

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет імені Івана Франка
Біологічний факультет
Кафедра фізіології та екології рослин

Кваліфікаційна робота магістра на тему:
**АНТИОКСИДАНТНА СИСТЕМА ПШЕНИЦІ ЗА ДІЇ ІОНІВ
СВИНЦЮ**

Студента 2-го курсу магістратури,
групи БЛБ-23М
спеціальності 091 – Біологія та біохімія
Гнатіва Івана-Олександра Євгеновича
Керівник: доц. Пацула О.І.
Рецензент: доц. Бура М.В.

Національна шкала _____

Кількість балів ____ Оцінка: ECTS ____

Члени комісії: _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

Львів - 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	Помилка! Закладку не визначено.
Огляд літератури.....	5
1.1 Важкі метали та їх вплив на ріст і розвиток рослинних організмів	5
1.2 Особливості токсичного впливу важких металів	8
1.3 Уникнення впливу важких металів у сільському господарстві.....	21
2. Матеріали і методи досліджень.....	25
2.1.. Вирощування рослинного матеріалу методом водної культури.....	25
2.2.Вимірювання морфометричних показників.....	26
2.3. Визначення аскорбінової кислоти.....	27
2.4.Визначення активності малонового діальдегіду.....	28
3. Результати досліджень та їх обговорення	29
3.1. Морфометричні показники проростків пшениці за різних концентрацій іонів свинцю	29
3.2 Показники вмісту аскорбінової кислоти у тканинах пшениці за різних концентрацій іонів свинцю	43
3.3 Показники вмісту малонового діальдегіду.....	52
Висновки	55
Список використаної літератури	56

ВСТУП

Нам відомо, що стрімкий розвиток промисловості у сфері металургії і видобутку металів із шахт починає забруднювати нашу планету. Україна, як сучасна держава, стикається з цією проблемою також. Адже для стрімкого розвитку економіки шахти і заводи з виробництва металевих конструкцій життєво необхідні. Внаслідок цього ми стикаємося з різними екологічними проблемами антропогенного характеру. Глобальна проблема тут полягає у тому, що значна частина кількості важких металів, які за рівнем екологічної небезпеки поступаються лише пестицидам. В умовах постійної роботи промислової індустрії, у ґрунті, воді та повітрі багатьох регіонів України вміст важких металів перевищує гранично-допустимі концентрації. Оскільки, важкі метали проявляють високу біо-пластичність, то включаючись у біологічний кругообіг створюють несприятливі умови для мінерального живлення рослин, а відтак призводить до інтоксикації тварин і людини. Не дивлячись на те, що багато важких металів не є необхідними для життєдіяльності рослин, вони можуть активно ними поглинатися і проявляти негативні впливи та наслідки на організм упродовж величезних термінів часу. Токсичні іони поглинаються рослинами і можуть бути поміченими у великих кількостях не лише у організмах рослин, але у інших живих організмах, а також у ґрунтах на яких ростуть ці рослини. Це передбачає що іони важких металів будуть нагромаджуватися і у всій рослинній продукції, яка виробляється з таких рослин, що у свою чергу передбачає інтоксикацію тварин і людей, які таку продукцію споживатимуть. Токсичність важких металів для живих організмів, зумовлена, насамперед біологічною активністю і доступністю багатьох із них, стійкістю їх сполук у природному середовищі, тому що на відмінну від органічних речовин, іони металів слабо трансформуються і, потрапивши в біохімічний цикл, залишаються у ньому,

також вони можуть в невеликих концентраціях спричиняти значні негативні ефекти.

Джерела надходження іонів важких металів можна умовно розділити на дві групи: природні і техногенні. Серед природних джерел це вивітрювання і розчинення гірських порід та мінералів, ерозія та вулканічна діяльність. Проте, основним джерелом забруднення природного середовища важкими металами є продукти спалювання палива, відпрацьовані гази автомобільного транспорту, газоподібні викиди і стічні води підприємств, особливо шахт і хімзаводів.

Мета досліджень : метою наших досліджень було дослідити активність антиоксидантної системи пшениці за дії іонів свинцю.

Для досягнення мети було поставлено конкретні завдання:

- вивчити вплив іонів свинцю на морфометричні показники рослин пшениці;
- визначити вміст малонового діальдегіду, як основного показника оксидативного стресу;
- визначити активність накопичення аскорбінової кислоти в пагонах та коренях рослин пшениці.

Об'єкт досліджень: оксидативний стрес рослин за умов дії важких металів ; антиоксидантні реакції рослин на оксидативний стрес.

Предмет досліджень : оксидативні реакції рослин пшениці за дії ацетату свинцю; антиоксидантні реакції рослин пшениці за дії ацетату свинцю.

Для досягнення поставленої в роботі мети використано такі методи дослідження: морфометричні – визначення біометричних показників досліджуваних рослин; біохімічні – визначення вмісту МДА та активності аскорбінової кислоти.

Огляд літератури

1.1 Важкі метали і їх вплив на рослинні організми ріст і розвиток

Отже ми знаємо, що у природі рослини це найперші індикатори забруднення довколишнього середовища, вони вказують своєю реакцією у вигляді темпів росту і розвитку на присутність поллютантів у вигляді важких металів та інших небезпечних речовин. Найпоширеніші приклади таких реакцій це: зміна забарвлення листя, різні форми некрозів, завчасне старіння та спадання листя. У багаторічних рослин це проявляється через зміну розміру, форми, напрямку росту пагонів чи зменшення плодючості, але такі реакції загалом не виражені [3]. Найкращі біоіндикатори важких металів є слива, подорожник, квасоля. В досліджах також часто використовуються рослини - акумулятори. Вони здатні накопичувати у своїх тканинах важкі метали чи інші речовини забруднюючого характеру або шкідливі продукти метаболізму, які можуть бути утворені дією забруднюючих речовин, але видимих змін у рослин не спостерігається. В результаті перевищення порогу токсичності важких металів, для таких рослин виявляють різні відповідні реакції у вигляді зміни швидкості росту і тривалості цвітіння та плодоносності, біометричних показників та зниженні продуктивності [24].

Спостерігаючи за ростом рослин, який, може послужити нам індикатором стану рослин, можна визначити, яким чином можуть впливати стресові фактори на функції та процеси організму рослин. Під гнітючою дією важких металів, відбувається зниження швидкості росту рослин, а також зменшення накопичення біологічної маси, якщо взяти для порівняння показники, що характерні для даного виду рослин. Важкі метали мають негативний характер впливу на продуктивність репродуктивної функції рослин, а саме, вони впливають на насіння та плоди рослин. Це призводить до зниження можливості рослин самовідтворюватися у звичному для них темпі, через зниження врожаю насіння.

Якщо розглядати вплив важких металів на сільськогосподарські рослини, то висока концентрація важких металів у ґрунті призводить до зниження їх продуктивності та погіршення якості врожаю. В результаті цього, рослинна продукція має менший вміст поживних речовин та підвищену концентрацію токсичних елементів, що може мати негативний вплив на здоров'я людини [14].

