

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



БОГУСЛАВСЬКА ЛЮДМИЛА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 502:631(075.8)

**ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНІ АДАПТАЦІЇ ДО ДІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ
(СВИНЕЦЬ, КАДМІЙ, НІКЕЛЬ) КОРЕНЕВОЇ СИСТЕМИ РОСЛИН
КУКУРУДЗИ**

03.00.16 – екологія
Сільськогосподарські науки

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата сільськогосподарських наук

Дніпро – 2023

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

Робота виконана у Дніпровському національному університеті імені Олесея Гончара Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор біологічних наук, доцент
Голобородько Кирило Костянтинович,
Дніпровський національний університет імені Олесея Гончара, головний науковий співробітник НДЛ наземної екології, лісового ґрунтознавства та рекультивації земель НДІ біології

Офіційні опоненти: доктор сільськогосподарських наук, професор
Писаренко Павло Вікторович,
Полтавський державний аграрний університет
завідувач кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля

кандидат біологічних наук, доцент
Бучавий Юрій Володимирович,
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»,
доцент кафедри екології та технологій
захисту навколишнього середовища

Захист дисертації відбудеться «09» червня 2023 року о 10:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.804.02 у Дніпровському державному аграрно-економічному університеті за адресою: 49600, вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Дніпровського державного аграрно-економічного університету за адресою: 49600, вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна.

Автореферат розісланий «09» травня 2023 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,
кандидат сільськогосподарських наук, доцент



Володимир КОЗЕЧКО

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми: Серед сучасних проблем забруднення навколишнього середовища особливо важливою є дослідження реакції рослин на токсичну дію хімічних сполук. На сьогодні існує значна кількість досліджень з проблем адаптації рослин до впливу важких металів, у яких висвітлюють структурні та метаболічні зміни, які відбуваються у рослинах природних і штучних біотопів (Воробець, 2002; Гуральчук, 2006; Скляр та ін., 2015; Кавулич та ін., 2016; Цветкова та ін., 2016; Amari et al., 2017; Kun et al., 2019; Terrón-Camero et al., 2019; Alengebawu et al., 2021; Shen et al., 2021; Shafaqat et al., 2022), але з'ясування механізмів їх комплексної дії на різних рівнях організації рослинного організму потребує подальшого глибокого дослідження. Кінцевий результат відповіді клітин на комбіновану дію неможливо передбачити, виходячи із інформації тільки про ефект окремої дії кожного з факторів. У зв'язку з цим проблема оцінки комплексного впливу на біоту реально існуючих рівнів антропогенного забруднення в сучасній біосфері вважається однією з найбільш актуальних. На цей час основна кількість досліджень присвячена вивченню окремої дії окремих полутантів на анатомічні, морфофізіологічні показники, хромосомний апарат клітин, систему антиоксидантного захисту деяких сільськогосподарських рослин (Терек, 2000; Довгалюк, 2001; Евсеєва, 2006), а відомості про одночасну дію двох і більше стрес-факторів на одну чи декілька фізіолого-біохімічних систем культурних рослин на ранніх етапах онтогенезу вкрай обмежені (Коршиков та ін., 1995; Глубока, 2004; Гришко та ін., 2008). Тому необхідно визначити закономірності змін деяких цитогенетичних та фізіолого-біохімічних показників рослин в умовах фітотоксичного ефекту, який індуковано комплексною дією важких металів. Проблема фітотоксичного ефекту дії кадмію, свинцю та нікелю на кореневу систему рослин останнім часом інтенсивно досліджується вченими (Гришко та ін., 2015; Гришко та ін., 2019; Dawuda et al., 2019), оскільки не менше половини всієї кількості важких металів надходить у ґрунт, але практично відкритим залишається питання про наявність специфічних ефектів впливу різних металів як окремо, так і разом та можливості їх прояву на рівні клітинної організації ділянок кореня. Таким чином, дослідження особливостей цитогенетичних і фізіолого-біохімічних процесів та специфіки синтезу білків у зв'язку з функціональною активністю меристем в умовах дії важких металів, а особливо їх комбінації, є актуальним та науково обґрунтованим для виявлення маркерних ознак стресових механізмів стійкості рослин у техногенно забрудненому середовищі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота відповідає плану науково-дослідної роботи кафедри фізіології рослин та екології Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара. Дисертація виконувалась у рамках держбюджетних тем відділу молекулярної біології НДІ біології ДНУ № 01-128-00 “Дослідження закономірностей впливу антропогенних факторів на фізіолого-біохімічні функції рослинних об'єктів у процесі онтогенетичного розвитку” (№ держреєстрації 0100U0052209), № 13-021-03 “Закономірності функціонування метаболічних систем у сільськогосподарських рослин за умов комбінованої дії гербіцидів і важких металів” (№ держреєстрації

0103U000551), № 3-119-06 “Формування системи адаптивних реакцій рослин до абіотичних факторів в умовах нестабільного середовища” (№ держреєстрації 0106U000792), «Інноваційна концепція застосування принципів і методів дистанційної екології для оцінки впливу воєнних дій на екосистемні послуги» (№ держреєстрації 0123U101547), «Концепція відновлення штучних лісових насаджень у степовій зоні України» (№ держреєстрації 0123U101557).

Мета і завдання дослідження. Основною метою роботи було дослідити зв'язок між впливом важких металів на цитогенетичні процеси, інтенсивністю синтезу водорозчинних білків, зміною їх поліпептидного складу та пулу амінокислот, активністю пероксидази та її ізоферментного складу в клітинах апікальної меристеми коренів кукурудзи.

Для досягнення мети було передбачено розв'язання таких завдань:

- оцінити вплив іонів важких металів на цитогенетичну активність апікальної меристеми коренів рослин кукурудзи;
- дослідити реакцію білоксинтезуючої системи на дію іонів важких металів;
- дослідити зміни пулу амінокислот у складі водорозчинних білків меристемних тканин кореня за дії свинцю, кадмію та нікелю;
- визначити особливості функціонування ферменту антиоксидантного захисту (пероксидази) та проаналізувати зміни його ізоферментного складу в апікальній меристемі кореня за дії іонів важких металів.

Об'єкт дослідження – відповідь твірних тканин коренів проростків кукурудзи на дію іонів свинцю, кадмію та нікелю.

Предмет дослідження – цитогенетичні й фізіолого-біохімічні особливості апікальної меристеми кореня кукурудзи в умовах дії іонів важких металів.

Методи досліджень – у роботі використані методи тимчасових давлених препаратів; фотоколориметричного визначення оптичної густини; SDS-електрофорезу; ізоелектричного фокусування (ІЕФ); визначення амінокислот; денситометрії; статистичного аналізу та математичної обробки даних.

Наукова новизна отриманих результатів. В умовах модельного експерименту вперше проаналізовано сумісний вплив іонів важких металів на цитогенетичний апарат твірних тканин кореня кукурудзи та вивчено вихід аберантних клітин у кореневій меристемі кукурудзи за потрійної дії свинцю, кадмію та нікелю. Вперше виявлені зміни у компонентному складі водорозчинних білків меристеми за дії іонів важких металів. Вивчення специфіки білкового спектру меристеми показало, що у результаті дії іонів металів змінюються його якісні та кількісні характеристики у залежності від концентрації та тривалості дії полютанта. На тлі зменшення загальної інтенсивності синтезу білку вперше встановлено специфічні як для роздільної дії важких металів, так і їх комбінації зміни поліпептидного складу. Вперше досліджено динаміку вмісту білкових амінокислот у кореневих меристемах в умовах дії іонів важких металів. Встановлена спрямована зміна активності та ізоферментного складу пероксидази твірних тканин кореня кукурудзи за окремої та комбінованої дії іонів важких металів. З'ясовано особливості активності та ізоферментного складу пероксидази за дії іонів свинцю, кадмію та нікелю.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновані критерії оцінювання дії металів на ріст та фізіолого-біохімічні процеси меристеми коренів кукурудзи можуть використовуватись для індикації забрудненості середовища важкими металами. Вони поширюють існуючі уявлення про функціональну активність меристемних тканин кореня рослин кукурудзи в умовах дії важких металів і виступають маркерними ознаками стресу за дії поллютантів.

Матеріали дисертаційної роботи використано в навчальному процесі Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара під час викладання дисциплін спеціальності 101 «Екологія» при вивченні дисциплін «Екологічна безпека» та «Моніторинг довкілля».

