіциду з чорнозему вилуженого

Культура	Концентрація підфлуметофену в рослинах* (мг/кг) залежно від початкового вмісту речовини в ґрунті (мг/кг) та терміну спостереження (доба)					
	0,00		0,12		1,2	
	20	30	20	30	20	30
Пшениця	н. в.	н. в.	н. в.	н. в.	<0,01	<0,01
Овес	н. в.	н. в.	н. в.	н. в.	<0,01	0,010±0,003
Салат	н. в.	н. в.	<0,01	<0,01	0,038±0,002	0,036±0,002

Примітки: 1) * – наведено середні значення з трьох визначень;
2) н. в. – не виявлено при МВ 0,003 мг/кг.

відносно експериментально обґрунтованої порогової концентрації.

ВИСНОВКИ

1. Розрахунковий метод визначення орієнтовних порогових концентрацій пестициду в ґрунті за транслокаційним показником шкідливості, який базується на рівняннях регресії, що описують залежність між ГДК речовини у ґрунті та її МДР в продуктах харчування рослинного походження, продемонстрував високу прогностичну спроможність стосовно 3 досліджуваних пестицидів із різних хімічних класів: триазолонового гербіциду амікарбазону, трикетонного гербіциду біциклопірону та карбоксамідного фунгіциду підіфлуметофену.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Marvin J. Levine. Pesticides: A toxic time bomb in our midst. Westport, Connecticut, London, 2007. – 12 p.
2. Методика прогнозування провідної ланки міграції пестицидів у навколишньому середовищі. – К., 2022. – 7 с.
3. Мартіянова Ю. В. Прогнозування ступеню небезпечності забруднення ґрунту, підземних та поверхневих вододжерел пестицидами різних хімічних класів залежно від ґрунтово-кліматичних умов / Ю. В. Мартіянова, М. М. Коршун // Український науковий медичний молодіжний журнал. – 2021. – Т. 124, № 2. – С. 77–88.
4. Public release summary on the evaluation of pydiflumetofen in the product Miravis Fungicide. 2018. P. 58. URL: https://apvma.gov.au/sites/default/files/publication/29011-pydiflumetofen_draft_prs-final_.pdf.
5. Public release summary on the evaluation of the new product Amitron 700WG Herbicide // Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority. – 2018. – P. 46. URL: https://apvma.gov.au/sites/default/files/publication/29506-amitron_700wg_herbicide_prs.pdf.
6. Public release summary on the evaluation of the new active bicyclopyrone in the product Talinor Herbicide. 2017. – P. 62. URL: <https://apvma.gov.au/sites/default/files/publication/26736-prs-bicyclopyrone-talinor-herbicide.pdf> APRIL 201.
7. Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве: МР № 2609–82. – М., 1982. – 57 с.
8. Методические указания по гигиенической оценке новых пестицидов: МУ № 4263–87.[утв. 13.03.87]. – К. : М-во здравоохранения СССР, 1988. – 210 с.

REFERENCES

1. Marvin J. Levine. Pesticides: A toxic time bomb in our midst. Westport, Connecticut, London; 2007.
2. Methodology of predicting the leading link of pesticides migration in the environment. Kyiv. 2022;7. [Information Letter № 13/2 – 2022 on the Innovations in the System of Public Health]. Ukrainian.
3. Martiianova YV, Korshun MM. [Prediction of danger degree of soil contamination, underground and surface

2. Експериментально встановлено, що транслокація амікарбазону та біциклопірону з ґрунту в рослини не перевищує гігієнічно значущий рівень 0,02 мг/кг при їх вмісті у ґрунті відповідно 0,2 мг/кг та 0,25 мг/кг і нижче; транслокація підіфлуметофену в рослини не перевищує 0,01 мг/кг за його вмісту в ґрунті на рівні 0,12 мг/кг і нижче.

3. Пороговими концентраціями у ґрунті за транслокаційним показником шкідливості визнано концентрації амікарбазону 0,2 мг/кг, біциклопірону 0,25 мг/кг та підіфлуметофену 0,12 мг/кг, які формуються в орному шарі ґрунту при внесенні досліджуваних пестицидів відповідно у 4-х, 5-ти і 2-х максимальних нормах витрати. Отримані результати були використані при обґрунтуванні гігієнічного нормативу амікарбазону, біциклопірону та підіфлуметофену в ґрунті.

9. Методика розрахункового гігієнічного нормування пестицидів у ґрунті. – К., 2005. – 2 с.

