

УДК 631,5/633.1

DOI:10.37128/2707-5826-2024-1-14

**ІНТЕНСИВНІСТЬ
НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ
МЕТАЛІВ У ҐРУНТІ ТА ЗЕРНІ
ЗАЛЕЖНО ВІД ПОВТОРНОСТІ
ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ**

О.П. ТКАЧУК, доктор с.-г. наук,
професор
М.І. БОНДАРЕНКО, аспірант,
Вінницький національний аграрний
університет

У більшості господарств, що застосовують інтенсивні технології вирощування сільськогосподарських культур, кукурудза становить 40% у структурі посівних площ. А це у свою чергу може призвести до повторного її вирощування. Насиченість короткоротаційних сівозмін кукурудзою у господарствах понад 30% у три рази перевищує науково-обґрунтовані розрахунки. Тому за такої частки кукурудзи у сівозміні частину її площ висівають повторно на одному і тому самому полі. Кукурудза задовільно переносить повторне вирощування на одному і тому самому полі впродовж трьох-чотирьох років. Але за таких умов для гарантування високих і стабільних урожаїв кукурудзи необхідно збільшувати норми внесення мінеральних добрив та посилити хімічний захист посівів від шкочочинних організмів. Наукові дані вказують, що кукурудза в монокультурі вимагає на 35–55 кг/га більше азоту, ніж та, яку вирощують після кращого попередника. За такого інтенсивного удобрення повторних посівів кукурудзи мінеральними добривами можливе накопичення у зерні токсичних речовин, що містяться у добривах. Великий ризик накопичення важких металів: свинцю, кадмію, міді та цинку, що наявні у мінеральних добривах.

Мета досліджень – вивчити інтенсивність накопичення важких металів у ґрунті та зерні при повторному вирощуванні кукурудзи на одному полі. Лабораторні дослідження проводили у сертифікованій та акредитованій лабораторії Вінницької філії Інституту охорони ґрунтів України ДУ «Держґрунтоохорона». Визначали вміст важких металів у ґрунті та зерні: свинцю, кадмію, міді та цинку. За повторного вирощування кукурудзи для забезпечення високої та сталої урожайності її зерна було підвищено норму мінеральних добрив на 30%: з $N_{45}P_{45}K_{45}$ до $N_{65}P_{65}K_{65}$. За такого підвищення у ґрунті зростає вміст рухомих форм свинцю у 4,2 рази, але зменшується вміст рухомих форм кадмію – на 10%, міді – на 19,6% та цинку – на 23%. У жодному варіанті не було виявлено перевищення гранично-допустимої концентрації важких металів у ґрунті. Нами встановлено, що при повторному вирощуванні кукурудзи на одній ділянці вміст міді, як мікроелемента, зменшився на 19,6%, а цинку – на 23,0%. Саме таке зменшення вмісту мікроелементів у ґрунті вказує на однонаправлене поглинання цих речовин рослинами кукурудзи впродовж двох років вирощування та вимагає компенсації цих елементів у вигляді внесення мікродобрив.

За повторного вирощування кукурудзи вміст свинцю у її зерні зменшився на 8,2%, кадмію – на 14,3%, міді – на 2,0%, цинку – на 24,8%. Встановлено перевищення ГДК свинцю у зерні кукурудзи за одноразового та повторного її вирощування із значенням, відповідно 1,7 ГДК та 1,6 ГДК. За одноразового вирощування кукурудзи коефіцієнт накопичення свинцю та кадмію її зерном відповідно у 4,6 рази та на 4,3% вищий, ніж за дворазового вирощування, цинку – на 2,4%, а міді – навпаки, був вищий за дворазового вирощування кукурудзи на 17,9%. Сумарний показник забруднення важкими металами ґрунту за повторного вирощування кукурудзи був на 16,5% вищий, ніж за одноразового вирощування, але знаходився на безпечному рівні. У зерні повторного вирощування кукурудзи сумарний показник був у 2.2 рази менший, ніж одноразового вирощування.

Ключові слова: кукурудза, повторне вирощування, ґрунт, зерно, забруднення, важкі метали, добрива.

Табл. 5. Літ. 15.

Постановка проблеми. До вторгнення рф в Україну посіви кукурудзи займали перше місце в структурі посівних площ. Прогнозування значного скорочення посівних площ під кукурудзою у 2023 році виправдались лиш частково, без великих змін, порівняно з 2022 роком. За даними Міністерства аграрної політики та продовольства України, у 2023 році кукурудзою було засіяно 4043,5 тис. га проти 4 639,4 тис. га 2022 року [1].

У структурі посівних площ це складає близько 19%. За даними Мінагрополітики, приблизно 24% українських земель через замінування або тимчасову окупацію залишилися не засіяними, що становить майже 7 млн. га. У 2021-2022 посівному році засіяних були 28,6 млн. га [2].

Основними факторами, що сприяли збереженню посівних площ під кукурудзою є високий попит на її зерно та можливість, хоч і з певними перешкодами, експортувати продукцію; адаптація до енергоперебоїв для досушки кукурудзи та інші технічні і технологічні причини. У більшості господарств, що застосовують інтенсивні технології вирощування сільськогосподарських культур, кукурудза становить 40% у структурі посівних площ. А це у свою чергу може призвести до повторного її вирощування [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Насиченість короткоротаційних сівозмін кукурудзою у господарствах понад 30% у три рази перевищує науково-обґрунтовані розрахунки. Тому за такої частки кукурудзи у сівозміні частину її площ висівають повторно на одному і тому самому полі. Кукурудза належить до культур з підвищеними вимогами до поживних речовин та вологи у період від цвітіння до формування зерна [4].

