

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет лісового господарства та екології
Кафедра загальної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ГЛАДИЧ НАТАЛІЯ ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 504.054:546.47/.48:546.817(477.42)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ПРОДУКЦІЇ В МЕЖАХ
СЕЛІТЕБНИХ ТЕРИТОРІЙ М. ЖИТОМИР**

Подається на здобуття освітнього ступеня магістра

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Науковий керівник:
Герасимчук Людмила Олександрівна
доцент, к.с.-г.н.

АНОТАЦІЯ

Гладич Н. О. Забруднення важкими металами продукції в межах селітебних територій м. Житомир. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 101 – екологія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

Проведено оцінку забруднення важкими металами продукції в межах селітебних територій м. Житомир. Встановлено, що у десятій частині відібраних зразків спостерігалось перевищення вмісту Cu від 1,1 до 1,8 разів, у 17,5% – за вмістом Pb, у 88% – за вмістом Cd до 26 разів, у четвертій частині – за вмістом Zn у 1,1–5 разів. Найбільший відсоток зразків з перевищенням встановлених норм у рослин петрушки (54%) та кропу (50%). Максимальний внесок у надходження важких металів має картопля (Cu – 52,8%, Zn – 37,4%, Pb – 45,9%, Cd – 38,3%). Загальне значення THQ для Pb та Cd становили 1,421 та 2,083. HI становить 4,6, і вказує, що жителі міста можуть зіткнутися з ризиком для здоров'я, а Pb і Cd є основними елементами, які сприяють цьому. Максимальне порогове значення TCR у 0,0001 було перевищено для Cd через споживання картоплі, моркви столової та буряку столового, що вказує на можливу небезпеку раку для населення, що споживає таку продукцію. Враховуючи, що у дослідженні використовувалися статистичні дані стосовно споживання овочів, аналізувався лише вміст 4 важких металів і лише у 8 овочевих культурах (врахована лише частина овочевої продукції, що споживається населенням), існує ймовірність, що отримані значення ризику можуть відхилятися, як у бік зменшення, так і у сторону збільшення.

Ключові слова: Zn, Cu, Cd, Pb, коефіцієнт небезпечності, цільовий коефіцієнт небезпеки, індекс небезпеки, цільовий коефіцієнт канцерогенного ризику.

SUMMARY

Hladych N. O. Heavy metal pollution of products within the residential areas in Zhytomyr. – Manuscript qualification work.

Qualification work for a master's degree in specialty 101 – ecology. – Polissia National University, Zhytomyr, 2021.

An assessment of heavy metal pollution of products within the residential areas of Zhytomyr was conducted. It was found that in one tenth of the selected samples there was an excess of Cu content from 1.1 to 1.8 times, in 17.5% – in Pb content, in 88% – in Cd content up to 26 times, in the fourth part – in Zn content 1.1–5 times. The highest percentage of samples in excess of the established norms in parsley (54%) and dill (50%). Potatoes have the maximum contribution to the intake of heavy metals (Cu – 52.8%, Zn – 37.4%, Pb – 45.9%, Cd – 38.3%). The total THQ values for Pb and Cd were 1,421 and 2,083. The HI is 4.6, indicating that city residents may face health risks, and Pb and Cd are key elements contributing to this. The maximum TCR threshold of 0.0001 was exceeded for Cd due to the consumption of potatoes, carrots and beets, which indicates a possible risk of cancer for the population consuming such products. Given that the study used statistics on vegetable consumption, analyzed only the content of 4 heavy metals and only 8 vegetable crops (taking into account only part of vegetable products consumed by the population), it is likely that the risk values may deviate, and in the direction of increase.

Key words: Zn, Cu, Cd, Pb, hazard factor, target hazard factor, hazard index, carcinogenic risk target factor

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ВАЖКІ МЕТАЛИ В ОВОЧЕВІЙ ПРОДУКЦІЇ	9
1.1. Джерела надходження та особливості накопичення важких металів овочевою продукцією	9
1.2. Небезпека важких металів та їх вплив на здоров'я	11
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	13
2.1. Програма проведення досліджень	13
2.2. Методика проведення досліджень	14
РОЗДІЛ 3. ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ПРОДУКЦІЇ В МЕЖАХ СЕЛІТЕБНИХ ТЕРИТОРІЙ М. ЖИТОМИР	16
3.1. Розподіл вмісту важких металів у овочевих культурах	16
3.1.1. Мідь	16
3.1.2. Цинк	18
3.1.3. Кадмій	21
3.1.4. Свинець	23
3.2. Коефіцієнти небезпечності вмісту важких металів	25
3.3. Потенційні ризики для здоров'я людини від споживання овочів	27
ВИСНОВКИ	32
ПРОПОЗИЦІЇ	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	35
ДОДАТКИ	40

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. До важких металів належать елементи, які вирізняються високою густиною (до 8 г/см^3) та мають понад 40 а.о.м. Практично всі важкі метали є токсичними, хоча деякі з них у малих кількостях є біологічно необхідними. У будь-якому випадку, список важких металів зазвичай включає As, Pb, Cd, Hg, Cr, Cu, Zn, Ni, Ag та ін [1, 7-9, 15].

Надходження важких металів до організму людини може становити ризик для здоров'я через хронічне накопичення елементів, який може проявлятися як у вигляді окремих розладів, так і вигляді появи онкозахворювань.

Одним з джерел надходження важких металів до організму людини є споживання овочевої продукції, що вирощується на власних земельних ділянках чи купується на місцевих стихійних ринках. Забруднення овочів важкими металами через забруднення ґрунту та атмосфери створює загрозу якості довкілля, екологічній безпеці та здоров'ю людей.

Негативний вплив важких металів на здоров'я людей при споживанні забруднених овочів викликає серйозне занепокоєння у науковій спільності, що відображено у безлічі наукових публікацій за вказаною тематику. Так, публікації висвітлюють специфіку впливу важких металів на поживність овочів (Gashi B. та ін. (2020), Manzoor J. та ін. (2018)), якість продукції, що реалізується на ринках (Ali H.H. та Al-Qahtani K. M. (2012)), проводять оцінку ризику для здоров'я внаслідок споживання продукції з надлишковими кількостями важких металів (Zhou H. та ін. (2016), Bayissa L. D. та Gebeyehu H. R. (2021)). Є наукові роботи, у яких викладені основні особливості окремих важких металів: міді [33], кадмію [14, 17, 18, 23, 34], цинку [2, 19, 32, 40, 41], свинцю [13, 24, 31]. Проблеми надмірної кількості важких металів у овочевій продукції зачіпають дослідників з усіх куточків світу: Саудівської Аравії (Ali H. H. та Al-Qahtani K. M. (2012)), Косово (Gashi B. та ін., 2020), Турції (Turkdogan M. K. та ін., 2002), Ефіопії (Bayissa L. D. та Gebeyehu H. R., 2021), Китаю (Chen

С. та ін., 2011), України (Мислива Т. М., 2011; Герасимчук Л. О. та Валерко Р. А., 2017; Мартенюк Г. М. та ін., 2021) тощо.

Враховуючи сказане, оцінка забруднення важкими металами продукції в межах селітебних територій м. Житомир та оцінка ризику для здоров'я від її споживання є надзвичайно необхідним.

Мета і завдання досліджень. Метою досліджень стала оцінка забруднення важкими металами продукції в межах селітебних територій м. Житомир.

Відповідно до мети, у завдання досліджень увійшли:

- відбір овочевої продукції на території мікрорайону «Крошня» м. Житомир, яка вирощується мешканцями та реалізується на стихійному ринку;
- характеристика розподілу вмісту важких металів в овочевих культурах;
- оцінка забруднення овочів важкими металами за коефіцієнтом небезпечності;
- визначення добового споживання (надходження) металів (EDI) до організму, оцінка потенційних ризиків для здоров'я від накопичення важких металів через споживання овочів за методом цільового коефіцієнта безпеки, індексу безпеки та цільового канцерогенного ризику (TCR).

Об'єкт дослідження – рівень забруднення важкими металами овочевої продукції.

Предмет дослідження – Pb, Cd, Cu, Zn, овочева продукція.

Методи дослідження: аналітичний, польовий, лабораторний, описовий, порівняльний, статистичний, анкетування, графічний і узагальнення.

Наукова новизна одержаних результатів: проведена оцінка забруднення важкими металами овочевої продукції в межах селітебних територій м. Житомир та оцінка неканцерогенного та канцерогенного ризику

для здоров'я від її споживання на основі цільового коефіцієнта небезпеки, індексу небезпеки та цільового коефіцієнта канцерогенного ризику.

Практичне значення. Результати досліджень можуть бути використані Управлінням екології та природних ресурсів, Житомирською міською радою, Житомирським міським управлінням ГУ Держспоживслужби в Житомирській області при наданні консультацій та рекомендацій щодо особливостей ведення городництва та для запобігання загрози здоров'ю мешканців міста.

Апробація результатів дослідження:

- 1) Наукове фахове видання «Екологічні науки» (Категорія «Б», міжнародна наукометрична база Index Copernicus International);
- 2) Магістерські читання – 2021 (10 грудня 2021 р., м. Житомир, Поліський національний університет).

Основні положення, що виносяться на захист:

- у десятій частині відібраних зразків спостерігалось перевищення вмісту Cu від 1,1 до 1,8 разів, у 17,5% - за вмістом Pb, у 88% - за вмістом Cd до 26 разів, у четвертій частині – за вмістом Zn у 1,1 – 5 разів;
- найбільший відсоток зразків з перевищенням встановлених норм у рослин петрушки (54%) та кропу (50%);
- максимальний внесок серед овочевих культур у надходження важких металів має картопля (Cu – 52,8%, Zn – 37,4%, Pb – 45,9%, Cd – 38,3%);
- значення індексу небезпеки на рівні 4,6, і вказує, що жителі міста можуть зіткнутися з ризиком для здоров'я;
- максимальне порогове значення цільового канцерогенного ризику (TCR) у 0,0001 було перевищено для Cd через споживання картоплі, моркви столової та буряку столового, що вказує на можливу небезпеку раку для населення, що споживає таку продукцію.

