

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Агроекологічні основи вирощування картоплі / В.М. Положенець та ін. Київ : Свет. 2008. 196 с.
2. Бондарчук А. А. Наукові основи насінництва картоплі в Україні : монографія. Біла Церква, 2010. 400 с.
3. Теслюк П.С. Цікаве картоплярство: наукові статті. Луцьк : Надстир'я, 2009. 292 с.
4. Недільська У.І. Потенціал ранніх сортів картоплі за продуктивністю та її складовими. *Збірник наукових праць ПДАТУ*. 2014. № 22. С. 35–38.
5. Недільська У.І. Фотосинтетична продуктивність рослин картоплі залежно від сорту. *Збірник наукових праць ПДАТУ*. 2015. № 23. С. 143–149.
6. Ткачук О.О. Екологічна безпека та перспективи застосування регуляторів росту рослин. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2014 № 3 (114). С. 41–44.
7. Ворона Л. І., Ткачук В. П. Технологія вирощування картоплі на основі засобів біологізації в умовах Полісся. *Посібник українського хлібороба : науково-виробничий щорічник*. Харків : ТОВ «АКАДЕМПРЕС». 2010. 296 с.

УДК 631.41.634.17.54

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.2.40>**ВМІСТ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ЗЕРНІ КУКУРУДЗИ
ПРИ УМОВІ ВИРОЩУВАННЯ НА ПОЛІССІ УКРАЇНИ****Пацева І.Г.** – д.т.н.,*професор кафедри екології та природоохоронних технологій,
Державний університет «Житомирська політехніка»***Герасимчук Л.О.** – к.с.-г.н.,*доцент кафедри екології та природоохоронних технологій,
Державний університет «Житомирська політехніка»***Можарівська І.А.** – к.с.-г.н.,*доцент кафедри екології та природоохоронних технологій,
Державний університет «Житомирська політехніка»*

На протязі останніх років забруднення навколишнього природного середовища важкими металами стало одним з пріоритетних загроз для всього живого, включаючи людину, а технічний та економічний прогрес все частіше спричиняють порушення екосистем.

Промисловість активно розвивається, розгалужуються транспортні мережі, розбудовуються житлові комплекси та збільшується кількість транспортних засобів на дорогах, відповідно збільшується кількість автотранспортних комплексів – це все суттєво збільшує ризик зростання вмісту важких металів в системах навколишнього середовища.

Наукові дослідження свідчать, що важкі метали мають здатність накопичуватись на всіх рівнях так званої екологічної піраміди, що поглиблює проблему із забрудненням. Вплив важких металів може мати віддалений ефект: канцерогенний, мутагенний, а також має токсичний вплив на шлунково-кишковий тракт, серцево-судинну та ендокринну систему, репродуктивну систему, підвищує ризик безпліддя як у жінок, так і у чоловіків. Накопичення важких металів в організмі людини, з часом викликає послаблення імунної системи,

та викликає загострення хронічних хвороб. Кожен із важких металів має свої певні особливості, що впливають на організм. Наприклад, отруєння ртуттю викликає ураження в основному нервової системи, нірок, а отруєння кадмієм вражає легені, слизову оболонку носа, шлунково-кишкового тракту.

Проте відмовитись від використання важких металів на даний час практично не можливо, саме тому їх продовжують активно використовувати в більшості сферах промисловості, при цьому займаючи місце глобального забруднювача планети.

Результати лабораторних досліджень свідчать, що найвища концентрація Pb у зерні кукурудзи спостерігались у сортах ДН Славиця (св DN Slavitsa) та сорт Монканто (св Moncanto). Даний показник знаходиться у межах 2,02–3,42 та 1,69–3,12 мг/кг, відповідно. Концентрація Pb у всіх зразках зерна кукурудзи не перевищує показник ГДК -5,0 мг/кг.