Враховуючи збільшення посівних площ кукурудзи і нестачу необхідних площ під її посів, необхідно зазначити її вимоги до попередників. Кращими попередниками для кукурудзи в сучасних короткоротаційних сівозмінах є зернобобові культури, особливо соя та озима пшениця, задовільними – ранні ярі зернові та кукурудза. Кукурудза задовільно переносить повторне вирощування на одному і тому самому полі впродовж трьох-чотирьох років [5].

Відомо, що повторні посіви кукурудзи зазнають суттєвого погіршення фітосанітарного стану агроєкосистеми через накопичення специфічних збудників хвороб (летюча та пухирчаста сажка), а також шкідників. Проте, у виробничих умовах сьогодні дуже часто зустрічаються посіви кукурудзи два і більше років підряд на одному полі. За такого вирощування кукурудзи особливу увагу необхідно приділити заходам захисту від ураженості хворобами та пошкодження шкідниками [6].

На основі науково-обґрунтованих термінів повернення сільськогосподарських культур на попереднє місце встановлено, що кукурудза може рости повторно. І в цьому випадку вона виступає умовно допустимим попередником для себе. Але за таких умов для гарантування високих і стабільних урожаїв кукурудзи необхідно збільшувати норми внесення мінеральних добрив та посилити хімічний захист посівів від шкочинних організмів [7].

У разі повторних посівів кукурудзи вона знижує свою врожайність, тому прибутковість її вирощування може сильно знижуватися. Кукурудза не належить до культур суворого чергування та необхідності кращих попередників. Тому застосовуючи науково-обґрунтовану агротехніку технології вирощування вона може забезпечити високий урожай не тільки після різних попередників, але й при повторному вирощуванні. Проте є наукові дані, які підтверджують доцільність вирощування кукурудзи після кукурудзи, оскільки за таких умов може накопичуватись достатній запас вологи, навіть більший, ніж після інших попередників [8].

В Україні деякі агропідприємства максимально скорочують сівозміни до кількох найбільш рентабельних культур чи взагалі переходять до вирощування однієї зернової культури – кукурудзи. Наукові дослідження, проведені у США, де кукурудзу вирощують в монокультурі понад 40 років та постійно одержують пристойні врожаї – не менше 12 т/га, показують, що кукурудзу вирощувати без сівозміни складно через певні проблеми, що можуть зумовити зниження урожайності до 30% [9].

Головними чинниками зниження врожайності кукурудзи за її повторного вирощування є більше поширення шкідників, хвороб і бур'янів; порушення водно-повітряного режиму; збіднення поживних речовин у ґрунті, особливо калію, цинку та інших елементів живлення. Наукові дані свідчать, що на чорноземах беззмінне вирощування кукурудзи на одному місці можливе протягом 6-10 років, а на менш родючих – 3-5 років [10].

Наукові дані вказують, що кукурудза в монокультурі вимагає на 35–55 кг/га більше азоту, ніж та, яку вирощують після кращого попередника. Система удобрення кукурудзи ґрунтується на розрахунково-балансовому методі, відповідно до якого 1 т зерна кукурудзи потребує 30 кг азоту, 12 кг фосфору і 30 кг калію. При середніх показниках забезпеченості ґрунту основними елементами живлення приблизна норма мінеральних добрив під кукурудзу становитиме $N_{120-180}P_{60-100}K_{120-180}$ [11].

За такого інтенсивного удобрення повторних посівів кукурудзи мінеральними добривами можливе накопичення у зерні токсичних речовин, що містяться у добривах. Великий ризик накопичення важких металів: свинцю, кадмію, міді та цинку, що наявні у мінеральних добривах [12].

Мета досліджень – вивчити інтенсивність накопичення важких металів у ґрунті та зерні при повторному вирощуванні кукурудзи на одному полі.

Матеріали і методи досліджень. Наші дослідження проводилися впродовж 2022-2023 рр. у ФГ «Мир-Плюс» села Карабелівки Гайсинського району Вінницької області. Ґрунти – чорноземи типові малогумусні середньосуглинкові. Кукурудзу вирощували у сівозміні після попередника пшениці озимої та повторно висівали після кукурудзи на зерно другий рік повторно. Основний обробіток ґрунту передбачав осінню оранку на глибину 25-27 см. Висівали гібрид кукурудзи СІ АРІОСО ТОВ «Сингента». Середньоранній гібрид з ФАО 250, зернового напрямку використання. Включений до державного

реєстру у 2015 році. Гібрид зубовидної кукурудзи з високою стійкістю до посухи, високою урожайністю, відзначається стійкою втратою вологи у насінні під час дозрівання, толерантний до хвороб та вилягання, має підвищений вміст крохмалю. Рекомендований до вирощування у зонах Полісся, Лісостепу та Степу України.

Норма висіву кукурудзи становила 68,0 тис. схожих насінин на га. Сівбу проводили на початку травня. Удобрення повторних посівів кукурудзи складало $N_{65}P_{65}K_{65}$, а при вирощуванні кукурудзи у сівозміні – $N_{45}P_{45}K_{45}$. Використовували мінеральне добриво нітроамофоску. Її вносили розкидним способом перед проведенням допосівної культивації ґрунту. Для боротьби з бур'янами використовували гербіцид Міладар Дуо (д.р. мезотріон+нікосульфурон) – післясходовий гербіцид системної дії для контролю однорічних, багаторічних злакових та дводольних бур'янів у посівах кукурудзи. Проводили обприскування посівів у фазу 5-ти листків кукурудзи у нормі 1,25 л/га з прилипачем Тандем – 0,3 л/га. Витрата робочої рідини становила 200 л/га. Під час вегетації проводили два міжрядні обробітки посівів.

Польові досліді проводили у чотириразовій повторності. Площа облікової ділянки становила 56 м². Лабораторні дослідження проводили у сертифікованій та акредитованій лабораторії Вінницької філії Інституту охорони ґрунтів України ДУ «Держґрунтоохорона». Визначали вміст важких металів у ґрунті: рухомих сполук свинцю – за ДСТУ 4770.9:2007; рухомих сполук кадмію – за ДСТУ 4770.3:2007; рухомих сполук цинку – за ДСТУ 4770.2:2007; рухомих сполук міді – за ДСТУ 4770.6:2007 [13, 14].

