

КОНЦЕНТРАЦІЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТІ ПРИ ВИРОЩУВАННІ АМАРАНТУ В УМОВАХ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ

РОМАНЧУК Л.Д. – доктор сільськогосподарських наук, професор

orcid.org/0000-0003-4790-8414

Державний університет «Житомирська політехніка»

КРАВЧУК Т.В. – аспірант

orcid.org/0000-0002-1898-2837

Державний університет «Житомирська політехніка»

Постановка проблеми. Проблема забруднення навколишнього середовища важкими металами постійно загострюється і на даний час набула надзвичайно загрозливих розмірів. Такий рівень забруднення несе серйозну загрозу для життя та здоров'я всіх живих організмів. Саме тому дослідження шляхів нагромадження важких металів у ґрунті та воді а також засобів захисту від них має вагомое значення в умовах значного техногенного навантаження [2,4]. Важкі метали відносять до основних глобальних забруднювачів навколишнього середовища. За хімічною структурою важкі метали відносяться до простих хімічних елементів, проте у навколишньому середовищі та живих організмах поведуть себе неоднозначно: входять до складу ферментів та тканин живих організмів, беруть участь в більшості біологічних процесів, можуть виконувати роль активаторів дії ферментів. Важкі метали мають високу стійкість у навколишньому середовищі. Важкі метали та їхні сполуки здатні до міграції та перерозподілу у середовищі існування [1].

Серед основних небезпечних важких металів вважаються цинк, кадмій, мідь, ртуть та свинець. Досліджено, що дані важкі метали мають здатність включатись в колообіг та мігрувати в живих організмах, де в процесі накопичуються у великих концентраціях, що спричиняє підвищення ризику до різного роду захворювань [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Наукові дослідження для вивчення забруднення ґрунту важкими металами в умовах техногенного забруднення та впливу екологічних та агрохімічних заходів на якість та безпечність продукції на території сільськогосподарських угідь фермерських господарств.

Поводження важких металів у системі ґрунт-рослина характеризується багатьма факторами: вмістом гумусу, рН, рівнем окислювально-відновного потенціалу, мінералогічним і механічним складом, біологічними особливостями рослин, а також концентрацією і формою самих важких металів в ґрунті. Враховуючи різноманітні чинники та їх поєднання в агрономічній сфері, накопичення важких металів в рослинних організмах вивчені недостатньо [3].

Зауважимо, що період напіврозпаду важких металів у ґрунті складає десятки, а то й сотні років. Тому на сьогодні основним завданням багатьох науковців є пошук та вивчення засобів для фітореабілітації ґрунтів [4; 5; 6]. Постійне використання земельного фонду

Житомирської області у сільськогосподарських цілях потребує контролю за станом родючості ґрунтів, ступенем їх еродованості, сольовим режимом ґрунтового середовища, рівнем забруднення важкими металами та пестицидами.

У недалекій перспективі важкі метали можуть стати небезпечнішими, ніж відходи від атомних електростанцій, а також посісти перше місце разом з пестицидами. Останні декілька років забруднення важкими металами довкілля збільшилось у понад 3 рази, а у біологічні цикли живих організмів щорічно надходить $2 \cdot 10^3$ т кадмію та $3 \cdot 10^3$ т свинцю [7].

Забруднення довкілля важкими металами створює серйозні проблеми для ведення безпечного та екологічного використання ґрунтів у сільському господарстві [8].

Мета досліджень. Метою наших досліджень було визначення вмісту важких металів у ґрунті при вирощуванні амаранту в умовах Житомирського Полісся.

Матеріали та методи досліджень. Проведення досліджень щодо визначення вмісту важких металів у ґрунті при вирощуванні амаранту здійснювалося впродовж 2021–2023 рр. на території м. Житомира, Житомирської області.