Дослідження свідчать про різницю вмісту свинцю за варіантами удобрення. Найвища концентрація токсиканта була відмічена на варіанті з нормою внесення добрив $N_{90}P_{90}K_{120}$ для сортів Монканто (св Moncanto) та ДН Славиця (св DN Slavitsa). Щодо сорту Адевей (св Adeway), то концентрація Pb не перевищує показник ГДК. Результати лабораторних досліджень свідчать, що на варіантах з внесенням мінеральних добрив свинець у зерні кукурудзи, порівняно з контролем, на 32–49 % вище для сортів Адевей (св Adeway) та ДН Славиця (св DN Slavitsa), та не перевищує ГДК.

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

Patseva I.H., Herasymchuk L.O., Mozharivska I.A. Content of heavy metals in maize grain under conditions of cultivation in Polissya of Ukraine

In recent years, environmental pollution by heavy metals has become one of the top threats to all living things, including humans, and technological and economic progress is increasingly causing ecosystem disruption.

Industry is actively developing, transport networks are expanding, residential complexes are being built, and the number of vehicles on the road is increasing, with a corresponding increase in the number of petrol stations – all of which significantly increases the risk of increasing the content of heavy metals in environmental systems.

Scientific studies show that heavy metals have the ability to accumulate at all levels of the so-called ecological pyramid, which exacerbates the problem of pollution. Exposure to heavy metals can have long-term effects: carcinogenic, mutagenic, and toxic to the gastrointestinal tract, cardiovascular and endocrine systems, and reproductive system, and increases the risk of infertility in both women and men. The accumulation of heavy metals in the human body eventually weakens the immune system and causes exacerbation of chronic diseases. Each of the heavy metals has its own specific effects on the body. For example, mercury poisoning causes damage mainly to the nervous system and kidneys, while cadmium poisoning affects the lungs, nasal mucosa, and gastrointestinal tract.

However, it is currently virtually impossible to abandon the use of heavy metals, which is why they continue to be actively used in most industries, while being a global pollutant.

The results of laboratory studies show that the highest concentration of Pb in maize grain was observed in the varieties DN Slavitsa and Moncanto. This indicator is in the range of 2.02–3.42 and 1.69–3.12 mg/kg, respectively. The concentration of Pb in all samples of maize grain does not exceed the Maximum permissible concentration (TLV- Threshold Limit Value) of 5.0 mg/kg.

The research shows a difference in lead content by fertiliser variant. The highest concentration of the toxicant was observed in the variant with the fertiliser rate of $N_{90}P_{90}K_{120}$ for the varieties Moncanto and DN Slavitsa. As for the variety Adeway, the concentration of Pb does not exceed the TLV. The results of laboratory studies show that in the variants with the introduction of mineral fertilisers, lead in maize grain, compared to the control, is 32–49% higher for the varieties Adeway and DN Slavitsa, and does not exceed the TLV.

Key words: *fertiliser system, lead, cadmium, copper, zinc, manganese, environmental safety, mineral fertilisers, productivity, yield, ecology.*

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Елементи що мають відносну атомну масу від 56 і більше, густину понад 5 г/см³, високу токсичність та здатність до біоаккумуляції відносяться до важких металів. Група важких металів

складає понад 40 елементів, надзвичайно небезпечними вважають Pb, Zn, Cu, Mn, Ni, Hg, Cd та Cr. Мікроелементи Zn, Fe, Mn, Mo, Cu та Co також відносять до важких металів за критерієм «відносна атомна маса» [1, с. 117–120; 2, с. 352]. Проте токсична дія цих мікроелементів проявляється лише при перевищенні концентрації у ґрунті та рослинах.

Доведено, що найбільш вразливими до дії важких металів є ріст та розвиток рослин. Матеріалом для проведення дослідження було обрано 3 сорти кукурудзи: сорт Адевей (*cv Adeway*), сорт Монканто (*cv Moncanto*), сорт ДН Славиця (*cv DN Slavitsa*), оскільки вони відносяться до головних сільськогосподарських культур України [3, с. 27]. Кукурудза відноситься до культур з найбільшим виносом і коефіцієнтом засвоєння мікро- та макро-елементів із ґрунту. Її вважають «індикатором» для визначення вмісту мікроелементів у ґрунті. За недостатньої кількості мікроелементів може призупинитись розвиток рослин [4, с. 123].