У зерні кукурудзи визначали вміст важких металів: свинцю, кадмію, міді та цинку відповідно до ДСТ 30178-963 [15]. Розраховували коефіцієнт небезпеки важких металів у ґрунті як співвідношення вмісту рухомих форм важких металів у ґрунті до граничнодопустимої концентрації цих важких металів у ґрунті. Коефіцієнт небезпеки важких металів у зерні кукурудзи розраховували як співвідношення вмісту важких металів у зерні до граничнодопустимої концентрації цих важких металів у зерні. Визначали коефіцієнт накопичення важких металів у зерні як відношення вмісту важких металів у зерні до вмісту рухомих форм важких металів у ґрунті.

Оскільки ґрунт та зерно кукурудзи забруднені одночасно кількома важкими металами (свинцем, кадмієм, міддю і цинком), то для них розраховувати сумарний показник забрудненості, який враховує комплексний вплив усіх важких металів на екологічний стан ґрунтового середовища та зерна за формулою: $Z_c = (K_{c1} + K_{c2} + K_{c3} + K_{c4}) - (n - 1)$, де: Z_c – сумарний показник забрудненості ґрунту та зерна; K_c – коефіцієнт небезпеки важкого металу; n – кількість врахованих важких металів. Для усіх розрахунків граничних показником є одиниця. При перевищенні значення «один», будь-який коефіцієнт вказує на критичне забруднення ґрунту або зерна.

Виклад основного матеріалу. Повторне вирощування кукурудзи вимагає додаткового внесення мінеральних добрив для гарантування високого урожаю

культури. Для цього при повторному вирощуванні кукурудзи необхідно підвищувати норму мінеральних добрив приблизно до 1,5 рази. Повторне вирощування однієї і тієї ж культури зумовлює однобічне використання з ґрунту поживних речовин. Тому можливе накопичення одних та дефіцит інших елементів, особливо тих, що у більшій кількості використовуються кукурудзою.

Вирощування кукурудзи у сівозміні передбачало внесення комплексного мінерального добрива нітроамофоска у нормі $N_{45}P_{45}K_{45}$. Для кукурудзи це не є висока норма удобрення. При повторному вирощуванні кукурудзи норма комплексного мінерального добрива була збільшена на 30% і склала $N_{65}P_{65}K_{65}$. При постійному внесенні одних і тих же добрив під одну і ту саму культуру на одній і тій же самій ділянці можливе накопичення у ґрунті токсичних речовин, найтипівішими з яких можуть бути важкі метали: свинець, кадмій, мідь, цинк та інші. Але в той же час кукурудза, як високоросла та потужна рослина, що формує велику біомасу, здатна поглинати важкі метали з ґрунту, знижуючи їх вміст у ньому та не викликаючи агроекологічних ризиків.

Фактичний вміст рухомих форм свинцю у ґрунті за одноразового вирощування кукурудзи становив 0,89 мг/кг. За дворазового вирощування кукурудзи на одній ділянці вміст рухомих форм свинцю у ґрунті зріс у 4,2 рази і склав 3,70 мг/кг. При граничнодопустимій концентрації свинцю у ґрунті 6,0 мг/кг, фактичний вміст свинцю у ґрунті одноразового вирощування кукурудзи становив 0,15 ГДК, а за дворазового вирощування кукурудзи – 0,62 ГДК. У обох випадках не було виявлено перевищення граничнодопустимої концентрації рухомих форм свинцю у ґрунті, але за дворазового вирощування кукурудзи ризик підвищення небезпеки зріс у 4,1 рази (табл. 1).

Таблиця 1

Вміст рухомих форм важких металів у ґрунті залежно від повторності вирощування кукурудзи, мг/кг

Важкі метали	Вміст	Повторність вирощування кукурудзи на одному місці	
		один раз	два рази
Свинець	Фактичний	0,89	3,70
	ГДК	6,00	6,00
Кадмій	Фактичний	0,10	0,09
	ГДК	0,70	0,70
Мідь	Фактичний	0,56	0,45
	ГДК	3,00	3,00
Цинк	Фактичний	0,61	0,47
	ГДК	23,0	23,0

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

Фактичний вміст рухомих форм кадмію у ґрунті за одноразового вирощування кукурудзи становив 0,10 мг/кг. За дворазового вирощування кукурудзи на одній ділянці вміст рухомих форм кадмію у ґрунті зменшився на 10% і склав 0,90 мг/кг. При граничнодопустимій концентрації кадмію у ґрунті 0,7 мг/кг, фактичний вміст кадмію у ґрунті одноразового вирощування

кукурудзи становив 0,14 ГДК, а за дворазового вирощування кукурудзи – 0,13 ГДК. У обох випадках не було виявлено перевищення граничнодопустимої концентрації рухомих форм кадмію у ґрунті та відмінностей між одно- і дворазовим вирощуванням кукурудзи не встановлено.

Фактичний вміст рухомих форм міді у ґрунті за одноразового вирощування кукурудзи становив 0,56 мг/кг. За дворазового вирощування кукурудзи на одній ділянці вміст рухомих форм міді у ґрунті зменшився на 19,6% і склав 0,45 мг/кг. При граничнодопустимій концентрації міді у ґрунті 3,0 мг/кг, фактичний вміст міді у ґрунті одноразового вирощування кукурудзи становив 0,19 ГДК, а за дворазового вирощування кукурудзи – 0,15 ГДК. У обох випадках не було виявлено перевищення граничнодопустимої концентрації рухомих форм міді у ґрунті та суттєвої різниці між ними не було виявлено.