Особистий внесок здобувача. Здобувачкою самостійно здійснені підбір та обробка літературних даних, проведені експериментальні дослідження, аналіз отриманих результатів. Особистий внесок у написанні кожної наукової публікації зазначено у «Списку наукових праць за темою дисертації». Права співавторів не порушені.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові результати, подані в дисертації, доповідалися на щорічних наукових конференціях професорсько-викладацького складу кафедри фізіології рослин та екології біолого-екологічного факультету ДНУ імені Олеся Гончара, на II Всеукраїнській конференції студентів та аспірантів “Біологічні дослідження молодих вчених на Україні” (Київ, 2002 р.); III Всеукраїнському з’їзді фізіологів рослин (Тернопіль, 2002 р.); VIII Конференції молодих вчених “Сучасні напрямки у фізіології та генетиці рослин” (Київ, 2002 г.); IV Міжнародній науковій конференції “Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку” (Донецьк, 2003 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції “Фізіологія рослин та екологія” (Дніпропетровськ, 2003 р.); II Міжнародній конференції “Онтогенез рослин у природному та трансформованому середовищі. Фізіолого-біохімічні та екологічні аспекти” (Львів, 2004 р.); науковій конференції молодих вчених “Сучасні проблеми фізіології рослин і біотехнології” (Ужгород, 2005 р.); IX Конференції молодих дослідників, присвяченій 100-річчю від дня народження академіка АН УРСР і ВАСГНІЛ П. А. Власюка “Актуальні проблеми фізіології, генетики та біотехнології рослин і ґрунтових мікроорганізмів” (Київ, 2005 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції до 90-річчя від дня народження професора О. Ф. Михайлова “Сучасні проблеми фізіології та інтродукції рослин” (Дніпропетровськ, 2005 р.); Міжнародній науковій конференції “Довкілля – XXI” (Дніпропетровськ, 2006 р.); II Всеукраїнській науково-практичній конференції до 80-річчя професора Долгової Л. Г. “Сучасні проблеми фізіології та інтродукції рослин” (Дніпропетровськ, 2007 р.); III Міжнародній конференції “Онтогенез рослин у природному та трансформованому середовищі. Фізіолого-біохімічні та екологічні аспекти” (Львів, 2007 р.); I Міжнародній науково-практичній конференції “Рослини та урбанізація” (Дніпропетровськ, 2007 р.); Міжнародній науково-практичній конференції до 75-річчя Ботанічного саду Дніпропетровського національного університету “Сучасні проблеми інтродукції та акліматизації рослин” (Дніпропетровськ, 2008 р.); XI Конференції молодих вчених “Наукові, прикладні та освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин та мікроорганізмів” (Київ,

2010 р.); Матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції «Рослини та урбанізація» (Дніпро, 2023).

Публікації. Основні матеріали дисертаційної роботи опубліковані у 53 наукових працях, із них 1 – монографія, 5 – у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз, 13 – що входять до переліку фахових, 25 – матеріали наукових конференцій, 9 – що додатково відображають наукові результати дисертації.

Структура дисертації. Дисертаційна робота викладена на 193 сторінках машинописного тексту, складається із вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, 4 додатків. Робота ілюстрована 21 таблицею та 50 рисунками. Список використаних джерел містить 220 найменувань, з них 77 кирилицею та 143 латиницею.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

У розділі представлено аналіз літературних джерел щодо фітотоксичної дії важких металів на рослини, узагальнено сучасні уявлення про реакції твірних тканин на їх дію.

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Фізіолого-біохімічні дослідження впливу іонів важких металів проводили в лабораторних умовах. В лабораторних експериментах рослини кукурудзи гібриду Дніпровський 310 МВ (середньостиглий) вирощували в контрольованих умовах на дистильованій воді та дослідних розчинах $Pb(NO_3)_2$ і $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ з концентраціями $2 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $2 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $2 \cdot 10^{-5}$ моль/л та $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ у концентраціях $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $1 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $3,4 \cdot 10^{-6}$ моль/л та їх комбінація Cd^{2+} , $2 \cdot 10^{-4}$ моль/л + Pb^{2+} , $2 \cdot 10^{-3}$ моль/л + Ni^{2+} , $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Для аналізу відбирали рослини на 5-ту, 7-му і 9-ту доби проростання на середовищі з іонами важких металів.

Цитогенетичну активність корневих меристем визначали методом виготовлення тимчасових давлених препаратів за методом Паушевої (1988). Відібраний матеріал фіксували оцетоалкоголем, забарвлення здійснювали оцетоорсеїном. Вміст водорозчинних білків у твірних тканинах коренів визначали за методикою Бредфорд (1976). Електрофорез у градієнті 10-20% ПААГ проводили за методом Леммлі (1970). Визначення вмісту амінокислот проводили на автоматичному аналізаторі амінокислот Т-339 (Чехословаччина). Активність ферменту пероксидази визначали за методом, описаним Gregory (1966). Ізоферментний аналіз проводили за допомогою ізоелектричного фокусування за Shupranova et al., (2019) в діапазоні рН 3.5-6.0. Аналіз підрахунку денситограм робили за допомогою програми «Електрофор-менеджер 2.0» (розробник Плахотній І.М, 2006 р.). Результати оброблені статистично з використанням загальноприйнятих методик (Калінін та ін., 2000) та за допомогою стандартних комп'ютерних програм у Excel 2000/XP.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Зміни морфометричних показників рослин кукурудзи при проростанні на середовищі з іонами важких металів. Характер реакції проростків кукурудзи на дію іонів важких металів був однотипним і полягав у гальмуванні росту коренів, ступінь якого залежав від виду ксенобіотика та його концентрації (табл. 1). Так, на 5-ту доби впливу найбільше інгібування (29,4%) викликали іони свинцю, найменше – іони нікелю (15,5%). Іони кадмію займали середню позицію (21%), яка зберігалася і на 7-му добу. На 9-ту добу інгібування росту коріння зростає в 1,5 рази. Зміни росту коріння за дії свинцю зазнали більшого впливу у порівнянні з іншими металами: на останньому етапі встановлено 54,8% інгібування росту коренів. Для дії іонів нікелю характерним було підвищення фітотоксичності на 7-му добу (в 1,7 рази), а на 9-ту – в 1,7 рази у порівнянні з 7-ою добою. Сумісна дія важких металів на 5-ту та 7-му добу викликала гальмування росту коренів на 36%, а на 9-ту добу їхня фітотоксичність підвищувалась у 1,6 рази (табл. 1). Поряд з інгібуванням кореневого росту сполуками важких металів спостерігалось потемнення меристемних ділянок. За дії іонів свинцю і суміші ксенобіотиків виявлені коричневі кінчики коренів, що свідчить про некроз меристемної тканини.

Таблиця 1

Ростові показники довжини кореня кукурудзи за умов окремої і сумісної дії іонів важких металів

Варіант обробки	5 доба	7 доба	9 доба
Контроль	109,0±1,6	139,5±1,7	201,9±2,0
$\text{Cd}^{2+} 2 \cdot 10^{-4}$ моль·л ⁻¹	86,1±1,2	109,3±1,5	136,2±2,1
$\text{Pb}^{2+} 2 \cdot 10^{-3}$ моль·л ⁻¹	77,0±1,0	91,3±0,8	91,2±1,0
$\text{Ni}^{2+} 1 \cdot 10^{-4}$ моль·л ⁻¹	92,1±1,4	103,6±1,2	112,3±1,4
$\text{Cd}^{2+} + \text{Pb}^{2+} + \text{Ni}^{2+}$	70,0±1,7	89,3±0,8	89,7±1,8

Цитогенетична активність меристемних клітин за дії іонів важких металів. Встановлено, що досліджувані агенти істотно впливали на співвідношення фаз мітозу. За сумісної дії важких металів анафаз та телофаз не спостерігалось, але суттєво підвищеною (в 1,6-4,3 рази) була кількість метафаз порівняно з контролем (табл. 2). Збільшення кількості клітин у метафазі та відсутність ана- та телофаз може свідчити про наявність метафазного блоку і порушення функціонування веретена поділу. За дії важких металів мітотична активність клітин у кореневій меристемі кукурудзи зазнає суттєвих змін. Найбільшу фітотоксичність протягом всього періоду проростання за цим показником викликали іони свинцю, інгібуюча дія яких складала від 38 до 53%. Приблизно однакову ступінь гальмування мітотичної активності показали іони кадмію і свинцю (21-30%). Одночасна дія іонів металів виявила менш токсичний ефект на процес поділу клітин, особливо на першому етапі спостереження (5-та доба), де значення МІ були найбільшими у порівнянні з окремою дією іонів свинцю, кадмію та нікелю. У подальшому інгібуюча дія суміші підвищувалась, але мала нижчі показники за впливу іонів свинцю на 20-26%.