Втручання та вплив людства на біосферу досить часто викликає незворотні зміни в ній, призводить до порушення рівноваги потоків речовин та енергії в екосистемах, котрі формуються поступово протягом дуже тривалого періоду [5, с. 57–62].

Внаслідок сільськогосподарської діяльності людей вміст важких металів у ґрунті значно зростає. При високому накопиченні важких металів у ґрунті, рослина поглинає їх набагато більше ніж потребує, що призводить до токсичності для них [6, с. 120–128]. Багаторічні дослідження свідчать, що найбільший вплив важкі метали мають на асиміляційні органи рослин, тобто для листків та молодих пагонів (у листках відбувається інтенсивний газообмін). Найважливішу роль у захисті рослини при надлишку важких металів у ґрунті, виконує коренева система [7, с. 262–266; 8, с. 86–93].

Методика досліджень. Дослідження проводились у виробничому досліді у ТОВ «Кароля» Житомирської області, Бердичівського району 2020–2022 рр. Площа облікової ділянки – 200 м² (8 м x 25 м). Розташування ділянок – систематичне, в один ярус, повторення експерименту – шестиразове [9, с. 441; 10, с. 91–94].

Вміст в орному шарі: лужногідролізованого азоту – 6,45 мг/100 г, обмінного калію – 6,02 мг/100 г ґрунту, рухомого фосфору – 17,21 мг/100 г ґрунту, рН – 6,73. Досліджувались три сорти кукурудзи: сорт Адевей, сорт Монканто, сорт ДН Славиця.

Варіанти дослідів: без добрив (контроль), N₃₀P₃₀K₆₀, N₆₀P₆₀K₉₀, N₉₀P₉₀K₁₂₀. Мінеральні добрива: калій магnezія – 40,2 %, аміачна селітра – 34,4 %, суперфосфат простий гранульований – 18,4 %.

Вміст важких металів у зерні кукурудзи визначали атомно-абсорбційним методом на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С115-1М згідно ГОСТу 30178-96 [12, с. 173; 13, с. 18].

Результати досліджень та їх обговорення. Результати лабораторних досліджень зерна кукурудзи сорт Адевей (*cv Adeway*), сорт Монканто (*cv Moncanto*), сорт ДН Славиця (*cv DN Slavitsa*) свідчать, що досліджуванні зразки мають незначне перевищення ГДК по вмісту важких металів (табл. 1).

Результати лабораторних досліджень свідчать, що найвища концентрація Pb у зерні кукурудзи спостерігались у сортах ДН Славиця (*cv DN Slavitsa*) та сорт Монканто (*cv Moncanto*). Даний показник знаходиться у межах 2,02–3,42 та 1,69–3,12 мг/кг, відповідно. Концентрація Pb у всіх зразках зерна кукурудзи не перевищує показник ГДК -5,0 мг/кг.

Таблиця 1

Концентрація важких металів у зерні амаранту

Сорт	Варіант удобрення	Концентрація важких металів, мг/кг			
		Pb	Cd	Cu	Zn
сорт Адевей (<i>cv Adeway</i>)	контроль	1,79	0,031	6,231	45,34
	N ₃₀ P ₃₀ K ₆₀	2,35	0,034	7,153	54,25
	N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	2,54	0,032	7,241	65,34
	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀	2,98	0,037	7,245	65,89
сорт Монканто (<i>cv Moncanto</i>)	контроль	1,69	0,034	8,231	44,87
	N ₃₀ P ₃₀ K ₆₀	2,76	0,045	8,349	45,67
	N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	2,83	0,047	10,287	46,98
	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀	3,12	0,047	11,102	48,87
сорт ДН Славиця (<i>cv DN Slavitsa</i>)	контроль	2,02	0,031	9,352	52,68
	N ₃₀ P ₃₀ K ₆₀	2,21	0,035	11,561	54,87
	N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	3,21	0,035	12,236	55,73
	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀	3,42	0,036	13,278	56,43
ГДК, мг/кг		5,0	0,3	10,0	50,0

