

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЗАОЧНОЇ ТА
ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ**

Допускається до захисту
«_____» _____ 2021р.
Зав. кафедри _____
(підпис)
доцент, к.б.н., П.Р. Хірівський
наук. ступ., вч. зв.(ініціали та прізвище)

ДИПЛОМНА РОБОТА

Бакалавр
(рівень вищої освіти)

**на тему: «Зміни фізичних і біохімічних властивостей ячменю
в умовах свинцевого та кадмієвого стресу»**

Виконала: студентка групи Еко-51

Спеціальності 101 «Екологія»

Янчук Олена Степанівна

Керівник: Н.В. Качмар _____

Консультант: Ю.О. Ковальчук _____

Дубляни 2021

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний аграрний університет
Навчально-науковий інститут заочної та післядипломної освіти
Кафедра екології

Рівень вищої освіти «Бакалавр»
Спеціальність 101 «Екологія»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри _____
доцент, к.б.н., П.Р. Хірівський
« _____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту
Янчук Олені Степанівні

1. Тема роботи: «Зміни фізичних і біохімічних властивостей ячменю в умовах свинцевого та кадмієвого стресу»

Затверджена наказом по університету № _____ від “ _____ ” 20__ р.

2. Термін здачі студентом закінченої дипломної роботи 29 березня 2021 року

3. Вихідні дані для дипломної роботи

Літературні джерела, фізико-географічна та кліматична характеристика району проведення досліджень, методики виконання досліджень

4. Перелік питань, які необхідно розробити (наводиться зміст, який містить пункти і підпункти усіх розділів)

Вступ

Розділ 1 Огляд літератури

1.1. Вплив умов зростання рослини на її фізичні та біохімічні показники

1.2. Механізми адаптації рослин до дії важких металів

Розділ 2 Об'єкти і методи дослідження

2.1. Ґрунтово-кліматичні умови території проведення польового дослідження

2.2. Методика визначення питомої поверхні коренів

Розділ 3 Результати досліджень

3.1. Вплив свинцю та кадмію на фізичні показники колосу тест-культури

3.2. Особливості впливу свинцю та кадмію на показник вмісту загального азоту та білка у зерні

3.3. Особливості впливу свинцю та кадмію на показник вмісту крохмалю у зерні

3.4. Особливості впливу свинцю та кадмію на показник вмісту сирого жиру, сирі клітковини та сирі золи у зерні

3.5. Вплив свинцю на питому поверхню коренів ячменю

3.6. Вплив кадмію на питому поверхню коренів ячменю

Розділ 4 Охорона праці

4.1. Шкідливі та небезпечні фактори при виконанні весняно-польових робіт

4.2 Вимоги безпеки під час використання пестицидів та мінеральних добрив

Зробити висновки за результатами проведених досліджень

Сформуванати список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (подається конкретний перерахунок аркушів з вказуванням їх кількості)

6. Консультанти з розділів:

Роз-діл	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3	Качмар Н.В. доцент кафедри екології			
4	Ковальчук Ю.О. доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва АПК			

7. Дата видачі завдання 09 жовтня 2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	При-мітка
1	Написання вступу та розділу “Огляд літератури”	09.10.20–13.13.20	
2	Написання розділу “Об’єкти і методи дослідження”	16.11.20–18.12.20	
3	Написання розділу “Результати досліджень”	21.12.20–22.02.21	
4	Написання розділу “Охорона праці”, формулювання висновків, оформлення списку використаних джерел	23.02.21–29.03.21	

Студент _____
(підпис)

Керівник дипломної
роботи _____ Н.В. Качмар
(підпис)

УДК 631.963:631.445.2

Зміни фізичних і біохімічних властивостей ячменю в умовах свинцевого та кадмієвого стресу – Янчук О.С. – Дипломна робота бакалавра. Кафедра екології – Дубляни, Львівський НАУ, 2021.

47 ст. текст. част., 5 табл., 7 рис., 34 джерел

На основі проаналізованих літературних джерел, зокрема дисертаційних робіт, охарактеризовано проблему накопичення важких металів у рослинах та описано особливості формування фізичних та біохімічних властивостей ячменю, який вирощений на забруднених агроугіддях.

На основі отриманих результатів досліджень встановлено, що досліджувані концентрації свинцю та кадмію не чинять негативної дії на такі показники, як довжина колосу, число колосків у колосі, маса 1000 зерен, вміст сирого жиру, вміст білка (за винятком незначного зниження значення показника на варіанті досліду 10 ГДК Pb^{2+}), вміст загального азоту. Свинець, порівняно з кадмієм, володіє більш вираженою інгібіторною дією щодо формування вмісту клітковини у зерні. Показник крохмалистості зерна ячменю зазнає подвійного пливу.

Встановлено, що під впливом свинцю й кадмію зменшилася питома поверхня коренів ячменю. Істотний вплив на зменшення питомої поверхні мав час тривання кадмієвого стресу.

У зв'язку з цим виникає необхідність постійного моніторингу за вмістом важких металів в ґрунтах, які виступають їх джерелом для інших компонентів ландшафту та живих організмів.

Проблему надходження надмірних кількостей сполук важких металів у агроландшафти, поруч з іншими екологічними небезпеками, слід вирішувати на загальнодержавному рівні, створюючи нову філософію екологічної свідомості людини для невідкладної зміни антиприродного курсу розвитку людства.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	8
1.1 Вплив умов зростання рослини на її фізичні та біохімічні показники	8
1.2 Механізми адаптації рослин до дії важких металів	11
РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	13
2.1 Ґрунтово-кліматичні умови території проведення польового дослідження	13
2.2 Методика визначення питомої поверхні коренів	16
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	18
3.1 Вплив свинцю та кадмію на фізичні показники колосу тест-культури	18
3.2 Особливості впливу свинцю та кадмію на показник вмісту загального азоту та білка у зерні	21
3.3 Особливості впливу свинцю та кадмію на показник вмісту крохмалю у зерні	25
3.4 Особливості впливу свинцю та кадмію на показник вмісту сирого жиру, сирої клітковини та сирої золи у зерні	28
3.5 Вплив свинцю на питому поверхню коренів ячменю	31
3.6 Вплив кадмію на питому поверхню коренів ячменю	36
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	40
4.1. Шкідливі та небезпечні фактори при виконанні весняно-польових робіт	40
4.2. Вимоги безпеки під час використання пестицидів та мінеральних добрив	41
ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	44

ВСТУП

Актуальність теми. На даний час одним з основних завдань сучасної людини є забезпечення продовольством, яке б було екологічно безпечним. Важкі метали, які містяться у ґрунтах унеможлиблюють вирощування безпечної продукції, а отже і є причиною виникнення ряду захворювань у живих організмів, які споживають цю продукцію. Відомим є факт, що ці полютанти в надмірній кількості акумулюються у кореневмісному шарі ґрунті. Накопичення забруднювачів у верхньому шарі ґрунту, а пізніше і відповідно у всіх ланках трофічного ланцюга є причиною виникнення екологічної загрози. Надмірне забруднення ґрунтового середовища загрожує сталому функціонуванню агроєкосистем Землі, бо лише збалансована взаємодія всіх її складових є запорукою екологічної безпеки в цілому. Щоб не втратити надію на виживання необхідно повсякчас турбуватись про ґрунт. Аграрний сектор в Україні у минулих роках був добре розвинутий, а отже залишив “небезпечний спадок” для сучасного населення країни. Значна частина важких металів та ряду інших екотоксикантів міститься саме в добривах [4, 16, 22].

Основні ознаки пригнічення рослин під впливом токсикантів неспецифічні та проявляються в основному в зниженні схожості насіння, уповільненому зростанні, ненормальному розвитку корневих систем, хлорозі, в'яненні, загибелі рослин. Однак у сільськогосподарському виробництві слід враховувати, що візуальні ознаки токсичності починають проявлятися, коли концентрації токсичних елементів значно перевищують санітарно-гігієнічні нормативи, встановлені для продукції рослинництва. При цьому вміст елементів у ґрунті, за якого з'являються ознаки фітотоксичності, також значно перевищують ГДК. Тому вивчення процесу впливу свинцю та кадмію на вирощені на забрудненому ґрунті рослини є актуальним і становить інтерес як для науки так і для практиків. Вибір ячменю ярого як тест-культури зумовлений тим, що площі його посівів в Україні поступаються лише посівам

пшениці, а також ячмінь широко використовується у життєдіяльності людини [2, 10, 14, 17, 19].

Мета і завдання дослідження. Основною метою проведення нашого дослідження було вивчення особливостей впливу різних концентрацій свинцю та кадмію, які було штучно внесено у ґрунт на фізичні та біохімічні показники коренів та зерна ячменю ярого.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі завдання:

- дослідити залежність фізичних та структурно-механічних показників зерна ячменю від рівня свинцевого та кадмієвого навантаження;
- дослідити залежність біохімічних показників зерна ячменю від рівня свинцевого та кадмієвого навантаження;
- вивчити особливості зміни питомої поверхні коренів ячменю, який вирощували на різних варіантах забруднення ґрунту.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Вплив умов зростання рослини на її фізичні та біохімічні показники

Розвиток зерна завершується з набуттям фізіологічної зрілості – настає повна стиглість, і зерно здатне виконувати функції насіння, а, крім того, набуває високих технологічних якостей. Повна стиглість триває, поки зберігаються споживчі якості зерна [21, 26].

Умови розвитку рослин в значній мірі впливають на якість зерна, особливо у період від запилення до досягання. Усі фактори впливу на рослини (кліматичні і антропогенні, ґрунтові умови) визначають процес формування якісних показників зерна ярого ячменю, вони є змінними і тісно пов'язаними між собою, а тому зазвичай неможливо встановити границі, де розпочинається дія одного чинника, або де закінчується післядія другого фактора. Проте вченими встановлено, що вище згадані чинники є досить мінливими явищами, і тому їх дія буде залежати ще й від сортових особливостей культури.

Тривала та інтенсивна дія токсичних речовин стає причиною порушення у рослинах фізіологічних функцій, а саме: пригнічується робота ферментативних систем, пошкоджуються і відмирають окремі групи клітин і ділянки тканин, що часто призводить до загибелі рослин і навіть зникнення цілих видів, порушується рівновага в надходженні мікро- і макроелементів. Свинець і кадмій можуть бути причиною зміни вмісту цинку, фосфору, кальцію, магнію, нікелю, кобальту, заліза, марганцю, міді, хрому у рослині. Внаслідок забруднення ґрунту важкими металами деформується механізм надходження заліза в рослини ячменю, а це призводить до різкого зниження його вмісту в зерні [6, 16, 32].

Відомо, що при забрудненні ґрунту кадмієм фіксуються негативні зміни у вмісті елементів живлення у генеративних органах рослин, а найпомітніше в зерні ячменю знижується вміст азоту. Свинець порівняно з кадмієм викликає

менш негативну дію на засвоєння рослинами ячменю поживних речовин. Відносно невисокі концентрації важких металів не спричиняють вище згадані зміни.

Проте необхідно пам'ятати і той факт, що науковці, які займалися вивченням даного питання стверджують, що азотні добрива мають властивість збільшувати вміст білка в генеративній частині ячменю і тим самим погіршують його пивоварні якості. Тому слід утримуватись від застосування азотних добрив під пивоварний ячмінь, або ж застосовувати їх з великою обережністю.