РОЗДІЛ 1

ВАЖКІ МЕТАЛИ В ОВОЧЕВІЙ ПРОДУКЦІЇ

1.1. Джерела надходження та особливості накопичення важких металів овочевою продукцією

Овочі є життєво важливими в раціоні людини, і, зокрема, забезпечують організм поживними речовинами та вітамінами для підтримки його нормальних фізіологічних функцій [16, 29, 30, 35, 39].

Швидкий і неорганізований розвиток міст, промисловості зумовлюють надходження важких металів у довкілля.

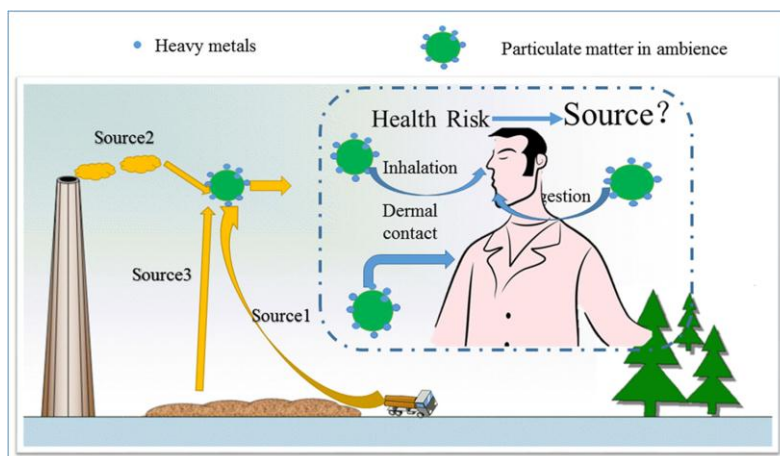


Рис. 1.1. Джерела важких металів та шляхи їх надходження до організму людини [38]

Викиди важких металів від промисловості та транспортних засобів можуть осідати на поверхнях овочів на всіх етапах від їх вирощування до транспортування та продажу. У літературі відмічають підвищений рівень важких металів в овочах, які продаються на стихійних ринках через атмосферні осадження [30]. На поглинання важких металів овочами впливають деякі фактори, такі як клімат, атмосферні осадження, концентрація важких металів у ґрунті, характер ґрунту, на якому вирощуються овочі, та ступінь зрілості рослин під час збирання врожаю [3, 5, 6, 9, 12].

Тривале застосування власниками земельних ділянок великої кількості добрив і пестицидів призвело до накопичення важких металів в ґрунтах. Негативний вплив важких металів при споживанні ними забруднених овочів та їх токсичність викликає серйозне занепокоєння, що відображено у безлічі наукових публікацій за вказаною тематику [1-42].

У даному підрозділі коротко розглянемо особливості вибраних важких металів.

Джерелом міди для довкілля є видобуток корисних копалин, сільське господарство, стічні води, процеси гниття рослин та лісові пожежі [33].

Свинець в низьких кількостях є в земній корі (галеніт), а його поширення в довкіллі є результатом як природної діяльності (вулкани, вивітрювання порід), та і діяльності людини з видобутку, виплавки, переробки свинцю, використання етилованого бензину [13, 24, 31].

Основним джерелом кадмію та свинцю для людини є продукти харчування (за виключенням курців) [13, 14, 17-19 та ін.].

Встановлено, що важкі метали накопичується більше в листових овочах, тому що це листя є точками надходження важких металів з повітря.

Дослідженням Mohamed H. H. та ін. (2012), Мисливої Т. М. (2011), Герасимчук Л. О. та Валерко Р. А. (2017), Мартенюк Г. М. та ін. (2021) встановлено, що в листових овочах важкі метали накопичувалися вище допустимого рівня, вміст цинку коливається між різними видами овочів, підвищений вміст Рb пояснюється інтенсивним рухом транспорту. У праці Zhou H. та ін. (2016) встановлено, що концентрації важких металів знижуються у ряді: листові овочі > коренеплоди/пасльонові > бобові овочі/динні овочі. Тому низькі акумулятори придатні для посадки на забрудненому ґрунті [39].

1.2. небезпека важких металів та їх вплив на здоров'я

Не можна недооцінювати забруднення овочів важкими металами, оскільки ці продукти є важливими компонентами раціону людини, джерелом вітамінів, мінералів і клітковини, мають антиоксидантну дію. Однак вживання овочів, забруднених важкими металами, може становити ризик для здоров'я людини через їх хронічне накопичення у нирках і печінці людини, який може проявлятися як у вигляді окремих розладів, так і вигляді появи онкозахворювань (особливо свинець та кадмій [13, 14, 17-19, 24]). Тривале споживання небезпечних концентрацій важких металів через харчові продукти призводить до порушення численних біохімічних процесів, що призводить до серцево-судинних, нервових, ниркових та кісткових захворювань (ВООЗ). Серед онкозахворювань визначають високу поширеність раку верхніх відділів шлунково-кишкового тракту [35]. Експерти визначають, що найбільш небезпечними представниками металів є миш'як, кадмій, хром, свинець і ртуть [23, 24].

Цинк (як і мідь та залізо) є корисним та необхідним для функціонування організму, адже каталізує понад 100 ферментів, захищає імунну систему, бере роль у синтезі білка та ДНК тощо. Його нестача спричиняє серію порушень в організмі, але й занадто великі кількості цинку призводять до гострої та рідко хронічної токсичності [2, 19, 32, 40, 41].

Мідь також є незамінним елементом для рослин та людини, відіграє роль у створенні червоних кров'яних тілець, підтримці нервових клітин та імунної системи, допомагає утворювати колаген. Проте у надлишку вона може спричинити подразнення слизових оболонок, пошкодження печінки та нирок, хворобу Альцгеймера, при дефіциті – хворобу Менкеса [33].

Кадмій надзвичайно токсичний для нирок і може викликати ниркову недостатність, а також демінералізацію кісток, є й дані щодо ризику раку легенів, сечового міхура, молочної залози [14, 17, 18, 23, 34].

Свинець є надзвичайно токсичним, кумулятивним забруднювачем, є канцерогеном, накопичується переважно в кістках, впливає на нервову,

гематологічну, травну, серцево-судинну та нервову системи. Особливу небезпеку підвищені кількості важких металів несуть для дітей [13, 24, 31]. З а підрахунками Інституту показників та оцінки здоров'я (Institute for Health Metrics and Evaluation, NE, Seattle), що свинець спричинив 1,06 млн смертей [27]. На сайті Consumer Reports відмічено, що ніяка кількість важких металів, таких як свинець, є безпечною [21].

Проаналізувавши літературу з обраної теми встановлено, що є складнощі з встановленням безпечної кількості певного металу, поясненням чого є те, що експертам EPA [36], FDA [37] важко дійти згоди щодо того, що кваліфікується як безпечна кількість для цих елементів. Навіть якби у нас був повний список небезпечних рівнів, нам все одно потрібно знати, скільки насправді міститься важких металів чи інших забруднювачів у їжі, що ми споживаємо.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма проведення досліджень

Програма досліджень, метою якого стала оцінка забруднення важкими металами продукції в межах селітебних територій м. Житомир та оцінка ризику для здоров'я від її споживання, включала:

- опанування методики відбору овочевої продукції в межах селітебних територій;
- відбір овочевої продукції на території мікрорайону «Крошня» м. Житомир, яка вирощується мешканцями та реалізується на стихійному ринку;
- дослідження продукції на вміст важких металів;
- характеристика розподілу вмісту важких металів в овочевих культурах;
- побудова гістограм розподілу частот вмісту важких металів у овочевих культурах;
- опанування методики визначення коефіцієнта небезпечності;
- оцінка забруднення овочів важкими металами за коефіцієнтом небезпечності;
- побудова діаграм коефіцієнтів небезпечності вмісту важких металів у різних овочевих культурах;
- опанування методу цільового коефіцієнта небезпеки (THQ);
- визначення добового споживання (надходження) металів (EDI) до організму;
- оцінка потенційних ризиків для здоров'я від накопичення важких металів через споживання овочів за методом цільового коефіцієнта небезпеки (THQ);
- опанування методики визначення індексу небезпеки (HI);

- розрахунок індексу небезпеки;
- опанування методики визначення цільового канцерогенного ризику (TCR);
- розрахунок цільового канцерогенного ризику (TCR) для Pb та Cd;
- написання висновків та пропозицій.

2.2. Методика проведення досліджень

Для оцінки забруднення важкими металами відбиралася овочева продукція, що вирощується мешканцями мікрорайону «Крошня» м. Житомира, а також продукція, що реалізується місцевими жителями на стихійному ринку за методиками [10, 11]. Саме в цьому мікрорайоні в районі вул. Покровська, 56 та 141 функціонують несанкціоновані місця стихійної торгівлі, де реалізується городина.

Оцінку забруднення овочевої продукції проводили з використанням коефіцієнту небезпечності елемента ($K_{нб}$), що розраховувався як відношення вмісту металу до його ГДК [4].

Оцінка екологічного ризику започаткована стандартизованими методами US EPA (1992) [36]. Ключовими компонентами оцінки ризику є: формулювання проблеми, аналіз та характеристика ризику.

Коефіцієнт небезпеки та індекс небезпеки є дуже важливими при оцінці ризику, і саме ці категорії зазвичай використовує US EPA саме для оцінки ризику для здоров'я [36].

Для оцінки потенційних ризиків для здоров'я від накопичення важких металів через споживання овочів використовувався метод цільового коефіцієнта небезпеки THQ [20]. Для початку, виходячи із середнього вмісту важких металів в окремих овочах та визначеного регулярного їх споживання у грамах, визначене добове споживання металів (EDI) за формулою 2.1:

$$EDI = \frac{E_f \cdot E_D \cdot F_{IR} \cdot C}{B_W \cdot T_A} \cdot 0,001 \quad (2.1)$$

де E_f – строк експозиції (впливу) – 365 днів/рік;

E_D – період експозиції – 65 років;

E_{IR} – добове споживання овочів (розраховане значення, в основі якого кількість споживання певного овоча);

C – вміст важкого металу в овочах;

B_W – маса тіла – 70 кг;

T_A – тривалість впливу – 65 років · 365 днів.