Біотестування, є одним з перспективних методів визначення токсичності ґрунту. Вчені з Сполучених Штатів Америки в якості біотесту найбільш часто використовують насіння кукурудзи, цукрових буряків та огірка. Вчені Великобританії – гороху, цукрових буряків, сочевиці. Вчені з Нової Зеландії – вівса, ріпи. Вчені з Італії – капусти, салату, кукурудзи, пшениці та гірчиці. Українські вчені використовують насіння редису, пшениці, салату, гірчиці, кукурудзи та вівса. Тому що для визначення токсичності, краще обирати дрібне насіння з невеликим запасом поживних речовин, адже вплив важких металів на таких об'єктах досліджень буде помітним вже, навіть, при невеликих концентраціях цього поллютанту [20].

Ще одна причина такої прекрасної можливості використання рослин як індикаторів забруднення навколишнього середовища, а найголовніше забруднення повітря, пояснюється тим що, фотосинтезуючий апарат рослин має високу чутливість до впливу стресових факторів. Найцікавіше у випадках реакції фотосинтезуючого апарату це розглядати фотосинтезуючі пігменти – компоненти фотосинтезуючих структур (фотосистеми 1 та 2 і світло - збиральних комплексів) – хлорофілів а та b, а також каротиноїдів. Характер впливу важких металів на хлорофіли залежить від концентрації та конфронтації металу, тривалості його впливу та від ярусу листа [30].

В процесі досліджень британських вчених, було виявлено, що при загальному зниженні концентрації хлорофілів в листі, співвідношення хлорофілів а та b залишається майже незмінним, навіть при високих дозах важких металів. Це може свідчити про те, що зниження вмісту хлорофілів у рослині, спричинене пригніченням їх біосинтезу. При впливі важких металів

відбувається процес пригнічування утвореного активного хлорофілідредуктазного та синтез амінолевулінової кислоти. А також, порушення синтезу хлорофілів при забрудненні важкими металами може бути спричинене витісненням ними іонів магнію з молекули хлорофілу. Нам відомо що каротиноїди в порівнянні з хлорофілами менш чутливу реакцію до впливу важких металів. Під впливом важких металів на рослини, корені рослин виступають так званим бар'єром на шляху їх поглинання та транспорту з ґрунту. Корені виконують функції пов'язані з накопиченням та зниженням токсичності важких металів в багатьох видів рослин. Тому, підвищення концентрації важких металів мають негативний вплив на кореневу систему рослин. В результаті токсичної дії важких металів, відбувається зменшення довжини головного кореня, кількості бокових коренів, біомаса кореня, а також відбувається відмирання кореневих волосків. Все це призводить до погіршення поглинання живильних речовин та води, в результаті чого, відбувається пригнічення росту і розвитку рослини, а також може призводити, навіть, до відмирання [6].

Ще одним із наслідків дії важких металів є також нагромадження активних форм кисню і зростання інтенсивності процесів пероксидного окислення ліпідів. В найкращих умовах для росту і розвитку рослин утворюється невелика кількість пероксиду водню, який виконує важливу роль у лігніфікації (здерев'янінні) клітинної стінки, активації захисних систем, експресії генів і процесів, спрямованих на підвищення стійкості до несприятливих факторів [19].

У стресових ж умовах підвищується вміст пероксиду водню, який тепер вже, негативно впливатиме на білки та ліпіди мембран і призводить до пошкодження дизооксирибонуклеїнової кислоти (ДНК). Одним із найважливіших етапів мінерального живлення рослин, на який впливають такі складові чинники довкілля як важкі метали, є поглинання неорганічного азоту [10].

Н. Смірнов та Г.Р. Стюарт спостерігали уповільнення цього процесу у чутливого виду лучнику зернистого за умов підвищення дози важких металів в середовищі вирощування. А дослідження вченими з впливу важких металів на

поглинання NO₃- проростками огірка посівного вказують, що важкі метали припиняють цей процес. Заслуговує на увагу також дослідження вмісту загального, білкового та небілкового азоту в органах рослин. Відомо, що за умов впливу фітотоксичних концентрацій важких металів на рослини відбувається падіння вмісту загального азоту в листках [50].

У досліджах С.Макхері та Р.Б Кумар важкі метали викликали зниження вмісту розчинного азоту в зародковій частині паростків квасолі звичайної і збільшення концентрації цих важких металів у сім'ядолях. Ферментам азотного метаболізму, що приймають участь у перетворенні аміаку властива зміна каталітичної активності у відповідь на вплив важких металів. Відомі дані про вплив таких металів на активність ензимів [48].

Дослідами Р.Реджіані зі співавторами встановлено зміну активності глутамінсинтетази (ГС) і глутаматсинтази (ГТС) за дії важких металів в органах томату. Ю.В. Лихолат зі співавторами робить висновок, що завеликий вміст вільних амінокислот в коренях газонних трав за умов промислових підприємств може бути тестом на їх стійкість за цих умов [31].

За результатами досліджень М.М Щербатюк та інших було введено одиницю – «індекс не включення» - відношення кількості вільної амінокислоти до її сумарної кількості, яка характеризує ефективність використання фонду вільних амінокислот в процесі біосинтезу білка. В залежності від ступеня цих показників можна слідкувати за станом рослинних організмів, що дає можливість оцінити не тільки негативну дію на них чинників антропогенного походження, важких металів у тому числі, але й провести розпізнання інгредієнтів викиду промисловості [31].

1.2 Особливості токсичного впливу важких металів

Розглянемо особливості токсичного впливу іонів різних важких металів, а саме, кожного хімічного елемента цієї групи на рослинні структури і їхні функції. Отже використовуючи дослідження наших колег, ми дізналися, що іони Ni^{2+} та Cr^{3+} у різноманітні концентрацій 10 у мінус п'ятій та 10 у мінус четвертій степенях моль на літр, близьких до тих, що є у польових умовах окремо та за їх спільної дії на фракційний склад і вміст загальних ліпідів, активність ферментів ліпідного обміну ліпази у зерні кукурудзи гібриду Бліц при проростанні на шосту добу розвитку рослини ми дізналися. Що ці важкі метали у більшості негативно впливали на ріст і розвиток паростків даного виду гібридної кукурудзи, викликаючи гальмування їх росту, особливо за вищих концентрацій токсикантів та їх комплексної дії. Ліпіди та жири в загальному відіграють дуже важливу роль у розвитку живих організмів. Рослини звісно ж не виключення, оскільки ліпіди є відіграють дуже важливу функцію, вони є речовинами захисту, які забезпечують енергетичний потенціал зерна при проростанні. Крім цього вони є важливими складовими компонентами біологічних мембран. Тому інформація про вплив важких металів на вміст та склад ліпідів і їх метаболізм у зерні гібриду кукурудзи є актуальна, оскільки допоможе розкрити механізм комплексного забруднення довкілля, зокрема і фігурантами нашої роботи – важких металів. [8]

Зазначаючи впливу нікелю та хрому за їх спільної дії наші колеги з Харківського університету І.В Косаківська та М.М Щербатюк відмітили підвищення активності ліпази, набагато вищими ці активності відмічалися при вищих концентраціях металів (10 у мінус четвертій степені моль на літр) та їх спільному впливу. Комплексна дія нікелю та хрому у максимальних дозах призводила до редукції активності ліпази. При цьому вони виявили зниження вмісту загальних ліпідів від сорока шести до сімдесяти чотирьох відсотків в

більшій мірі – при вищій концентрації окремих металів та за їх спільної дії з вищими дозами металів. Хром більшою мірою пригнічував вміст загальних ліпідів у зерні кукурудзи, що відбивало зниження захисних властивостей зерна, особливо під впливом хрому. Також вони виявили зростання активності ферментів (7 – 17 відсотків) та поєднання їх впливу за спільної дії двох токсикантів. Це узгоджувалося із підвищенням вмісту фракції жирних кислот у зразках кукурудзи за дії важких металів [20].