Культура вирощувалась на 2-х фонах удобрення: без добрив (контроль); $N_{60}P_{60}K_{60}$. Відповідно до схеми досліду вносили рекомендовані норми фосфорно-калійних добрив – азотних добрив – аміачна селітра N – 34,1 %, суперфосфат P_2O_5 – 18,4 %, каліймагnezія K_2O – 40,2 %.

Амарант вирощувався за загальноприйнятими технологіями. Повторність досліду – 6-кратна, розміщення варіантів – систематичне, повторень в один ярус. Загальна площа ділянки 400 м², площа посівної ділянки 4,5 м², облікової 3,5 м².

Відбір зразків ґрунту з дослідних ділянок для визначення важких металів проводився згідно з ДСТУ 4287:2004. Підготовку зразків для подальших спектрометричних досліджень проводили у лабораторних умовах. Визначення важких металів у ґрунті проводили у вимірювальній лабораторії навчально-наукового центру екології та охорони навколишнього середовища Поліського національного університету у буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрометрії згідно з чинними нормативними документами: цинк – 4770.2:2007, кадмій – ДСТУ 4770.3:2007, мідь – ДСТУ 4770.6:2007, свинець – ДСТУ 4770.9:2007.

Результати досліджень. Концентрація важких металів у зонах техногенного забруднення може доходити до тисяч міліграм на 1 кг ґрунту, що перевищує гранично допустимі концентрації у понад 100 разів. Дані території забороняється використовувати у сільському господарстві без попереднього проведення оздоровчих заходів.

Досліджено, що важкі метали в ґрунті можуть знаходитися в різних по рухомості та розчинності формах, а саме: нерозчинні, обмінні, рухомі та розчинні форми [10]. Між ними є не лише тісний зв'язок, а й можливість перетворювати одні форми в інші. Рухомі форми важких металів можуть накопичуватись в ґрунті до високих концентрацій, які обумовлюють їх токсичність як для ґрунтів, так і для рослинних організмів [9].

Основна частина важких металів об'єднується органічною частиною ґрунту – фульвокислотами та гуміновими кислотами. Ґрунти, котрі мають велику кількість органічної речовини, можуть накопичувати значно більше важких металів, ніж бідні на гумус. Тому, постійне надходження важких металів у ґрунт, навіть у максимально малих кількостях на протязі тривалого часу, може призвести до високої концентрації їх у профілі [10].

Ґрунти Полісся з ємністю від 1 до 10 мг-екв./100г ґрунту мають низьку утримуючу здатність, саме тому важкі метали легко вбираються рослинними організмами [9].

Тому, ведення сільського господарства та землеробства на ґрунтах, які забруднені важкими металами є основним із актуальних питань для агроєкологів. Забруднені ґрунти потребують спеціальних засобів для детоксикації ґрунту, що могли б унеможливити надходження важких металів у продукцію рослинництва. Це свідчить, що дослідження негативного впливу важких металів на систему ґрунт-рослина і розроблення заходів для детоксикації ґрунту на сьогоднішній день є дуже важливими [9].

Результати наших досліджень свідчать, що важкі метали накопичувалися у ґрунті незалежно від агрохімічних показників при вирощуванні амаранту та не перевищували показники ГДК (по свинцю – 6,0, кадмію 0,7 мг/кг, міді – 3,0, цинку – 23,0 мг/кг) (табл. 1).

За результатами лабораторних досліджень ґрунту вміст рухомих сполук Pb на дослідних ділянках варіював у межах 2,35–5,55 мг/кг. Доведено, що при вирощуванні

амаранту сортів Кремовий ранній та Стерх на контрольному варіанті (без добрив), вміст свинцю був нижчим, ніж при використанні добрив і варіювала від 2,35 до 3,14 мг/кг. При вирощуванні амаранту із застосуванням добрив, концентрація важких металів у ґрунті досліджуваних ділянок була вищою від контролю на 20,5–57,66 % і знаходився у межах 3,95–5,55 мг/кг, що спричиняє вміст важких металів у мінеральних добривах.