Цільовий коефіцієнт небезпеки (THQ) визначали як відношення середньодобового надходження металу у організм до його референтної дози ($RfD_{Cu} = 0,04$; $RfD_{Pb} = 0,0035$; $RfD_{Cd} = 0,04$; $RfD_{Zn} = 0,3$) за формулою 2.2:

$$THQ = \frac{EDI}{RfD} \quad (2.2)$$

Якщо значення THQ більше 1, то вплив важких металів, ймовірно, спричинить очевидні несприятливі наслідки.

З огляду літературних джерел встановлено, що ризик важких металів для здоров'я від споживання овочів накопичується і називається індексом небезпеки [22, 26]. Індекс небезпеки (HI) важких металів для овочів визначався за сумою значень окремих THQ. Значення HI, що перевищують 1,0, вказує на ймовірний шкідливий вплив на здоров'я, значення на рівні 10,0 і більше, свідчать про серйозний хронічний негативний вплив на здоров'я.

Цільовий канцерогенний ризик (TCR) обчислювався для речовин, які потенційно можуть викликати рак (таким елементами є Pb та Cd).

TCR визначався як добуток щоденного надходження важких металів з овочами на коефіцієнт нахилу ($CPS_{0Pb} = 0,0085$; $CPS_{0Cd} = 0,38$) [28].

РОЗДІЛ 3

ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ПРОДУКЦІЇ В МЕЖАХ СЕЛІТЕБНИХ ТЕРИТОРІЙ М. ЖИТОМИР

3.1. Розподіл вмісту важких металів у овочевих культурах

3.1.1. Мідь

Визначено, що вміст міді у овочевих культурах коливався від 0,15 до 9,21 мг/кг, цинку – від 0,56 до 50,24 мг/кг, свинцю – від 0,04 до 2,15 мг/кг, кадмію – від 0,014 до 0,79 мг/кг.

37% зразків рослин містили Cu від 0,15 до 1 мг/кг, 25% зразків – від 1 до 2 мг/кг, 18% - від 2 до 3 мг/кг, 2% - від 3 до 4 мг/кг, 11% - від 4 до 5 мг/кг, 5% - від 5 до 6 мг/кг, по 2% - від 6 до 7 мг/кг та від 9 до 10 мг/кг (рис. 3.1).

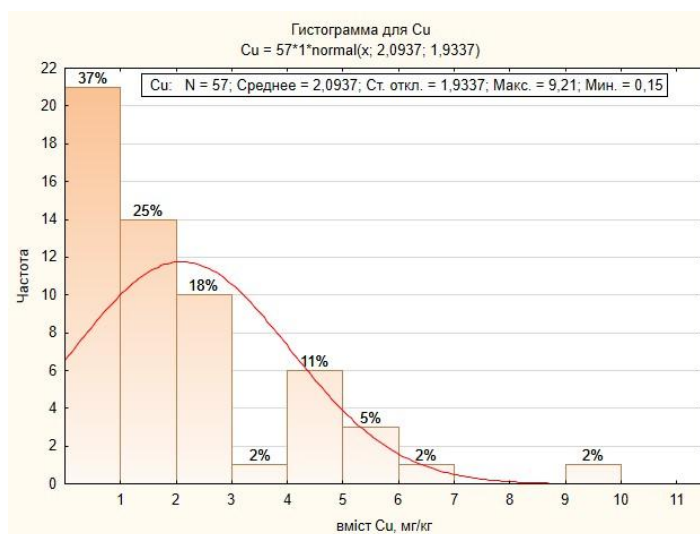


Рис. 3.1. Вміст міді в овочевих культурах

Гістограми розподілу частот вмісту міді у різних овочевих культурах представлено на рис. 3.2. На гістограмах також наведені основні статистичні характеристики: кількість, середнє, відхилення, максимальне та мінімальне значення.

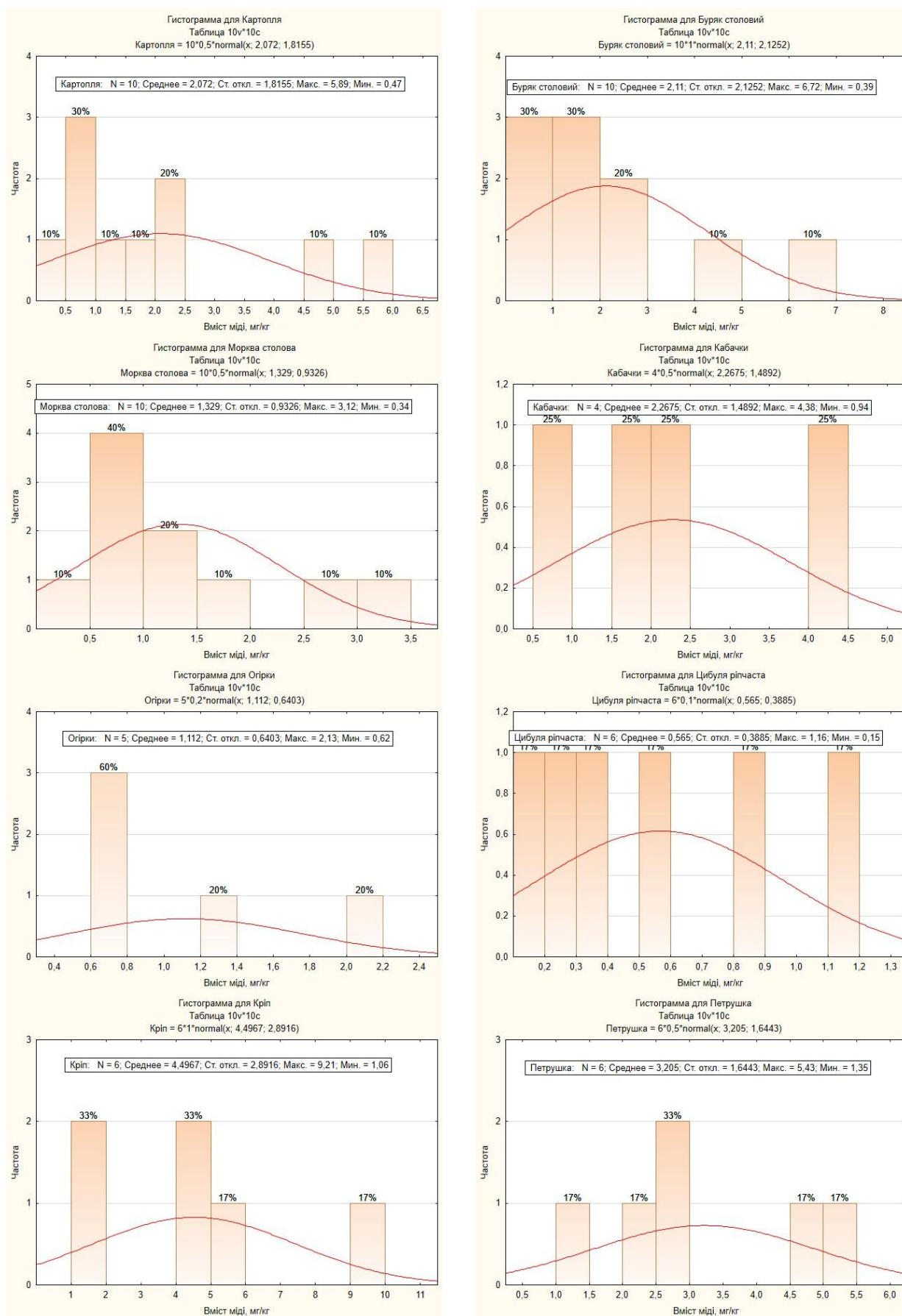


Рис. 3.1. Гістограми розподілу частот вмісту міді у овочевих культурах

Аналізуючи вміст міді в окремих овочах, відмітимо наступні особливості: 30% зразків картоплі містили елементу від 0,5 до 1,0 мг/кг, 20% - від 2 до 2,5 мг/кг, по 10% до 0,5 мг/кг, від 1 до 1,5, від 1,5 до 2,0 та від 4,5 до 5 мг/кг; 60% зразків буряку столового містили Cu до 2 мг/кг, 20% - від 2 до 3 мг/кг, 10% - від 2 до 3 мг/кг; 40% зразків моркви столової містили Cu від 0,5 до 1 мг/кг, 20% - від 1 до 1,5 мг/кг, по 10% - до 0,5 мг/кг, від 1 до 1,5 мг/кг, від 1,5 до 2 мг/кг, від 2,5 до 3 мг/кг та від 3 до 3,5 мг/кг; по 25% зразків кабачків містили Cu від 0,5 до 1 мг/кг, від 1,5 до 2 мг/кг, від 2 до 2,5 мг/кг та від 4 до 4,5 мг/кг; 60% зразків огірків містили Cu від 0,6 до 0,8 мг/кг, по 20% - від 1,2 до 1,4 мг/кг та від 2 до 2,2 мг/кг, по 17% зразків цибулі ріпчастої містили Cu до 0,2 мг/кг, від 0,2 до 0,3 мг/кг, від 0,3 до 0,4 мг/кг, від 0,5 до 0,6 мг/кг, від 0,8 до 0,9 мг/кг, від 1,1 до 1,2 мг/кг; по 33% зразків кропу містили Cu від 1 до 2 мг/кг та від 4 до 5 мг/кг; по 17% зразків петрушки містили Cu від 1 до 1,5 мг/кг, від 2 до 2,5 мг/кг, від 4,5 до 5 мг/кг, 33% зразків – від 2,5 до 3 мг/кг (рис. 3.2)

Перевищення вмісту міді спостерігалось у 10% зразків картоплі (вміст Cu від 5,5 до 6,0 мг/кг), 10% буряка столового (від 6 до 7 мг/кг). У третині зразків кропу виявився підвищений вміст Cu від 5 до 6 та від 9 до 10 мг/кг. У 17% зразків петрушки вміст Cu також знаходився на підвищеному рівні та становив 5 – 5,5 мг/кг (рис. 3.2).

Перевищення вмісту міді у таких овочах, як морква столова, кабачки, огірки та цибуля ріпчаста, не було (рис. 3.2).