Підвищення вмісту ненасичених жирних кислот відносно норми у зерні кукурудзи при проростанні можна розглядати як адаптивну реакцію рослин на дію токсикантів. Наступні важкі метали у нас на черзі це мідь (Cu) та цинк (Zn). Як же ж іони цих важких металів впливають на організми рослин. Видимою реакцією як я вже згадував і раніше є гальмування росту – неспецифічна реакція-відповідь рослин на стрес-фактори. Ця ростова реакція є наслідкова відповідна зміна у гормональній системі. Гальмуванню росту супутнє зниження рівня гормонів-стимуляторів (ауксинів і гіберелінів) і зростання інгібіторів росту, насамперед АБК [13].

За дії іонів міді в концентрації 10^{-5} в мінус п'ятій степені та іонів цинку у концентрації 10^{-3} в мінус третій зменшується довжина коренів та висота надземної частини. У рослин соняшнику спостерігається скручування та в'янення листків, пагони та корені стають надто тонкими і ламкими, не відбуваються утворення додаткових коренів, у порівнянні з нормальними рослинами. Якщо використати регулятор росту то відбудеться зниження токсичної дії важких металів на ріст рослин. Якщо додати трептолем, то у рослини видовжаться пагони й утвориться більше додаткових коренів, а це вже може бути наслідком інтенсифікації метаболізму рослинного організму. Тому мідь та цинк є доволі небезпечними елементами для росту рослин [1]. У такій рослині як ячмінь ярий, а саме у його зерні помітили, що мідь та цинк поглинаються рослинами набагато краще і активніше, аніж свинець (Pb) та кадмій (Cd), які до речі, вважаються елементами найбільш токсичного першого класу небезпеки. Для ячменю ярого найбільш

стабільним є накопичення міді (Cu), коефіцієнт варіації має найнижче значення 1, 2, 3. Накопичення свинцю (Pb) і кадмію (Cd) в зерні ячменю ярого може вказувати на те, що коефіцієнти варіації 25,0 і 23,3 відповідно свідчать про більшу чутливість до них [9]. Що цікаво, за інтенсивністю переходу із ґрунту в рослини ячменю ярого елементи важких металів розташовуються так: $Zn > Cu > Cd > Pb$. [7] Яка ж користь з цієї інформації. Підбір сортів ячменю ярого стійких до накопичення важких металів дасть змогу отримувати високоякісне зерно в умовах індустріальних регіонів. Також досвід виводу стійких до важких металів рослини можна розглянути на прикладі вівса та жита, які довший період часу ростуть в присутності відносно високих концентраціях іонів кадмію, хоча і на фоні інгібування (затримки) ростових процесів при умовному біоплато. Маючи такі знання про накопичення і чутливість до тих чи інших елементів можемо також зрозуміти, з якими важкими металами варто працювати, щоб навчити ту чи іншу рослину протистояти впливу цих важких металів. Маємо зрозуміти також, що такі навички засвоюються рослинами на генетичному рівні.

Що ж заподіює рослині Кадмій потрапляючи в неї в токсичних концентраціях і чому ж така висока чутливість до цього елемента? Ну насамперед він має велику рухливість в ґрунті порівняно з іншими важкими металами і в різній мірі поглинається рослинами. Збільшення кількості кадмію в навколишньому середовищі впливає на різні фізіологічні та біохімічні процеси в рослинах. Зменшується виробництво кількості біомаси порівняно з нормою та якість поживних речовин значно знижується. Зменшення виробництва біомаси та якості поживних речовин спостерігалися на посівах, вирощених на забруднених ґрунтах з помірним рівнем важких металів. Навіть низька концентрація кадмію пригнічує ріст рослини і заважає фотосинтезу, метаболізму, засвоєнню сульфатів. Висока фіто токсичність кадмію пояснюється тим, що він є подібним за хімічними властивостями до цинку і може зміщувати його у багатьох біохімічних процесах порушуючи роботу ферментів, що

призводить до недостачі цинку і це, нажаль, може призводити до летальних наслідків для рослин [11].

Кобальт – цей мікроелемент є складовим вітаміну В12 і позитивно впливає на формування бульбочкових бактерій в бобових культур. Для злакових культур він сприяє стійкості до витягання, при дефіциті візуально брак кобальту схожий на азотне голодування. Проте не спішіть робити поспішні висновки, при надлишку цього елемента проявляється : затримка росту, ослаблення рослини, порушення біосинтезу, побіління країв листків та зрештою їх відмирання [4].

Що ж до свинцю, якого ми вже згадували разом у парі з кадмієм, то він має відносно невисоку токсичність щодо рослин: наявність у рослинах системи інактивації елементів, які проникають у кореневу систему, затримує основну його частину у цих же самих коренях рослин. Проте, дуже високі концентрації свинцю можуть суттєво пригнічувати ріст рослин і викликати хлороз, що передбачає і пояснює порушення чи втрату надходження заліза (Fe) [5].

Загалом токсичні хімічні елементи розділені за класами гігієнічної небезпеки. Отож нас попереджають про рівні токсичності тих чи інших елементів так: 1 клас: миш'як (As), ртуть (Hg), селен (Sn), кадмій (Cd), свинець (Pb), цинк (Zn). 2 клас: хром (Cr), кобальт (Co), нікель (Ni), мідь (Cu). 3 клас: стибій (Sb), талій (Tl).

У першу чергу контролюють вміст у ґрунті важких металів 1-го класу, у другу – за вмістом важких металів 2-й клас, у третю чергу – 3-й клас.

У такий легкий спосіб за допомогою цих класів, контролюється токсичність тих чи інших ґрунтів [21].

Як запобігти токсичному впливу важких металів на ріст і розвиток рослин? Перший етап запобігання токсичному впливу важких металів - це самозахист рослини, або ж “адаптація”. Усі процеси адаптації спрямовані на підтримку потрібного для життєдіяльності організму і для його стану рівноваги. Такі пристосування будь-якого організму, до умов у яких вони перебувають, досягаються за рахунок генетичної адаптації, акліматизації та швидкої адаптації.

Генетична адаптація триває упродовж як ми і писали вище, багатьох поколінь. У цьому процесі використовуються всі можливі стратегії пристосування, у цьому числі й мутації. Тобто реакції пристосування відбуваються не тільки на фенотиповому, але і на рівні геному. Інші варіанти адаптації можуть проявлятися тільки на рівні фенотипу, тобто пристосування організму відбувається в межах інформації, яка зберігається у генотипі

Акліматизація – процес, коли організм пристосовується до зміни багатьох параметрів навколишнього середовища за природних умов.