На тимчасових давлених препаратах кінчиків коренів проростків кукурудзи,

що піддавались дії важких металів та їх суміші, нами зареєстровані „пошкодження” мітозу: за дії усіх досліджуваних металів відмічено утворення фрагментів хромосом та хромосомних мостів (табл. 2).

Таблиця 2

Частота різних типів порушень у мітотичних клітинах кореня кукурудзи за дії іонів важких металів

Тестовані сполуки важких металів та їх концентрації, моль·л ⁻¹	Хромосомні дефекти, %		Індекс аберації, %	Пікнотичні ядра, %
	хромосомні мости	фрагменти		
5 доба				
Контроль	0,7±0,02	0,3±0,01	1,0±0,07	-
Cd ²⁺ 2·10 ⁻⁴	6,3 ±0,15	3,7 ± 0,65	10,0 ±1,95	13,7 ± 1,90
Pb ²⁺ 2·10 ⁻³	3,0 ±0,19	3,0 ± 0,46	4,6 ± 0,16	4,8 ± 1,10
Ni ²⁺ 1·10 ⁻⁴	8,7 ±0,23	4,6 ± 0,50	13,3 ±1,03	1,7 ± 0,80
Pb ²⁺ + Cd ²⁺ + Ni ²⁺	ана-, телофази відсутні			63.2 ± 4.80
7 доба				
Контроль	1,0±0,20	0,6±0,15	1,6±0,20	-
Cd ²⁺ 2·10 ⁻⁴	6,0 ±0,22	5,7 ± 0,52	11,6 ± 1,03	21,5 ± 1,30
Pb ²⁺ 2·10 ⁻³	4,0 ± 0,16	5,7 ± 0,31	9,6 ± 0,18	51,2 ± 6,70
Ni ²⁺ 1·10 ⁻⁴	11,0 ±0,92	3,0 ±0,19	14,0 ± 1,25	1,9 ± 0,50
Pb ²⁺ + Cd ²⁺ + Ni ²⁺	ана-, телофази відсутні			65,4 ± 5,3
9 доба				
Контроль	2,0 ± 1,58	1,3 ± 0,14	3,3 ±0,19	-
Cd ²⁺ 2·10 ⁻⁴	7,6 ±1,00	5,3 ± 0,20	13,0 ± 0,92	29,1 ± 1,60
Pb ²⁺ 2·10 ⁻³	9,0 ± 1,23	2,6 ± 0,11	11,6 ± 0,84	57,4 ± 4,60
Ni ²⁺ 1·10 ⁻⁴	11,4 ± 1,00	6,7 ± 0,19	18,0 ± 0,90	6,5 ± 0,40
Pb ²⁺ + Cd ²⁺ + Ni ²⁺	ана-, телофази відсутні			66,3 ± 5,00

Білковий метаболізм у меристемі коренів проростків кукурудзи за окремої та комбінованої дії іонів свинцю, кадмію та нікелю. Проростання проростків кукурудзи як контрольних, так і дослідних зразків супроводжується змінами у вмісті водорозчинних білків кореневої меристеми: їх кількість знижується протягом проростання (табл. 3). Встановлено, що протягом проростання в нормі здійснюється гальмування накопичення білку, але меншою мірою, ніж у дослідних варіантах. За окремої дії іонів важких металів показник вмісту водорозчинних білків на 5-ту добу зменшувався порівняно з контролем для свинцю на 37,6%, для кадмію на 29,9%, для нікелю на 35,9%. На 7-му добу проростання спостерігається подібна тенденція: зниження показника вмісту білків на 40,8% для іонів свинцю, на 23,3% для кадмію та для нікелю – на 46,6%. Для 9-ої доби проростання було характерним суттєве зниження вмісту альбумінів на 40,8% для іонів свинцю, на 48,0% - для іонів

нікелю. За дії іонів кадмію вміст легкорозчинних білків був практично на рівні контролю. За комбінованої дії іонів свинцю, кадмію та нікелю спостерігається інша тенденція: на 5-ту та 7-му доби відмічається зменшення вмісту альбумінів на 38,4% і 9,7% відповідно, а на 9-ту добу визначається підвищення вмісту білку на 16% у порівнянні з контролем.

Таблиця 3

Вміст альбумінів у кореневій меристемі проростків гібриду кукурудзи, які зростали на середовищі з іонами важких металів

Тестовані сполуки важких металів, моль·л ⁻¹	5 доба		7 доба		9 доба	
	вміст білку, мг/г	Відсоток до контролю	вміст білку, мг/г	Відсоток до контролю	вміст білку, мг/г	Відсоток до контролю
Контроль	11,7±0,5	–	10,3±0,4	–	7,5±0,2	–
Pb ²⁺ · 10 ⁻³	7,3±0,7	37,6	6,1±0,7	40,8	4,5±0,8	40,8
Cd ²⁺ · 10 ⁻⁴	8,2±0,3	29,9	7,9±0,8	23,3	7,2±0,5	4,0
Ni ²⁺ · 10 ⁻⁴	7,5±0,7	35,9	5,5±0,5	46,6	3,9±0,4	48,0
Pb ²⁺ +Cd ²⁺ +Ni ²⁺	7,2±0,9	38,4	9,3±0,4	9,7	8,7±0,4	16,0

Таким чином, відповідь рослини на стрес міститься у зменшенні інтенсивності експресії білкового синтезу. Разом із зниженням вмісту водорозчинних білків спостерігались і активні перебудови у їх компонентному складі.

Зміни поліпептидного складу кореневих меристем рослин кукурудзи в умовах комбінованої дії важких металів. Як показали наші результати, активні зміни у поліпептидному складі альбумінів відмічались для усіх вивчених важких металів. Зміни у поліпептидному складі альбумінів меристеми кореня кукурудзи за комбінованої дії важких металів представлені у табл.4.

Таблиця 4

Зміни у поліпептидному складі альбумінів меристеми кореня кукурудзи за сумісної дії іонів важких металів

Термін проростання	Поява поліпептидів, кД	Зникнення поліпептидів, кД	Підвищення вмісту білку у зоні, кД	Зниження вмісту білку у зоні, кД
5 доба	-	148,0	52,5; 67,7; 74,3	27,6; 56,3; 58,9; 63,1; 79,5; 124,0
7 доба	148,0	-	-	121,0
9 доба	-	10,3; 11,0; 148,0	50,2; 55,0; 63,1; 70,8; 79,6; 87,1	12,4; 13,5; 15,2; 18,3; 20,0; 21,4; 23,0; 24,0; 25,8; 26,3; 39,9; 44,7; 57,6; 61,7; 66,1; 69,2; 74,2; 81,4; 97,8; 113,0; 121,0; 126,0; 129,0

Дослідження комбінованого впливу іонів важких металів на склад альбумінів на 5-ту добу показало відсутність поліпептиду з M_r 148,0 кД, синтез якого на 7-му добу знов активізується, а на 9-ту добу гальмується. На 5-ту добу проростання спостерігається зниження/підсилення експресії білків із середньою молекулярною масою. Відбувається підсилення синтезу поліпептидів сімейств БТШ 60 и 90 кД. На 7-мй добу виявлено зниження накопичення поліпептиду із високою молекулярною масою 121 кД. Поліпептидний склад 9-ої доби за сумісної дії важких металів характеризується загальним зниженням накопичення білку по всьому спектри альбумінів: від низько – до високомолекулярних компонентів білків, та відсутністю двох поліпептидів з низьким значенням M_r (10,3; 11,0 кД) і одного з M_r 148,0 кД.

Вміст амінокислот меристемних тканин кореня кукурудзи за дії іонів важких металів. Вміст амінокислот у меристемі характеризувався значним варіюванням, що пов'язане як з кількісними, так із якісними змінами поліпептидного складу альбумінів у процесі проростання (рис. 1-2). Встановлено, що загальною закономірністю впливу всіх досліджених важких металів, а також їх комбінації є підвищений вміст проліну, валіну та цистеїну, що можна вважати специфічною реакцією клітин меристеми до впливу іонів важких металів. За сумісної дії важких металів відзначається додатково підвищений вміст аспартату. Підвищене включення цих амінокислот до гідрофільних білків за умов стресу свідчить що їх важливе значення в пристосувальних процесах клітин твірної тканини коренів кукурудзи. Неспецифічною реакцією на хімічний стрес клітин меристеми можна вважати також зниження вмісту лейцину, що було характерним для всіх без винятку варіантів досліду (рис. 1-2). Особливістю впливу іонів кадмію в концентрації $2 \cdot 10^{-4}$ моль \cdot л $^{-1}$ було зниження рівня суми високогідрофільних амінокислот (аспартат, глутамат, лізин, аргінін, гістидін) від 4 до 16% у залежності від тривалості дії ксенобіотика, а також підвищення суми високогідрофобних амінокислот (фенілаланін, лейцин, ізолейцин, метіонін, валін) у середньому на 30,5%. За сумісної дії вміст високогідрофільних і високогідрофобних амінокислот був близьким, або на рівні контролю.