3.1.2. Цинк

В загальному вміст цинку в овочах складав від 0,56 до 50,24 мг/кг.

46% зразків рослин містили Zn від 0,05 до 5 мг/кг, 28% зразків – від 5 до 10 мг/кг, 18% - від 10 до 15 мг/кг, 4% - від 15 до 20 мг/кг, по 2% - від 25 до 30 мг/кг, від 40 до 45 мг/кг, від 50 до 55 мг/кг (рис. 3.3).

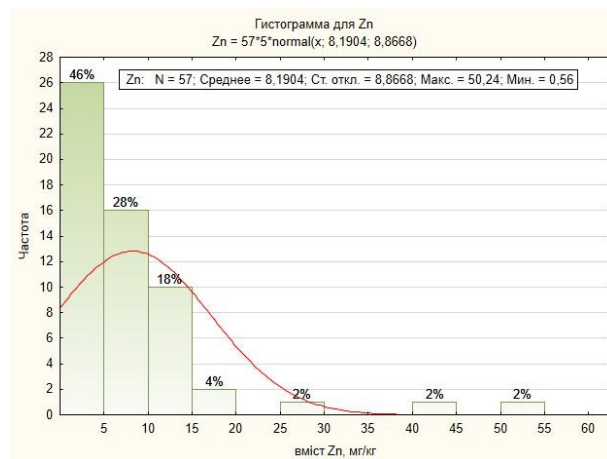


Рис. 3.3. Вміст цинку в овочевих культурах

Розподіл вмісту цинку в окремій овочевій продукції, що представлено на рис. 3.4, також мав певні особливості: по 10% зразків картоплі містили елементу від 1 до 2 мг/кг та від 4 до 5 мг/кг, 40% - від 2 до 3 мг/кг, 20% - від 3 до 4 мг/кг; 40% зразків буряку столового містили Zn від 6 до 8 мг/кг, 30% - від 8 до 10 мг/кг; 40% зразків моркви столової вміщували Zn до 2 мг/кг, по 20% - від 3 до 5 мг/кг та від 6 до 8 мг/кг; 75% зразків кабачків містили Zn від 2 до 4 мг/кг; по 20% зразків огірків характеризувалися вмістом Zn від 1,8 до 2 мг/кг, від 2,2 до 2,4 мг/кг, від 2,8 до 3 мг/кг, від 3 до 3,2 мг/кг та від 3,8 до 4 мг/кг; 67% зразків цибулі ріпчастої містили цинку від 1 до 4 мг/кг, по 17% - від 6 до 7 мг/кг та від 8 до 9 мг/кг; половина зразків кропу та третина зразків петрушки мали вміст цинку від 5 до 10 мг/кг (рис. 3.4).

Перевищення вмісту цинку відмічено у 20% зразків картоплі (вміст Zn знаходився на рівні від 10 до 11 та від 12 до 13 мг/кг), 30% буряку столового (від 12 до 14, від 16 до 18 та від 24 до 26 мг/кг), 20% моркви столової (від 10 до 12 мг/кг), 25% кабачків (від 12 до 13 мг/кг). Найвищими перевищеннями вмісту цинку характеризувалися кріп, 33% зразків якого містили елементу від 10 до 15 мг/кг, а 17% - від 40 до 45 мг/кг, а також петрушка, 33% зразків якої містили його від 10 до 15 мг/кг, по 17% - від 15 до 20 та від 50 до 55 мг/кг (рис. 3.4).

Не відмічено перевищення вмісту цинку лише у огірках та цибулі ріпчастій (рис. 3.4).

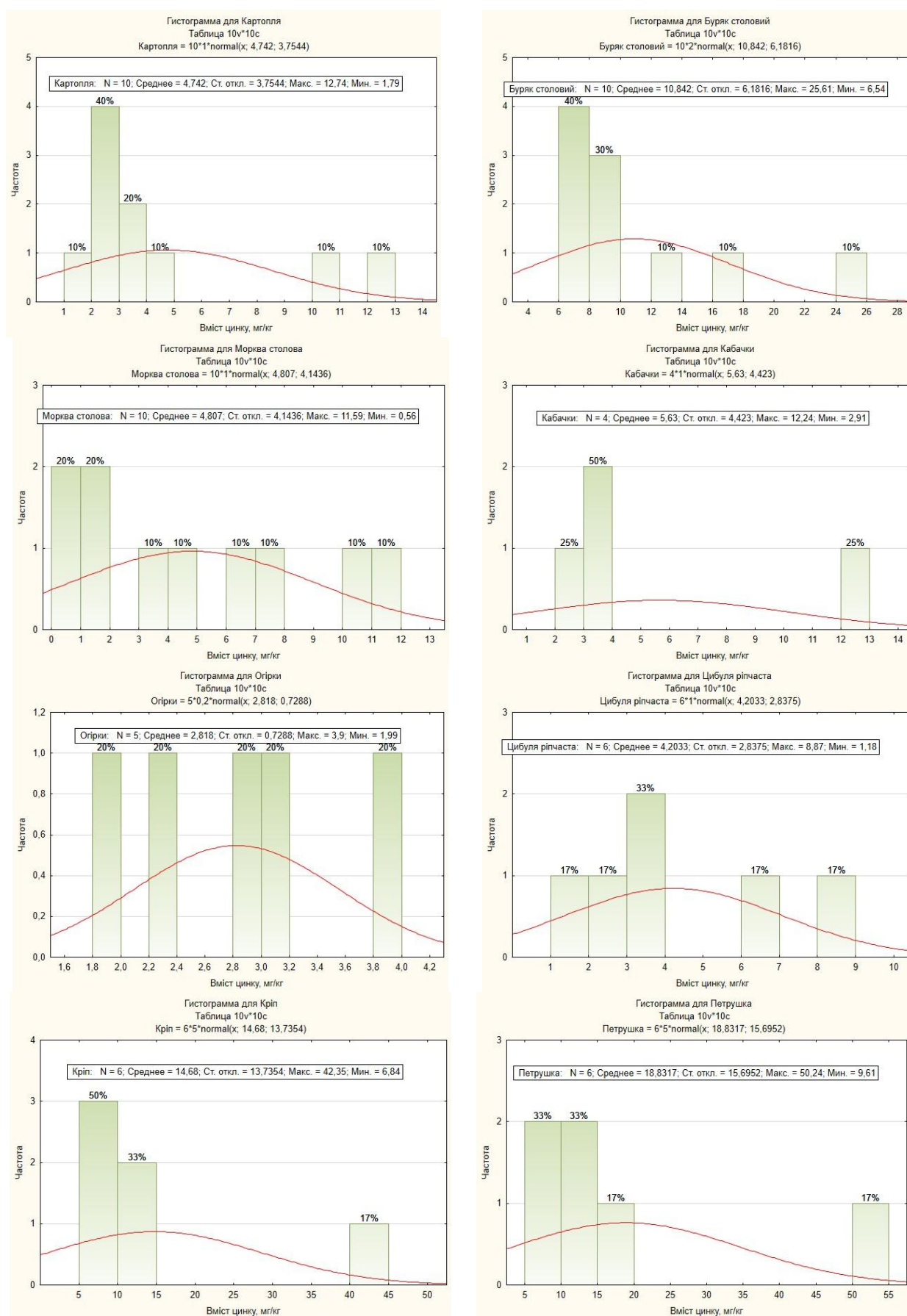


Рис. 3.4. Гістограми розподілу частот вмісту цинку у овочевих культурах

3.1.3. Кадмій

Рослини вміщували кадмій у кількостях від 0,014 до 0,79 мг/кг. 60% аналізованих овочів містили даного елементу від 0,01 до 0,1 мг/кг, 26% овочевої продукції – від 0,1 до 0,2 мг/кг, по 5% зразків – від 0,2 до 0,3 мг/кг та від 0,4 до 0,5 мг/кг, по 2% - від 0,6 до 0,7 мг/кг та від 0,7 до 0,8 мг/кг (рис. 3.5).

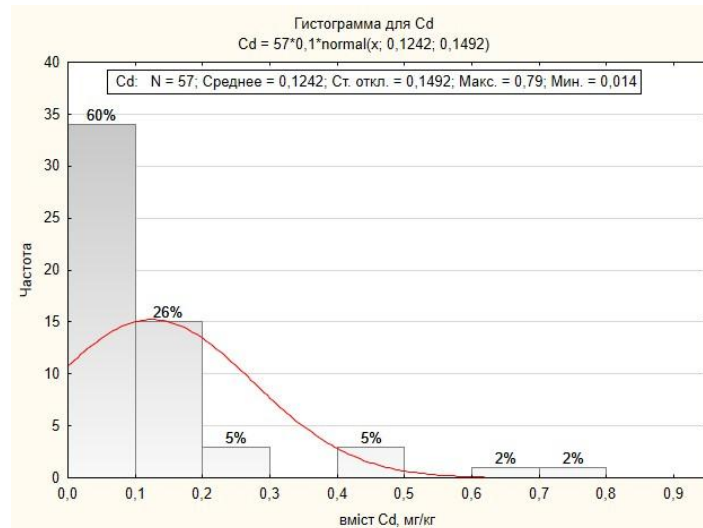


Рис. 3.5. Вміст кадмію в овочевих культурах

Кадмій також розподілявся у різних кількостях у овочевих культурах, і лише незначна частина останніх містила його кількості в допустимих межах. Так, 50% зразків кабачків містили кадмію у кількості 0,02 мг/кг; 83% зразків цибулі ріпчастої містили Cd від 0,014 до 0,022 мг/кг (рис. 3.6).