Аклімація – пристосування до одного з чинників, наприклад, за умов росту у середовищі важких металів, коли всі інші параметри є незмінними.

Акліматизація та аклімація, як правило, відбувається при зміні експресії генів, що наслідково призводить до появи у клітинах незвичних за інших умов білків. Проте, інформація про ці білки зостається в геномі організму, а не з’являється заново.

Нарешті швидка адаптація – пристосування, не залежне від змін в експресії генів, або значною перебудовою клітинних структур. Змінюється лише просторова форма деяких макромолекул, рівень активності ферментів, характер їх дії, спостерігаються зміни біологічної енергії, рН, концентрації іонів в клітинних включеннях тощо.

За типами реакцій та стійкості рослини поділяють на :

- **Рослини-акумулятори**, які сформували конститутивні механізми стійкості, що дозволяє їм **акумуляувати** токсичні метали

- У тканинах **рослин-індикаторів** вміст металу відповідає його вмісту в ґрунті.
- **Рослини-елімінатори.** У їхніх пагонах низький вміст металів, не зважаючи на високий вміст у середовищі їхнього перебування і росту. Основну бар'єрну функцію виконує корінь.

Найкраще протистоять впливу важких металів, звісно ж, рослини-елімінатори. Адже якщо отрута накопичується в одному місці (корінь), то всі інші структури та органи рослини залишаються здоровими [29].

Другий етап запобігання токсичному впливу важких металів - це етап зменшення поширення активної індустріалізації та запобігання будівництву нових шахт, заводів і тому подібного. Швидка розповсюдженість урбанізації та індустріалізації, підвищення інтенсифікації сільсько-господарського землекористання, накопичення промислових і побутових відходів призвели до забруднення ґрунтів важкими металами. Концентрації важких металів у ґрунті ростуть загрозливими темпами, тому я вважаю, що збільшення кількості цих явищ у світі можуть призвести до катастрофічних наслідків у сфері якості ґрунтів. Збільшення рівнів концентрації важких металів у ґрунтах, прісних водах та інших природних ареалах [28].

Токсичність важких металів негативно впливає на життєву діяльність та ефективність ґрунтових мікроорганізмів, мікроорганізмів підземних і поверхневих вод. Накопичення важких металів у ґрунті загрожує рослинам, тваринам і здоров'ю людини. Тому оцінка ризику для росту і розвитку рослин від впливу забруднення ґрунтів важкими металами, яку ми представили в роботі, є актуальною для визначення рівня екологічної небезпеки і розробки відповідних флористично-захисних заходів.

Наукові дослідження в різних країнах світу показали негативний вплив накопичення важких металів на екосистему ґрунтів, зниження швидкості фотосинтезу, схожості насіння і росту коренів рослин. Забруднення ґрунтів

важкими металами має негативний вплив на здоров'я населення шляхом використання в їжу сільськогосподарської продукції, яка вирощена на забрудненій території, а також питної води з підземних джерел.

І це все відбувається внаслідок викидів промислових відходів та смогу з великих підприємств. Тому я вважаю надзвичайно важливим все частіше і частіше піднімати цю проблему та не мовчати про неї. Також цікавий факт: “воєнні конфлікти також впливають на підвищення рівня концентрації важких металів у ґрунті та повітрі” і це зрозуміло, адже використання біологічної зброї та фосфорних бомб з іонами важких металів точно не покращить ситуацію з вирішенням цієї проблеми.

До початку бойових дій на території Донецької і Луганської областей було розташовано біля 4500 потенційно небезпечних промислових об'єктів. За даними ОБСЄ за період з 2014 по 2017 роки в цьому регіоні зафіксовано понад 500 аварійних ситуацій, які негативно вплинули на навколишнє природне середовище і населення.

То ж скільки проблем у геометричній прогресії збільшиться та постане перед біологами у цій сфері після закінчення повномасштабного вторгнення та перемоги України.

Третій етап захисту рослин від впливу важких металів - це звісно ж наукові спроби зменшити токсичну дію за допомогою генетичних, хімічних та біологічних дослідів, а також науково обґрунтованих дій на тій чи іншій території де виникла проблематика шкідливого впливу іонізації важкими металами.

Забруднені важкими металами ґрунти потребують спеціальних засобів з детоксикації та очистки від зайвої кислотності ґрунту, що могли б не допустити надходження їх у рослинні органи та структури з яких виготовляють продукцію. Знаючи і виходячи з цього, дослідження токсичного впливу важких

металів на природну систему ґрунт - рослина і розробка заходів з детоксикації ґрунту перебувають у великому попиті.

Також важливо є вирощувати науковим способом стійкі до впливу іонів важких металів сортів рослин, адже якщо запрограмувати рослині на генетичному рівні більшу стійкість до того чи іншого антропогенного чинника - це вже 50 відсотків захисту від токсичного впливу цього чинника.

Рівень забруднення врожаю сільськогосподарських культур важкими металами у величезній мірі залежать від біологічних і сортових можливостей та особливостей розвитку рослин. Найбільш схильні до накопичування у своїй біомасі важких металів являються такі рослини : озиме жито, озима пшениця, овес, ячмінь. Найбільш високу здатність до опору важким металам або ж адаптивний потенціал має жито, а найбільш низьку – ячмінь. З підвищенням проблематики концентрацій, а отже і рівня забруднення знижуються не тільки якісні показники, але й здатність до відтворення собі подібних під час періоду збирання врожаю сільськогосподарських культур [34].

На помірному рівні забруднення ґрунтів зниження врожайності може досягати 5-10%, на середньому та сильному - 30-35% і більше. Надлишковий вміст деяких мікроелементів у рослинах, що споживається, може негативно впливати на людину і тварин. Важкі метали знижують урожай і погіршують його якість не лише через власну токсичність, а й через блокування надходження у рослини необхідних елементів живлення [37]

Тепер маючи базові знання про те, якими способами можна запобігти згубному впливу важких металів на рослини, давайте розберемо, які способи боротьби з важкими металами є найдієвішими з точки зору науки.

Поширення забруднення по території залежить від особливостей його джерела, метеорологічних умов, напрямку вітру, особливостей рельєфу і т.п.

На розподіл важких металів у ґрунті впливають такі чинники :

- гранулометричний склад
- оксиди та гідроксиди
- реакція середовища і окислювально-відновний потенціал
- карбонати
- органічна речовина ґрунту
- використання добрив
- ґрунтова біота
- міграція за профілем ґрунту
- характеристики самого металу

Зазвичай, аналіз ґрунту на важкі метали розкаже нам про те, що забруднення в основному концентрується в радіусі 10 – 15 км від його джерела. Але якщо токсичні речовини потрапляють у високі шари атмосфери, то вони можуть переноситися і на досить великі відстані.