Протягом проростання якісний амінокислотний склад рослин не змінювався, у той час як кількісний вміст окремих амінокислот сильно варіював. Підвищення у різному ступені вмісту дікарбонових амінокислот – глутамату та аспартату, свідчить про інтенсифікацію метаболічних процесів за дії досліджуваних речовин. Проте, не можна виключати, що зростання вмісту глютамінової та аспарагінової кислот пов'язано зі зниженням швидкості їх утилізації. Також, важкі метали викликали збільшення в різному ступені вмісту амінокислот орнітинового циклу: аргініну та кінцевого продукту циклу – проліну. Пролін – амінокислота, яка володіє стрес-протекторною дією за рахунок зв'язування агрегатів проліну з поверхневими гідрофобними залишками білків, що перешкоджає їх денатурації. Можливо, схожа захисна дія проліну має місце і в даному випадку.

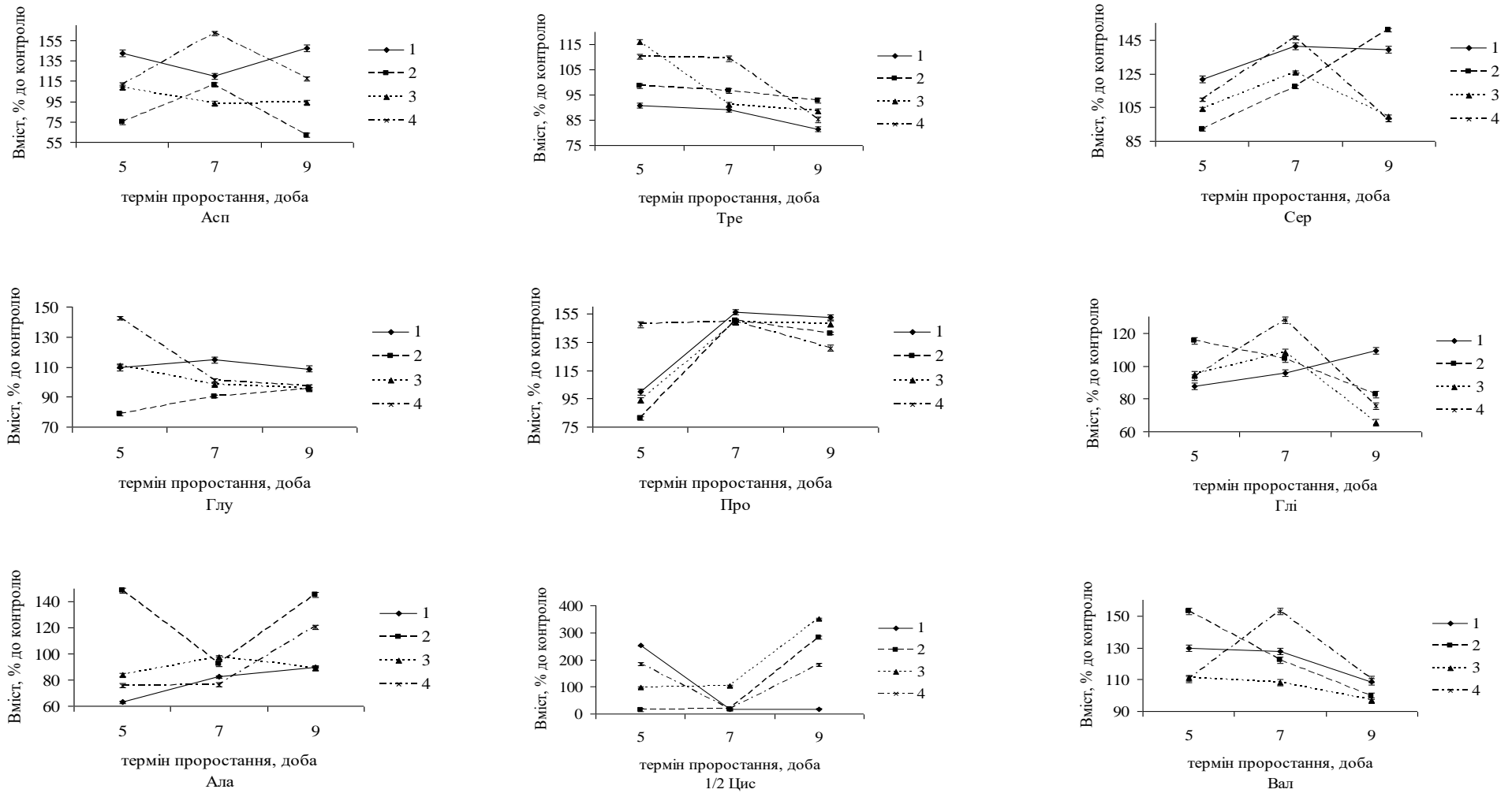


Рис.1. Динаміка вмісту амінокислот у меристемах кореня кукурудзи за комбінованої дії іонів важких металів:
1 – $Pb^{2+} 2 \cdot 10^{-3}$ моль·л⁻¹; 2 – $Cd^{2+} 2 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹; 3 – $Ni^{2+} 1 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹; 4 – $Pb^{2+} + Cd^{2+} + Ni^{2+}$

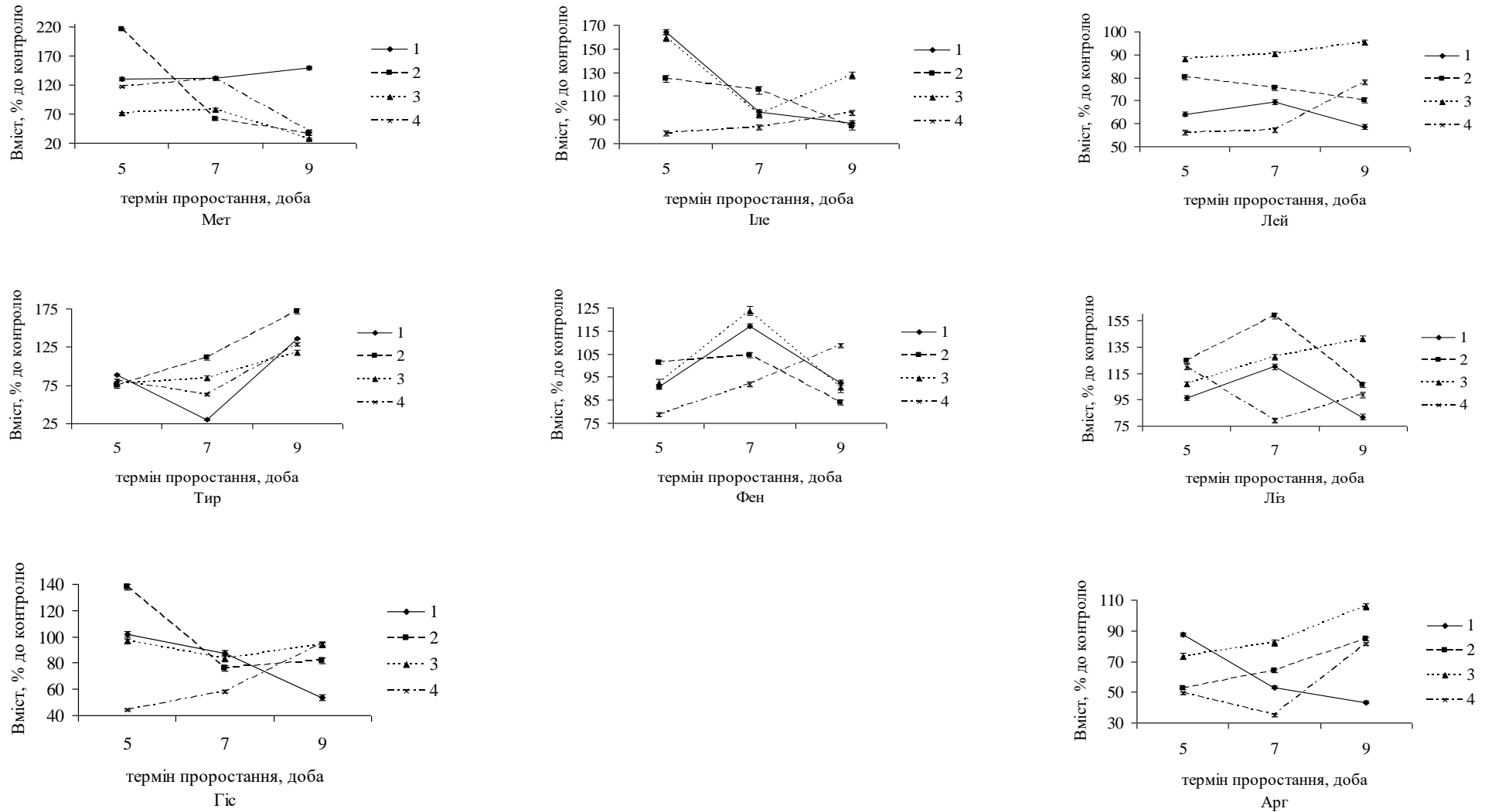


Рис. 2. Динаміка вмісту амінокислот у меристемах кореня кукурудзи за комбінованої дії іонів важких металів: 1 – $Pb^{2+} 2 \cdot 10^{-3}$ моль·л⁻¹; 2 – $Cd^{2+} 2 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹; 3 – $Ni^{2+} 1 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹; 4 – $Pb^{2+} + Cd^{2+} + Ni^{2+}$