Фактичний вміст рухомих форм цинку у ґрунті за одноразового вирощування кукурудзи становив 0,61 мг/кг. За дворазового вирощування кукурудзи на одній ділянці вміст рухомих форм цинку у ґрунті зменшився на 23,0% і склав 0,47 мг/кг. При граничнодопустимій концентрації цинку у ґрунті 23,0 мг/кг, фактичний вміст цинку у ґрунті одноразового вирощування кукурудзи становив 0,03 ГДК, а за дворазового вирощування кукурудзи – 0,02 ГДК. У двох випадках не було виявлено перевищення граничнодопустимої концентрації рухомих форм свинцю у ґрунті з надзвичайно низьким його вмістом.

Мідь і цинк належать до мікроелементів, тобто корисних для рослин речовин. І лише при підвищенні їх вмісту в ґрунті до меж граничнодопустимих концентрацій, ці речовини стають важкими металами та отруюють біоту. Вони використовуються рослинами у низьких концентраціях, але при відсутності поповнення запасів цих речовин, високих потребах рослин у поживних речовинах, зокрема цим і відзначається кукурудза, при повторному її вирощуванні на одній і тій самій ділянці, запаси цих мікроелементів будуть вичерпуватися. Нами встановлено, що при повторному вирощуванні кукурудзи на одній ділянці вміст рухомих форм міді, як мікроелемента, зменшився на 19,6%, а цинку – на 23,0%. Саме таке зменшення вмісту мікроелементів у ґрунті вказує на однонаправлене поглинання цих речовин рослинами кукурудзи.

Свинець і кадмій належать до типових токсикантів – важких металів. Вони не мають корисних властивостей для рослин. Тому рослини їх не потребують. Їх надходження до ґрунту можливе з мінеральними добривами, викидами автотранспорту, сільськогосподарської техніки, промислових підприємств. При повторному вирощуванні кукурудзи основними джерелами надходження свинцю і кадмію до ґрунту є саме зростаючі норми мінеральних добрив, що можуть містити ці речовини у своєму складі. Нами чітко виявлено зростання вмісту рухомих форм свинцю у ґрунті у 4,2 рази за повторного вирощування кукурудзи і зростаючих на 30% норм комплексних мінеральних добрив. Саме таке різке зростання вмісту рухомих форм свинцю у ґрунті може бути зумовлене його наявністю у нітроамофосці, яку вносили на дослідні ділянки.

Щодо кадмію, то нами виявлено зниження на 10% вмісту рухомих форм цього важкого металу за повторного вирощування кукурудзи. Це може бути пояснене або відсутністю кадмію у мінеральному добриві, або поглинанням кадмію рослинами кукурудзи у підвищених концентраціях.

Також нами проведено дослідження вмісту важких металів у зерні кукурудзи, вирощеному на цих ґрунтах. За одноразового вирощування кукурудзи вміст свинцю у її зерні склав 0,85 мг/кг, а за дворазового – зменшився на 8,2% і склав 0,78 мг/кг. При граничнодопустимій концентрації свинцю у зерні кукурудзи 0,50 мг/кг виявлено перевищення допустимого рівня за одноразового вирощування з показником 1,7 ГДК, а за дворазового – 1,6 ГДК (табл. 2).

Таблиця 2

Вміст важких металів у зерні кукурудзи залежно від повторності її вирощування, мг/кг

Важкі метали	Вміст	Повторність вирощування кукурудзи на одному місці	
		один раз	два рази
Свинець	Фактичний	0,85	0,78
	ГДК	0,50	0,50
Кадмій	Фактичний	0,07	0,06
	ГДК	0,10	0,10
Мідь	Фактичний	8,42	8,25
	ГДК	10,00	10,00
Цинк	Фактичний	19,20	14,44
	ГДК	50,00	50,00

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

За одноразового вирощування кукурудзи вміст кадмію у її зерні склав 0,07 мг/кг, а за дворазового – зменшився на 14,3% і склав 0,06 мг/кг. При граничнодопустимій концентрації кадмію у зерні кукурудзи 0,10 мг/кг не виявлено перевищення допустимого рівня за одноразового вирощування з показником 0,7 ГДК, а за дворазового – 0,6 ГДК.

За одноразового вирощування кукурудзи вміст міді у її зерні склав 8,42 мг/кг, а за дворазового – зменшився на 2,0% і склав 8,25 мг/кг. При граничнодопустимій концентрації міді у зерні кукурудзи 10,00 мг/кг не виявлено перевищення допустимого рівня за одноразового та дворазового вирощування з однаковим показником по 0,8 ГДК.

За одноразового вирощування кукурудзи вміст цинку у її зерні склав 19,20 мг/кг, а за дворазового – зменшився на 24,8% і склав 14,44 мг/кг. При граничнодопустимій концентрації цинку у зерні кукурудзи 50,00 мг/кг не виявлено перевищення допустимого рівня за одноразового вирощування з показником 0,4 ГДК, а за дворазового – 0,3 ГДК.

Ми визначали коефіцієнт небезпеки важких металів у зерні та ґрунті залежно від повторності вирощування кукурудзи на одному місці. Коефіцієнт

небезпеки свинцю у ґрунті за одноразового вирощування кукурудзи становив 0,15, а за дворазового вирощування – зріс у 4,1 рази і склав 0,62. Це вказує на вищу небезпеку свинцю у ґрунті за повторного вирощування кукурудзи. Коефіцієнт небезпеки свинцю у зерні кукурудзи за одноразового вирощування становив 1,70, а за дворазового – зменшився на 8,2% і склав 1,56. Перевищення коефіцієнта небезпеки у продукції понад одиницю вказує на неможливість її використання на продовольчі або кормові цілі. Лише технічне використання. Саме за вмістом свинцю у зерні кукурудзи нами виявлено перевищення допустимих меж. Тому таку кукурудзу можна використовувати лише на біопаливо або технічну переробку. Порівняння коефіцієнту небезпеки свинцю у ґрунті та зерні за одноразового вирощування показало, що у зерні коефіцієнт небезпеки у 11,3 рази вищий, ніж у ґрунті, а за дворазового вирощування кукурудзи – у 2,5 рази вищий (табл. 3).