Також спостерігається, що найбільша концентрація Pb була у ґрунтах при вирощуванні амаранту сорту Геліос на контрольному варіанті та сорту Стерх на варіанті із застосуванням мінеральних добрив (5,33 і 5,55 мг/кг – відповідно). Найбільшу різницю по вмісту Pb між варіантами досліджень встановлено при вирощуванні амаранту сорту Стерх – 57,66 %, а найменшу – при вирощуванні сорту Геліос – 15,38 %, відповідно.

Концентрація вмісту Cd у зразках ґрунту дослідних ділянок при вирощуванні амаранту варіювала від 0,281 до 0,601 мг/кг. Досліджено, що найбільшу концентрацію Cd спостерігали у ґрунті при застосуванні мінеральних добрив ($N_{60}P_{60}K_{60}$), де вміст металу був на рівні 0,314–0,601 мг/кг, тоді як у варіантах досліджень без добрив даний показник знаходився на рівні 0,281–0,451 мг/кг. Стосовно вмісту рухомих сполук Cd при вирощуванні амаранту між варіантами удобрення, то найбільша різниця спостерігається при вирощуванні сорту Геліос – 25,29 %. При вирощуванні сортів Кремовий ранній та сорт Стерх відсоток між варіантами складав, відповідно, 10,51 та 11,09 %.

Важкі метали такі як Cu та Zn знаходяться у мінімальних кількостях, виконують роль мікроелементів, які є необхідними для фізіологічних процесів розвитку і росту рослин, тварин, людей. При накопиченні Cu та Zn більше ніж потребує організм вони стають надзвичайно токсичними металами і спричиняють гальмування вказаних процесів.

Лабораторні дослідження свідчать, що Cu у ґрунті дослідних ділянок при вирощуванні амаранту була на низькому рівні забезпеченості (< 0,8 мг/кг) і варіювала від 0,291 до 0,751 мг/кг. Вміст рухомих сполук Cu на контрольному варіанті був на рівні 0,291–0,602 мг/кг, що на 19,84–59,83 % вище показників ґрунту на варіанті із внесенням добрив.

Концентрація Zn у варіанті із внесенням мінеральних добрив був на 13,03; 37,83; 61,83 % вищим при

Таблиця 1

Вміст рухомих сполук важких металів у ґрунті при вирощуванні амаранту (2021–2023 рр.)

Сорт	Варіант удобрення	Важкі метали, мг/кг			
		Pb	Cd	Cu	Zn
Амарант (<i>Amaranthus X Caudatus</i> L.) – сорт Геліос	контроль	5,33	0,449	0,602	8,14
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	4,51	0,601	0,751	9,36
Амарант (<i>Amaranthus X Caudatus</i> L.) – сорт Кремовий ранній	контроль	3,14	0,451	0,707	3,96
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	3,95	0,401	0,459	6,37
Амарант (<i>Amaranthus paniculatus</i> L. X a. <i>Caudatus</i> L.) – сорт Стерх	контроль	2,35	0,281	0,291	2,92
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	5,55	0,314	0,575	7,65
ГДК, мг/кг		6,0	0,7	3,0	23,0
НІР ₀₅		0,04	0,009	0,008	0,06

виращуванні амаранту сортів Геліос, Кремовий ранній та Стерх, порівнюючи із виращуванням культури без застосування добрив.

Висновок. Дослідження вмісту важких металів у ґрунтах є дуже важливим показником екологічного стану території.

Результати досліджень 2021–2023 рр. свідчать, що в ґрунтах дослідних ділянок, на яких виращувалися всі сорти амаранту, концентрація важких металів, а саме рухомих сполук Cd, Pb, Cu та Zn, знаходилися у межах ГДК та мали слабкий рівень забруднення даними елементами.

За результатами лабораторних досліджень ґрунту вміст рухомих сполук Pb на дослідних ділянках варіював у межах 2,35–5,55 мг/кг. Доведено, що при виращуванні амаранту сортів Кремовий ранній та Стерх на контрольному варіанті (без добрив), вміст свинцю був нижчим, ніж при використанні добрив і варіювала від 2,35 до 3,14 мг/кг.