Закономірності функціонування ферменту «стресу» - пероксидази за дії іонів свинцю, кадмію, та нікелю. Розкриття механізмів формування адаптаційних реакції неможливо без вивчення антиоксидантних систем. Досліджуючи динаміку змін активності пероксидази можна отримати додаткову інформацію про специфічність впливу іонів важких металів на клітинний метаболізм. Так, за дії іонів кадмію у концентрації $2 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹ спостерігається поступове зменшення активності пероксидази протягом проростання (табл. 6). Максимум активності ферменту за дії іонів свинцю $2 \cdot 10^{-3}$ моль·л⁻¹ відмічався на 5-ту добу впливу метала і з подальшим ростом проростків цей показник поступово зменшувався. На відміну від дії попередніх металів іони нікелю мали інший вплив на динаміку змін каталітичної активності ензиму (табл. 6). Так, на 5-ту добу вирощування проростків кукурудзи на середовищі з нітратом нікелю зареєстровано зниження активності пероксидази, яке варіювало у межах 26 - 30%. При подальшому рості рослин за дії концентрації металу $1 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹ спостерігалось поступове підвищення активності ферменту. За сумісної дії важких металів протягом росту рослин відбувалося підвищення активності пероксидази, яке досягало максимуму на 9-ту добу впливу. Між 5-ю та 7-ю добами цей показник складав 44,9%, а між 7-ю та 9-ю – 9,7%.

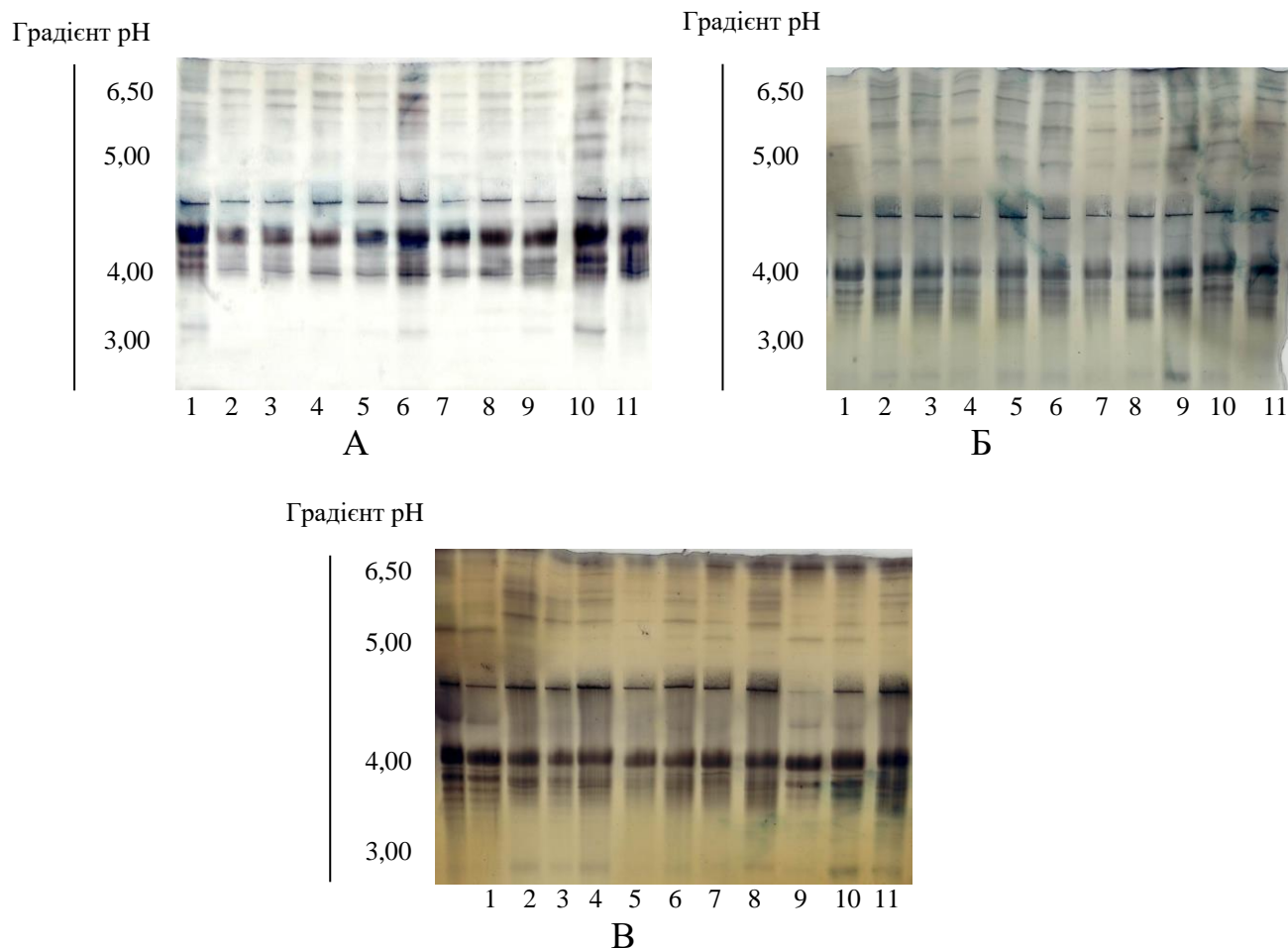
Таблиця 6

Вплив важких металів на активність пероксидази апікальної меристеми коренів проростків кукурудзи, нмоль/г сирі маси·хв⁻¹

Концентрація важких металів, моль·л ⁻¹	Термін проростання		
	5-та доба	7-ма доба	9-та доба
Контроль	106,1 ± 0,9	125,5 ± 1,5	128,4 ± 1,6
Pb ²⁺ · 10 ⁻³	156,7 ± 1,5	135,2 ± 2,4	130,0 ± 1,5
Cd ²⁺ · 10 ⁻⁴	107,5 ± 1,3	91,4 ± 1,3	78,8 ± 0,9
Ni ²⁺ · 10 ⁻⁴	74,2 ± 0,8	130,0 ± 2,1	141,8 ± 1,9
Pb ²⁺ +Cd ²⁺ +Ni ²⁺	127,8 ± 1,2	185,2 ± 1,7	203,2 ± 3,0

Отримані результати показали, що важкі метали у вивчених концентраціях викликали утворення некрозів, починаючи з другої доби після пересадки на середовище з іонами металів. Стрімке некрозоутворення спостерігалось на 7-му та 9-ту доби за дії всіх видів металів. Проте ступінь цього процесу була різною, що свідчить про різну чутливість проростків кукурудзи до металів різного походження. **Ізоферментні спектри меристематичних клітин коренів кукурудзи за дії іонів важких металів.** Наряду із змінами у альбумінах, які пов'язані з активністю ферменту, спостерігались перебудови в її ізоферментному спектрі протягом всього періоду дії стрес-факторів. Характер цих перебудов заключався в підвищенні/пригніченні активності, появи/зникненні певних ізопероксидаз. Так, на

5-ту проростання (рис. 3) у контрольному зразку визначено 12 компонентів з рІ від 3.00 до 5.75. Ізоформа з рІ 5.75 притаманна лише контролю. За сумісної дії іонів важких металів виявили 13 ізоформ з рІ 3.75 – 5.90. Визначені спектри зі стабільно високою активністю (4.95, 5,20).