Умови вирощування культури та сорт відіграють визначальну роль у процесі формування білковості зерна. Вміст білка в зерні злакових залежить і від забезпечення ґрунту гумусом, тому що органічні сполуки ґрунту є джерелом азоту, а саме він і приймає участь в накопиченні органічних азотовмісних сполук. Тому для вирощування пивоварного ячменю, з метою підвищення його білковість, слід відводити ґрунти, які є високо родючі і добре забезпечені азотом. Проте твердження відносно вмісту білка в пивоварному зерні ячменю є неоднозначним, бо, по-перше, азот є харчовою основою для дріжджів і забезпечує отримання пива на якому присутня піна, яка довго не осідає, а, з іншого боку, низький рівень вмісту білка в зерні спричиняє підвищення концентрації антоціаногена, що спричиняє мутність пива. Як показали дослідження Н. С. Авдонина, сильний вплив на даний показник чинить і реакція ґрунтового середовища. При вирощуванні рослин на кислих ґрунтах зменшується кількість білка і збільшується вміст небілкового азоту [5, 17, 21, 30].

Слід пам'ятати, що для отримання хорошого пива більшу увагу слід приділяти не сумарній кількості білка, а необхідно звернути увагу на якісні показники, так як саме вони визначають смакові якості пива, піностійкість і ціноутворююча здатність пива, інтенсивність бродіння.

Характеризується високою чутливістю до важких металів і фотосинтетичний апарат рослин [9, 32]. Проте єдиної думки відносно дії на

нього різних концентрацій важких металів ще не існує. Одні автори вказують на зниження кількості пігментів, що веде до інгібування синтезу магній-порфірину і пригнічення фотосинтезу вже при незначних дозах важких металів в середовищі, тоді як інші вважають, що лише дуже високі їх концентрації здатні визивати подібні зміни [8, 9]. Крім цього, є дані і про стимулюючу дію низьких концентрацій деяких важких металів на фотосинтетичний апарат (Stiborova, Sheoran, Ernst). Ці вчені вважають, що посилення фотосинтетичних процесів в присутності низьких концентрацій будь-яких важких металів зумовлено активізацією метаболізму рослин. Відносно власне ячменю, то дослідження Казниної Н. М., Лайдиної Г. Ф., Титової А. Ф., Таланової А. В. та інших вчених вказують на те, що зниження інтенсивності фотосинтезу та зменшення розмірів листової поверхні у ньому розпочинається приблизно за умов концентрації свинцю - 800 мг/кг субстрату [9, 10, 22, 23].

Деякі важкі метали (кадмій, мідь) взаємодіють з клітинними мембранами, змінюючи їх проникність, викликають розрив клітинних мембран. Пригнічення росту коренів в присутності кадмію обумовлено пригніченням переходу клітин до розтягнення і зниженням швидкості розтягнення [12, 19, 33]. Для кадмію характерне значне його накопичення в генеративних органах рослини.

Отже, важкі метали відіграють подвійну роль у фізіології рослин, але якщо вони не розповсюджені у нормальному природному середовищі, то стають токсичними при порівняно низьких концентраціях, а фактором, що обмежує ріст живих організмів, може бути і недостаток металу. Небезпечним являється те, що інтервал переходу від недостатку деяких металів до їх токсичності є відносно вузьким. Тому часто залежно від сорту рослини та різних умов вирощування концентрація важкого металу, недостатня в одному випадку, може виявитися токсичною за інших умов. Слід брати до уваги внутрішні і зовнішні фактори, які впливають на реакцію організму стосовно металу. Увесь цей комплекс взаємодії важких металів із системою “грунт-рослина” ускладнює встановлення діапазону нетоксичності і токсичності металів, так як ці діапазони можуть часто перекриватись [13, 14, 19, 28].

1.2 Механізми адаптації рослин до дії важких металів

Розрізняють два типи механізмів стійкості рослин до важких металів: внутрішні і зовнішні. Внутрішні механізми зумовлюють детоксикацію металів, що надійшли в протопласти, шляхом їх хелатування органічними кислотами, білками, компартментації у вакуолі, появи стійких до металів ферментів та/або альтернативних метаболічних шляхів, менш чутливих до дії важких металів. До зовнішніх механізмів належать іммобілізація металів у клітинній стінці, виділення хелатуючих лігандів, формування редокс- і рН бар'єрів на плазматичній мембрані.

Зв'язування важких металів відбувається переважно стінками клітин кори кореня і розглядається як один з морфофізіологічних механізмів детоксикації, спрямований на ізоляцію металу в метаболічно малоактивному компартменті клітини. Оболонки більшості злаків бідні на пектини і структурні білки, тобто мають меншу кількість сайтів зв'язування важких металів порівняно з дводольними [2, 5, 19].

Для багатьох адаптованих видів рослин характерно значне накопичення важких металів у коренях. За високих їх концентрацій базальні частини коренів накопичують істотно більші концентрації свинцю, цинку і кадмію, ніж апікальні, особливо це характерно для стійких популяцій.

Виділення коренями хелатуючих агентів, які реагують з важкими металами, може бути одним з механізмів зменшення поглинання останніх рослинами.

Доступність деяких металів для рослин сильно залежить від редокс-потенціалу. Встановлено, що під впливом кислих кореневих виділень може відбуватися перетворення недоступних для рослин оксидів важких металів на легкозасвоювану катіонну форму.

Іони важких металів, які не зв'язалися сайтами клітинних стінок і подолали бар'єр плазматичної мембрани потрапляють в цитоплазму. З цитоплазми більша частина металів надходить у вакуолю за допомогою різних

механізмів, серед яких виділяють Me^{2+}/H^+ - антипорт і енергозалежний транспорт за участю фітохелатинів. У вакуолі важкі метали утворюють комплекси з органічними кислотами, що є одним з механізмів їх детоксикації. Після комплексації фітохелатинами важкі метали можуть транспортуватися у вакуолю або вивільнятися для синтезу металовмісних апопротеїнів.

Ще одним механізмом адаптації рослин є індукований синтез стійких до дії важких металів ферментів, що регулюють звичні метаболічні шляхи. Такий механізм адаптації досліджено на прикладі пероксидази, поліфенолоксидази, карбоангідрази та ряду інших ферментів.

Таким чином, виживанню рослин за умов надлишку важких металів сприяють компартментація їх іонів у клітинних стінках або вакуолях, зв'язування з тіолвмісними білками і пептидами, органічними кислотами, індукований синтез стійких ферментів. Однак кожен із цих механізмів, взятий окремо, не є універсальним. Вони фактично взаємно доповнюють одне одного залежно від виду рослин, умов їх вирощування, конкретного металу, що міститься у надлишку [4, 14, 28].

2 ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Ґрунтово-кліматичні умови території проведення польового дослідження

З метою розкриття питання щодо впливу певних важких металів на фізичні і біохімічних властивості зерна і коренів ячменю було закладено польовий мікроділянковий дослід (який проводили три роки), використовуючи дослідне поле університету.

Дослідження було проведено на темно-сірому опідзоленому ґрунті, який є легкосуглинковим і загалом володіє задовільними агрономічними властивостями. Цей вид ґрунту є одним з панівних у даній місцевості [1].

Загальна агрохімічна характеристика досліджуваного ґрунту представлена у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Агрохімічна характеристика темно-сірого опідзоленого ґрунту

Рік	Шар ґрунту	Гумус	pH	Легкогідролізований азот	Рухомий фосфор	Обмінний калій
	см	%	сольове	мг/кг повітряно-сухого ґрунту		
1-й	0-10	2,3	5,8	109	192	126
	10-20	2,1	5,8	107	190	125
	20-30	2,0	5,7	106	188	122
2-й	0-10	2,3	5,8	110	193	126
	10-20	2,1	5,8	109	192	125
	20-30	2,0	5,8	108	191	124
3-й	0-10	2,28	5,8	109	193	125
	10-20	2,1	5,8	108	192	125
	20-30	2,0	5,8	108	190	123

Полютанти у вигляді солей $Pb(CH_3COO)_2$ та $CdCl_2 \cdot 2,5H_2O$ (в кількостях 1, 5 та 10 ГДК) методом поливу було внесено у ґрунт. У вигляді тест-рослини вирощували ячмінь ярий [7].

Дана територія належить до Пасмового Побужжя західного Лісостепу України і характеризується помірно теплим кліматом і достатньою кількістю опадів, що дозволяє в агрокліматичному відношенні дану зону віднести до підзони з достатнім рівнем зволоження ґрунту. Останні зимові періоди характеризуються практичною відсутністю снігового покриву. Усі ці умови створюють сприятливе середовище для вирощування зернових [18].

Дані щодо відомостей про температурні показники в період проведення досліджень було взято із Дублянського гідрометеоцентру.

Загалом для 2-го року дослідження, у порівнянні з 1-м і 2-м роком, була зафіксована найвища температура та найменша випала кількість опадів. Такі метеорологічні умови впродовж вегетаційного періоду не сприяють росту і розвитку тест-культури.

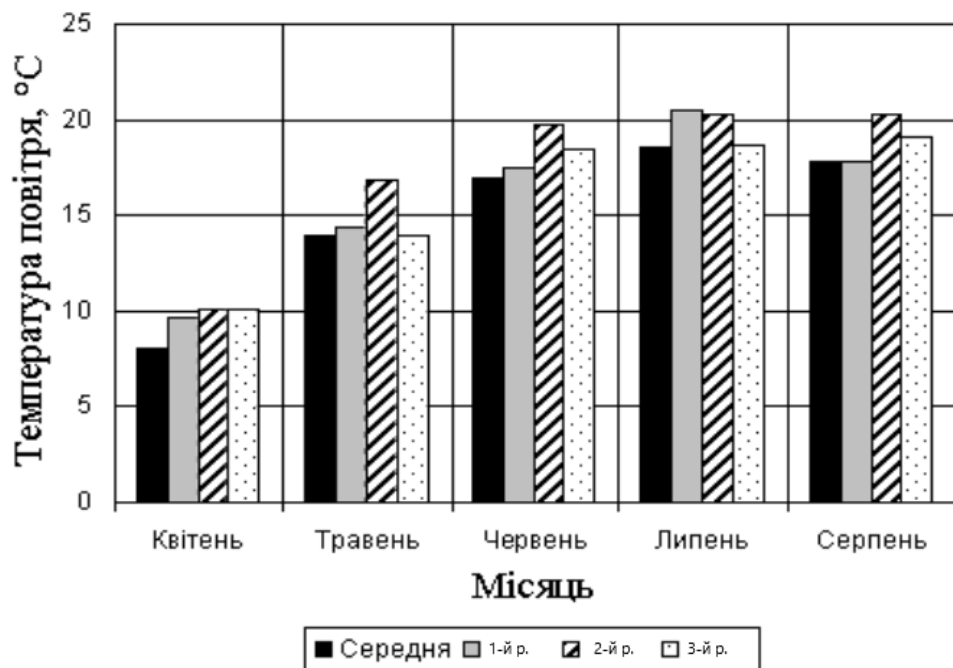


Рис. 2.1 - Середньомісячна температура повітря вегетаційного періоду у роки проведення досліджень

Як видно з рисунка, роки, впродовж яких відбувалося дослідження, характеризувалися підвищеною температурою відносно показників, які є середньо багаторічними. Перший рік дослідження у порівнянні з двома наступними був найтеплішим.