Практично у всіх культурах фіксувалося перевищення вмісту кадмію. Так, 90% зразків картоплі містили підвищені кількості елементу на рівні від 0,04 до 0,05 мг/кг, а 10% зразків картоплі мали дуже високий вміст елементу, що сягав від 0,6 до 0,7 мг/кг; 80% буряка столового містили Cd від 0,1 до 0,15 мг/кг, по 10% зразків – від 0,2 до 0,25 мг/кг та від 0,4 до 0,45 мг/кг; 70% зразків моркви столової містили Cd від 0,04 до 0,08 мг/кг, 20% - від 0,1 до 0,12 мг/кг, 10% - від 0,26 до 0,28 мг/кг; 25% кабачків мали вміст кадмію на рівні від 0,14 до 0,16 мг/кг; всі зразки огірка, кропу та петрушки характеризувалися подекуди дуже високим вмістом кадмію на рівні 0,06 – 0,19 мг/кг, 0,04 – 0,42 мг/кг та 0,04 – 0,48 мг/кг відповідно (рис. 3.6).

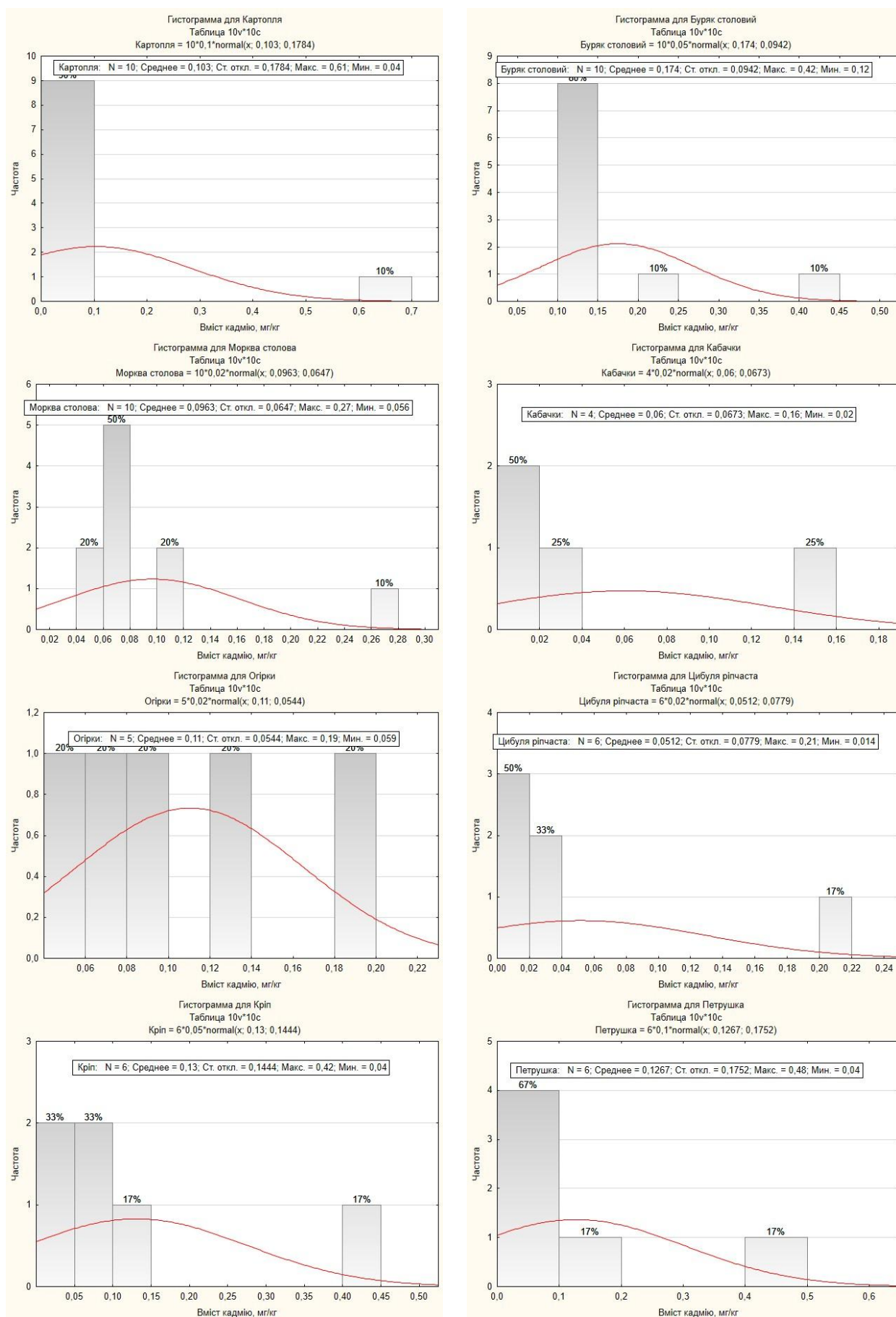


Рис. 3.6. Гістограми розподілу частот вмісту кадмію у овочевих культурах

3.1.4. Свинець

Гістограма розподілу вмісту свинцю у овочах наведена на рис. 3.7. Рослини містили свинець у кількостях від 0,04 до 2,15 мг/кг. Від мінімальних значень вмісту до 0,2 мг/кг характеризувалося 61% аналізованої продукції, від 0,2 до 0,4 мг/кг – 19% продукції, від 0,4 до 0,6 мг/кг та від 1 до 1,2 мг/кг – по 4% продукції, від 1,2 до 1,4 мг/кг, від 1,6 до 1,8 мг/кг та від 2 до 2,2 мг/кг – по 2% продукції (рис. 3.7).

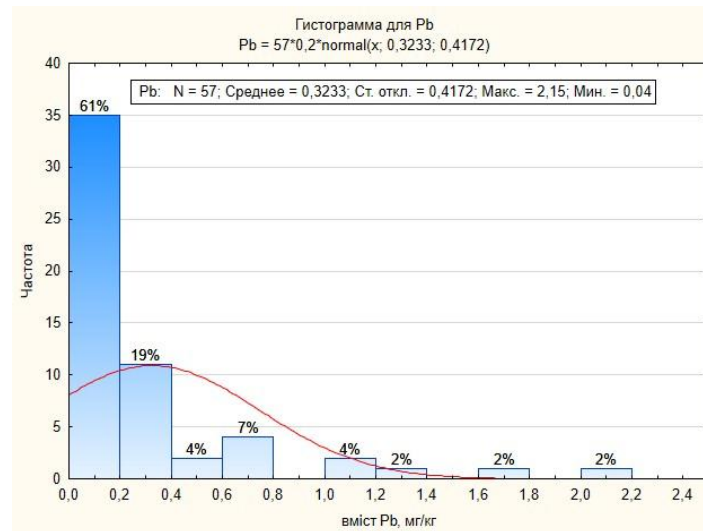


Рис. 3.7. Вміст свинцю в овочевих культурах

Аналіз розподілу вмісту свинцю в овочах дозволив відмітити певні закономірності: 70% зразків картоплі містили елементу до 0,3 мг/кг; 70% зразків буряку столового та 90% зразків моркви столової – до 0,4 мг/кг; 75% зразків кабачків – до 0,2 мг/кг; по 20% зразків огірків характеризувалися вмістом Pb до 0,05 мг/кг, від 0,1 до 0,15 мг/кг, від 0,15 до 0,2 мг/кг, від 0,2 до 0,25 мг/кг та від 0,3 до 0,35 мг/кг; 67% зразків цибулі ріпчастої містили свинцю до 0,1 мг/кг, по 17% - від 0,15 до 0,2 мг/кг та від 0,35 до 0,4 мг/кг; половина зразків кропу та 67% зразків петрушки мали вміст свинцю до 0,2 мг/кг, 34% зразків кропу – від 0,3 до 0,5 мг/кг (рис. 3.8).