Розподіл важких металів у ґрунті і ступінь їх токсичності залежать як від природних умов тої місцевості де вони перебувають, так і від речовини яка там конкретно міститься (у складі ґрунту). Наприклад ртуть, свинець і кадмій накопичуються у верхніх шарах, але їх переміщення по ґрунтовому масштабі і виніс за його межі не є великою [23].

Зниження вмісту важких металів у ґрунті можна здійснити кількома способами.

1. Зняття верхнього шару ґрунту. Це можливо, якщо сталося атмосферне забруднення ґрунту важкими металами, і токсичні речовини концентруються саме у верхніх сантиметрах ґрунту.

2. Використання хімічних речовин-інактиваторів, які знижують токсичну дію важких металів. Такими речовинами є, наприклад, іонообмінні смоли.

3. Вапно і органічні добрива адсорбують важкі метали в ґрунті.

4. Внесення великих доз деяких мінеральних добрив (наприклад, фосфору) знижує токсичний вплив свинцю, міді, кадмію, цинку.

Але найбільш дієвим способом боротьби із забрудненням ґрунтів важкими металами є профілактика. Удосконалення технологій та принципів виробництва на підприємствах здатне знизити шкідливі викиди в навколишнє середовище і уникнути забруднення [25].

В комплекс заходів по ліквідації уже існуючого забруднення важкими металами використовуються різні способи, які направлені на інактивацію їх токсичності тобто з використанням пункту про речовини-інактиватори. Серед існуючих способів зниження згубного впливу важких металів, що запатентовано в останні роки, заслуговують на увагу внесення органічних, кальцій - і фосфоровмісних сполук, використання особливо-пристосованого складу суміші "Сорбекс", яка містить сапропель, цеоліт, глинозем у певному співвідношенні, використання карбонатного сапропелю, природного клиноптилоліту (мінерал, водний алюмосилікат лужних металів з групи цеолітів). Також відомо спосіб детоксикації важких металів, який включає використання водорозчинних гумінових кислот (ГК), що зв'язують іони важких металів з утворенням водонерозчинних сполук. Проте вихідні гумінових кислот мають малу активність як наслідок низької гідратованості і дисперсності. Блокування їх активних центрів різними компонентами вимагає включення додаткового етапу отримання водорозчинних гумінових кислот, який значно ускладнює та збільшує вартість проведення робіт щодо детоксикації важких металів [27]. Ще один

розробленим цікавим способом засіб є використання біологічної активації природних цеолітів з метою підвищення ефективності варіантних туфів шляхом їх насичення фосфато-переносними мікроорганізмами для підвищення біологічної активності, трофічного режиму ґрунтів, продуктивності культур агроценозів. Відомо спосіб ізоляції об'ємних ділянок ґрунту шляхом використання ущільнюючих матеріалів, із застосування яких, за допомогою буріння прокладають шпарину. Цікавим є також розроблений спосіб ліквідації забруднення ґрунту органомісними сполуками, який містить ізолювання забрудненої території, збір та видалення забруднювача, біогенну очистку ґрунту [26].

Ще одним відомим способом очищення ґрунтів від важких металів є спосіб, що передбачає видалення забрудненого шару ґрунту, відділення великих сторонніх домішок та біомаси, подрібнення забрудненого шару до водостійких реагуючих речовин, подрібнення у водному середовищі з отриманням пульпи, яку обробляють ультразвуком з метою руйнування водостійких реагуючих речовин. Далі проводять розподіл по фракціях з отриманням очищеної дуже крупноподрібненої мінеральної та органо-мінеральної фракцій, злив забрудненої мілкоподрібненої мінеральної, органо-мінеральної та органічної фракцій з подальшим їх осадженням, переробкою або похованням [32].

Однак, при виборі способу боротьби з важкими металами, в кожному конкретному випадку, слід виходити з специфіки забруднення, властивостей ґрунту, враховуючи при цьому, що застосування, наприклад, вапна дає ефект тільки на ґрунтах з кислою реакцією ґрунтового розчину, за умов високовідпірних ґрунтів при підвищенні рН > 7,5 сприяє утворенню рухомих і надзвичайно токсичних сполук хрому, які слабо сорбуються. Вапно та фосфорні сполуки, що знижують надходження в рослини важких металів, ускладнюють надходження необхідних рослинам елементів – Cu, Zn, Mn, Fe, і викликають їх дефіцит.

Органічні сполуки іммобілізують важкі метали, але разом з тим специфічно адсорбують Cu. Тому за меліорації забруднених ґрунтів поряд з внесенням детоксикантів необхідно проводити позакореневе підживлення мікроелементами. В зазначених способах такий прийом відсутній, що в певній мірі, порушує збалансованість елементів живлення на ґрунтах, забруднених важкими металами, яку можливо досягти тільки за диференційованого застосування меліорантів з урахуванням складу забруднювачів, особливостей властивостей ґрунту, видових особливостей рослин. Окрім того, забруднені ґрунти зберігають, як правило, на полігонах поховання твердих побутових і промислових відходів [28].

Екологічно чисті ґрунти доставляють з місць їх природного розповсюдження, або привозять у вигляді ґрунтових субстратів з торфу, компостів, піску, глини і т.і. Все це призводить до великих фінансових витрат і, у зростаючій кількості випадків, є економічно та екологічно не вигідним. Тому на нашу думку, найкращий з способів боротьби з важкими металами на сьогоднішній день, це використання хімічних речовин-інактиваторів [23].

1.3 Уникнення впливу важких металів в сільському господарстві

На даний момент третина ґрунтів планети помірно або сильно забруднені внаслідок ерозії, втрати ґрунтового органічного вуглецю, засолення, ущільнення, закислення і хімічного забруднення важкими металами. На створення і формації одного сантиметра верхнього шару ґрунту йде близько тисячі років, а це означає, що за своє життя збільшити шар ґрунту нам не вдасться. Є тільки те, що ми бачимо зараз. Незважаючи на все це, масштаби забруднення ґрунтів продовжують рости. Нинішні темпи деградації забрудненням ґрунтів ставлять під загрозу можливість майбутніх поколінь задовольнити свої нагальні потреби. Тому максимально необхідно зрозуміти як саме нам можна уникнути впливу важких металів на врожай сільського господарства [31]. Адже такими темпами людство може прийти до ситуації глобального голоду. До забруднюючих речовин ґрунт діє як фільтр і буфер. Але можливості ґрунтів, що дозволяють їм справлятися з тиском забруднювачів, не безмежні. Якщо захисний потенціал ґрунтів буде вичерпано, забруднюючі речовини почнуть проникати (і вже проникають) в навколишнє середовище, зокрема, в харчовий ланцюг тобто в рослини [34]. Безпечна, поживна і якісна їжа може бути вирощена тільки на здорових ґрунтах. Не раціональні методи ведення сільського господарства зменшують запаси органічної речовини ґрунтів, підриваючи їх здатність до розкладання органічних забруднювачів. Це збільшує ризик потрапляння забруднюючих речовин в навколишнє середовище [39]. У багатьох країнах інтенсивне рослинництво виснажує ґрунти, що ставить під загрозу можливість підтримки виробництва на цих територіях в майбутньому. Тому стійкість методів сільськогосподарського виробництва стала необхідною умовою до уникнення деградації ґрунтів та забезпечення глобальної продовольчої безпеки нинішнього і майбутніх поколінь. Для того, щоб вирішити проблему забруднення ґрунтів, необхідно розуміти її причини. Захист і збереження ґрунтів починається з нас з вами [33]. Вибір екологічно чистих продуктів харчування,

правильна утилізація небезпечних матеріалів, таких як батарейки, виробництво компосту в домашніх умовах з метою зменшення кількості відходів, які потрапляють на звалища, більш відповідальне поводження з антибіотиками — ось лише кілька прикладів того, як можна сприяти вирішенню цієї проблеми. Якщо брати ширше, то необхідно заохочувати стійкі методи ведення сільського господарства в своїх громадах [37].