Високою вологозабезпеченістю відзначився 3-й рік досліджень. За винятком червня для інших місяців характерне перевищення значення цього показника відносно середнього багаторічного показника.

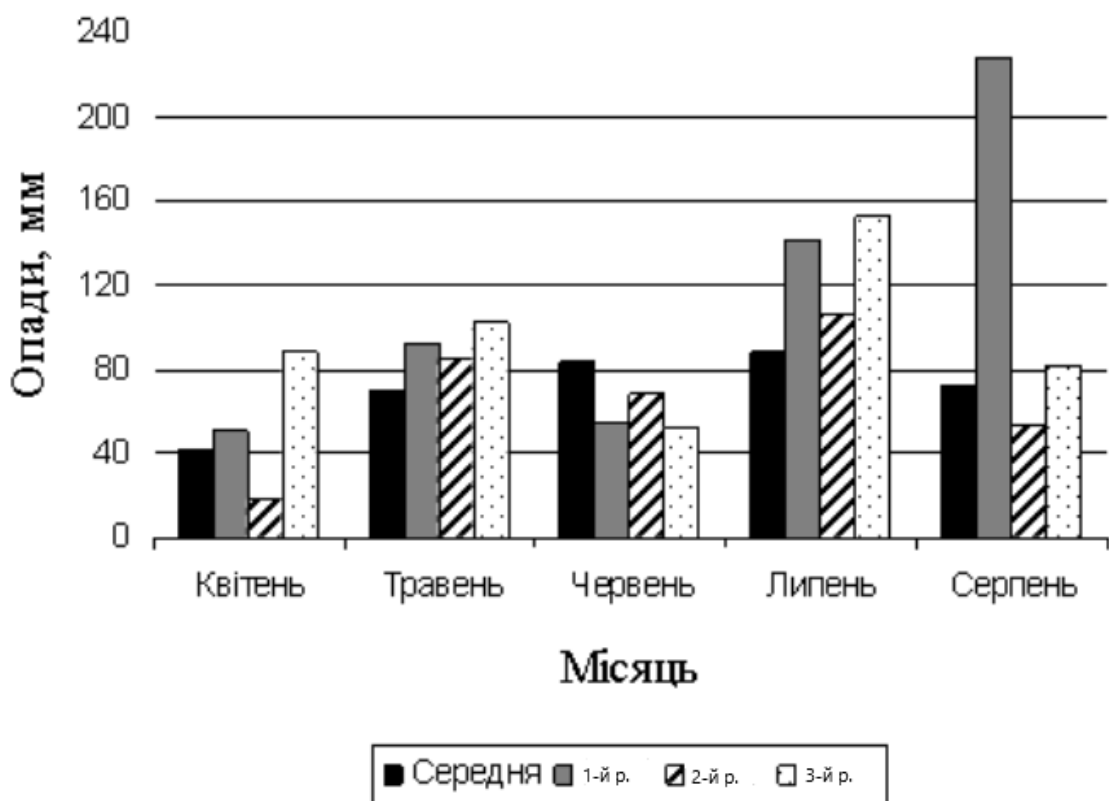


Рис. 2.2 - Середньомісячна кількість опадів вегетаційного періоду у роки проведення досліджень

У 3-й рік досліджень найбільша кількість опадів випала в липні – 152,6 мм, що на 64,3 мм більше за норму року. Другий рік характеризувався недостатньою кількістю опадів.

Отже, метеорологічні умови вегетаційного періоду в роки досліджень значно різнилися та відповідно чинили вплив на показники, які в кінцевому результаті формують якість зерна ячменю.

Біохімічні дослідження проводили в лабораторних умовах на базі сертифікованої лабораторії “Облдержродючість”.

З метою встановлення стиглості зерна використовували органи чуття, аналізували консистенцією зерна, а також зважали на зовнішній вигляд як генеративної частини так і рослини в цілому, тобто користувалися органолептичним методом. Такі показники як: маса тисячі насінин, кількість насінин у колосі та довжину самого колосу (загальний структурний аналіз) визначали аналізуючи 25 рослин ячменю, які були відібрані із загальної кількості рослин [21, 26].

2.2 Методика визначення питомої поверхні коренів

Питома поверхня коренів була обчислена за допомогою ізотерм адсорбції водяної пари і за допомогою вимірювання кількості адсорбованої пари при певному тиску і постійній температурі. Встановлення питомої поверхні проводили за допомогою множення кількості адсорбованих молекул, які покривають адсорбуючу поверхню кореня у вигляді моно шару, на площу, яка зайнята однією молекулою [32, 33].

Вимірювання ізотерм адсорбції водяної пари на коренях проведено відповідно до Польської Норми PN-Z-19010-1 [34]. Хоча ця норма розроблена для ґрунтів, метод визначення питомої поверхні для коренів рослин вимагає адаптації, а головним чином це стосується маси зразка, часу висушування і часу встановлення адсорбційної рівноваги. Ізотерми адсорбції водяної пари були визначені, використовуючи метод вакуумної камери. Спираючись на дослідження, що представлені в роботах А. Szatanik-Kloc [31, 33, 34], вимірювання ізотерм адсорбції для коренів ячменю проводили наступним чином: спочатку зразки були висушені при температурі 303 К впродовж 48

годин, і подрібнений матеріал масою 0,3 г розміщено в щільні вагові посудини. Сухі зразки коренів (0,3 г), які знаходились у спеціальних посудинах, були поміщені у вакуумну камеру (температура 293 К) над ємністю із сірчаною кислотою.

Після встановлення рівноваги маси зразків проводилась періодична зміна кислоти у вакуумній камері. Концентрація кислоти відповідно до даного методу зменшувалась з кожною її заміною. Внаслідок зниження концентрації сірчаної кислоти збільшується відносний тиск водяної пари, $x = p / p_0$, де p – це тиск, і p_0 – це тиск насиченої пари при відповідній температурі вимірювань. Як відмічали самі автори теорії БЕТ, лінійність рівняння (залежність лівої частини відносно p/p_0) зберігається лише для області відносних тисків парів води від 0,05 до 0,35 [24]. Кількість води, увібраної зразками при даному тиску, була визначена, зважуючи зразки після 48 год. зрівноваження. Протягом вимірювань температура залишалася незмінною. Масу вологих зразків визначали шляхом їх зважування. Кількість адсорбованої через корені водяної пари при даному p/p_0 обчислено з різниці маси вологого (вимірюваної при даних p/p_0) зразка і сухої маси даного зразка. Суха маса коренів була визначена після 24 годин висушування зразків при температурі 378 К [24, 31].

Достовірність щодо отриманих результатів дослідження є підтверджена наявністю статистичного аналізу даних.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Вплив свинцю та кадмію на фізичні показники колосу тест-культури

В процесі вирощування сільськогосподарських культур головна увага приділяється кінцевому результату, який проявляється у кількості отриманого урожаю і головне його якості. Якість насіння визначає його як господарські так і біологічні цінності. Загальна продуктивність рослин може значно залежати від рівня фітотоксичності важких металів, які виступають як стрес-фактори і змінюють умови протікання процесу метаболізму. Важкі метали мають здатність інтенсифікувати активну сорбцію, а особливо під час мінерального живлення культур [3, 14, 16].

Такі показники як висота рослин і довжина колосу не належать до елементів структури врожаю, однак є важливими показниками порівняльної характеристики сортів, елементів технології, дії впливу певного антропогенного фактору тощо [15].

З отриманих даних видно, що довжина колосу досліджуваної рослини класифікується як середня (табл. 3.1). Не виявлено істотної різниці щодо цього показника, якщо йдеться про рослини, вирощені на різних варіантах досліду.

Слід зазначити, що досліджувані нами концентрації двох металів на тест-ґрунті не виявили значних пригнічувальних властивостей для даного показника і підтвердженням цього є порівняння з контрольним варіантом. Можна спостерігати навпаки незначну стимулюючу властивість поллютанта щодо процесу формування довжини колосу під впливом кадмію. Зміна концентрації солей свинцю та кадмію в ґрунті не стала причиною значного зниження кількості колосків у колосі ячменю. Не чинять негативної дії досліджувані полютанти на такий показник, як щільність колосу.

Таким чином, на підставі представлених у таблиці 3.1 даних можна стверджувати, що не виявлено негативної дії свинцю та кадмію, які були

штучно внесені у ґрунт у різних концентраціях, на середню довжину колосу, середнє число колосків у колосі та щільність колосу ячменю ярого. Можливо, це пов'язано з властивостями ґрунту, вибраними концентраціями та морфологічними і фізіологічними особливостями самої рослини. У зв'язку з тим, що впродовж років дослідження показник суттєво не відрізнявся, у таблиці 3.1 подано середнє арифметичне за три роки.

Таблиця 3.1 - Довжина колосу, число колосків та щільність колосу ячменю ярого, вирощеного на забрудненому свинцем та кадмієм ґрунті (сер. за 3 роки)

Варіант		Довжина колосу ячменю, см	Кількість колосків у колосі ячменю, шт	Щільність колосу, шт/см
Контроль		7,5	21,04	2,80
Pb ²⁺	1 ГДК	7,26	20,04	2,76
	5 ГДК	7,21	20,5	2,84
	10 ГДК	7,29	20,37	2,79
НІР ₀₅		0,15	0,50	-
Cd ²⁺	1 ГДК	7,66	20,9	2,72
	5 ГДК	7,61	20,9	2,74
	10 ГДК	7,68	21,2	2,76
НІР ₀₅		-	-	-

Однак, важливим є і те, що центральним чинником, який здатний корегувати інтенсивність впливу певного фактора, є сорт, бо саме сорти різняться і здатні змінювати основні складові врожаю, що вказує на генетичну природу чутливості рослин до дії на них різних факторів.

Фізичні властивості зерна можна охарактеризувати і за таким показником, як маса 1000 насінин. Особливості сорту і умови проростання культури – основні чинники, від яких залежить цей якісний показник [17, 21].

У більшості злаків алейроновий шар зернівки однорядний, в ячменю він складається з двох-чотирьох рядів клітин. Згідно літературних даних [21, 26], до групи пивоварних відносять сорти у яких маса 1000 насінин рівна 35 – 45 г, натура – 650 – 730 г/л; пливчастість – 7 – 9 %; вміст білка – не більше 12 %; екстрактивність – 78 – 84 %. Проте не завжди більш крупне зерно є важчим, з двох зерен однакової крупності одне може бути важче за інше. У великому насінні міститься більше поживних речовин, а це забезпечує швидкий розвиток рослин у початковий період росту.

Несприятливі погодні умови в період формування і наливу зерна, пошкодження рослин хворобами і шкідниками, а також антропогенні чинники можуть бути причинами щуплості зерна [10, 14, 22].

Аналіз даних за роки досліджень показав, що значних відхилень у результатах досліджень між роками не виявлено, тому подається середнє значення показника.

Представлені на рис. 3.1 дані свідчать про відсутність значного негативного впливу свинцю та кадмію на досліджуваний показник.