Таблиця 3

Коефіцієнт небезпеки важких металів у ґрунті та зерні залежно від повторності вирощування кукурудзи

Важкі метали	Коефіцієнт небезпеки	Повторність вирощування кукурудзи на одному місці	
		один раз	два рази
Свинець	у ґрунті	0,15	0,62
	у зерні	1,70	1,56
Кадмій	у ґрунті	0,14	0,13
	у зерні	0,70	0,60
Мідь	у ґрунті	0,19	0,15
	у зерні	0,84	0,83
Цинк	у ґрунті	0,03	0,02
	у зерні	0,38	0,29

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

Коефіцієнт небезпеки кадмію у ґрунті за одноразового вирощування кукурудзи становив 0,14, а за дворазового вирощування – зменшився на 7,1% і склав 0,13. Це вказує на вищу небезпеку кадмію у ґрунті за одноразового вирощування кукурудзи порівняно з повторним. Коефіцієнт небезпеки кадмію у зерні кукурудзи за одноразового вирощування становив 0,70, а за дворазового – зменшився на 14,3% і склав 0,70. Порівняння коефіцієнту небезпеки кадмію у ґрунті та зерні за одноразового вирощування показало, що у зерні коефіцієнт небезпеки у 5 разів вищий, ніж у ґрунті, а за дворазового вирощування кукурудзи – у 4,6 рази вищий.

Коефіцієнт небезпеки міді у ґрунті за одноразового вирощування кукурудзи становив 0,19, а за дворазового вирощування – зменшився на 21,1% і склав 0,15. Це вказує на вищу небезпеку міді у ґрунті за одноразового вирощування кукурудзи порівняно з повторним. Коефіцієнт небезпеки міді у зерні кукурудзи за одноразового вирощування становив 0,84, а за дворазового – зменшився на 1,2% і склав 0,83. Порівняння коефіцієнту небезпеки міді у ґрунті

та зерні за одноразового вирощування показало, що у зерні коефіцієнт небезпеки у 4,4 рази вищий, ніж у ґрунті, а за дворазового вирощування кукурудзи – у 5,5 рази вищий.

Коефіцієнт небезпеки цинку у ґрунті за одноразового вирощування кукурудзи становив 0,03, а за дворазового вирощування – зменшився на 33,3% і склав 0,02. Це вказує на вищу небезпеку цинку у ґрунті за одноразового вирощування кукурудзи порівняно з повторним. Коефіцієнт небезпеки цинку у зерні кукурудзи за одноразового вирощування становив 0,38, а за дворазового – зменшився на 23,7% і склав 0,29. Порівняння коефіцієнту небезпеки цинку у ґрунті та зерні за одноразового вирощування показало, що у зерні коефіцієнт небезпеки у 12,7 разів вищий, ніж у ґрунті, а за дворазового вирощування кукурудзи – у 14,5 рази вищий.

Нами встановлено, що найвища небезпека важких металів у ґрунті при повторному вирощуванні кукурудзи спостерігається лише за свинцем. Його небезпека за повторного вирощування кукурудзи у 4,1 рази вища, ніж за одноразового вирощування. Інші важкі метали: кадмій, мідь, цинк у ґрунті були більш небезпечні саме за одноразового вирощування кукурудзи. Їх небезпека була на 7,1-33,3% більша саме за одноразового вирощування, ніж за дворазового.

Коефіцієнт небезпеки зерна кукурудзи за усіма досліджуваними важкими металами був вищий на 1,2-23,7% саме за її одноразового вирощування. Вища небезпека важких металів спостерігається у зерні, порівняно з ґрунтом, особливо за свинцем за одноразового вирощування – в 11,3 рази; за цинком – у 12,7 рази; за кадмієм – у 5 разів, а за міддю – у 4,4 рази. За дворазового вирощування кукурудзи зросла небезпека важких металів у зерні, порівняно з ґрунтом за міддю – на 20%, за цинком – на 12,4%, але зменшилась за свинцем та кадмієм, відповідно у 4,5 рази та на 8%.

Між вмістом рухомих форм важких металів у ґрунті та зерні існує певна залежність, оскільки важкі метали з ґрунту мігрують у зерно. Таке співвідношення називається коефіцієнт накопичення. За одноразового вирощування кукурудзи коефіцієнт накопичення свинцю зерном становив 0,96, а за дворазового – зменшився у 4,6 рази і становив 0,21. За одноразового вирощування кукурудзи коефіцієнт накопичення кадмію зерном становив 0,70, а за дворазового – зменшився на 4,3% і склав 0,67. За одноразового вирощування кукурудзи коефіцієнт накопичення міді зерном становив 15,04, а за дворазового – збільшився на 17,9% і становив 18,33. За одноразового вирощування кукурудзи коефіцієнт накопичення цинку зерном становив 31,48, а за дворазового – зменшився на 2,4% і становив 30,72 (табл. 4).

Таким чином встановлено, що накопичення свинцю і кадмію зерном кукурудзи є нижчим, чим вміст рухомих форм цих елементів у ґрунті. Та за одноразового вирощування кукурудзи коефіцієнт накопичення свинцю та кадмію відповідно у 4,6 рази та на 4,3% вищий, ніж за дворазового вирощування.