Концентрація вмісту Cd у зразках ґрунту дослідних ділянок при виращуванні амаранту варіювала від 0,281 до 0,601 мг/кг. Досліджено, що найбільшу концентрацію Cd спостерігали у ґрунті при застосуванні мінеральних добрив ($N_{60}P_{60}K_{60}$), де вміст металу був на рівні 0,314–0,601 мг/кг, тоді як у варіантах досліджень без добрив даний показник знаходився на рівні 0,281–0,451 мг/кг.

Важкі метали такі як Cu та Zn знаходяться у мінімальних кількостях, виконують роль мікроелементів, які є необхідними для фізіологічних процесів розвитку і росту рослин, тварин, людей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Надточій П.П., Герасимчук Л.О. Міграція Cu, Zn, Pb, Cd в дерново-підзолистому ґрунті при різних рівнях імпактного поліметалічного забруднення. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. Науково-теоретичний збірник*. 2011. № 2 (29). Т. 1. С. 21–37.
- Крамаров С.М., Красненко С.В., Федорченко Ю.М. Детоксикація важких металів у техногенному забрудненні ґрунту. *К.: Агроекологічний журнал*. червень 2009. С. 166–170.
- Бондарева О.Б., Коноваленко Л.І., Мілігула О.М. Міграція та накопичення свинцю і кадмію у ґрунті і рослинах під впливом добрив. *К.: Агроекологічний журнал*. 2012. № 3. С. 20–23.
- О.Ф. Возіанова, В.Г. Бебешка, Д.А. Базики. Медичні наслідки аварії на Чорнобильській атомній електростанції. Київ: ДІА, 2007. 800 с.
- Славов В.П., Плотко Т.С. Природна резистентність і відтворювальна здатність корів за дії малих доз радіації. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 4. С. 28–33.
- Скачок Л.М., Потапенко Л.В., Горбаченко Н.І. Агроекологічна ефективність елементів технології виращування міскантусу на радіоактивно забруднених ґрунтах. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 9. С. 59–66.
- Романчук Л. Д. Радіоекологічна оцінка формування дозового навантаження у мешканців сільських територій Полісся України: монографія. Житомир: ЖНАЕУ, 2015. 300 с.
- Можарівська І. А. Агроекологічна оцінка виращування енергетичних культур в умовах радіоактивного забруднення Полісся України : автореф. дис. к. с.-г. н.: 03.00.16. м. Житомир, 2020. 26 с.
- Рижук С. М., Слюсар І. Т., Вергунов В. А. Агроекологічні особливості високоефективного використання осушуваних торфових ґрунтів Полісся і Лісостепу. Київ: Аграр. наука, 2002. 136 с.
- Основи землеробства: Підручник / За ред. О.Ф. Смаглія. Житомир: Вид-во ВДНЗ «Державний агро-екологічний університет», 2008. 514 с.

REFERENCES:

- Nadtochy P.P. & Herasymchuk L.O. (2011). Migrants of Cu, Zn, Pb, Cd in dermovo-podzolistomu gruntu pry ryznykh rivnyakh impaktnoho polimetalychnoho zabrudnennya [Migration of Cu, Zn, Pb, Cd in sod-podzolic soil at different levels of impact poly-metallic pollution. Bulletin of the Zhytomyr National Agroecological University. Scientific and theoretical collection]. *Visnyk Zhytomyr'skoho natsional'noho ahroekolohichnoho universytetu. Naukovo-teoretychnyy zbirnyk*. № 2 (29). [in Ukrainian].
- Kramarov S.M. Krasnenko S.V. & Fedorchenko YU.M. (2009) Detoksykatsiya vazhkykh metaliv u tekhnogenomu zabrudnenni gruntu. [Detoxification of heavy metals in man-made soil pollution]. *Ahroekolohichnyy zhurnal*. June, 2009. 166–170. [in Ukrainian].
- Bondareva O.B., Konovalenko L.I. & Milihula O.M. (2012). Migrants of Cu, Zn, Pb, Cd in soil and plants under the influence of fertilizers. *Ahroekolohichnyy zhurnal*. № 3, 20–23. [in Ukrainian].
- Vozianova, O. F., Bebeska, V. H. & Bazyka, D. A. (2007). Medychni naslidky avarii na Chornobylskii atomnii elektrostantsii [Medical consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant]. Kyiv: DIA [in Ukrainian].
- Slavov, V. P. & Plotko, T. S. (2017). Pryrodna rezystentnist i vidtvoriuvalna zdatsnist koriv za dii malykh doz radiatsii [Natural resistance and reproductive capacity of cows under the action of small doses of radiation]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 4, 80. doi: doi.org/10.31073/agrovisnyk201704-05 [in Ukrainian].
- Skachok, L. M., Potapenko, L. V. & Horbachenko, N. I. (2019). Ahroekolohichna efektyvnist elementiv tekhnologii vyroshchuvannya miskantusu na radioaktyvno zabrudnennykh gruntakh [Agroecological efficiency of elements of miscanthus growing technology on radioactively contaminated soils]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 9, 88. doi: doi.org/10.31073/agrovisnyk201909-09 [in Ukrainian].
- Romanchuk, L. D. (2015). Radioekolohichna otsinka formuvannya dozovoho navantazhennia u meshkant-siv silskykh terytorii Polissia Ukrainy [Radio-ecological assessment of the formation of dose load in the inhabitants of rural areas of Polesie of Ukraine]. Zhytomyr: ZhNAEU [in Ukrainian].
- Mozharivska I.A. (2020) Ahroekolohichna otsinka vyroshchuvannya enerhetychnykh kul'tur v umovakh radioaktyvnoho zabrudnennya Polissya Ukrayiny [Agroecological assessment of the cultivation of energy crops in the conditions of radioactive contamination of Polissia of Ukraine]. Zhytomyr: Polis National Universiti [in Ukrainian].

9. Ryzhuk, S. M., Sliusar, I. T. & Verhunov, V. A. (2002) Ahroekolohichni osoblyvosti vysokoefektyvnoho vykorystannia osushuvanykh torfovykh gruntiv Polissia i Lisostepu [Agroecological features of highly efficient use of the drained peat soils of Polissya and Forest-steppe]. Kyiv: *Ahrarna nauka* [in Ukrainian].
10. Smahlii, O. F., Rybak, M. F. & Dankevych, Ye. M. (2008). Osnovy zemlerobstva [Fundamentals of agriculture]. Zhytomyr: Vyd-vo VDNZ "Derzh. ahroekol. univ. [in Ukrainian].

Романчук Л.Д., Кравчук Т.В. Концентрація важких металів у ґрунті при вирощуванні амаранту в умовах Житомирського Полісся

Ведення сільського господарства та землеробства на ґрунтах, які забруднені важкими металами є основним із актуальних питань для агроекологів. Забруднені ґрунти потребують спеціальних засобів для детоксикації ґрунту, що могли б унеможливити надходження важких металів у продукцію рослинництва. Це свідчить, що дослідження негативного впливу важких металів на систему ґрунт-рослина і розроблення заходів для детоксикації ґрунту на сьогоднішній день є дуже важливими.

Серед основних небезпечних важких металів вважаються цинк, кадмій, мідь, ртуть та свинець. Досліджено, що дані важкі метали мають здатність включатись в колообіг та мігрувати в живих організмах, де в процесі накопичуються у великих концентраціях, що спричиняє підвищення ризику до різного роду захворювань.

У недалекій перспективі важкі метали можуть стати небезпечнішими, ніж відходи від атомних електростанцій, а також посісти перше місце разом з пестицидами. Останні декілька років забруднення важкими металами докільця збільшилось у понад 3 рази, а у біологічні цикли живих організмів щорічно надходить $2 \cdot 10^3$ т кадмію та $3 \cdot 10^3$ т свинцю.