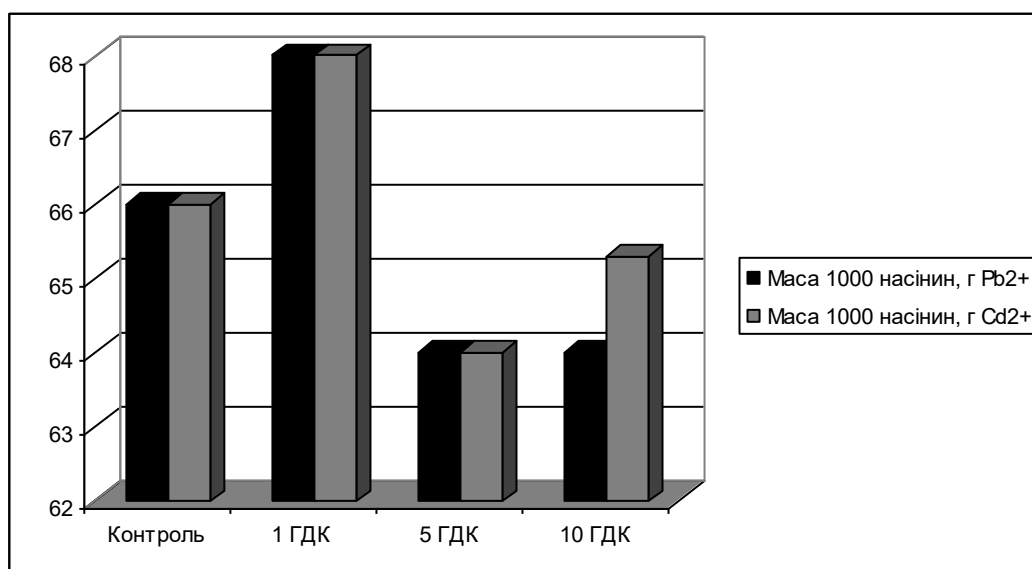


Рис. 3.1 - Маса 1000 насінин ячменю ярого, вирощеного на забрудненому свинцем та кадмієм ґрунті (середнє за три роки)

На варіанті забруднення ґрунту в дозі 1 ГДК спостерігалася стимулююча властивість як свинцю так і кадмію на дану величину. Маса тисячі насінин на 2 г була більшою на вище вказаному варіанті у порівнянні з контролем, де маса рівна 66 г. Додаткове внесення як свинцю так і кадмію у ґрунт в концентрації, яка перевищує їх ГДК в п'ять разів, спричинило зменшення маси на 3 %.

Така ж тенденція спостерігалася на варіанті досліді із забрудненням ґрунту в дозі 10 ГДК Pb²⁺. Практично на одному рівні знаходився цей показник, якщо порівнювати контроль та варіант досліді, де в ґрунт було внесено кадмій, концентрація якого перевищувала ГДК в десять разів.

Посушливі умови в період досягання негативно впливають на виповненість, натуру і масу 1000 насінин, що призводить до помітного зменшення врожаю. Досить високі врожаї ячменю збирають за умов помірного і досить вологого клімату. В роки досліджень, в період, коли відбувається досягання зерна ячменю, спостерігалася відмінність у кількості опадів, але цей показник був значно вищим за багаторічну суму опадів (рис. 2.2)

З отриманих даних видно, що вибрані концентрації важких металів у ґрунті не чинили значного негативного впливу на величину маси 1000 насінин, а низькі концентрації забруднювачів мають властивість чинити стимулюючу дію на формування такого показника, як маса 1000 насінин.

3.2 Особливості впливу свинцю та кадмію на показник вмісту загального азоту та білка у зерні

Причиною токсикозу рослин у даний час є масове забруднення навколишнього середовища важкими металами. Проте якщо в докiллі знаходяться невисокі концентрації полютантів, важко оцінити реальний їх вплив на рослину, тому що при таких рівнях навантаження не спостерігається зовнішніх ознак пригнічення розвитку рослини. В таких випадках варто досліджувати вплив важких металів на біохімічні показники (хімічний склад, розподіл хімічних речовин в анатомічних частинах, активністю деяких

ферментів гідролітичної дії тощо) якості насіння, які часто є менш толерантними до дії токсиканту [3, 4, 15, 21].

Дослідження вчених доводять, що середній хімічний склад зерна ячменю у відсотках на абсолютно суху речовину рівний: білок – 12,2; жири – 2,4; вуглеводи – 77,2; крохмаль 56 – 66, клітковина – 5,2, зола – 2,9 % [15, 21, 26].

Показник загальної кількості азоту в зерні виявився більш стійким до свинцевого і кадмієвого стресу порівняно з показником вмісту білка (табл. 3.2).

Відомо, що в рослинах впродовж всього періоду вегетації проходять біохімічні та фізіологічні процеси, в результаті яких формується врожай, а його кількість і якість залежить від забезпечення рослини елементами живлення.

Існує значна кількість інформації щодо фізіологічної ролі азоту, яка вказує на те, що він є необхідним елементом для рослини, бо вміст білків на пряму залежить від азоту, а без білків не було б протоплазми, яка є запорукою життя [17].

Азот входить до складу ядерних білків і нуклеїнових кислот, які відіграють важливу роль у життєдіяльності рослинних організмів. Від загальної маси білка на долю азоту припадає 16 – 18 %. Ця закономірність простежувалася і у наших дослідженнях, де чітко спостерігалось зменшення вмісту білка у відповідності до зменшення кількості азоту (табл. 3.2). Зменшувався цей показник із роками, проте він практично однаковий на усіх варіантах забруднення ґрунту свинцем і кадмієм. Контрольне зерно характеризувалося таким самим вмістом азоту, як і зерно, вирощене на забрудненому ґрунті, що свідчить про відсутність факту негативного впливу даних забруднювачів на цей показник.

Проведені дослідження показали, що вміст азоту в ячмені ярому характеризувався порівняно високою стійкістю до іонів свинцю і кадмію.

Отримані нами дані доводять уже існуючі відносно того, що високі температури стимулюють ріст рослин і сприяють накопиченню в зерні азоту і вуглеводів, а також інтенсифікується енергія дихання, а це призводить до збільшення співвідношення азотистих речовин і вуглеводів.

Таблиця 3.2 - Вміст загального азоту та білка в зерні ячменю ярого, вирощеного на забрудненому свинцем та кадмієм ґрунті, % на абсолютно суху речовину

Варіант		Вміст загального азоту				Вміст білка		
		1-й р.	2й р.	3-й р.	серед не за 3 роки	1-й р.	2й р.	3-й р.
Контроль		2,1	1,9	1,8	1,93	13,12	11,52	11,29
Pb ²⁺	1 ГДК	2,2	1,8	1,9	1,96	13,75	11,28	11,25
	5 ГДК	2,2	1,8	1,8	1,93	13,75	11,25	11,25
	10 ГДК	2,0	1,9	1,7	1,86	12,50	11,87	10,62
НІР ₀₅ , %		0,03	0,08	0,03		0,20	0,12	0,12
Cd ²⁺	1 ГДК	2,1	2,0	1,8	1,96	13,12	11,85	11,25
	5 ГДК	2,1	1,9	1,8	1,93	13,12	11,87	11,25
	10 ГДК	2,1	1,9	1,8	1,93	13,12	11,87	11,25
НІР ₀₅ , %		-	0,02	-		-	0,22	-

Одним із важливих показників, на основі якого можна оцінити якість зерна, являється його білковість. Білки зерна містять у своєму складі незамінні амінокислоти, які в організмі людини не синтезуються, а, отже, вони обов'язково мають поступати в організм з рослинною їжею. Від білковості зерна залежить і рівень багатьох якісних показників [11].

Отримані дані свідчать про відсутність значного негативного впливу досліджуваних металів на вміст білка в зерні ячменю. Лише на варіанті досліду забруднення ґрунту в дозі 10 ГДК Pb²⁺ цей показник зменшувався до 12,50 % порівняно з іншими варіантами, де він дорівнював 13,75 %. Зерну ячменя, яке формувалося під дією кадмієвого стресу, притаманне однаке значенням цього показника на усіх дослідних варіантах і воно є таким же як і на контролі та становить 13,12 %. Порівняно з першими роком дослідження зерно, отримане впродовж двох наступних років, відрізнялося за вмістом білка.

В ці роки вміст білка у зерні, вирощеному на ґрунті, забрудненому свинцем зменшився на 17,50 %. Така ж тенденція і у випадку кадмієвого навантаження ґрунту, а, відповідно, і рослинницької продукції. Помітна тісна залежність між вмістом азоту і вмістом білка, адже відомим є факт, що без азоту нема білків [10, 11, 15]. У 3-й рік показник білковості зерна практично не відрізнявся від попереднього, хоча і був дещо нижчий. Винятком був, як і у 1-й рік, варіант 10 ГДК Pb²⁺, де вміст білка становив 10,62 %, тоді як на інших варіантах забруднення ґрунту показник дорівнював 11,25 %. Перевищення в зерні ГДК свинцю у кілька разів мало негативний вплив на вміст у ньому білка. Кадмій у досліджуваних нами концентраціях на тест-ґрунті не чинив негативної дії відносно нагромадження білка в зерні ячменю.

Загалом вміст білка в досліджуваному зерні на усіх варіантах впродовж трьох років був у межах норми, за винятком незначного перевищення значення показника у 1-й рік (табл. 3.2). Західноєвропейські пивовари нормальним вважають 9,0 – 11,5 % вмісту білка в зерні ячменю, а на Україні – 12,5 – 13 % .

Важливу роль у накопиченні білка в зерні відіграли і кліматичні умови, які були мінливими впродовж досліджуваних років. Зростання вмісту білка в зерні спричинене підвищеною температурою, бо якщо налив зерна проходить за умов посухи, то знижується і відтік вуглеводів із вегетативних органів у генеративні, а це веде до збільшення білковості зерна [10, 21].

Отже, спостерігається залежність вмісту білка в зерні від кількості опадів і температурного показника повітря, бо у посушливі роки до рослини надходить більше сонячної радіації, а в роки з достатньою кількістю опадів температура повітря помірною і освітлення розсіяне. У зв'язку з цим вміст білка в зерні зменшувався у вологі роки і був найнижчим у 3-й рік дослідження, так як саме тоді в період наливу зерна випала найбільша кількість опадів (табл. 3.2, рис. 2.2).

3.3 Особливості впливу свинцю та кадмію на показник вмісту крохмалю у зерні

Важливою складовою частиною зерна ярих культур є вуглеводи, основна частина яких міститься в центральній частині зернівки. У зерні злакових культур багато безазотистих екстрактивних речовин, вуглеводів, переважно крохмалю, який міститься в ендоспермі і становить близько 80 % усіх вуглеводів [17].

Від вмісту крохмалю в зерні напряму залежить така величина як екстрактивність, а, відповідно, і якість пива та економічна ефективність його виробництва [11].

У сортах, які виведені в межах колишнього СРСР, вміст крохмалю коливається в межах 44 – 66 % до сухої речовини, а в зерні чеських сортів ця величина досягає 60 – 79 %. Цінність зерна ячменю визначається вмістом у ньому крохмалю, так як саме крохмаль являється основною екстрагуємою речовиною солоду у водному розчині [11, 15].

Дані, які представлені у таблиці 3.3, свідчать про те, що концентрації свинцю та кадмію, що досліджувалися в темно-сірому опідзоленому ґрунті чинили подвійний вплив на такий показник, як крохмалистість зерна ячменю ярого.