А – 5-та доба, Б – 7-а доба, В – 9-та доба

1 – контроль; 2 – $\text{Pb}^{2+} 2 \cdot 10^{-3}$ моль·л⁻¹; 3 – $\text{Pb}^{2+} 2 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹;
 4 – $\text{Pb}^{2+} 2 \cdot 10^{-5}$ моль·л⁻¹; 5 – $\text{Cd}^{2+} 2 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹; 6 – $\text{Cd}^{2+} 2 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹л;
 7 – $\text{Cd}^{2+} 2 \cdot 10^{-5}$ моль·л⁻¹л; 8 – $\text{Ni}^{2+} 1 \cdot 10^{-4}$ моль·л⁻¹; 9 – $\text{Ni}^{2+} 1 \cdot 10^{-5}$ моль·л⁻¹;
 10 – $\text{Ni}^{2+} 3,4 \cdot 10^{-6}$ моль·л⁻¹; 11 – $\text{Pb}^{2+} + \text{Cd}^{2+} + \text{Ni}^{2+}$

Рис. 3. Ізоферментні спектри пероксидази апікальної меристеми кореня кукурудзи під час проростання на середовищі з іонами важких металів

Сьома доба (рис. 3) відмічалась збільшенням числа компонентів порівнянні з 5-ю добою за сумісної дії іонів важких металів. Ізоформи з рІ 2.25 та 5,35 проявили стабільну підвищену активність. Також спостерігалось зникнення компонентів з рІ 3.50 і 4.80. Ізоформи 3.50, 3.85 та 3.89 відсутні у контролі. Протягом всього періоду проростання (рис. 3) кількість ізоформ збільшується за рахунок появи нових

компонентів. Так, у контролі з'являються спектри з рІ 3.13, 4.25, 5.15. За сумісної дії збільшення числа компонентів до 15 відбувається з появою нових ізоформ з рІ 3.70, 3.85, 5.25, а зникають спектри з рІ 3.90, 4.10, 4.25, 5.35, 5.75, 5.85.

ВИСНОВКИ

Встановлені як загальні, так і специфічні для кожного з іонів металів ефекти токсичної дії, що проявляється в особливостях змін клітинної організації апікальної ділянки кореня та фізіолого-біохімічних процесах та специфіки синтезу білків у зв'язку із функціональною активністю меристем. Результати наших досліджень засвідчують, що:

1. Із збільшенням часу експозиції фітотоксичність іонів важких металів підсилюється, що проявляється у зміні типу комбінованої дії ксенобіотиків на довжину кореня з антагоністичного (5-та доба) на синергічний (7-ма і 9-та доби), зниженні мітотичної активності, підвищенні рівня аберантних клітин та зростанні пікнотичних порушень.
2. Інкубація рослин кукурудзи на середовищі з іонами важких металів знижує інтенсивність синтезу водорозчинних білків клітин меристеми кореня на ранніх етапах онтогенезу на 38 і 10% відповідно до терміну проростання (5-та та 7-ма доби), а на більш пізніх (9-та доба) – підвищення на 17 % порівняно з контролем.
4. Коливання інтенсивності синтезу білків корелює зі змінами поліпептидного складу, що має свій прояв у підсиленні синтезу поліпептидів сімейств БТШ 60 и 90 кД, перебудовах в області низькомолекулярних компонентів, а також зникнення компонентів з високою молекулярною масою 121 і 148 кД. Виявлено білки, поява яких була стабільною протягом всього терміну проростання рослин кукурудзи.
5. Зміни поліпептидного складу водорозчинних білків пов'язані з підвищеним вмістом проліну, валіну та цистеїну, що можна вважати специфічною реакцією клітин меристеми до впливу іонів важких металів.
6. Встановлені зміни активності та ізоферментного складу пероксидази меристемних клітин коренів кукурудзи, які пов'язані зі змінами в поліпептидному складі білків, є маркерною реакцією на дію фітотоксикантів.
7. Запропоновані критерії оцінювання дії металів на ріст та фізіолого-біохімічні процеси меристеми коренів кукурудзи можуть використовуватись для індикації забрудненості середовища важкими металами. Вони поширюють існуючі уявлення про функціональну активність меристемних тканин кореня рослин кукурудзи в умовах дії іонів важких металів і виступають маркерними ознаками стресу за дії полютантів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії:

Вінниченко О.М., Більчук В.С., Філонік І.О., Хромих Н.О., Шупранова Л.В., Богуславська Л.В., Россихіна-Галича Г.С., Попов В.Я., Заморуєва Л.Ф. Фізіолого-

біохімічні аспекти адаптації сільськогосподарських рослин до комплексної дії абіотичних факторів середовища. Дніпро : Нова ідеологія, 2011. 258 с.

У виданнях, які включені до наукометричних баз:

1. **Богуславская Л.В.,** Тихомиров А.О. (2005). Вплив іонів важких металів на мітотичний індекс апікальної меристеми кореня кукурудзи (*Zea mays* L.) Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 40. 160-165 (**Thomson Scientific Master Journal List**) (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

2. **Богуславська Л.В.,** Павлюкова Н.Ф. (2010) Проліферативна активність меристемних клітин коренів рослин пшениці в умовах дії іонів важких металів. Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 53. 204-208 (**Thomson Scientific Master Journal List**) (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

3. **Богуславська Л.В.,** Шупранова Л.В. (2011) Зміни амінокислотного складу меристемних клітин коренів кукурудзи за дії іонів нікелю. Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 56. 250-254 (**Thomson Scientific Master Journal List**) (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

4. **Богуславська Л.В.** (2012) Амінокислотний склад білків меристемних клітин коренів кукурудзи за дії іонів свинцю. Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 60. 327–331 (**Thomson Scientific Master Journal List**) (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

5. **Bohuslavska L.V.,** Shupranova L.V., Holoborodko K.K. (2022). Peroxidase activity of the growth point of maize (*Zea mays* L.) under the action of lead ions. *Agrology*. 5 (4). 105–109 (**Thomson Scientific Master Journal List**). (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

Статті у фахових виданнях України:

1. Вінниченко О.М., **Богуславська Л.В.,** Пупченко А.В. (2001) Изучение влияния ионов свинца на гетерогенность и аминокислотный состав белков в корневой меристеме *Zea mays* L. Вісник Дніпропетровського університету. Серія Біологія, Екологія. Т.2. Вип. 9. С. 34-38 (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

2. **Богуславська Л.В.** (2002) Адаптація меристем кореня і пагона проростків кукурудзи до дії іонів нікелю. Наукові записки. Серія: біологія. Тернопіль. Вип. 3. С. 144-148 (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

3. Вінниченко О.М., **Богуславская Л.В.** (2004) Активность пероксидазы точки роста корня кукурузы (*Zea mays* L.) при действии ионов кадмия. Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Біологія. Екологія». Вип. 12, т. 2. С. 7-11 (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

4. **Богуславская Л.В.,** Тихомиров А.О. (2005) Вплив іонів важких металів на мітотичний індекс апікальної меристеми кореня кукурудзи (*Zea mays* L.) Вісник Львівського університету. Серія біологічна. Вип.40. С. 160-165 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

5. Вінниченко О.М., Шупранова Л.В., **Богуславська Л.В.,** Глубока В.М. (2005) Вплив іонів нікелю на вміст і поліпептидний спектр альбумінів кореневої меристеми кукурудзи. Збірник наукових праць «Живлення рослин: теорія і практика», Київ. С. 476-484 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

6. **Богуславская Л.В.,** Павлюкова Н.Ф., Винниченко А.Н. (2006) Цитогенетические изменения в апикальной меристеме корня кукурузы при действии ионов никеля. Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Біологія. Екологія». Вип. 14, т. 2. С. 17-20 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

7. **Богуславська Л.В.,** Вінниченко О.М., Шупранова Л.В. (2009) Цитогенетична активність меристемних клітин коренів рослин кукурудзи за роздільної та сумісної дії іонів важких металів. Вісник українського товариства генетиків та селекціонерів. Т.7, №1. С. 10-16 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

8. **Богуславська Л.В.,** Павлюкова Н.Ф. (2010) Проліферативна активність меристемних клітин коренів рослин пшениці в умовах дії іонів важких металів. Вісник Львівського університету. Серія біологічна. Вип. 53, С. 204-208 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

9. **Богуславська Л.В.,** Саркісян Н.В., Шупранова Л.В., Вінниченко О.М. (2010) Вплив нікелю різної концентрації на поділ клітин і ріст проростків кукурудзи. Збірник наукових праць „Питання біоіндикації”. Запоріжжя: ЗДУ. 105-113 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

10. **Богуславська Л.В.,** Шупранова Л.В. (2011) Зміни амінокислотного складу меристемних клітин коренів кукурудзи за дії іонів нікелю. Вісник Львівського університету. Серія біологічна. Вип. 56. С. 250-254 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

11. **Богуславська Л.В.** (2012) Амінокислотний склад білків меристемних клітин коренів кукурудзи за дії іонів свинцю. Вісник Львівського університету. Серія біологічна. Вип. 60. С. 327–331 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