Таблиця 4

Коефіцієнт накопичення важких металів у зерні залежно від повторності вирощування кукурудзи, мг/кг

Важкі метали	Повторність вирощування кукурудзи на одному місці	
	один раз	два рази
Свинець	0,96	0,21
Кадмій	0,70	0,67
Мідь	15,04	18,33
Цинк	31,48	30,72

Джерело: сформовано на основі власних досліджень

Накопичення міді і цинку зерном кукурудзи є значно вищим, ніж вміст рухомих форм цих елементів у ґрунті. Тому при повторному вирощуванні кукурудзи саме зниження вмісту у ґрунті рухомих форм міді і цинку, як мікроелементів, може бути надзвичайно критичним для рослин, особливо за міддю, яка накопичується зерном на другий рік вирощування на 17,9% більше, ніж першого року.

Визначальним показником, що оцінює сумарне забруднення ґрунту і зерна усіма досліджуваними видами важких металів є сумарний показник забруднення. Чим більше значення сумарного показника забруднення, тим більша сукупна небезпека від усіх важких металів. Нами встановлено, що сумарний показник забруднення ґрунту за одноразового вирощування кукурудзи був дуже низький – мінус 2,49. За дворазового вирощування кукурудзи сумарний показник забруднення ґрунту важкими металами дещо зріс – на 16,5%, але також був низьким і становив мінус 2,08 (табл. 5).

Таблиця 5

Сумарний показник забруднення важкими металами ґрунту та зерна залежно від повторності вирощування кукурудзи, мг/кг

Сумарний показник забруднення важкими металами	Повторність вирощування кукурудзи на одному місці	
	один раз	два рази
Ґрунту	-2,49	-2,08
Зерна	0,62	0,28

Джерело: власні дослідження

Сумарний показник забруднення зерна кукурудзи усіма важкими металами за одноразового вирощування кукурудзи склав 0,62, а за дворазового – зменшився у 2,2 рази і склав 0,28. Це вказує на існування у рослин певного бар'єру, що обмежує надходження важких металів з ґрунту до рослини при вищих їх концентраціях у ґрунті. Отримані показники менші одиниці, тому сумарної небезпеки від усіх важких металів у зерні немає. Але у зерні сумарна небезпека усіх важких металів значно вища, ніж у ґрунті.

Висновки і перспективи подальших досліджень. За повторного вирощування кукурудзи для забезпечення високої та сталої урожайності її зерна було підвищено норму мінеральних добрив на 30%: з $N_{45}P_{45}K_{45}$ до

$N_{65}P_{65}K_{65}$. За такого підвищення у ґрунті зростає вміст рухомих форм свинцю у 4,2 рази, але зменшується вміст рухомих форм кадмію – на 10%, міді – на 19,6% та цинку – на 23%. У жодному варіанті не було виявлено перевищення граничнодопустимої концентрації важких металів у ґрунті. Нами встановлено, що при повторному вирощуванні кукурудзи на одній ділянці вміст міді, як мікроелемента, зменшився на 19,6%, а цинку – на 23,0%. Саме таке зменшення вмісту мікроелементів у ґрунті вказує на однонаправлене поглинання цих речовин рослинами кукурудзи впродовж двох років вирощування та вимагає компенсації цих елементів у вигляді внесення мікродобрив.

За повторного вирощування кукурудзи вміст свинцю у її зерні зменшився на 8,2%, кадмію – на 14,3%, міді – на 2,0%, цинку – на 24,8%. Встановлено перевищення ГДК свинцю у зерні кукурудзи за одноразового та повторного її вирощування із значенням, відповідно 1,7 ГДК та 1,6 ГДК. За одноразового вирощування кукурудзи коефіцієнт накопичення свинцю та кадмію її зерном відповідно у 4,6 рази та на 4,3% вищий, ніж за дворазового вирощування, цинку – на 2,4%, а міді – навпаки, був вищий за дворазового вирощування кукурудзи на 17,9%. Сумарний показник забруднення важкими металами ґрунту за повторного вирощування кукурудзи був на 16,5% вищий, ніж за одноразового вирощування, але знаходився на безпечному рівні. У зерні повторного вирощування кукурудзи сумарний показник був у 2.2 рази менший, ніж одноразового вирощування.

Список використаних джерел

1. Ткачук О.П., Бондаренко М.І. Екологічна оцінка повторних посівів кукурудзи в Україні. *Сільське господарство та лісівництво*. 2022. № 1 (24). С. 182-191. DOI:10.37128/2707-5826-2022-1-13.
2. Барчукова А., Коваленко О. Кукурудза без стресів. *Пропозиція*. 2013. № 5 (215). С. 74-75.
3. Маслак О.М., Кабанець В.М., Собко М.Г. Кукурудза: технології, нюанси, рекомендації фахівців. Сад: Інститут сільського господарства Північного Сходу, 2020. 48 с.
4. Корнійчук О.В. Повторна сімба кукурудзи в короткоротаційних сівозмінах. Ризики та доцільність. *Агроном*. 2020. URL: <https://www.agronom.com.ua/povtorna-sivba-kukurudzy-v-korotkorotatsijnyh-sivozminah-ryzyky-ta-dotsilnist/> (дата звернення 12.01.2024).
5. Артеменко С. Кукурудза в короткоротаційній сівозміні. *Пропозиція*. 2017. № 1. С. 82-87.
6. Юркевич Є.О. Значення сівозмін у зменшенні негативної дії хвороб і шкідників у посівах зернофуражних культур. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2009. Вип. 50. С. 184-191.
7. Методичні рекомендації щодо оптимального співвідношення сільськогосподарських культур у сівозмінах різних ґрунтово-кліматичних зон України. Затверджено наказом Мінагрополітики, УААН від 18.07.2008 р.

№ 440/71. URL: <https://agro.vobu.ua/1094> (дата звернення 12.01.2024).

8. Цехмейструк М.Г., Музафаров Н.М., Манько К.М. Аспекти вирощування кукурудзи. *Агробізнес сьогодні*. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/436-aspekty-vyuroshchuvannia-kukurudzy.html> (дата звернення 12.01.2024).