Однаковим був вміст крохмалю у 1-й рік дослідження на усіх варіантах досліду забруднення ґрунту свинцем і на контрольному варіанті, винятком став варіант із забрудненням тест-ґрунту в концентрації 1 ГДК Cd²⁺, де відсотковий вміст крохмалю в зерні підвищився до 55,02 %, його вміст фактично в умовах кадмієвого навантаження не відрізнявся від контрольного варіанта.

Проте порівняно з наступними роками вміст крохмалю у зерні в перший рік був найнижчим, так як між вмістом білка і крохмалю існує добре виражена від'ємна кореляція, а білковість зерна у 1-й рік була досить високою.

Таблиця 3.3 - Вміст крохмалю в зерні ячменю ярого, вирощеного на забрудненому свинцем та кадмієм ґрунті, % на абсолютно суху речовину

Варіант		Вміст крохмалю			
		1-й р.	2-й р.	3-й р.	середнє за 3 роки
Контроль		53,27	56,18	62,73	57,39
Pb ²⁺	1 ГДК	53,33	55,96	63,05	57,44
	5 ГДК	53,02	62,52	60,09	58,54
	10 ГДК	53,06	56,83	64,53	58,14
НІР ₀₅ , %		-	1,93	1,89	
Cd ²⁺	1 ГДК	55,02	55,64	62,56	57,74
	5 ГДК	53,76	54,84	61,17	56,59
	10 ГДК	53,58	55,31	63,59	57,49
НІР ₀₅ , %		-	0,57	-	

Зерно, зібране у другий рік досліджень, характеризувалося вищим вмістом у ньому крохмалю. Проте цей показник був найвищим у 3-й рік дослідження. Впродовж цих двох років на окремих варіантах досліду можна спостерігати навіть незначну стимулюючу дію свинцю та кадмію на досліджуваній показник. У літературних джерелах також є дані про стимулюючу дію важких металів у невисоких концентраціях, зокрема свинцю і кадмію, на ряд показників. Як зазначає Л. Л. Довбиш, у невеликих кількостях свинець підвищує вміст крохмалю, прискорює проростання рослин, а надмірне внесення його може призвести до загибелі рослин [2, 6, 9].

У наших дослідженнях використовувались також невисокі концентрації цих двох важких металів. Відсутність значного негативного впливу полютантів на вміст крохмалю у зерні може бути пов'язано з тим, що протягом свого розвитку рослина має здатність включати механізми захисту, які дозволяють вибірково побирати іони за допомогою пояска Каспарі в коренях рослин. Саме ці механізми захисту здатні затримувати проникнення надлишкових іонів у надземні органи.

Штучно внесені у ґрунт свинець і кадмій в дозі 5 ГДК Pb^{2+} і 5 ГДК Cd^{2+} на третій рік досліджень спричинили зниження відсоткового вмісту крохмалю в зерні відповідно до контрольного на 4,21 і 2,49 %. У наукових працях Жеребної Л. також зазначено дані відносно тенденції зменшення вмісту крохмалю в зерні ячменю в умовах кадмієвого стресу.

Однак, як і у випадку дослідження білковості зерна і вмісту азоту в ньому, показник вмісту в зерні крохмалю також визначається і метеорологічними умовами у період онтогенезу рослини. Доведено, що за умов нижчої температури збільшується нагромадження крохмалю в зерні, а засушливі умови помітно знижують рівень крохмалистості [10, 21, 26].

Для ячменю ярого кліматичні умови у 3-й рік досліджень виявилися відносно сприятливими, так як у цей рік впродовж вегетації випала найбільша кількість опадів. Два попередні роки в цей період характеризувалися меншою

вологозабезпеченістю. Червень і липень 2-го року досліджень характеризувалися найменшою кількістю опадів, а це період, коли у ярих зернових відбувається закладка і розвиток репродуктивних органів. У третій рік дослідження температура повітря була нижчою порівняно з попередніми роками, що й спричинило найвищий вміст крохмалю в зерні третього року дослідження.

Впродовж трьох років дослідження відсотковий вміст крохмалю у зерні ячменю ярого на усіх дослідних ділянках залишався в межах норми.

Якість насіння значною мірою залежить від кліматичних умов. На ньому негативно позначаються в період його формування надмірні опади і низькі температури [10,15, 21].

3.4 Особливості впливу свинцю та кадмію на показник вмісту сирого жиру, сирі клітковини та сирі золи у зерні

Загальна кількість сирого жиру в зерні ячменю виявився найбільш стійким параметром, який фактично залишався на одному рівні незалежно від концентрації свинцю в рослині.

Кількість сирого жиру є досить незначна, але знаходиться в межах норми. Виходячи з отриманих даних, важкий метал у вибраних концентраціях не став причиною зміни цього показника. Відсоток сирого жиру в зерні тест-культури був однаковим на усіх варіантах досліду та контролі включно і, становив 1,5 – 1,6 % (табл. 3.4).

Не вплинули на цей показник і погодні умови, так як він залишався стабільним впродовж трьох років, які відрізнялися між собою як за показником температури повітря, так і за кількістю опадів.

Літературні джерела вказують на те, що зерно в середньому містить 5,5 % клітковини. Значна кількість клітковини у півчастих зернових входить до складу плівок і оболонки зернівки [21, 26].

Зерно, яке отримано в результаті проведення наших досліджень, містило меншу кількість сирової клітковини від вище наведеної середньої норми – 5,5 %.

Таблиця 3.4 - Вміст сирого жиру, сирової клітковини та сирової золи в зерні ячменю ярого, вирощеного на забрудненому свинцем та кадмієм ґрунті, % на абсолютно суху речовину

Варіант		Вміст сирого жиру				Вміст сирової клітковини			
		1-й р.	2-й р.	3-й р.	середнє за 3 роки	1-й р.	2-й р.	3-й р.	середнє за 3 роки
Контроль		1,6	1,6	1,5	1,56	4,7	4,6	3,9	4,4
Pb ²⁺	1 ГДК	1,6	1,6	1,6	1,6	4,3	4,2	3,9	4,13
	5 ГДК	1,6	1,5	1,5	1,53	4,1	4,0	3,8	3,96
	10 ГДК	1,6	1,6	1,5	1,56	4,3	4,3	3,4	4
НІР ₀₅ , %		-	-	0,05		0,08	0,07	0,09	
Cd ²⁺	1 ГДК	1,6	1,6	1,5	1,56	4,2	4,3	4,0	4,1
	5 ГДК	1,6	1,6	1,5	1,56	4,5	4,5	4,0	4,33
	10 ГДК	1,6	1,6	1,5	1,56	4,4	4,2	3,9	4,16
НІР ₀₅ , %		-	-	-		0,05	0,07	0,04	

Перший і другий роки досліджень практично не відрізнялися за величиною цього показника на усіх варіантах, але були нижчими за контрольні.

У контрольному зерні кількість клітковини дорівнювала 4,7 %, а у зерні, яке вирощене на забрудненому свинцем та кадмієм ґрунті, цей показник знижувався до 4,0 – 4,5 %.

Загалом, свинець і кадмій не стали причиною зниження врожайності. Рівень екологічної небезпеки і токсичність проявляється відносно якості продукції, так як у рослинах спостерігається підвищення їх вмісту.

Не виявлено значних відмінностей у значенні показника, якщо йдеться про різні концентрації забруднення ґрунту і різні метали. У 3-й рік дослідження можна спостерігати аналогічну ситуацію щодо відсутності фактору негативного впливу металів у різних концентраціях на кількість клітковини у зерні. Проте відносно двох попередніх років останній характеризувався найнижчим значенням даного показника (табл. 3.4)

Причиною, очевидно, були кліматичні умови, а не вплив важких металів, оскільки на контролі кількість клітковини також зменшилася.

Проведені дослідження показали, що свинець і кадмій у невисоких концентраціях у рослині можуть частково чинити інгібіторну дію на процес формування кількості клітковини у зерні ячменю ярого. Наприклад, при наявності ацетату свинцю в концентрації 1 і 5 ГДК Pb^{2+} кількість клітковини у зерні залишалася практично незмінною (3,8 – 3,9 %), тоді як при збільшенні концентрації ацетату свинцю до 10 ГДК Pb^{2+} відмічено зниження (відповідно до контролю) даного показника до 3,4 % (табл. 3.4). З підвищенням концентрації кадмію суттєвих змін у кількості клітковини в зерні не спостерігалось.

У зерні ячменю міститься 2,6 – 2,8 % золи, яка в півчастих зернових міститься переважно в плівках .

У досліджуваному нами зерні порівняно з вище наведеними у літературі даними спостерігалось незначне зниження вмісту сирої золи. Протягом трьох років даний показник характеризувався відносною стійкістю до впливу на

нього вибраних концентрацій поллютантів. Контрольне зерно за кількістю сирі золи фактично аналогічне до зерна, яке вирощене на ґрунті, який було забруднено важкими металами. З таблиці 3.4 видно, що кліматичні умови також суттєво не впливали на даний показник, так як його значення протягом трьох років залишається практично однаковим. Очевидно, такий вміст сирі золи у зерні пов'язаний із сортовими особливостями даного ячменю ярого.

3.5 Вплив свинцю на питому поверхню коренів ячменю

До фізико-хімічних величин належить питома поверхня і ця величина характеризує процес транспорту води, мікро- і мікроелементів, сорбцію, а відповідно і небезпечних елементів через кореневу систему. З метою визначення природної поверхні зазвичай застосовують метод адсорбції-десорбції пари водяної, яка є полярним адсорбентом чи азоту, який є неполярним адсорбентом [24, 31].

Якщо є кілька адсорбентів (наприклад, ідеальні кристали) тоді питома поверхня визначається як поверхня адсорбенту реальна (на одиницю маси), який приймає участь в адсорбційному процесі. Однак у більшості випадків для твердих тіл поверхню її адсорбенту можна розглядати передусім як параметр відносний і це пов'язано з тим, що молекули, які адсорбувалися мають здатність до зовнішнього змінного розміру [33].

Визначення «питома поверхня» використовують для тіл де поверхня з конкретно визначеною різницею між такими процесами як адсорбція і відповідно абсорбція (прикладом можуть слугувати мінеральні ґрунти). Якщо це є адсорбенти органічного походження, то досить важко визначити межу між зазначеними вище процесами. У зв'язку з цим такий вчений як Chiou і його колеги пропонують застосовувати для органічних адсорбентів не поняття «питома поверхня» (surface area), а відповідно – очевидна питома поверхня (тобто apparent surface area) і вона вимірюється полярним адсорбентом (за допомогою водяної пари) [29]. Однак серед науковців не існує лише однієї

думки, як правильно називати цей показник якщо іде мова за адсорбент органічного походження. Ми у своїй роботі будемо вживати термін “питома поверхня коренів, які є органічним адсорбентом.

Основною метою проведених наших досліджень було вивчення впливу різної дози і різного часу впливу свинцево-кадмієвого стресу на показник питомої поверхні коренів тест-рослини, що вираховуються з ізотерм адсорбції водяної пари.

Для визначення впливу іонів свинцю та кадмію на показник питомої поверхні ми використовували корені ячменю ярого, які були нами відібрані у період сходів і у період цілковитої стиглості у перший рік досліджень.