Дослідження свідчать про різницю вмісту свинцю за варіантами удобрення. Найвища концентрація токсиканта була відмічена на варіанті з нормою внесення добрив N₉₀P₉₀K₁₂₀ для сортів Монканто (*cv Moncanto*) та ДН Славиця (*cv DN Slavitsa*). Щодо сорту Адевей (*cv Adeway*), то концентрація Pb не перевищує показник ГДК. Результати лабораторних досліджень свідчать, що на варіантах з внесенням мінеральних добрив свинець у зерні кукурудзи, порівняно з контролем, на 32–49 % вища для сортів Адевей (*cv Adeway*) та ДН Славиця (*cv DN Slavitsa*), та не перевищує ГДК.

Вміст Zn у зерні кукурудзи варіював від 44,87 мг/кг до 65,89 мг/кг, а найменший вміст цинку спостерігали у зерні кукурудзи сорту Монканто (*cv Moncanto*) (44,87–48,87 мг/кг), тоді як у сорті Адевей (*cv Adeway*) маємо перевищення ГДК – 65,89 мг/кг. При вирощуванні кукурудзи на варіантах з внесенням мінеральних добрив вміст Zn був на 35–51 % вищим відносно контролю.

Що стосується такого важкого металу як Cu, то його концентрація в зерні кукурудзи, при вирощуванні на Поліссі України, мав невисоке перевищення ГДК і становив 6,231–13,278 мг/кг, відповідно.

Найбільша концентрація Cd була у зерні кукурудзи сорту Монканто (*cv Moncanto*) (0,034–0,047 мг/кг), що не перевищувало ГДК. Найнижчі показники кадмію спостерігались у зерні сорту Адевей (*cv Adeway*) та сорту ДН Славиця (*cv DN Slavitsa*), (0,031–0,037 мг/кг та 0,031–0,036 мг/кг), відповідно.

Перевищення концентрації міді був у зерні кукурудзи сортів Монканто (*cv Moncanto*) та ДН Славиця (*cv DN Slavitsa*), він варіював в межах 8,231–11,102 мг/кг та 9,352–13,278 мг/кг, відповідно. Найнижчий вміст міді спостерігався у сорту Адевей (*cv Adeway*) – від 6,231 мг/кг до 7,245 мг/кг, що значно нижчий за показник ГДК.

Результати лабораторних досліджень вказують, що при вирощуванні різних сортів кукурудзи на дослідних ділянках із внесенням добрив є помітне перевищення

концентрації важких металів у зерні рослин, відносно ГДК. Так, вміст міді перевищував на 10,5 %, а вміст цинку – на 36,23 % для сорту ДН Славиця (*cv DN Slavitsa*) відповідно. Концентрація Zn в сортах Адевей (*cv Adeway*) та Монканто (*cv Moncanto*) не перевищувала показник ГДК на жодній дослідній ділянці.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Дня наукового дослідження вмісту важких металів у зерні кукурудзи було обрано чотири важких метали: Pb, Cd, Cu та Zn. Результати досліджень концентрації важких металів свідчать, що вони мають перевищення показників ГДК, тому є потенційно небезпечними для здоров'я людини, тварини та навколишнього середовища.

Дослідження свідчать про різницю вмісту свинцю за варіантами удобрення. Найвища концентрація токсиканта була відмічена на варіанті з нормою внесення добрив $N_{90}P_{90}K_{120}$ для сортів Монканто (*cv Moncanto*) та ДН Славиця (*cv DN Slavitsa*). Щодо сорту Адевей (*cv Adeway*), то концентрація Pb не перевищує показник ГДК. При вирощуванні кукурудзи на варіантах з внесенням мінеральних добрив вміст Zn був на 35–51 % вищим відносно контролю. Що стосується такого важкого металу як Cu, то його концентрація в зерні кукурудзи, при вирощуванні на Поліссі України, мав невисоке перевищення ГДК і становив 6,231–13,278 мг/кг, відповідно.