Серед заходів дезактивації надлишку важких металів у ґрунті в реаліях сільського господарства можна виділити наступні :

1. Застосування гною, торфу, органо-мінеральних компонентів дозволяє використовувати властивість багатьох органічних сполук до комплексоутворення з важкими металами. Утворені металоорганічні комплекси є або малорухомими, або неспроможними до подолання клітинних мембран у системі «ґрунт-корінь».

2. Значну здатність до детоксикації важкими металами мають фосфорні добрива. Фосфати Pb, Zn та інших металів являють собою важкорозчинні сполуки, малодоступні для рослин. Внесення 3 т/га однозаміщеного фосфату кальцію у ґрунти за ефектом детоксикації Pb (враховувався вміст Pb в рослинах) відповідало внесенню від 1 до 4 т CaCO₃/га.

Для зниження видатків на суперфосфат доцільно використовувати фосфорите борошно. Тому фосфоритування кислих ґрунтів з метою інактивації надлишкових важких металів розглядається як один з важливих заходів охорони здоров'я людини і тварин.[36]

3. Використання протилежно направлених взаємодій.

Як відомо з агрохімії, при поглинанні рослинами з ґрунту хімічних елементів виникають протилежно направлені взаємодії : синергічні, коли присутність одного елемента сприяє надходженню в корені іншого, і антагоністичні – протидіє його надходженню. Зокрема, було вказано на антагонізм між Hg та Zn і допускалася можливість використання цинку, в даному

випадку як значно менш токсичного, для обмеження надходження ртуті у харчові ланцюги.

4. Використання біологічних заходів.

До них відноситься вирощування толерантних сільськогосподарських культур, або використання забруднених земельних ресурсів для вирощування технічних і лісових культур та розведення квітів.

5. Створення нового орного горизонту як за рахунок плантажної оранки, що забезпечує захоронення шару на глибині 40-50 см і вивертання на поверхню підорного незабрудненого, так і шляхом створення насипної товщі за рахунок ґрунту, привезеного з незабрудненої території. Можливе також видалення токсичного шару і розміщення на його місці нормального ґрунту.

Звісно, найкраще коли хтось займається цією проблемою і рішенням її систематично. Мінагрополітики здійснює спостереження за ґрунтами сільськогосподарського використання. Здійснюються радіологічні, агрохімічні та токсикологічні визначення, залишкова кількість пестицидів, агрохімікатів і важких металів [35].

Проте, на нашу думку все-таки найкраще що можна зробити для уникнення впливу важких металів у сільському господарстві - це зменшення індустріалізації цього самого господарства. Адже на даний момент ми можемо бачити тотальну механізацію та автоматизацію сільського господарства, яке призводить до викиду важких металів не лише у ґрунт а й у повітря та воду. Зациклюючи цю проблему. Також така глобальна індустріалізація призводить до використання неорганічних добрив в домінації над органічними. Унесення азотних добрив складає 67 відсотків від усіх внесених добрив, фосфорних – 18 відсотків та калійних – 15 відсотків. Співвідношення внесених поживних речовин мінеральних добрив становить 1,0 : 0,3 : 0,2 , що не відповідає науково рекомендованому (1,0 : 0,8 : 0,7). Органічних добрив у 2021 році було внесено 9,3 млн тонн. У середньому на 1 га посівної площі внесено по 0,5 тонн, що на рівні минулого року. Удобрена площа становить 503,6 тис. гектарів. Частина

удобреної площі складає 2,7 відсотка. Під багаторічні насадження (сади, ягідники, виноградники та ін.) було внесено всього 4,1 тис. тонн поживних речовин мінеральних добрив, що становить 119 кг на 1 гектар удобреної площі, з них азоту – 2,2 тис. тонн, фосфору – 1,0 тис. тонн і калію – 0,9 тис. тонн. Органічних добрив було внесено 20,2 тис. тонн або 6,4 тонн на 1 гектар удобреної площі. Така кількість внесених добрив не може забезпечити бездефіцитний баланс гумусу та поживних речовин у ґрунтах України, тобто не дотримується основний закон землеробства – винесення поживних речовин потрібно компенсувати шляхом їх повернення в ґрунт. Як наслідок, останніми роками спостерігається від’ємний баланс гумусу та поживних речовин у ґрунті. Інтенсивне сільськогосподарське використання земель призводить до зниження родючості ґрунтів через їх переущільнення, зокрема чорноземів, втрати грудкувато-зернистої структури, водопроникності та аераційної здатності з усіма екологічними наслідками [22]. Посилилися процеси деградації ґрунтового покриву, що зумовлено техногенним забрудненням. Найбільшу небезпеку для навколишнього природного середовища становить забруднення ґрунтів радіонуклідами, важкими металами, збудниками хвороб. На якісний стан земельних ресурсів та цілого ряду об’єктів галузей економіки істотно впливають гідрометеорологічні та небезпечні екзогенні геологічні процеси і явища (селі, зсуви, обвали, карсти, просідання ґрунту, абразія, руйнування берегів водосховищ тощо), які поширені більш як на 50 відсотках території. Протягом останніх років недостатньо задіяним для оптимізації використання та охорони земель залишається механізм поєднання заходів економічного стимулювання і юридичної відповідальності в галузі охорони земель, а також встановлення на законодавчому рівні природоохоронних обмежень у використанні земель шляхом здійснення ефективного землеустрою [30].

2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Об'єкт досліджень

Дослідження проводили з рослинами пшениці м'якої сортів Сімкода та Елегія

Пшениця м'яка сортів Сімкода та Елегія є одним з популярних сортів пшениці, який відзначається своїми характеристиками та властивостями.

Сімкода — це сорт озимої пшениці, який характеризується відмінними показниками врожайності та доброю стійкістю до впливу несприятливих факторів, включаючи посуху та низькі температури. Сорт Сімкода добре пристосовується до різних ґрунтових і кліматичних умов, що дозволяє вирощувати його в різних регіонах. Високий вміст білка робить цей сорт цінним для хлібопекарної промисловості, забезпечуючи хорошу якість готових виробів. Зерна Сімкоди мають насичений золотистий колір, що підвищує їх привабливість на ринку.