12. **Богуславська Л.,** Шупранова Л., Голобородько К., Кунах О. (2022) Амінокислотний склад білків меристемних клітин коренів кукурудзи за спільної дії іонів свинцю, кадмію та нікелю. *Екологія та ноосферологія*. Т. 33, № 2. С. 68-73. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/032211>

13. **Богуславська Л.В.** (2023) Білкова система твірних тканин коренів кукурудзи (*Zea mays* L.) за дії іонів важких металів. Екологічні науки. Вип. 1(46). С.132–138 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

Тези наукових доповідей:

1. Вінниченко О.М., Шупранова Л.В., **Богуславська Л.В.** (2001) Влияние ионов свинца на белковый состав меристемы корня *Zea mays* L. Тези доповідей міжнародної конференції „Екологія кризових регіонів України”. Дніпропетровськ. С. 54 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

2. **Богуславская Л.В.** (2002) Изучение влияния ионов кадмия на белковый состав меристемы корня кукурузы (*Zea mays* L.). Тези доповідей VIII конференції молодих вчених «Сучасні напрямки у фізіології та генетиці рослин». Київ. С. 80 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

3. **Богуславская Л.В.** (2002) Влияние ионов свинца и кадмия на изоферментный спектр пероксидазы апикальной меристемы корня кукурузы. Матеріали II всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів „Біологічні дослідження молодих вчених на Україні”. Київ. С. 7-8 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

4. **Богуславская Л.В.**, Вінниченко А.Н. (2003) Влияние ионов никеля на активность пероксидазы апикальной меристемы корня кукурузы. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Фізіологія рослин та екологія». Дніпропетровськ. С. 3 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

5. **Богуславская Л.В.**, Вінниченко А.Н. (2003) Адаптация меристемы корня проростков кукурузы к действию ионов никеля. Матеріали VI міжнародної конференції „Наука і освіта – 2003”. Дніпропетровськ. Т.2. Біологія. С. 11-12 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

6. **Богуславская Л.В.**, Павлюкова Н.Ф., Споденец Е.В. (2003) Влияние ионов тяжелых металлов на митотическую активность меристемы корня кукурузы (*Zea mays* L.). Матеріали IV Міжнародної наукової конференції «Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку». Донецьк. С. 90-91 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

7. **Богуславська Л.В.**, Вінниченко О.М. (2004) Фізіолого-біохімічні зміни показників апикальної меристеми кореня кукурудзи (*Zea mays* L.) за дії іонів нікелю. Тези II Міжнародної конференції «Онтогенез рослин у природному та трансформованому середовищі». Львів. С. 216 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

8. **Богуславська Л.В.**, Вінниченко О.М., Шупранова Л.В., Більчук В.С. (2005) Пероксидазна активність меристеми кореня кукурудзи за комбінованої дії іонів важких металів. Тези наукової конференції молодих учених «Сучасні

проблеми фізіології рослин і біотехнології». Ужгород. С. 17 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

9. **Богуславська Л.В.**, Шупранова Л.В. (2005) Зміни в амінокислотному складі білків меристем коренів кукурудзи за дії іонів нікелю. Тези доповідей ІХ конференції молодих дослідників, присвяченої 100-річчю від дня народження академіка АН УРСР і ВАСГНІЛ П.А. Власюка “Актуальні проблеми фізіології, генетики та біотехнології рослин і ґрунтових мікроорганізмів”. Київ. С. 8 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

10. **Богуславська Л.В.**, Павлюкова Н.Ф. (2005) Комбинированное влияние солей кадмия, свинца и никеля на пролиферативную активность меристематических участков корней кукурузы (*Zea mays* L.). Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції до 90-річчя від дня народження професора О.Ф. Михайлова «Сучасні проблеми фізіології та інтродукції рослин». Дніпропетровськ. С.7 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

11. **Богуславська Л.В.**, Шупранова Л.В. (2006) Зміни поліпептидного складу білків кореневої меристеми кукурудзи за комбінованої дії іонів важких металів. Матеріали Міжнародної наукової конференції «Довкілля – ХХІ». Дніпропетровськ. Т. 4. С. 11-13 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

12. **Богуславская Л.В.**, Винниченко А.Н. (2007) Физиолого-биохимические реакции в корневых меристемах при комбинированном действии ионов свинца, кадмия и никеля. II Всеукраїнська науково-практична конференція до 80-річчя професора Долгової Л.Г. «Сучасні проблеми фізіології та інтродукції рослин». Дніпропетровськ. С. 11 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

13. **Bohuslavskaya L.**, Shupranova L., Vinnichenko A. (2007) Adaptive properties of maize seedling meristem roots at the action of lead ions during ontogenesis. Тези доповідей III Міжнародній конференції “Онтогенез рослин у природному та трансформованому середовищі. Фізіолого-біохімічні та екологічні аспекти”. Львів. С. 188 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

14. **Богуславська Л.В.** (2007) Ензиматична активність пероксидази меристематичних тканин корені кукурудзи за дії іонів кадмію. Матеріали міжнародної конференції молодих учених-ботаніків “Актуальні проблеми ботаніки та екології”. Київ. С. 199-200 (*Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку*).

15. **Bohuslavskaya L.**, Shupranova L., Vinnichenko A. (2007) Isoenzyme composition of maize seedlings roots meristeme cell at the action of nickel ions. Матеріали десятої конференції молодих вчених “Сучасний стан і пріоритети розвитку фізіології рослин, генетики та біотехнології”. Київ. С. 25 (*Проведено*

експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

16. **Богуславская Л.В., Шупранова Л.В.** (2007) Влияние ионов тяжелых металлов на рост растений кукурузы (*Zea mays* L.). Матеріали Першої міжнародної науково-практичної конференції «Рослини та урбанізація». Дніпропетровськ. С. 109 *(Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).*

17. **Богуславская Л.В., Шупранова Л.В.** (2008) Аминокислотный состав белков корневой меристемы кукурузы в условиях действия ионов свинца. Тези доповідей науково-практичної конференції до 75-річчя Ботанічного саду Дніпропетровського національного університету „Сучасні проблеми інтродукції та акліматизації рослин”. Дніпропетровськ. С. 31-32 *(Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).*

18. **Богуславская Л.В., Шупранова Л.В.** (2009) Изменения содержания белковых аминокислот в меристематических клетках кукурузы в процессе прорастания при действии ионов никеля. Матеріали міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих учених „Фундаментальні та прикладні дослідження в біології”. Донецьк. С. 202-203 *(Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).*

19. **Богуславська Л.В.** (2009) Зміни складу та вмісту пероксидаз кореневої меристеми кукурудзи за стресових умов. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції „Проблеми фундаментальної і прикладної екології, екологічної геології та раціонального природокористування”. Кривий ріг. С. 135-138 *(Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).*

20. **Богуславська Л.В., Шупранова Л.В., Бильчук В.С.** (2009) Активність і компонентний склад пероксидази кореневої меристеми в умовах стресу. II міжнародна наукова конференція „Інтродукція, селекція та захист рослин”, Донецьк. С. 211-212 *(Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).*

21. **Bohuslavskaya L.V., Shupranova L.V.** (2010) Peroxidase activity and its isozyme composition of extensibility zone of maize root under xenobiotics effect. Матеріали за міжнародна научна практична конференція «Край на научного розвитку – 2009». Софія. С.49-51 *(Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).*

22. **Богуславська Л.В., Вінниченко О.М.** (2010) Зміни складу та вмісту поліпептидів твірних тканин коренів проростків пшениці за дії іонів кадмію. Матеріали III регіональної наукової конференції студентів та молодих учених „Актуальні проблеми дослідження довкілля”. Суми. С. 6-8 *(Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).*

23. **Богуславська Л.В.** (2010) Зміни амінокислотного складу меристемних клітин кореня кукурудзи за дії іонів кадмію. Матеріали XI конференції молодих вчених „Наукові, прикладні та освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології

рослин та мікроорганізмів”. Київ. С. 22-24 (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

24. **Богуславська Л.В.**, Павлюкова Н.Ф., Вінниченко О.М. (2012) Розподіл Cd-зв'язуючих білків у клітинах коренів кукурудзи. Тези доповідей Міжнародного науково-практичного форуму «Наука і бізнес – основа розвитку економіки». Дніпропетровськ. Дн – вськ: ДНУ. С. 188 – 189 (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

25. **Богуславська Л.В.** (2023) Морфометричні показники коренів проростків кукурудзи за окремої та комбінованої дії йонів важких металів. Матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції «Рослини та урбанізація». Дніпро. С. 28 – 60 (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації

1. **Богуславська Л.В.**, Скутаренко Д.С., Лашко В.В. (2007). Дослідження динаміки метаболічних процесів кукурудзи з різною стійкістю до холоду на ранніх стадіях проростання. Матеріали восьмої наукової конференції молодих вчених „Наукові основи збереження біотичної різноманітності”, Львів. С. 146-147 (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

2. **Богуславська Л.В.**, Садоха О.В., Шупранова Л.В. (2009). Особливості цитогенетичних показників апікальної кореневої меристеми кукурудзи за дії хімічних агентів. Науковий Вісник Миколаївського державного університету ім. В.О. Сухомлинського. В. 24, №4 (1). С. 32-35 (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

3. **Богуславська Л.В.**, Варданян С.В., Вінниченко О.М. (2009). Реакція білкової системи зони розтягу коренів кукурудзи на дію ксенобіотиків. Науковий Вісник Миколаївського державного університету ім. В.О. Сухомлинського. В. 24, №4 (1). С. 35-38 (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

4. **Богуславська Л.В.**, Варданян С.В., Шупранова Л.В., Антонюк С.П. (2009). Закономірності змін морфометричних та цитогенетичних ефектів за стресових умов. Матеріали міжнародної конференції молодих учених-ботаніків “Актуальні проблеми ботаніки та екології”, Кременець. С. 99-100 (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

5. **Boguslavska L.** (2010). Protein system of root maize meristeme cells under cadmium ion and soil herbicide effect. Materialy Y Miedzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji „Kluczowe aspekty naukowej dzialalnosci”. Przemysl. P. 47-49 (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

6. **Boguslavska L.**, Shupranova L.V. (2010). Peroxidase activity and its isozyme composition of extensibility zone of maize root under xenobiotics effect. Матеріали за міжнародна научна практична конференція «Край на научното развитие – 2009». Софія. С.49-51 (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

7. **Богуславська Л.В., Садоха О.В.** (2010). Функціональний стан твірних тканин коренів рослин кукурудзи (*Zea mays* L.) в умовах дії іонів кадмію. Матеріали Международной конференции молодых ученых „Актуальные проблемы ботаники и экологии”. Ялта. С. 282-283 (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

8. **Богуславська Л.В., Твердохліб Н.В.** (2010). Реакція меристемних клітин коренів проростків кукурудзи на дію іонів нікелю. Матеріали Международной конференции молодых ученых „Актуальные проблемы ботаники и экологии”. Ялта. С. 296-297 (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

9. **Богуславська Л.В.** (2010). Морфометричні показники довжини коренів та пагонів проростків пшениці в умовах дії іонів кадмію. Materialy VI mezinarodni vedecko-prakticka konference „Veda a technologie: krok do budoucnosti – 2010“. Praha. P. 57-59 (Проведено експериментальні дослідження, обробка результатів та їх аналіз, підготовка матеріалу до друку).

АНОТАЦІЯ

Богуславська Л.В. «Фізіолого-біохімічні адаптації до дії важких металів (свинець, кадмій, нікель) кореневої системи рослин кукурудзи». – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук за спеціальністю 03.00.16 «Екологія». – Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, 2023.

Дисертація присвячена вивченню сумісного впливу іонів свинцю, кадмію та нікелю на ростові, цитогенетичні та фізіолого-біохімічні показники меристемних тканин кореня кукурудзи. Встановлені як загальні, так і специфічні для кожного з іонів металів ефекти токсичної дії, які проявляються в особливостях змін клітинної організації апікальної ділянки кореня та фізіолого-біохімічних змінах у зв'язку із функціональною активністю меристем. В умовах модельного експерименту вперше проаналізовано сумісний вплив іонів важких металів на цитогенетичний апарат твірних тканин кореня кукурудзи та вивчено вихід аберантних клітин у кореневій меристемі кукурудзи за потрійної дії свинцю, кадмію та нікелю. Вперше виявлені зміни у компонентному складі водорозчинних білків меристеми за дії іонів важких металів. Дослідження специфіки білкового спектру меристеми показало, що у результаті дії іонів металів змінюються його якісні та кількісні характеристики у залежності від концентрації та тривалості дії полютанта. На тлі зменшення загальної інтенсивності синтезу білку вперше встановлено специфічні як для роздільної дії важких металів, так і їх комбінації зміни поліпептидного складу. Вперше досліджено динаміку вмісту амінокислот у кореневих меристемах в умовах дії іонів важких металів. Встановлена спрямована зміна активності та ізоферментного складу пероксидази твірних тканин кореня кукурудзи за окремої та комбінованої дії іонів важких металів. З'ясовано особливості активності та ізоферментного складу пероксидази за дії іонів свинцю, кадмію та нікелю.

Ключові слова: іони, важкі метали, меристеми, хромосомні аберації, білки, амінокислоти, пероксидаза, ізоферменти.

АННОТАЦИЯ

Богуславская Л.В. Физиолого-биохимические адаптации к действию тяжелых металлов (свинец, кадмий, никель) корневой системы растений кукурузы. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по специальности 03.00.16 «Экология». – Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, Днепр, 2023.

Диссертация посвящена изучению совместного воздействия ионов свинца, кадмия и никеля на ростовые, цитогенетические и физиолого-биохимические показатели меристемных тканей корня кукурузы. Установлены как общие, так и специфические для каждого из ионов металлов эффекты токсического действия, проявляющиеся в особенностях изменений клеточной организации апикального участка корня и физиолого-биохимических изменений в связи с функциональной активностью меристем. В условиях модельного эксперимента впервые проанализировано совместное влияние ионов тяжелых металлов на цитогенетический аппарат образующих тканей корня кукурузы и изучен выход аберантных клеток в корневой меристеме кукурузы при тройном действии свинца, кадмия и никеля. Впервые обнаружены изменения в компонентном составе водорастворимых белков при действии ионов тяжелых металлов. Исследование полипептидного спектра меристемы показало, что в результате ионов металлов изменяются его качественные и количественные характеристики в зависимости от концентрации и продолжительности действия поллютанта. На фоне уменьшения общей интенсивности синтеза белка впервые установлены специфические как для отдельного действия тяжелых металлов, так и их комбинации изменения полипептидного состава. Впервые исследована динамика содержания аминокислот в корневых меристемах в условиях действия ионов тяжелых металлов. Установлено направленное изменение активности и изоферментного состава пероксидазы меристемных тканей корня кукурузы при отдельном и комбинированном действии ионов тяжелых металлов. Выявлены особенности активности и изоферментного состава пероксидазы при действии ионов свинца, кадмия и никеля.

Ключевые слова: ионы, тяжелые металлы, меристемы, хромосомные аберации, белки, аминокислоты, пероксидаза, изоферменты.

SUMMARY

Boguslavska L.V. "Physiological and biochemical adaptations to the action of heavy metals (lead, cadmium, nickel) of the root system of corn plants." – Qualifying scientific work on manuscript rights.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of agricultural sciences on a specialty 03.00.16 «Ecology». – Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, 2023.

The dissertation is devoted to the study of the combined effect of lead, cadmium, and nickel ions on the growth, cytogenetic, and physiological-biochemical indicators of the meristem tissues of the maize root. Both general and specific effects of toxic action for each of the metal ions were established, which are manifested in the features of changes in the cellular organization of the apical part of the root and physiological and biochemical changes in connection with the functional activity of the meristem.

Under the conditions of a model experiment, the combined effect of heavy metal ions on the cytogenetic apparatus of the generative tissues of the maize root was analyzed for the first time, and the yield of aberrant cells in the root meristem of corn under the triple action of lead, cadmium, and nickel was studied. For the first time, changes in the component composition of water-soluble proteins of the meristem under the action of heavy metal ions were detected. The study of the specificity of the protein spectrum of the meristem showed that as a result of the action of metal ions, its qualitative and quantitative characteristics change depending on the concentration and duration of the action of the pollutant. Against the background of a decrease in the overall intensity of protein synthesis, changes in the polypeptide composition specific to both heavy metals and their combination were determined for the first time. For the first time, the dynamics of protein amino acid content in root meristems under the influence of heavy metal ions was investigated. A directed change in the activity and isozyme composition of peroxidase of the generative tissues of the maize root under the individual and combined action of heavy metal ions was established. The peculiarities of the activity and isozyme composition of peroxidase under the action of lead, cadmium and nickel ions have been clarified.

Key words: ions, heavy metals, meristems, chromosomal aberrations, proteins, amino acids, peroxidase, isozymes.

Підписано до друку 09.05.2023

Формат 60×90 1/16. Папір офсетний.

Умовн. друк. арк. 0,9. Зам. № 171. Тираж 100 прим.

Друкарня ПП «Ліра ЛТД»,
49107, м. Дніпро, вул. Наукова, 5