Перевищення концентрації міді був у зерні кукурудзи сортів Монканто (*cv Moncanto*) та ДН Славиця (*cv DN Slavitsa*), він варіював в межах 8,231–11,102 мг/кг та 9,352–13,278 мг/кг, відповідно. Найнижчий вміст міді спостерігався у сорту Адевей (*cv Adeway*) – від 6,231 мг/кг до 7,245 мг/кг, що значно нижчий за показник ГДК.

Важкі метали мають здатність накопичуватись у клітинах рослин, тому перед вирощуванням сільськогосподарських рослин, потрібно вносити спеціальні засоби, що очищають ґрунт від важких металів, та не допускають їх накопичення у рослинах. Саме тому, проведення лабораторних досліджень на вміст важких металів та розробка агротехнічних заходів щодо очищення ґрунту є дуже важливими.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Стюрко М.О. Особливості формування схожості насіння кукурудзи. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН*. 2012. № 3. 117–120 с.
2. Станкевич Г.М., Страхова Т.В., Атаназевич В.І. Сушіння зерна : підручник. Київ : Либідь, 1997. 352 с.
3. Методика проведення польових дослідів з кукурудзою : методичні рекомендації / підгот. Е.М. Лебідь, В.С. Циков, Ю.М. Пашенко та ін. Дніпропетровськ, 2008. 27 с.
4. Бенцаровський Д. М., Дацько Л. В. Зміна родючості ґрунтів України під впливом сільськогосподарського використання. *Охорона родючості ґрунтів*. 2004. Вип. 1. 123 с.
5. Гарбар Л. А., Юник А. В., Горбатюк Е. М. Вплив елементів технології вирощування на формування продуктивності ріпаку ярого. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів природокористування України. Сер.: Агрономія*. 2012, Вип. 176. 57–62 с.
6. Волошин І.М., Мезенцева І.В. Вміст свинцю в ґрунтах і рослинах та його вплив на поширення нозокласів. *Вісник Львівського університету. Серія: Географічна*. Львів, 2009. № 37. 120–128 с.
7. Валерко Р.А. Особливості біотестування антропогенно забруднених ґрунтів з метою їх екоотоксичної оцінки. *Вісник Харківського національного аграрного*

університету імені В. Докучаєва. Серія «Грунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів». Харків, 2013. № 2. 262–266 с.

8. Поліщук О.В. Методи лабораторних і польових досліджень флуоресценції хлорофілу. *Український ботанічний журнал*. 2017. Т. 74. № 1. 86–93 с.

9. Капрельянц Л. Функціональні продукти і нутрицевтики – сучасні підходи харчової науки. *Вісник Львівського університету*. Серія біологічна. 2016. Вип. 73. 441 с.

10. Коцур Н.І. Екологічні ризики і здоров'я людини: сучасні проблеми та шляхи розв'язання. *Молодий вчений*. 2016. № 9.1 (36.1). 91–94 с.

11. Рахметов Д. Б. Теоретичні та прикладні аспекти інтродукції рослин в Україні: монографія. Київ : «Аграр Медіа Груп», 2011. 398 с.

12. ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 2004-01-01]. Київ: Держстандарт України, 2003. 173 с. (Інформація та документація).

13. ДСТУ 7670: 2014. Сировина і продукти харчові. Готування проб. Мінералізація для визначення вмісту токсичних речовин. [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2014. 18 с. (Інформація та документація).

14. Романчук Л.Д., Кравчук Т.В. Вміст важких металів у зерні амаранту при вирощуванні в умовах Полісся України. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки. Херсонський державний аграрно-економічний університет*. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2023. Вип. 134. 348–352 с.

15. Вишнівський П.С., Кравчук Т.В. Вміст важких металів у фітомасі амаранту при вирощуванні в умовах Полісся України. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки. Херсонський державний аграрно-економічний університет*. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2022. Вип. 128. 52–57.

16. Пацева І. Г., Кагукіна А.М. Адаптація до зміни клімату міста Житомир. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. Вип. 3 С. 66–72.

17. Пацева І. Г., Кагукіна А.М. Луньова О.В. Тенденції зміни клімату Житомирщини. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 6(51). С. 156–159.