9. Воскобойник О.В. Оцінка стабільності врожайності зерна гібридів кукурудзи за різних екофакторів середовища. *Бюлетень Інституту зернового господарства*. 2005. № 26-27. С. 82-86.

10. Лихочвор В.В., Проць Р.Р. Кукурудза: навч.-практ. вид. Львів: Українські технології. 2002. 48 с.

11. Маслак О. Ринок кукурудзи врожаю 2016 року. *Агробізнес сьогодні*. 2016. URL: <http://www.agro-business.com.ua/agro/item/7945-rynok-kukurudzy-vrozhaiu-2016-roku.html> (дата звернення 08.01.2023.).

12. Фурдичко О.І., Демянук О.С. Якість і безпечність сільськогосподарської продукції в контексті продовольчої безпеки України. *Агроекологічний журнал*. 2014. № 1. С. 7-12.

13. ДСТУ 4770.1:2007 – ДСТУ 4770.9:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю (цинку, кадмію, заліза, кобальту, міді, нікелю, хрому, свинцю) в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009.01.01]. К.: Держспоживстандарт України, 2009. 117 с.

14. ДСТУ ISO 10381-2:2004. Якість ґрунту. Частина 2. Настанови з методів відбирання проб. [Чинний від 2006.04.01]. К.: Держспоживстандарт України, 2006. 29 с.

15. Грицаєнко З.М., Грицаєнко А.О., Карпенко В.П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. К.: ЗАТ «Нічлава», 2003. 320 с.

Список використаної літератури у транслітерації / References

1. Tkachuk O.P., Bondarenko M.I. (2022). Ekolohichna otsinka povtornykh posiviv kukurudzy v Ukraini [*Ecological assessment of repeated sowing of corn in Ukraine*]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo – Agriculture and forestry*. № 1 (24). 182-191. DOI:10.37128/2707-5826-2022-1-13 [in Ukrainian].

2. Barchukova A., Kovalenko O. (2013). Kukurudza bez stresiv. [*Corn without stress*]. *Propozytsiya – Offer*. № 5 (215). P. 74-75. [in Ukrainian].

3. Maslak O.M., Kabanets' V.M., Sobko M.H. (2020). Kukurudza: tekhnolohiyi, nyuansy, rekomendatsiyi fakhivtsiv. [*Corn: technologies, nuances, recommendations of specialists*]. Sad: Instytut sil'skoho hospodarstva Pivnichnoho Skhodu. [in Ukrainian].

4. Korniychuk O.V. (2020). Povtorna sivba kukurudzy v korotkorotatsiynnykh sivozminakh. Ryzky ta dotsil'nist' [*Re-sowing of corn in short-rotational crop rotations. Risks and Feasibility*]. *Ahronom – Agronomist*. URL: <https://www.agronom.com.ua/povtorna-sivba-kukurudzy-v-korotkorotatsiynnyh-sivozminah-ryzky-ta-dotsilnist/> (access date 12.01.2024). [in Ukrainian].

5. Artemenko S. (2017). Kukurudza v korotkorotatsiyniy sivozmini [*Maize in short-rotation crop rotation*]. *Propozytsiya – Offer*. № 1. 82-87. [in Ukrainian].
6. Yurkevych YE.O. (2009). Znachennya sivozmin u zmeshenni nehatyvnoyi diyi khvorob i shkidnykiv u posivakh zernofurazhnykh kultur [*The importance of crop rotation in reducing the negative effects of diseases and pests in crops of grain and fodder crops*]. *Ahrarnyy visnyk Prychornomor'ya – Agrarian Herald of the Black Sea Coast*. Issue. 50. 184-191. [in Ukrainian].
7. Metodychni rekomendatsiyi shchodo optimalnoho spivvidnoshennya silskohospodarskykh kultur u sivozminakh riznykh gruntovo-klimatychnykh zon Ukrayiny. [*Methodological recommendations regarding the optimal ratio of agricultural crops in crop rotations of different soil and climatic zones of Ukraine*]. *Zatverdzheno nakazom Minahropolityky, UAAN vid 18.07.2008 r – Approved by order of the Ministry of Agrarian Policy, Ukrainian Academy of Sciences dated 07/18/2008. № 440/71*. [in Ukrainian].
8. Tsekhmeystruk M.H., Muzafarov N.M., Man'ko K.M. Aspekty vyroshchuvannya kukurudzy [*Aspects of growing corn*]. *Ahrobiznes sohodni – Agribusiness today*. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/436-aspekty-vyroshchuvannia-kukurudzy.html> (access date 12.01.2024). [in Ukrainian].
9. Voskoboynyk O.V. (2005). Otsinka stabil'nosti vrozhaynosti zerna hibrydiv kukurudzy za riznykh ekofaktoriv seredovyscha [*Evaluation of the stability of grain yield of hybrids of corn under different ecofactors of the environment*]. *Byuleten Instytutu zernovoho hospodarstva – Bulletin of the Institute of Grain Management*. № 26-27. 82-86. [in Ukrainian].
10. Lykhochvor V.V., Prots R.R. (2002). Kukurudza: navch.-prakt. vyd. [*Maize: educational and practical*]. L'viv: Ukrayin. tekhnolohiyi. [in Ukrainian].
11. Maslak O. (2016). Rynok kukurudzy vrozhayu 2016 roku [*Corn market of the 2016 harvest*]. *Propozytsiya – Offer*. № 21 (340). URL: <http://www.agrobusiness.com.ua/ekonomichnyi-gektar/6636-rynok-kukurudzy-vrozhaiu-2016-roku.html> (application date: 30.07.2023). [in Ukrainian].
12. Furdychko O.I, Demyanyuk O.S. (2014). Yakist i bezpechnist silskohospodarskoyi produktsiyi v konteksti prodovolchoyi bezpeky Ukrayiny. [*Quality and safety of agricultural products in the context of food security of Ukraine*]. *Ahroekolohichnyy zhurnal – Agroecological journal*. № 1. P. 7-12. [in Ukrainian].
13. DSTU 4770.1:2007 – DSTU 4770.9:2007. (2009). Yakist gruntu. Vyznachennya vmistu rukhomykh spoluk marhantsyu (tsynku, kadmiyu, zaliza, kobal'tu, midi, nikelyu, khromu, svyntsyu) v grunti v buferniy amoniyno-atsetatniy vytyazhti z rN 4,8 metodom atomno-absorbtsiynoyi spektrofotometriyi [*DSTU 4770.1:2007 - DSTU 4770.9:2007. Soil quality. Determination of the content of mobile manganese compounds (zinc, cadmium, iron, cobalt, copper, nickel, chromium, lead) in the soil in a buffered ammonium-acetate extract with pH 4.8 by*