З метою опису даних, які ми отримали впродовж проведення досліджень, використано модель адсорбції БЕТ. Ізотерму адсорбції БЕТ в лінійній формі можна виразити таким рівнянням [29, 31]:

$$y/a = 1/(a_m C) + x (C-1)/(a_m C) \quad (3.1)$$

де $y = x/(1-x)$;

$x = p/p_0$;

p – це тиск;

p_0 (Па) – тиск насиченої пари при вимірювальній температурі T (К);

a_m (кг/кг) є кількістю адсорбованого адсорбенту при відповідному тиску водяної пари і при відповідній температурі T (К);

$C = \exp[-(E_a - E_c)/RT]$, і це є стала в рівнянні при E_a енергії адсорбції і E_c енергії конденсації і газовій сталі RT .

Кореляційний коефіцієнт, подається його квадратна форма, перевищував 0,98. Рівняння БЕТ було визначено відповідно до моделі адсорбції локалізованої на гомогенній поверхні. Це рівняння описує границі відносних тисків адсорбенту p/p_0 від 0,05 до 0,35. На основі рівняння (3.1) статистично розраховуємо ємкість моношару, відносно до якої визначаємо питому поверхню коренів ячменю S з рівняння (3.2):

$$S = L\omega a_m / M \quad (3.2)$$

де L (моль) – це число Авогадро;

ω (m^2) = $1,08 \cdot 10^{-19}$ і є та площа, яку власне і займає 1 молекула водяної пари;

M (кг/моль) – молекулярна маса 1 молекули водяної пари.

Фітострес, який взаємопов'язаний із фітотоксичністю свинцю і кадмію в рослинному організмі чи у ґрунтовому середовищі спричиняє певні зміни обмінних та фізіологічних процесів в рослинному організмі, а отже викликає її морфо-анатомічні зміни. Відповідні згадані зміни, зазвичай, є причиною зміни показника питомої поверхні коренів рослини.

Із початкових фрагментів ізотерм адсорбції водяної пари на коренях ячменю ярого у період сходів, які подано на рис. 3.2 можна відмітити, що свинцевий вплив спричинив збільшення об'єму адсорбованої водяної пари на коренях тес-рослин, які вирощували в умовах свинцевого забруднення ґрунту у дозі 32 мг/кг.

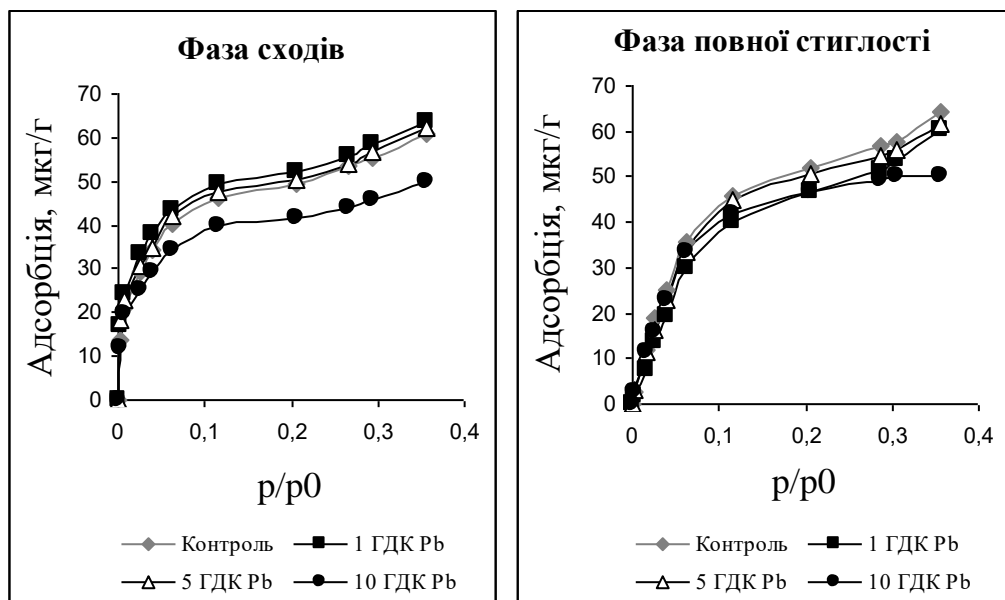


Рис. 3.2 - Ізотерми адсорбції водяної пари для коренів ячменю ярого за умов навантаження ґрунту свинцем (період сходів і повної стиглості)

Значне внесення свинцю у ґрунтове середовище в дозі 320 мг/кг спричинило зменшення кількості адсорбованої водяної пари на тест-коренях.

Не змінилася кількість адсорбованої водяної пари, якщо іде мова за контрольні корені і корені, які з варіанту, де було внесено у ґрунт свинець в дозі 5 ГДК Pb^{2+} .

За цих умов (корені відібрані в період цілковитої стиглості) свинець, не спричинив чіткого зниження кількості адсорбованої водяної пари у порівнянні з коренями, які росли у відносно безпечних умовах.

Спостерігалось явище зменшення кількості адсорбованої водяної пари коренями ячменю ярого чітко було відмічено на варіанті досліду – 10 ГДК Pb^{2+} .

Показник питомої поверхні коренів, які відібрані у період фази цілковитої стиглості, які зростали в умовах свинцевого забруднення, збільшився відносно показника, який був отриманий для підземної частини рослини у період сходів, однак цей показник був нижчим ніж у контрольних коренів. Дана величина знаходилася на найнижчому рівні для коренів рослин, які проростали в умовах найбільш інтенсивного впливу свинцю, і цей показник 17,2 % був меншим у порівнянні з контролем. І у випадку фази сходів і у випадку фази стиглості свинець у дозі, яка більша ГДК у 10 разів, спричинив найзначніше зменшення показника питомої поверхні. Ні ще молоді рослини, ні рослини у пізнішій стадії онтогенезу не можуть за такого високого рівня свинцевого стресу утримувати значення даного показника на рівні, який би був відносно безпечним для них.

Не встановлено показових змін значення питомої поверхні якщо говорити про корені, які зібрані на стадії повної стиглості при дозі забруднення ґрунтового середовища в концентрації 1 і 5 ГДК Pb^{2+} . Аналогічна ситуація прослідковується і для коренів досліджуваних у фазі сходів, де цей показник є на одному рівні для коренів контрольних і коренів, які відібрані з варіанта – 5 ГДК Pb^{2+} .

На варіанті досліду – 1 ГДК Pb^{2+} свинець причинив збільшення даного показника на 3,3 % порівняно з контрольним варіантом. Це пов'язано з тим, що при відносно невисоких рівнях концентрації свинцю у ґрунтовому середовищі, рослина ще може “включати” деякі захисні механізми, і відповідно питома поверхня є більшою (рис. 3.3).

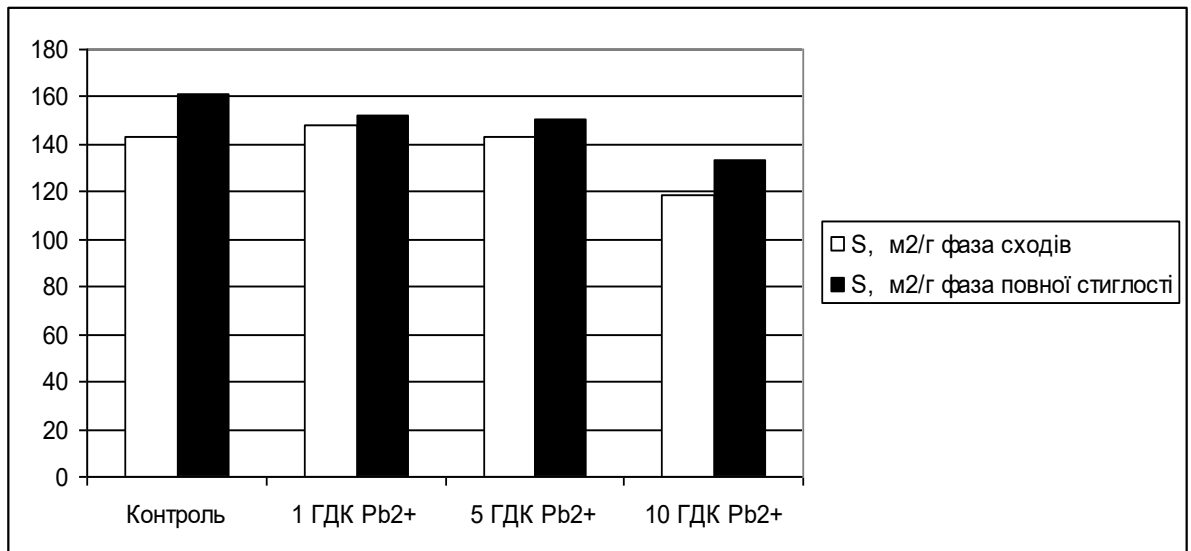


Рис. 3.3 - Питома поверхня (S , m^2/g) коренів ячменю, вирощених на забрудненому свинцем ґрунті

Додавання все більших концентрацій ацетату свинцю в ґрунтове середовище спричиняє порушення нормального процесу усіх реакцій, які відбуваються в рослині, а відповідно вона не здатна протистояти в умовах присутності значних концентрацій полютанта, і як результат, знижується показник питомої поверхні внаслідок блокування карбоксильних груп.

Забруднювач, який штучно внесли у кореневмісний горизонт у концентраціях, які перевищують рівень ГДК, став причиною негативної дії на вище згаданий показник.

Кількісний вміст іонів свинцю в коренях ячменю ярого, які ми вивчали, однозначно пов'язаний із зміною величини питомої поверхні. Вплив на зазначені зміни питомої поверхні досліджуваної підземної частини рослини

мають механізми толерантності самої тест-культури і/або фізіозміни, що відбуваються у коренях під впливом досліджуваного забруднювача, який володіє фітотоксичними властивостями.

Важкі метали зв'язуються з клітинною оболонкою, зв'язками ковалентного типу з вільними карбоксильними й аміногрупами, а іонними зв'язками з карбоксильними та сульфідгидрильними групами білкового складу, а теж і методом хелатування. Відіграють визначальну роль у процесі увібрання металів і карбоксильні групи полісахаридів. У зв'язку з тим, що свинець має значну спорідненість з полігалактурановою кислотою, то його іони можуть зв'язуються з вуглеводами, які містяться у клітинній стінці [12, 14, 17]. Відповідно в клітинній стінці нагромаджувалася значна концентрація свинцю, яка, як показано на рисунку 3.3, знижувала значення питомої поверхні коренів, а особливо це стосується молодих рослин.

Тому, рослини у фазі повної стиглості порівняно з рослинами, які ми аналізували у початковій фазі, характеризуються менш стійкими властивостями до навантаження на них ацетату свинцю. Цей показник значно змінювався у всіх випадках і при різних умовах навантаження. Прослідковується стабільна тенденція до здатності свинцю знижувати рівень показника питомої поверхні за різних рівнів забруднення. Реакція рослин на стрес залежить від стійкості рослин, від часового періоду, а також його інтенсивності.

3.6 Вплив кадмію на питому поверхню коренів ячменю

Кадмієвий стрес (корені зібрані в фазі повної стиглості) зумовив виразне зменшення кількості адсорбованої водяної пари порівняно з коренями, які проростали і розвивалися при відсутності кадмієвого стресу, а також з коренями, зібраними у фазі сходів.