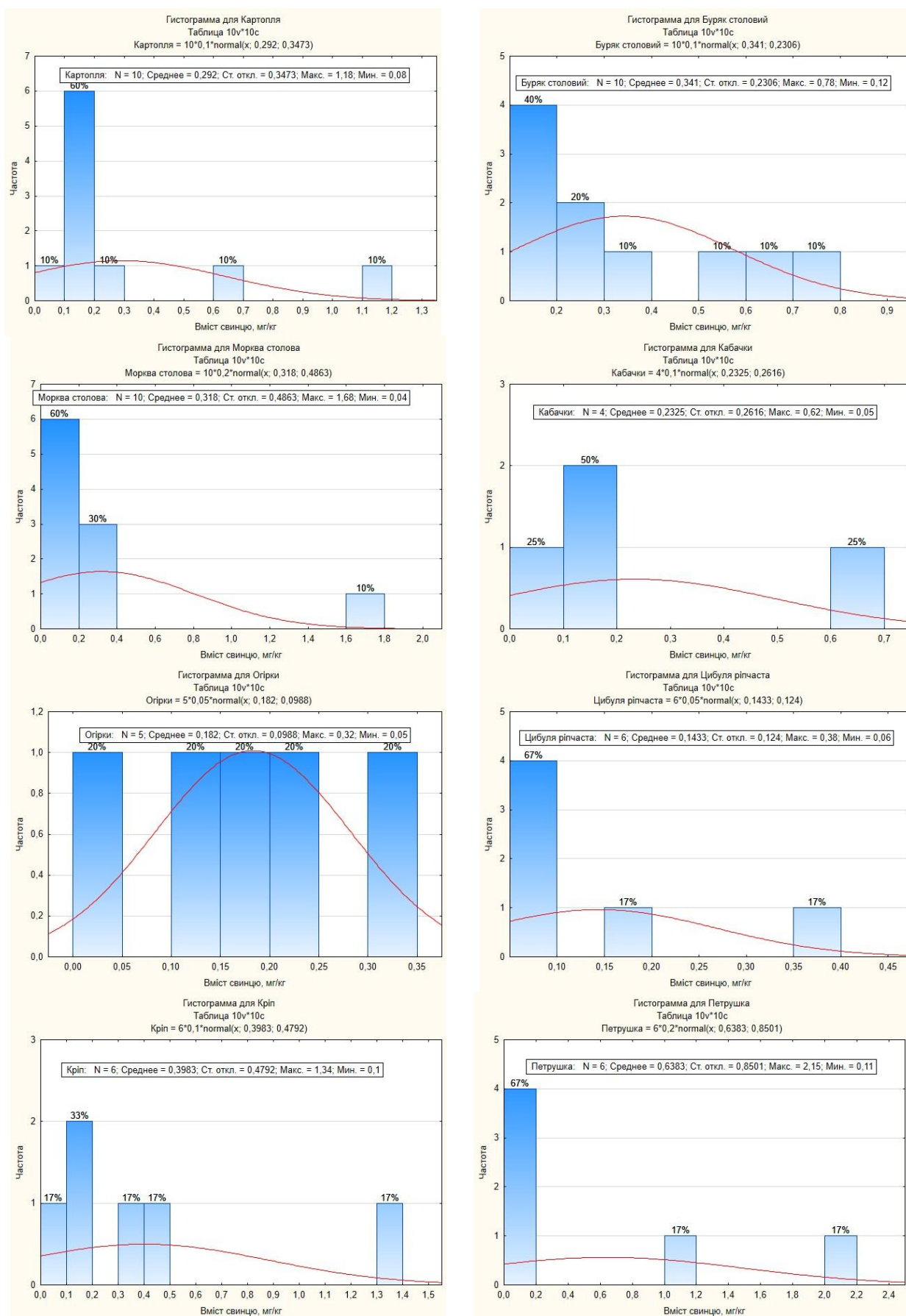


Рис. 3.3. Гістограми розподілу частот вмісту свинцю у овочевих культурах

Перевищення вмісту плюмбуму відмічено у 20% зразків картоплі (вміст елементу знаходився на рівні від 0,6 до 0,7 та від 1,1 до 1,2 мг/кг), 30% буряка столового (від 0,5 до 0,8 мг/кг), 10% моркви столової (від 1,6 до 1,8 мг/кг), 25% кабачків (від 0,6 до 0,7 мг/кг), 17% кропу (від 1,3 до 1,4 мг/кг) та 34% зразків петрушки (від 1 до 1,2 мг/кг та від 2 до 2,2 мг/кг) (рис. 3.8).

Не відмічено перевищення вмісту свинцю, як і попередніх елементів, у огірках та цибулі (рис. 3.8).

3.2. Коефіцієнти небезпечності вмісту важких металів

Результати розрахунку коефіцієнтів небезпечності ($K_{\text{нб}}$) вмісту важких металів за їх середніми, мінімальними та максимальними значеннями у різних овочевих культурах наведені на рис. 3.9.

У десятій частині відібраних зразків спостерігалось перевищення вмісту міді від 1,1 до 1,8 разів. У 10% зразків картоплі та буряка столового вміст Cu перевищував норму у 5 мг/кг, а відповідні коефіцієнти небезпеки ($K_{\text{нб}}$) становили 1,2 та 1,3. У третині зразків кропу $K_{\text{нб}}$ складав від 1,1 до 1,8. 17% зразків петрушки відзначилися $K_{\text{нб}}$ у межах 1,1 (рис. 3.9а).

Плюмбум перевищував встановлений у 0,5 мг/кг вміст у 17,5% овочевої продукції. П'ята частина зразків картоплі характеризувалася $K_{\text{нб}}$ в межах 1,2 – 2,4, майже третина буряку столового мали $K_{\text{нб}}$ на рівні 1,1 – 1,6, 1/10 частина зразків моркви столової мала одне з найбільших значень $K_{\text{нб}}$ – 3,4. У 25% кабачків відмічено перевищення встановлених норм у 1,2 рази. У 17% зразків кропу $K_{\text{нб}}$ сягав 2,7, а 34% зразків петрушки мали $K_{\text{нб}}$ від 2,3 до 4,3 (рис. 3.9б).

Як зазначалося у попередньому підрозділі практично у всіх культурах фіксувалося перевищення вмісту кадмію (88% відібраної продукції) до 26 разів. У картоплі перевищення встановлених норм по даному елементу складало від 1,3 до 20,3 разів, у буряку – від 1,8 до 26,3 разів, моркві – від 4,3

до 14 разів, кропі – від 1,3 до 14 разів, петрушці – від 1,3 до 16 разів, огірках – від 1,9 до 4,7 разів (рис. 3.9в).

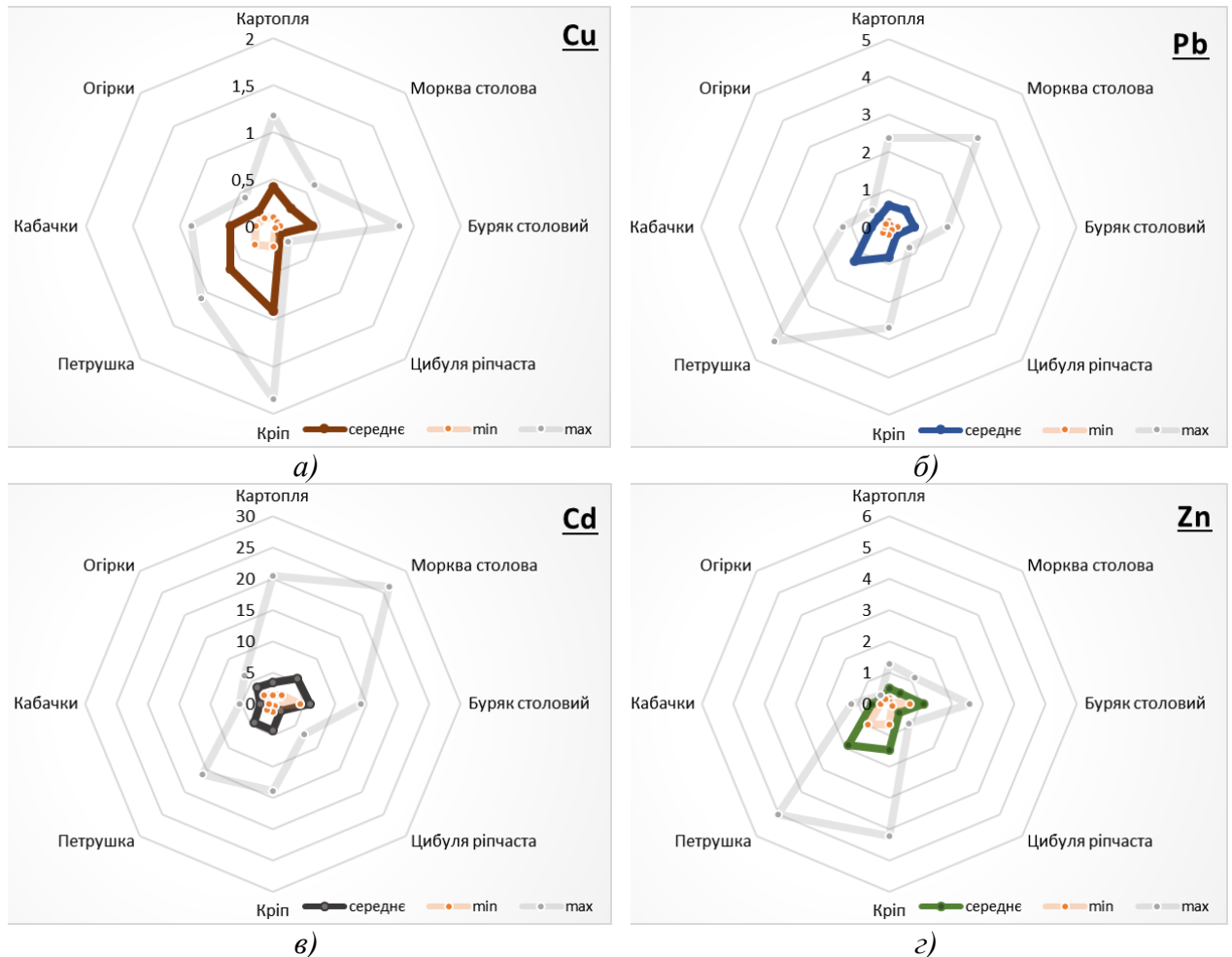


Рис. 3.9. Коефіцієнти небезпечності вмісту важких металів у різних овочевих культурах

Цинк перевищував встановлену норму вмісту (10 мг/кг) у 1,1 – 5 разів у четвертій частині аналізованої овочевої продукції. П'ята частина зразків картоплі та моркви характеризувалися значеннями $K_{нб}$ на рівні 1,1 – 1,3 та 1,1 – 1,2 відповідно; майже третя частина зразків буряка столового мали перевищення до 2,6 разів ($K_{нб} = 1,2 – 2,6$). Максимальні значення $K_{нб}$ даного елемента були характерні для кропу та петрушки. Відмітимо, що половина зразків кропу та петрушки мали перевищення за даним елементом, а їх $K_{нб}$ становили 1,1 – 4,2 та 1,2 – 5,0 відповідно (рис. 3.9г).

Найбільший відсоток зразків з перевищенням встановлених норм у рослин петрушки та кропу:

петрушка (54%) > кріп (50%) > буряк столовий (42,5%) > картопля (37,5%) > морква столова (32,5%) > огірки (25,2%) > кабачки (25%) > цибуля ріпчаста (4,2%).

Як показали проведені дослідження, за накопиченням досліджуваних елементів овочеві культури розміщуються у ряди:

- Cu: *кріп > петрушка > буряк > морква > картопля > кабачки > огірки > цибуля;*
- Zn: *петрушка > кріп > буряк > морква > картопля > кабачки > цибуля > огірки;*
- Pb: *петрушка > кріп > буряк > морква > картопля > кабачки > огірки > цибуля;*
- Cd: *буряк > морква > кріп > петрушка > огірки > картопля > кабачки > цибуля.*

Так, найбільші кількості свинцю, цинку та міді концентрували петрушка та кріп, кадмію – буряк та морква; найменші кількості міді, свинцю та кадмію вміщувала цибуля, цинку – огірки.

3.3. Потенційні ризики для здоров'я людини від споживання овочів

Хронічний рівень надходження важких металів безпосередньо чинить негативний вплив на здоров'я людини, а згубний вплив стає очевидним після кількох років впливу [30, 37, 39]. Нами для оцінки потенційних ризиків для здоров'я від накопичення важких металів через споживання овочів використовувався метод цільового коефіцієнта небезпеки THQ.