10. Гончарук Е. И. Гигиеническое нормирование химических веществ в почве : руководство / Е. И. Гончарук, Г. И. Сидоренко. – М. : Медицина, 1986. – 320 с.

11. Методичні вказівки з визначення амікарбазону (як суми амікарбазону та його метаболітів) в зерні кукурудзи методом високоефективної рідинної хроматографії, № 1527–2018 : наказ № 246 від 06.07.2018 р. / О. М. Коршун, А. О. Ліпавська, Ю. В. Мартіянова, Т. В. Руда. – К. : Міністерство екології та природних ресурсів України.

12. Методичні вказівки з визначення біциклопірону в зерні кукурудзи методом високоефективної рідинної хроматографії, № 1743–2021 : наказ № 576 від 06.09.2021 р. / Д. С. Мілохов, О. М. Коршун, А. О. Ліпавська [та ін.]. – К. : Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України.

13. Методичні вказівки з визначення підіфлуметофену (адепідинуTM) в капусті методом високоефективної рідинної хроматографії, № 1709–2020 : наказ № 212 від 27.10.2020 р. / О. М. Коршун, А. О. Ліпавська, Ю. В. Мартіянова [та ін.]. – К. : Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України.

14. Malhat F. M. Bicyclopyrone (295). Central Agricultural Pesticides Laboratory / F. M. Malhat. – Giza, Egypt, 2017. – Vol. 219. – P. URL:http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/Evaluation2017/BICYCLOPYRONE__295_.pdf

water sources by pesticides of different chemical classes depending on soil type and climatic conditions]. *Ukrainskyi naukovyi medychnyi molodizhnyi zhurnal*. 2021;124(2): 77–88. DOI: 10.32345/USMJ.2(124).2021.77–88. Ukrainian.

4. Public release summary on the evaluation of pydiflumetofen in the product Miravis Fungicide. 2018. P. 58. URL: https://apvma.gov.au/sites/default/files/publication/29011-pydiflumetofen_draft_prs-final_.pdf.

5. Public release summary on the evaluation of the new product Amitron 700WG Herbicide // Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority. 2018. URL: https://apvma.gov.au/sites/default/files/publication/29506-amitron_700wg_herbicide_prs.pdf
6. Public release summary on the evaluation of the new active bicyclopyrone in the product Talinor Herbicide. 2017. URL: <https://apvma.gov.au/sites/default/files/publication/26736-prs-bicyclopyrone-talinor-herbicide.pdf> APRIL 201.
7. Methodological recommendations for hygienic substantiation of MPC of chemical substances in soil. MR No. 2609–82. 1982(57):1.
8. Methodical directions on the hygienic assessment of new pesticides: MD No. 4263-87. Kyiv. 1988;210. Russian.
9. Methodology for the calculation hygienic standardization of the pesticides in soil. Kyiv. 2005;2. [Information Letter No. 131-2005 on the Innovations in the System of Public Health/Ukrmedpatentinform]. Ukrainian.
10. Goncharuk EI, Sidorenko GI. Hygienic standardization of the chemical substances in soil: Manual. [Гигиеническое нормирование химических веществ в почве: руководство] Moscow: Meditsina. 1986;320. Russian.
11. Korshun OM, Lipavska AO, Martiianova YV, Ruda TV. Methodological guidelines for the determination of amicarbazone (as the sum of amicarbazone and its metabolites) in corn grain by the method of high performance liquid chromatography, No. 1527-2018. Kyiv: Ministry of Ecology and Nature Resources of Ukraine. Order No. 246 of July 06, 2018. Ukrainian.
12. Milakhov DS, Korshun OM, Lipavska AO, Martiianova YV, Avramchuk AO. Methodological guidelines for the determination of bicyclopyrone in corn grain by the method of high performance liquid chromatography, No. 1743-2021. Kyiv: Ministry of Environmental and Natural Resources Protection, Order No. 576 of September 06, 2021. Ukrainian.
13. Korshun OM, Lipavska AO, Martiianova YV, Yas-trub AM, Avramchuk AO. Methodological guidelines for the determination of pydiflumetofen (adepidyn™) in cabbage by the method of high performance liquid chromatography, № 1709-2020. Kyiv: Ministry of Environmental and Natural Resources Protection, Order No. 212 of October 27, 2020. Ukrainian.
14. Malhat FM. Bicyclopyrone (295). Central Agricultural Pesticides Laboratory. Giza, Egypt, 2017. URL: http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/Evaluation2017/BICYCLOPYRONE_295_.pdf.