На рисунку 3.4 представлено початкові фрагменти ізотерм адсорбції водяної пари коренями ячменю, які були вирощені на забрудненому кадмієм ґрунті. Аналізуючи даний рисунок, можна стверджувати, що під впливом

кадмієвого стресу зменшилася кількість адсорбованої водяної пари на досліджуваних коренях.

Обчислена на підставі сорбційних даних питома поверхня (рис. 3.5) коренів, зібраних у фазі повної стиглості, які були піддані кадмієвому стресові, також виразно зменшилася (відносно контрольних і зібраних коренів у фазі сходів).

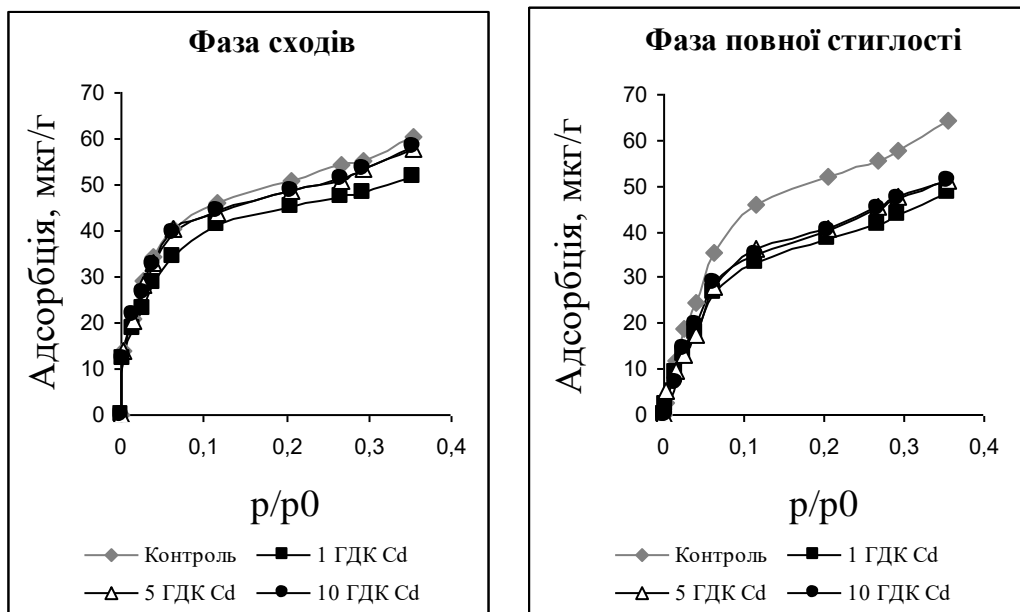


Рис. 3.4 - Ізотерми адсорбції водяної пари для коренів ячменю за умов забруднення ґрунту кадмієм (фаза сходів і фаза повної стиглості)

При цьому не відзначено істотних змін питомої поверхні між коренями, зібраними в фазі повної стиглості, при різних концентраціях кадмію. Як відомо з літературних джерел, у деяких рослин чутливість до високих доз кадмію зростає разом із віком. Skórzyńska-Polit і Baszyński відмітили, що молоді рослини квасолі ефективніше захищали свій апарат фотосинтезу і легше адаптувалися до умов кадмієвого стресу, ніж старші рослини [296]. Рівень толерантності ячменю по відношенню до цього металу визначає ряд механізмів, які задіяні в захисті рослини.

На рослини у фазі сходів найбільший вплив на зменшення поверхні мали іони кадмію, додані в концентрації 3 мг/кг ґрунту (1 ГДК). Порівняно з

контролем значення показника на цьому варіанті досліді знизилося на 13 %. Кадмій, який був внесений у ґрунт у концентраціях 15 і 30 мг/кг ґрунту (5 і 10 ГДК), лише незначною мірою зменшив досліджувану поверхню коренів ячменю ярого сорту Пеяс (рис. 3.5).

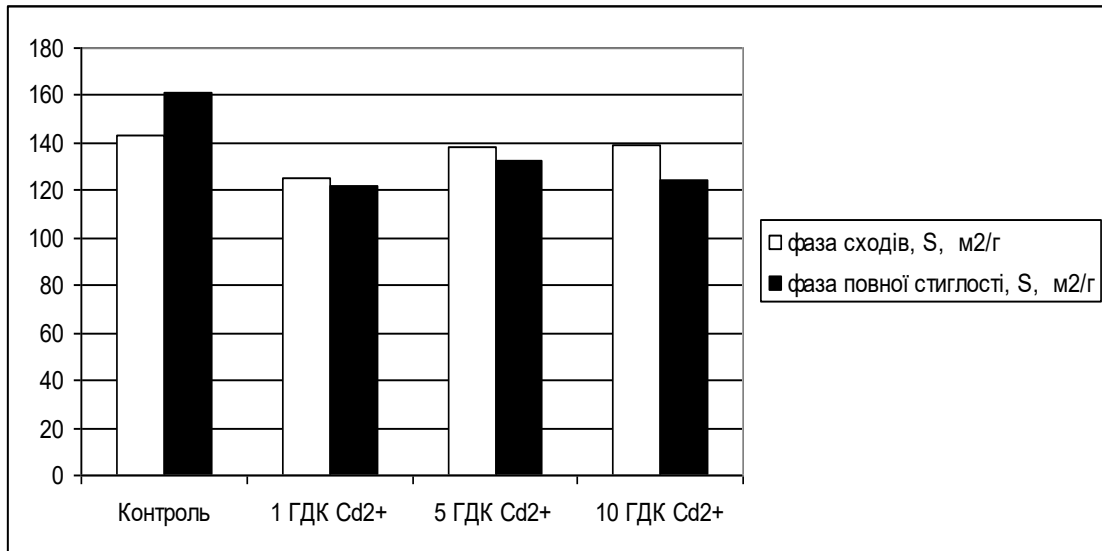


Рис 3.5 - Питома поверхня (S, м²/г) коренів ячменю, вирощеного на забрудненому кадмієм ґрунті

З досліджень, які проводилися вченими, відомо, що головним захисним механізмом рослин по відношенню до кадмію є детоксикація при участі фітохелатів і акумуляція в клітинній стінці. У деяких видів рослин акумуляція фітохелатів чітко зростала, особливо в коренях, разом із зростанням фітотоксичних доз кадмію. Крім того, потенційними лігандами іонів металів можуть бути органічні кислоти (лимонна, яблучна). Припускається, що на фітотоксичні концентрації кадмію рослини реагують збільшеним виділенням лимонної кислоти. Адже саме введення в дію захисних механізмів у рослині може викликати зміни фізико-хімічних властивостей коренів: зниження заряду поверхні, що веде до зниження катіонообмінної здатності коренів, а далі і до обмеження поглинання інших катіонів, необхідних рослині для нормального

функціонування. У випадку кадмію можливі антагоністичні реакції між ним і цинком [34].

Зі зміною фізико-хімічних властивостей коренів, а також і питомої поверхні пов'язані також морфологічні, анатомічні і фізіологічні зміни, які відбуваються в рослині під впливом кадмієвого стресу. Ознаки токсичності не є специфічні. Найчастіше вони виражаються у скрученості і плямистості листків, бурому забарвленні, а також вкороченні і потовщенні коренів. Фізіологічний ефект надлишку кадмію найперше полягає у зміні процесу фотосинтезу, транспірації, а також веде до зміни клітинної стінки, ядра і структури ДНК. Фізіологічні зміни, що проходять у рослині під впливом фітотоксичності кадмію, як і механізми стійкості, діючі в рослині (найчастіше одночасно, з різною інтенсивністю, залежною від її чутливості), є між собою зв'язані і часто виступають одночасно. Біохімічні властивості іонів кадмію доводять велику спорідненість із сульфогідрильними групами різних зв'язків, із яких утворюються сполуки. Проте в умовах стресу утворюються фітохелати, які зв'язують кадмій. Він залишається в клітинній стінці. Лише деякі з механізмів толерантності можуть впливати на питому поверхню досліджуваних коренів ячменю [33].

Узагальнюючи отримані дані стосовно фізіологічних змін, які пов'язані насамперед із часом впливу кадмієвого стресу, ми можемо припускати, що то одна або всі з цих реакцій рослин на фітострес були причиною відмічених змін питомої поверхні досліджуваних коренів ячменю ярого.

Проаналізувавши отримані дані, можна зробити висновок, що питома поверхня досліджуваних коренів ячменю ярого сорту Пеяс зменшилася під впливом свинцевого і кадмієвого стресу. Однак відчутний вплив на зменшення питомої поверхні мав часовий період впродовж якого відбувалося кадмієве навантаження, а при дослідженні свинцю з часом питома поверхня збільшувалась і була за значенням вищою у період завершення процесу вегетації. Значні концентрації кадмію збільшують, а свинцю – зменшують даний показник.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Шкідливі та небезпечні фактори при виконанні весняно-польових робіт

Основним нормативно-правовим актом, який регламентує безпечне виконання робіт у сільськогосподарському виробництві, є Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві, затверджені наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України від 26 листопада 2012 р. № 1353 [20].

Умови праці у сільськогосподарському виробництві мають певні особливості. Здебільшого польові роботи виконуються на значній відстані від центральної садиби і тракторної бригади. Через це знижується контроль за безпекою працівників з боку адміністрації господарства. У цих умовах підвищується особиста відповідальність механізаторів за безпеку проведення робіт.

Разом з тим поживляються й інші роботи в агропромисловому виробництві. Зростає, порівняно із зимовими місяцями, кількість зайнятих на ручних роботах працівників, насамперед на технологічному обслуговуванні та забезпеченні роботи посівних та інших машинно-тракторних агрегатів.

Все це об'єктивно збільшує вірогідність травматизму, особливо при недотриманні правил техніки безпеки та охорони праці й неналежній організації робіт [27].

Основними шкідливими та небезпечними факторами при проведенні весняно-польових робіт з використанням тракторів і самохідних сільськогосподарських машин є:

- технічна несправність тракторів і сільськогосподарських машин;
- виконання робіт в охоронних зонах ліній електропередач;
- виконання робіт на відкритому повітрі, при підвищеній або низькій температурі повітря;

- підвищений рівень шуму та вібрацій;
- підвищена забрудненість повітря ґрунтовим пилом;
- наявність отрутохімікатів;
- схили полів, наявність перешкод у вигляді ям, ярів;
- рухомі агрегати;
- пожежна небезпека;
- нервово-психічні перевантаження.

При роботі з причіпною сільськогосподарською технікою можливі такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- рухомі частини машин: причіпні (навісні) пристрої, робочі органи, пружини, механізми передачі руху, колеса тощо;
- робоча рідина гідравлічної системи сільськогосподарських машин;
- підвищена концентрація пилу від мінеральних добрив в повітрі робочої зони;
- несприятливі метеорологічні умови [27].

4.2 Вимоги безпеки під час використання пестицидів та мінеральних добрив

Транспортування, зберігання та застосування пестицидів потрібно здійснювати з дотриманням вимог Закону України «Про пестициди і агрохімікати» та інших нормативно-правових актів у частині безпечного здійснення робіт із транспортування, зберігання та застосування пестицидів.