Виходячи із середнього вмісту важких металів в окремих овочах та визначеного регулярного їх споживання у грамах, визначене щоденне споживання металів. Значення надходження Cu, Zn, Cd та Pb внаслідок

споживання овочів жителями досліджуваної території міста наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Середньодобове надходження важких металів до організму людини з овочевою продукцією (мг/день/кг маси тіла)

	Cu	Pb	Cd	Zn
Картопля	$1,62 \cdot 10^{-2}$	$2,28 \cdot 10^{-3}$	$7,97 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-2}$
Морква столова	$5,07 \cdot 10^{-3}$	$1,21 \cdot 10^{-3}$	$6,39 \cdot 10^{-4}$	$1,83 \cdot 10^{-2}$
Буряк столовий	$5,03 \cdot 10^{-3}$	$8,14 \cdot 10^{-4}$	$4,18 \cdot 10^{-4}$	$2,59 \cdot 10^{-2}$
Цибуля ріпчаста	$8,07 \cdot 10^{-4}$	$2,05 \cdot 10^{-4}$	$7,31 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$
Кріп	$9,51 \cdot 10^{-4}$	$8,42 \cdot 10^{-5}$	$2,75 \cdot 10^{-5}$	$3,10 \cdot 10^{-3}$
Петрушка	$6,77 \cdot 10^{-4}$	$1,35 \cdot 10^{-4}$	$2,68 \cdot 10^{-5}$	$3,98 \cdot 10^{-3}$
Кабачки	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,23 \cdot 10^{-4}$	$3,17 \cdot 10^{-5}$	$2,98 \cdot 10^{-3}$
Огірки	$7,15 \cdot 10^{-4}$	$1,17 \cdot 10^{-4}$	$7,07 \cdot 10^{-5}$	$1,82 \cdot 10^{-3}$
Загальне	0,0306	0,005	0,0021	0,0991

Так, загальне надходження міді з досліджуваною овочевою продукцією становило $3,06 \cdot 10^{-2}$, цинку – $9,9 \cdot 10^{-2}$, кадмію – $2,1 \cdot 10^{-3}$, свинцю – $5,0 \cdot 10^{-3}$ (табл. 3.1). Відсоток, який привносять овочеві культури у надходження досліджуваних важких металів, показано на рис. 3.10.

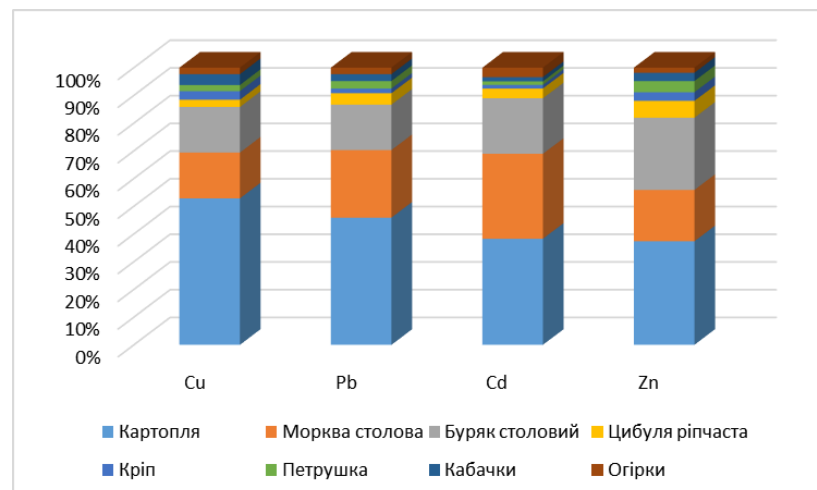


Рис. 3.10. Внесок овочевих культур у добуве надходження елементів в організм

Найбільший внесок серед овочевих культур у надходження важких металів має картопля (Cu – 52,8%, Zn – 37,4%, Pb – 45,9%, Cd – 38,3%).

Цільовий коефіцієнт небезпеки (THQ), що визначали як відношення середньодобового надходження металу у організм до його референтної концентрації. Результати розрахунку цільового коефіцієнту небезпеки наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Цільовий коефіцієнт небезпеки

	Cu	Pb	Cd	Zn
Картопля	0,405	0,652	0,797	0,123
Морква столова	0,127	0,347	0,639	0,061
Буряк столовий	0,126	0,232	0,418	0,086
Цибуля ріпчаста	0,020	0,059	0,073	0,020
Кріп	0,024	0,024	0,028	0,010
Петрушка	0,017	0,039	0,027	0,013
Кабачки	0,030	0,035	0,032	0,010
Огірки	0,0189	0,033	0,071	0,006
Загальне	0,766	1,421	2,083	0,330

Як бачимо з таблиця, значення THQ для досліджуваних важких металів не перевищували 1,0 через споживання окремих видів овочевої продукції. Проте загальне значення коефіцієнтів небезпеки для Pb та Cd становили 1,421 та 2,083, тоді як значення THQ для Cu та Zn не було більше 1,0 через споживання лише 8 видів овочів. Ці результати свідчать про те, що існують потенційні ризики для здоров'я від важких металів через споживання овочів.

Відомо, що вплив двох або більше забруднюючих речовин може призвести до адитивних побічних ефектів. Тому важко оцінити потенційну небезпеку для здоров'я кількох металів, використовуючи кожне окреме значення THQ для важких металів. Отже загальне значення індексу небезпеки (HI), що є сумою значень THQ окремих важких металів (Pb, Cd, Cu, Zn) для 8 видів овочів, становить 4,6. Такий результат свідчить, що жителі міста можуть зіткнутися з ризиком для здоров'я, а потенційні ризики

для здоров'я дітей набуватимуть ще більші значення, ніж для дорослих. Відносні внески окремих важких металів в НІ становлять 16,6% для Cu, 30,9% для Pb, 45,3% для Cd та 7,2% для Zn. Отже, саме Pb і Cd за результатами наших досліджень є основними елементами, які сприяли потенційним ризикам для здоров'я від споживання овочів для мешканців досліджуваної території.

Значення цільового канцерогенного ризику (TCR), що обчислювався для речовин, які потенційно можуть викликати рак (Pb, Cd), представлені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Цільовий канцерогенний ризик (TCR)

	Pb		Cd	
	TCR	рівень ризику	TCR	рівень ризику
Картопля	$1,94 \cdot 10^{-5}$	низький	$3,03 \cdot 10^{-4}$	середній
Морква столова	$1,03 \cdot 10^{-5}$	низький	$2,43 \cdot 10^{-4}$	середній
Буряк столовий	$6,92 \cdot 10^{-6}$	низький	$1,59 \cdot 10^{-4}$	середній
Цибуля ріпчаста	$1,74 \cdot 10^{-6}$	низький	$2,78 \cdot 10^{-5}$	низький
Кріп	$7,16 \cdot 10^{-6}$	низький	$1,04 \cdot 10^{-5}$	низький
Петрушка	$1,15 \cdot 10^{-6}$	низький	$1,02 \cdot 10^{-5}$	низький
Кабачки	$1,04 \cdot 10^{-6}$	низький	$1,21 \cdot 10^{-5}$	низький
Огірки	$9,95 \cdot 10^{-7}$	мінімальний	$2,69 \cdot 10^{-5}$	низький
Загальний	$4,23 \cdot 10^{-5}$	низький	$7,91 \cdot 10^{-4}$	середній

Максимальне порогове значення ризику 0,0001 було перевищено для кадмію через споживання картоплі, моркви столової та буряку столового, що вказує на можливу небезпеку раку для населення, що споживає таку продукцію (табл. 3.2).

Оскільки ми не завжди можемо перевіряти продукти харчування на вміст важких металів перед кожним прийомом їжі, найкращим і найпростішим способом, на нашу думку, є зменшення до мінімуму

споживання продуктів, які мають високий вміст токсикантів (особливо це стосується дитячого населення).

Відмітимо, що оцінка всіх величин, наведених у даному підрозділі, заснована на щоденному споживанні овочів, яке наведене у статистичних збірниках. Також у нашому дослідженні аналізувався лише вміст чотирьох важких металів і лише у 8 овочевих культурах, отже була врахована лише частина овочевої продукції, що вирощується та споживається населенням. Як результат, існує ймовірність, що отримані значення ризику можуть відхилятися, як у бік зменшення, так і у сторону збільшення.

ВИСНОВКИ

1. Вміст міді у овочевих культурах коливався від 0,15 до 9,21 мг/кг, цинку – від 0,56 до 50,24 мг/кг, свинцю – від 0,04 до 2,15 мг/кг, кадмію – від 0,014 до 0,79 мг/кг.

2. У десятій частині відібраних зразків спостерігалось перевищення вмісту міді від 1,1 до 1,8 разів. Плюмбум перевищував встановлений у 0,5 мг/кг вміст у 17,5% овочевої продукції. Практично у всіх культурах фіксувалось перевищення вмісту кадмію (88% відібраної продукції) до 26 разів. Цинк перевищував встановлену норму вмісту (10 мг/кг) у 1,1 – 5 разів у четвертій частині аналізованої овочевої продукції.

3. Найбільший відсоток зразків з перевищенням встановлених норм у рослин петрушки та кропу: *петрушка (54%) > кріп (50%) > буряк столовий (42,5%) > картопля (37,5%) > морква столова (32,5%) > огірки (25,2%) > кабачки (25%) > цибуля ріпчаста (4,2%)*.

4. За накопиченням досліджуваних елементів овочеві культури розміщуються у ряди: Cu: *кріп > петрушка > буряк > морква > картопля > кабачки > огірки > цибуля*; Zn: *петрушка > кріп > буряк > морква > картопля > кабачки > цибуля > огірки*; Pb: *петрушка > кріп > буряк > морква > картопля > кабачки > огірки > цибуля*; Cd: *буряк > морква > кріп > петрушка > огірки > картопля > кабачки > цибуля*.

5. Загальне надходження міді з досліджуваною овочевою продукцією становило $3,06 \cdot 10^{-2}$, цинку – $9,9 \cdot 10^{-2}$, кадмію – $2,1 \cdot 10^{-3}$, свинцю – $5,0 \cdot 10^{-3}$ мг/день/кг маси тіла. Найбільший внесок серед овочевих культур у надходження важких металів має картопля (Cu – 52,8%, Zn – 37,4%, Pb – 45,9%, Cd – 38,3%).