Елегія — це сорт озимої пшениці, який відомий своєю високою продуктивністю та стійкістю до стресових умов. Завдяки хорошій адаптивності до різних ґрунтово-кліматичних умов, цей сорт популярний у різних регіонах. Він демонструє високу врожайність, що робить його привабливим для сільськогосподарських підприємств. Елегія також має високий вміст білка, що є важливим показником для виробництва хлібобулочних виробів. Зерна цього сорту мають привабливий золотистий відтінок, що додає йому цінності як комерційному продукту.

2.2. Вирощування рослинного матеріалу методом водної культури

Насіння стерилізують перексидом водню впродовж п'ятнадцяти хвилин. Після чого ставлять на пророщування в темний термостат на три доби при температурі +34 градуси. Після цього рослини пересаджують на розчини Хогланда – Арнона з різними концентраціями ацетату свинцю. Варіанти наступні: 1. Контроль (розчин Хогланда – Арнона); 2. 100 мкМ свинцю + розчин Хогланда – Арнона; 3. 200 мкМ свинцю + розчин Хогланда – арнона; 4. 500 мкМ свинцю + розчин Хогланда – Арнона. За сім та чотирнадцять діб проводили визначення морфометричних показників, вміст МДА та вміст аскорбінової кислоти [34].

2.3 Визначення аскорбінової кислоти

Для визначення аскорбінової кислоти у пагонах та коренях рослин, потрібно зібрати достатню кількість пагонів та кореневих зразків рослин, які потрібно дослідити. Зразки повинні бути свіжими і як найшвидше доставленими до лабораторії для аналізу.

Отже, наважку 3-5 \pm 0,01 г рослинного матеріалу тонко подрібнюють в присутності 2% метафосфорної кислоти. Об'єм вмісту ступки доводять до 10мл цією ж самою кислотою. Потім витяжку центрифугують або фільтрують. Після чого, беруть 3 проби по 10мл в конічні колби та приливають до них по 1мл 0,025% розчину дихлорфеноліндофенолу. Відразу ж включають секундомір та рівно через 35 с фотометрують або спектрофотометрують при 530 нм в кюветі з робочою довжиною 10 мм проти 2% метафосфорної кислоти. Паралельно ставлять 10 мл 2% метафосфорної кислоти з 1 мл барвника (контроль). Після чого ідентифікують зміни в інтенсивності забарвлення дослідного розчину, які пропорційні кількості аскорбінової кислоти. Для розрахунку вмісту АК використовують формулу : $X = A \cdot V/H$,

де

X - кількість аскорбінової кислоти, мг/г сирової маси;

A - вміст АК, мкг/мл витяжки, знайдений за калібрувальним графіком;

H - маса наважки, г;

2.4 Визначення малонового диальдегіду

Для визначення малонового альдегіду в пагонах та коренях рослин, потрібно зібрати достатню кількість пагонів та кореневих зразків рослин, які потрібно дослідити. Зразки повинні бути свіжими і як найшвидше доставленими до лабораторії для аналізу.

Опісля потрібно приготувати екстракт, ретельно розмоловши зразки пагонів та коренів у фарфоровій ступці, додавши до них достатню кількість розчинника. Рекомендовані розчинники для екстрагування малонового альдегіду включають ацетон, метанол або етанол. Потім отриманий матеріал слід піддати екстракції шляхом перемішування протягом певного часу при кімнатній температурі.

Потім потрібно профільтрувати екстракт: Отриманий екстракт необхідно прокрутити через фільтруючий папір або мембранний фільтр, щоб видалити нерозчинні домішки та залишити чистий екстракт.

Після фільтрації екстракту виміряти його абсорбцію за допомогою спектрофотометра. Малоновий диальдегід має максимальну абсорбцію при хвилі $\lambda=412$ нм.

Використовуючи стандартний розчин малонового альдегіду, необхідно побудувати калібрувальну криву, вимірявши абсорбцію стандартних розчинів з різних відомих концентрацій малонового альдегіду.

Визначення концентрації: За допомогою калібрувальної кривої визначити концентрацію малонового альдегіду у зразку [17].

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1. Морфометричні показники проростків пшениці за різних концентрацій іонів свинцю

Загально відомо, що свинець, навіть у низьких концентраціях, є доволі токсичним елементом. Саме тому ми можемо побачити, що морфометричні показники пшениці сортів Сімкода та Елегія вже при концентрації свинцю у 200 мкМ будуть зменшуватися.

Як наслідок, основна ознака негативного впливу свинцю – зменшення морфометрії пагона, коренів та біомаси рослини. Крім того, свинець при високих концентраціях може ушкоджувати корені рослин, деякі піддослідні рослини навіть відмирили через некроз кореня, зазвичай це були рослини які з самого початку мали корінь маленької довжини.

У наших дослідах за умов збільшення концентрації свинцю від 100 мкМ до 500 мкМ у 7-денних спостерігалася різка втрата довжини пагону, кореня та біомаси, у 14-денних спостерігалася помірніша різниця, хоч і не на багато. За концентрації 500 мкМ пагони жовтіли на кінчиках. Коренева система також мала ушкодження у вигляді коричневих плям. У деяких випадках спостерігалось відмирання рослин.

Ріст пагона пшениці протягом 7 днів представлено на рис. 3.1. Вже з початкових етапів росту можна спостерігати різницю у висоті пагонів контрольних та дослідних рослин, хоча й не таку явну. Найбільша різниця у показниках спостерігається між контролем та концентрацією свинцю 200 мкМ. Проте лише у сорту Сімкода. У Елегії ця різниця найбільша між 100 та 500 мкМ

Перший етап вимірювання морфометричних показників це вимірювання висоти пагона, графіки представлені відповідно на рис (3.1 – 3.2)