Роботи, пов'язані з підготовкою мінеральних добрив до внесення у ґрунт, треба здійснювати за допомогою механізмів, оснащених пристроями для зниження пилоутворення. Працівники мають використовувати відповідний спецодяг, спецвзуття та засоби індивідуального захисту органів дихання та зору [20].

Не дозволяється:

У темний час доби здійснювати роботи, пов'язані з транспортуванням аміаковмісних мінеральних добрив, приготуванням розчинів, змішуванням їх та внесенням у ґрунт.

Транспортувати разом різні види пестицидів, хімічна взаємодія яких у разі порушення герметичності упаковки може спричинити займання.

Перевозити пестициди та протруєне насіння разом із біологічними засобами захисту рослин, харчовими і кормовими продуктами та іншими вантажами, а також із людьми.

Використовувати для зберігання продуктів, фуражу, води тощо тару від мінеральних добрив, навіть після її знешкодження (зnezаражування). Тара з-під мінеральних добрив утилізується згідно з вимогами природоохоронного законодавства.

У машинах, які застосовуються для роботи з пестицидами, усі з'єднання магістралей переміщення пестицидів (фланці, затички, штуцери, ніпелі, люки тощо) повинні мати ущільнювальні прокладки. Не дозволяється готувати розчини пестицидів безпосередньо в полі без засобів механізації.

Працівникам не дозволяється перебувати у зоні можливого руху маркерів або навісних машин під час розвертання машинно-тракторних агрегатів. Під час руху агрегату не допускається одночасне обслуговування одним працівником двох або більше сівалок. Завантаження сівалок і садильних машин насінням, садильним матеріалом та добривами має бути механізованим. Ручне завантаження дозволяється лише за умови зупинення посівного або садильного агрегату та вимкнення двигуна трактора.

Заміну, очищення і регулювання робочих органів навісних машин і знарядь, які підняті, потрібно проводити тільки спеціальними чистками в рукавицях із зупиненим, загальмованим агрегатом та вимкнутим двигуном і вжиттям заходів, що запобігають їх самовільному опусканню.

Працівникам заборонено підніматися на або спускатися з машин під час їх руху. Не дозволяється сівачам працювати на навісних сівалках [20, 27].

Висновки

1. Встановлено, що під дією свинцю та кадмію у концентраціях 1, 5 і 10 ГДК не зазнають пригнічуваної дії наступні показники: довжина колосу, число колосків у колосі, маса 1000 зерен, вміст сирого жиру, вміст білка та загального азоту. Лише на варіанті досліду 10 ГДК Pb^{2+} дещо знижується вміст білка у зерні.

2. Причиною зміни вмісту білка і загального азоту у зерні ячменю ярого є змінні метеорологічні умови упродовж усього вегетаційного періоду.

3. Встановлено, що у межах 1%, під впливом різних доз свинцю і кадмію знижується вміст клітковини у зерні. Кадмій, порівняно зі свинцем, чинить менш виражену інгібіторну дію відносно процесу накопичення клітковини у зерні ячменю.

4. Невисокі концентрації кадмію (1 ГДК Cd^{2+}) стали причиною незначного – на 1,5 % збільшення відсоткового вмісту крохмалю в зерні. В останній рік проведення досліджень свинець і кадмій у дозі 5 ГДК стали причиною зниження вмісту крохмалю відповідно до контрольного зерна на 4,21 і 2,49 %. Можна стверджувати, що показник крохмалистості досліджуваного зерна зазнає як позитивного так і негативного впливу.

5. Під впливом досліджуваних полютантів питома поверхня коренів ячменю зменшується. Значний вплив на зменшення питомої поверхні мав час впродовж якого рослини зазнавали кадмієвого стресу. Проте, під впливом свинцю з часом питома поверхня навпаки дещо збільшувалася і була вищою у фазі цілковитої стиглості.

6. Отже, реакція тест-рослини на свинцево-кадмієвий стрес залежить від стійкості самої рослини, часу впродовж якого триває стрес, а також від його інтенсивності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вісник Львівського національного аграрного університету : агрономія. 2020. № 24. 319 с.
2. Войтюк Ю. Ю. Поглинання важких металів із ґрунту рослинністю зони техногенезу. *Вісник Дніпропетровського університету : геологія, географія.* 24 (2), 2016, 11–17.
3. Гораш О. С. Оцінка якості зерна сортів пивоварного ячменю на основі технологічного сортування. *Вісник аграрної науки : рослинництво, кормовиробництво.* 2005. № 2. С. 24–27.
4. Гришко В. М., Сищиков Д. В., Піскова О. М. та ін. Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна безпека. Донецьк: Донбас, 2012. 304 с
5. Дидів А. І. Зменшення токсичності важких металів за використання добрива та меліорантів при вирощуванні буряка столового. *Теорія і практика інноваційних розробок молодих вчених у ґрунтово-агрохімічній науці: матеріали всеукраїнського наук.-практ. круглого столу для молодих вчених (м. Харків, 18-19 травня).* Харків: ФОП Бровін О.В., 2017. С. 56-58.
6. Довбиш Л. Л. Забруднення важкими металами дерново-підзолистих ґрунтів лісоаграрних ландшафтів Полісся : дис. ... канд. с.-г. наук : 03.00.16 – екологія. Житомир, 2002. 152 с.
7. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб.
8. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. Москва : Мир, 1989. 439 с.
9. Казнина Н. М., Лайдинен Г. Ф., Титов А. Ф., Таланов А. В. Влияние свинца на фотосинтетический аппарат однолетних злаков. *Известия РАН.* 2005. № 2. С. 184–188. (Серия биологическая).
10. Качмар Н. В., Снітинський В. В. Вплив свинцю та кадмію на вибрані ботанічні та біохімічні показники ячменю ярого. *Екологія : вчені у вирішенні*

проблем науки, освіти і практики : матеріали тез Міжнар. наук.-практ. конф. (Житомир, 18–19 березня). Житомир, 2010. С. 48–49.

11. Качмар Н. В., Лозовицька Т. М., Синявська Л. В. Дослідження токсичної дії свинцю на синтез крохмалю в зерні *Hordeum sativum distichum*. *"Шевченківська весна 2012: Біологічні науки,, Сучасний стан науки : досягнення, проблеми і перспективи розвитку"*: збірник матеріалів X Міжнар. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та мол. учених (м. Київ, 19–23 березня 2012 р.). Київ, 2012. С. 140–141.

12. Качмар Н. В., Форемна І. В., Дидів А. І. Особливості біологічного поглинання кадмію рослинами ячменю ярого. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. Сільськогосподарські науки*. Львів, 2018. Т. 20, № 84. С. 16–20.

13. Козловський В., Романюк Н., Терек О. та ін. Важкі метали у ґрунтах та рослинах заплави ріки Тиса. *Вісник Львівського університету : екологія*. 2005. № 40. С. 35–50.

14. Косаківська І. В. Фізіолого-біохімічні основи адаптації рослин до стресів. К. : Сталь, 2003. 192 с.

15. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів : Укр. технології, 2006. 730 с.

16. Лозовицька Т. М. Міграційні та екотоксикологічні властивості свинцю і кадмію в системі "ґрунт-рослина" : дис. ... канд. с.-г. наук : 03.00.16 – екологія. Львів, 2006. 154 с.

17. Макрушин М. М., Макрушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин : підруч. / за ред. проф. М. М. Макрушина. Вінниця : Нова кн., 2006. 416 с.

18. Міщенко З. А., Лешенко Г. В. Мікрокліматологія : навч. посіб. Київ : КНТ, 2007. 336 с.

19. Мусієнко М. М. Екологія рослин : підруч. Київ : Либідь, 2006. 432 с.

20. Про затвердження Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві [Електронний ресурс] : наказ МНС України від 26 листопада 2012 року № 1353. Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z2075-12>.
21. Рослинництво : практикум. Зінченко О. І., Коротєєв А. В., Каленська С. М. та ін. / за ред. О. І. Зінченка. Вінниця : Нова кн., 2008. 536 с.
22. Скопецька О. В., Косик О. І., Мусієнко М. М. Комплексний еколого-фізіологічний аналіз міграції та нагромадження свинцю в агроекосистемах. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2004. Т. 36, № 1. С. 27–35.
23. Снітинський В., Дидів А., Качмар Н. Вплив добрив та меліорантів на фітопродуктивність капусти білоголової за забруднення ґрунту свинцем. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: агрономія*. Київ, 2018. Вип. 286. С. 329-338.
24. Теории и методы физики почв : кол. монография / [под ред. Е. В. Шеина, Л. О. Карпачевского]. Москва : Гриф и К, 2007. 616 с.
25. Трахтенберг И. М., Утко Н. А., Короленко Т. К. и др. Влияние свинца на развитие окислительного стресса. *Токсикологический вестник*. 2002. № 3. С. 22–25.
26. Фурсова Г. К. Закономірності зерноутворення та насінняутворення колосових хлібів. *Сучасні технології селекційного процесу сільськогосподарських культур* : зб. тез міжнар. наук. симп., 7-9 лип 2004 р. : тези доп. Харків, 2004. С. 29–30.
27. Шудренко І. В. Охорона праці в галузі : навч. посіб. Житомир : ЖНАЕУ, 2017. 136 с.
28. Щербаченко О.І. Важкі метали як токсичний фактор забруднення природного середовища. Стійкість і адаптація рослин до їх впливу. *Наукові записки Державного природознавчого музею*. Випуск 30. Львів, 2014 С.157-182.
29. Chiou C. T. The surface area of organic matter / C. T. Chiou, J. F. Lee, S. A. Boyd // *Environ. Sci. Technol.* – 1990. – № 24. – P. 1164–1166.

30. Dydiv A.I., Kachmar N. V., Datsko T. M., Bahday T. M. Influence of fertilizers and meliorants on the reduction of Cadmium and Plumbum accumulation in plants *Beta vulgaris* L. *Інноваційні розробки молоді в сучасному овочівництві: матеріали Міжнародної наук.-практ. конференція молодих учених* (с. Селекційне Харківської обл., 3 жовтня 2019 р.). Інститут овочівництва і баштанництва НААН. Вінниця: ТОВ «Твори», 2019. С. 135–136.
31. Hrebela N., Szatanik-Kloc A., Sokołowska Z.. Wpływ jonów kadmu na pozorną powierzchnię właściwą korzeni jęczmienia (*hordeum vulgare*. L). *Acta Agrophysica* 162. Lublin, 2008. Vol. 12, № 2. S. 337–345.
32. International agrophysics. A quarterly journal on physics in environmental and agricultural sciences. Institute of agrophysics, polish academy of sciences. 2007. Vol. 21, № 4. P. 311–422.
33. Szatanik- Kloc A., Sokołowska Z., Hrebela N. Wpływ pH w warunkach stresu kadmowego na ładunek powierzchniowy korzeni jęczmienia (*Hordeum vulgare* L.). *Acta Agrophysica* 152. 2007. Vol. 10, № 2. – P. 473–482.
34. Szatanik-Kloc A., Sokołowska Z., Hrebela N.. Effect of pb-stress of selected physicochemical surface properties of barley (*hordeum vulgare* l.). *International agrophysics*. A quarterly journal on physics in environmental and agricultural sciences. Lublin, 2007. Vol. 21, № 4. P. 399–408.