6. Цільовий коефіцієнт небезпеки (THQ) для досліджуваних важких металів не перевищував 1,0 через споживання окремих видів овочевої продукції. Загальне значення THQ для Pb та Cd становили 1,421 та 2,083, а

для Cu та Zn не перевищували 1,0 через споживання 8 видів овочів. Індекс небезпеки (НІ) становить 4,6, і вказує, що жителі міста можуть зіткнутися з ризиком для здоров'я.

7. Відносні внески окремих важких металів в НІ становлять 16,6% для Cu, 30,9% для Pb, 45,3% для Cd та 7,2% для Zn. Саме Pb і Cd є основними елементами, які сприяли потенційним ризикам для здоров'я.

8. Максимальне порогове значення цільового канцерогенного ризику (TCR) у 0,0001 було перевищено для Cd через споживання картоплі, моркви столової та буряку столового, що вказує на можливу небезпеку раку для населення, що споживає таку продукцію.

9. Враховуючи, що у дослідженні використовувалися статистичні дані стосовно споживання овочів, аналізувався лише вміст 4 важких металів і лише у 8 овочевих культурах (врахована лише частина овочевої продукції, що споживається населенням), існує ймовірність, що отримані значення ризику можуть відхилятися, як у бік зменшення, так і у сторону збільшення.

ПРОПОЗИЦІЇ

1. Житомирській міській раді спільно з Управлінням екології та природних ресурсів, Житомирською філією ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», Житомирським міським управлінням ГУ Держспоживслужби в Житомирській області сприяти наданню консультацій та рекомендацій мешканцям міста щодо ведення екологічно безпечного городництва та для запобігання загрози здоров'ю мешканців міста.

2. Житомирському міському управлінню ГУ Держспоживслужби в Житомирській області проводити рейдові перевірки ринків щодо стихійної торгівлі на прилеглих територіях для запобігання торгівлі забрудненою продукцією.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Балюк С. А., Фатєєв А. І., Мірошніченко М. М. Проведення ґрунтово-геохімічного обстеження урбанізованих територій. Харків : ННЦ «ІГА ім. О.Н.Соколовського» УААН, 2004. 62 с.
2. Бекетова Г. В., Горячева И. П. Цинк и его влияние на здоровье человека в условиях пандемии COVID-19: что нового? *Педиатрия. Восточная Европа*. 2021. Т. 9, № 1. С. 8-20.
3. Ведення сільськогосподарського виробництва у приватному секторі в умовах посиленого антропогенного впливу на навколишнє середовище / Т. М. Мислива, П. П. Надточій, Л. О. Герасимчук, Р. А. Валерко. Житомир, 2011. 50 с.
4. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках: утвержден Главным управлением ветеринарии Госагропрома СССР 07.08.87 г., № 123-4/281.
5. Герасимчук Л. О. Акумуляція важких металів в урбоедафотопх і фітоценозах Житомирського Полісся : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 03.00.16. Дніпропетр. держ. аграр. ун-т, 2012. 24 с.
6. Герасимчук Л. О., Валерко Р. А. Екологічна оцінка якості овочевої продукції агроселітебних територій приміської зони м. Житомира. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 3. С. 76-82.
7. Гринвуд Н., Эрншо А. Химия элементов. М.: Бином, 2008. Т 1. 607 с.
8. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М. : Мир, 1989. 439 с.
9. Мартенюк Г. М., Герасимчук Л. О., Валерко Р.А., Гладич Н.О. Забруднення важкими металами їстівних грибів роду *Pleurotus* у межах селітебних територій. *Екологічні науки*. 2021. № 3(36). С. 171-174. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.28>.

10. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М. : ЦИНАО, 1991. 58 с.
11. Методичні рекомендації з агроекологічного моніторингу селітебних територій / за ред. Н. А. Макаренко. К., 2005. 26 с.
12. Мислива Т. М., Герасимчук Л. О. Важкі метали в урбаноземах агроселітебних ландшафтів південно-західної частини м. Житомира. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Агрономія*. 2011. Вип. 162, ч. 1. С. 155–165.
13. Нариси з токсикології важких металів : [у 5 вип.]. Вип. 1. Свинець / І. М. Трахтенберг, Н. М. Дмитруха, І. М. Андрусишина, Т. К. Короленко, І. П. Лубянова, С. П. Луговський; ред.: І. М. Трахтенберг. Київ : Авіцена, 2016. 107 с.
14. Нариси з токсикології важких металів : [у 5 вип.]. Вип. 3. Кадмій / І. М. Трахтенберг, Н. М. Дмитруха, О. Л. Апихтіна, І. М. Андрусишина; ред.: І. М. Трахтенберг. Київ : Авіцена, 2017. 63 с.
15. Соколов О. А., Черников В. А. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Кн. 1. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды. Пущино : ОНТИ ПНЦ РАН, 1999. 164 с.
16. Bayissa L. D., Gebeyehu H. R. Vegetables contamination by heavy metals and associated health risk to the population in Koka area of central Ethiopia. *Plos one*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254236>
17. Cadmium (chapter 6.3). *World Health Organization* : веб-сайт. URL: <https://euro.who.int>.
18. Cadmium. *European Commission* : веб-сайт. URL: <https://ec.europa.eu>.
19. Caulfield L. E., Black R. E. Zinc deficiency. Comparative Quantification of Health Risks. P. 257-279. URL: <https://www.who.int>.
20. Chen C., Qian Y., Chen Q., Li C. Assessment of daily intake of toxic elements due to consumption of vegetables, fruits, meat, and seafood by inhabitants of xiamen, China. *J Food Sci*. 2011. Vol. 76. P. 181–188. pmid:21913923.

21. Consumer Reports: Product Reviews and Ratings: веб-сайт. URL: <https://www.consumerreports.org>.
22. Esmaeilzadeh M., Jaafari J., Mohammadi A. A., Panahandeh M., Javid A., Javan S. Investigation of the extent of contamination of heavy metals in agricultural soil using statistical analyses and contamination indices. *Hum Ecol Risk Assess.* 2019. Vol. 25. P. 1125–1136.
23. Exposure to Cadmium: a major public health concern. *World Health Organization* : веб-сайт. URL: <https://www.who.int>.
24. Exposure to lead: A major public health concern. Preventing disease through healthy environments. Editorial WHO. Geneva, Switzerland, 2010. 6 pp. *World Health Organization* : веб-сайт. URL: <https://www.who.int>.
25. Gashi B., Osmani M., Aliu S., Zogaj M., Kastrati F. Risk assessment of heavy metal toxicity by sensitive biomarker δ -aminolevulinic acid dehydratase (ALA-D) for onion plants cultivated in polluted areas in Kosovo. *Journal of Environmental Science and Health.* 2020. Part B. Vol. 55, Issue 5. P. 462-469.
26. Gebeyehu H. R., Bayissa L. D. Levels of heavy metals in soil and vegetables and associated health risks in Mojo area, Ethiopia. *PLoS One.* 2020. Vol. 15: e0227883. pmid:31999756.
27. Institute for Health Metrics and Evaluation : веб-сайт. URL: <https://www.healthdata.org>.
28. Kamunda C., Mathuthu M., Madhuku M. Health risk assessment of heavy metals in soils from Witwatersrand Gold Mining Basin, South Africa. *Int J Environ Res Public Health.* 2016. Vol. 13. pmid:27376316.
29. Manzoor J., Sharma M., Wani K. A. Heavy metals in vegetables and their impact on the nutrient quality of vegetables. *Journal of Plant Nutrition.* 2018. Vol. 41, Issue 13. P. 1744-1763. DOI: 10.1080/01904167.2018.1462382.
30. Mohamed H. H. Ali, Khairia M. Al-Qahtani. Assessment of some heavy metals in vegetables, cereals and fruits in Saudi Arabian markets. *The Egyptian Journal of Aquatic Research.* 2012. Vol. 38, Issue 1. P. 31-37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2012.08.002>.

31. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Inorganic and organic lead compounds. IARC – International Agency Research Cancer : веб-сайт. URL: <https://researchers.mq.edu.au/en/publications/iarc-monographs-on-the-evaluation-of-carcinogenic-risks-to-humans>.
32. Plum L. M., Rink L., Haase H. The essential toxin: impact of zinc on human health. *International journal of environmental research and public health*. 2010. Vol. 7, Issue 4. P. 1342–1365. <https://doi.org/10.3390/ijerph7041342>.
33. ToxFAQs for Copper. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* : веб-сайт. URL: <https://wwwn.cdc.gov>.
34. Trakhtenberg I. M., Gubsky Y. I., Levitsky E. L., Belenichev I. F. Biochemical mechanisms of free-radical damage to the nuclear genome by cadmium. *Ukr. Biochem. J.* 2018. Vol. 90, № 3. C. 5-16.
35. Turkdogan M. K., Kilicel F., Kara K., Tuncer I. Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2002. Vol. 13. P. 175-179.
36. U.S. Environmental Protection Agency (US EPA) : веб-сайт. URL: <https://www.epa.gov>.
37. U.S. Food and Drug Administration (US FDA) : веб-сайт. URL: <https://www.fda.gov>.
38. Xing, Shi GuoLiang, Liu GuiRong, Xu Jiao, Tian YingZe, Zhang YuFen, Feng YinChang, Russell Armistead G. Source apportionment and heavy metal health risk (HMHR) quantification from sources in a southern city in China, using an ME2-HMHR model. *Environmental Pollution*. 2017. Vol. 221. P. 335-342. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.083>.
39. Zhou H., Yang W. T., Zhou X., Liu L., Gu J. F., Wang W. L., Zou J. L., Tian T., Peng P. Q., Liao B. H. Accumulation of Heavy Metals in Vegetable Species Planted in Contaminated Soils and the Health Risk Assessment. *International journal of environmental research and public health*. 2016. Vol. 13, Issue 3. P. 289. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph13030289>.

40. Zink evaluation of human health risks and effects on the environment.
World Health Organization : веб-сайт. URL:<https://www.who.int>.
41. Zink: fact sheet for health professionals. *National Institutes of Health*
: веб-сайт. URL: <https://ods.od.nih.gov>.