the method of atomic absorption spectrophotometry]. [Effective from 01.01.2009]. K.: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny. [in Ukrainian].

14. DSTU ISO 10381-2:2004. (2006). Yakist gruntu. Chastyna 2. Nastanovy z metodiv vidbyrannya prob. [*DSTU ISO 10381-2:2004. Soil quality. Part 2. Guidelines on sampling methods*]. [Effective from 2006.04.01]. K.: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny. [in Ukrainian].

15. Hrytsayenko Z.M., Hrytsayenko A.O., Karpenko V.P. (2003). Metody biolohichnykh ta ahrokhimichnykh doslidzhen roslyn i hruntiv. [*Methods of biological and agrochemical research of plants and soils*]. K.: ZAT «Nichlava». [in Ukrainian].

ANNOTATION

THE INTENSITY OF THE ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN SOIL AND GRAIN DEPENDS ON THE REPETITION OF MAIZE CULTIVATION

In most farms that use intensive crop cultivation technologies, corn makes up 40% of the sown area structure. And this, in turn, can lead to its re-growing. The saturation of short-rotation crop rotations with corn in farms is more than 30%, which is three times higher than scientifically based calculations. Therefore, with such a share of corn in the crop rotation, part of its area is sown again in the same field. Corn tolerates repeated cultivation on the same field for three to four years. But under such conditions, in order to guarantee high and stable corn yields, it is necessary to increase the application rates of mineral fertilizers and strengthen the chemical protection of crops against harmful organisms. Scientific evidence indicates that maize in a monoculture requires 35-55 kg/ha more nitrogen than that grown after a better predecessor. With such intensive fertilization of repeated crops of corn with mineral fertilizers, toxic substances contained in fertilizers may accumulate in the grain. A high risk of accumulation of heavy metals: lead, cadmium, copper and zinc, which are present in mineral fertilizers.

The purpose of the research is to study the intensity of accumulation of heavy metals in the soil and grain during repeated cultivation of corn in the same field. Laboratory studies were carried out in the certified and accredited laboratory of the Vinnytsia branch of the Institute of Soil Protection of Ukraine of the Derzhgruntokhorona State University. The content of heavy metals in soil and grain was determined: lead, cadmium, copper and zinc.

During the repeated cultivation of corn, to ensure a high and stable yield of its grain, the rate of mineral fertilizers was increased by 30%: from $N_{45}P_{45}K_{45}$ to $N_{65}P_{65}K_{65}$. With such an increase, the content of mobile forms of lead in the soil increases by 4.2 times, but the content of mobile forms of cadmium decreases by 10%, copper by 19.6%, and zinc by 23%. Exceeding the maximum allowable concentration of heavy metals in the soil was not detected in any variant. We found that when corn was re-grown on the same plot, the content of copper as a trace element decreased by 19.6%, and zinc by 23.0%. Such a decrease in the content of microelements in the soil indicates the unidirectional absorption of these substances by corn plants during two years of cultivation and requires compensation of these elements in the form of microfertilizers.

During repeated cultivation of corn, the content of lead in its grain decreased by 8.2%, cadmium - by 14.3%, copper - by 2.0%, zinc - by 24.8%. Exceeding the MPC of lead in corn grain during its one-time and repeated cultivation with a value of 1.7 MPC and 1.6 MPC, respectively, was established. During one-time cultivation of corn, the coefficient of accumulation of lead and cadmium in its grain was 4.6 times and 4.3% higher, respectively, than during two-time cultivation, zinc - by 2.4%, and copper - on the contrary, it was higher than during two-time cultivation of corn by 17.9%. The total rate of heavy metal contamination of the soil during repeated cultivation of

corn was 16.5% higher than during one-time cultivation, but was at a safe level. In the grain of repeated cultivation of corn, the total indicator was 2.2 times lower than that of one-time cultivation.

Key words: corn, repeated cultivation, soil, grain, pollution, heavy metals, fertilizers.

Table 5. Lit. 15.

Відомості про авторів

Ткачук Олександр Петрович – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, місто Вінниця, 21008. тел. 0679546095. e-mail: tkachukop@ukr.net).

Бондаренко Михайло Ігорович – аспірант кафедри екології та охорони навколишнього середовища Вінницького національного аграрного університету. (вул. Сонячна, 3, місто Вінниця, 21008. тел. 0978081125. e-mail: bondarenkomikhailo2011@gmail.com).

Tkachuk Oleksandr Petrovich – doctor of agricultural sciences, professor, head of the department of ecology and environmental protection of Vinnytsia National Agrarian University. (Soniachna Str. 3, Vinnitsa city, 21008. tel. 0679546095. e-mail: tkachukop@ukr.net).

Bondarenko Mykhailo Ihorovych – graduate student of the Department of Ecology and Environmental Protection of Vinnytsia National Agrarian University. (Soniachna Str. 3, Vinnytsia, 21008. tel. 0978081125. email: bondarenkomikhailo2011@gmail.com).