Результати досліджень 2021–2023 рр. свідчать, що в ґрунтах дослідних ділянок, на яких вирощувалися всі сорти амаранту, концентрація важких металів, а саме рухомих сполук Cd, Pb, Cu та Zn, знаходилися у межах ГДК та мали слабкий рівень забруднення даними елементами.

За результатами лабораторних досліджень ґрунту вміст рухомих сполук Pb на дослідних ділянках варіював у межах 2,35–5,55 мг/кг. Доведено, що при вирощуванні амаранту сортів Кремовий ранній та Стерх на контрольному варіанті (без добрив), вміст свинцю був нижчим, ніж при використанні добрив і варіювала від 2,35 до 3,14 мг/кг.

Концентрація вмісту Cd у зразках ґрунту дослідних ділянок при вирощуванні амаранту варіювала від 0,281 до 0,601 мг/кг. Досліджено, що найбільшу концентрацію Cd спостерігали у ґрунті при застосуванні мінеральних добрив ($N_{60}P_{60}K_{60}$), де вміст металу був на рівні 0,314–0,601 мг/кг, тоді як у варіантах досліджень без добрив даний показник знаходився на рівні 0,281–0,451 мг/кг.

Важкі метали такі як Cu та Zn знаходяться у мінімальних кількостях, виконують роль мікроелементів, які є необхідними для фізіологічних процесів розвитку і росту рослин, тварин, людей.

Ключові слова: система удобрення, важкі метали, свинець, кадмій, мідь, цинк, марганець, екологічна безпека, мінеральні добрива, продуктивність, врожайність, екологія.

Romanchuk L.D., Kravchuk T.V. Concentration of heavy metals in the soil during the cultivation of amaranth in the conditions of Zhytomyr Polissya

Farming and agriculture on soils contaminated with heavy metals is a major issue for agroecologists. Contaminated soils require special soil detoxification products that could prevent heavy metals from entering crop products. This suggests that research into the negative impact of heavy metals on the soil-plant system and the development of measures for soil detoxification are very important today.

The main hazardous heavy metals are zinc, cadmium, copper, mercury, and lead. It has been shown that these heavy metals have the ability to enter the cycle and migrate in living organisms, where they accumulate in high concentrations, which increases the risk of various diseases.

In the near future, heavy metals may become more dangerous than waste from nuclear power plants and rank first alongside pesticides. Over the past few years, heavy metal pollution in the environment has increased more than 3-fold, with $2 \cdot 10^3$ tons of cadmium and $3 \cdot 10^3$ tons of lead entering the biological cycles of living organisms annually.

The results of the 2021–2023 studies show that the concentration of heavy metals, namely mobile compounds Cd, Pb, Cu, and Zn, in the soils of the experimental plots where all amaranth varieties were grown was within the MPC and had a low level of contamination with these elements.

According to the results of laboratory studies of soil, the content of mobile Pb compounds in the experimental plots varied from 2,35 to 5,55 mg/kg. It was proved that when growing amaranth varieties Creamy early and Sterkh on the control variant (without fertilizers), the lead content was lower than when using fertilizers and ranged from 2,35 to 3,14 mg/kg.

The concentration of Cd in the soil samples of the experimental plots during the cultivation of amaranth varied from 0,281 to 0,601 mg/kg. It was found that the highest concentration of Cd was observed in the soil when applying mineral fertilizers ($N_{60}P_{60}K_{60}$), where the metal content was at the level of 0,314–0,601 mg/kg, while in the variants of research without fertilizers this indicator was at the level of 0,281–0,451 mg/kg.

Heavy metals such as Cu and Zn are present in minimal amounts and play the role of trace elements that are essential for the physiological processes of development and growth of plants, animals, and humans.

Key words: fertilizer system, heavy metals, lead, cadmium, copper, zinc, manganese, environmental safety, mineral fertilizers, productivity, yield, ecology.