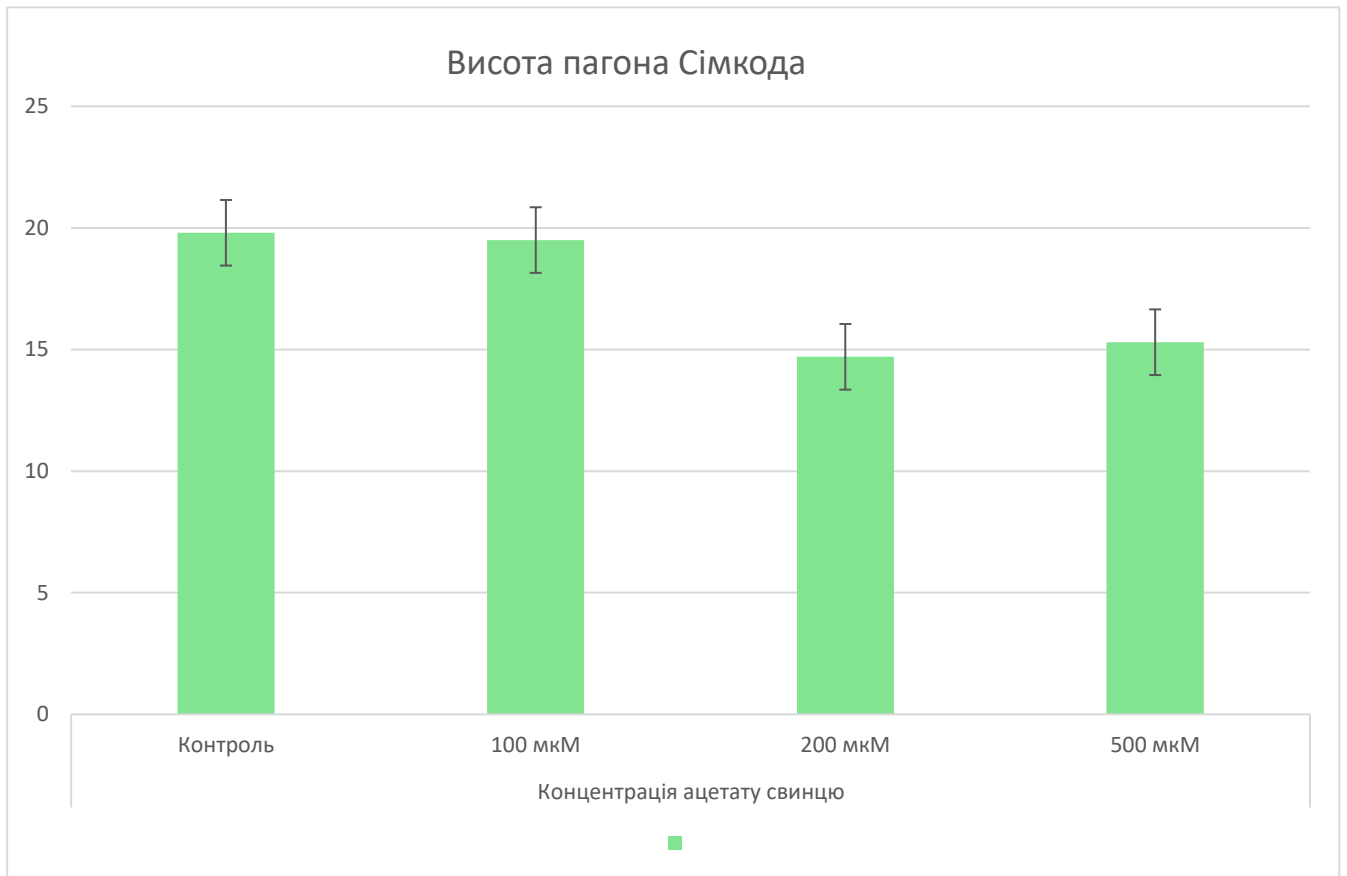


Рис 3.1 Висота пагона 7 - добових рослин пшениці сорту Сімкода

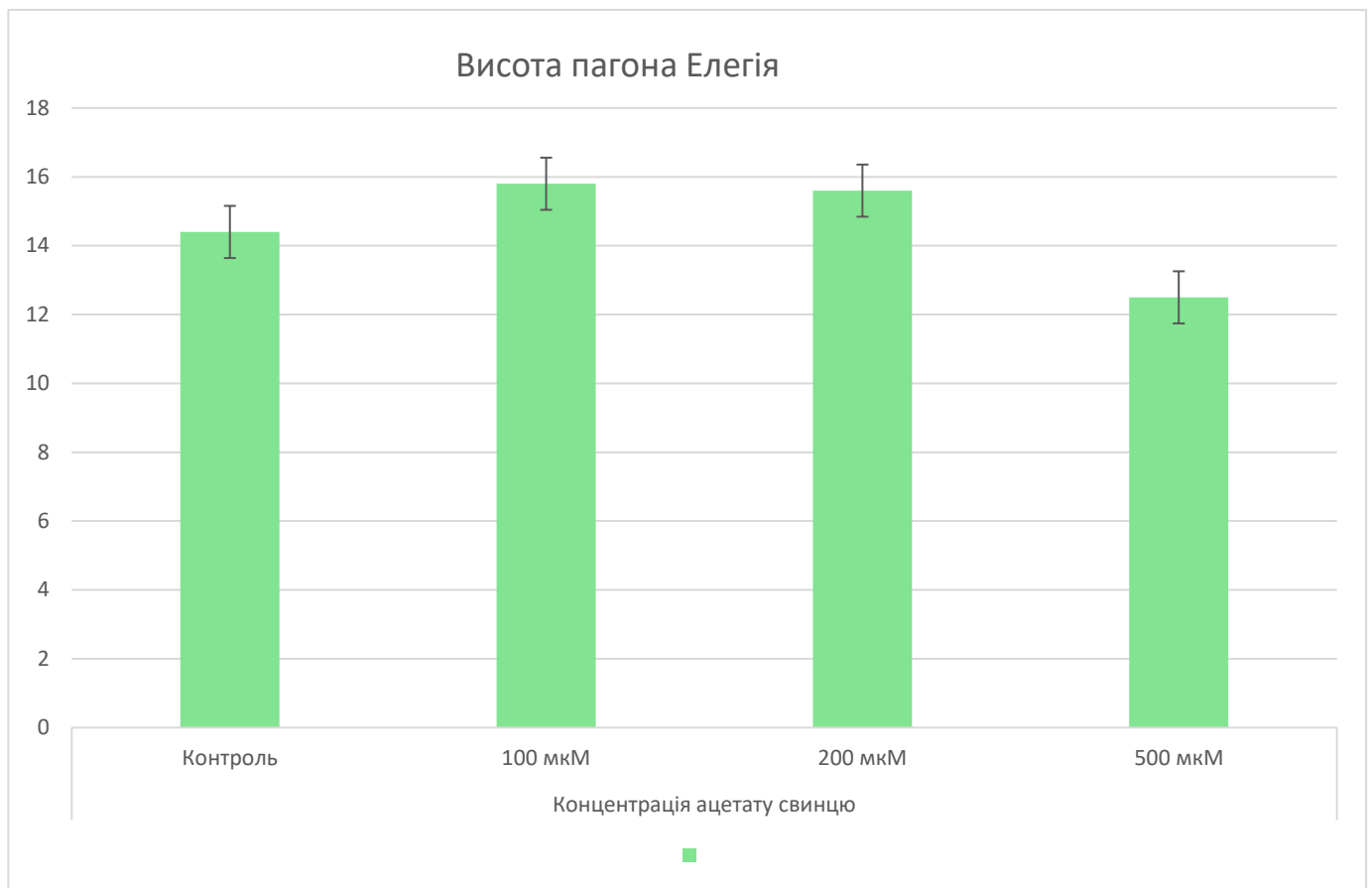


Рис 3.2 Висота пагона 7 – добових рослин пшениці сорту Елегія

Отже, на графіку можна побачити зміну висоти пагона відповідно до концентрації ацетату свинцю, за концентрації 100 мкМ пагони сортів Сімкода та Елегія виростають навіть вище за контрольні зразки, проте при концентрації 200 мкМ рослини виростають меншими ніж за концентрації 100 мкМ. Рослини сорту Сімкода при концентрації 500 мкМ вирости більшими ніж за концентрації 200 мкМ, проте у сорту Елегія після концентрації у 100 мкМ все більш передбачувано йде на зниження показників висоти пагона.

Наступний етап вимірювання морфометричних показників це вимірювання довжини кореня, графік представлений відповідно на рис (3.3 – 3.4)

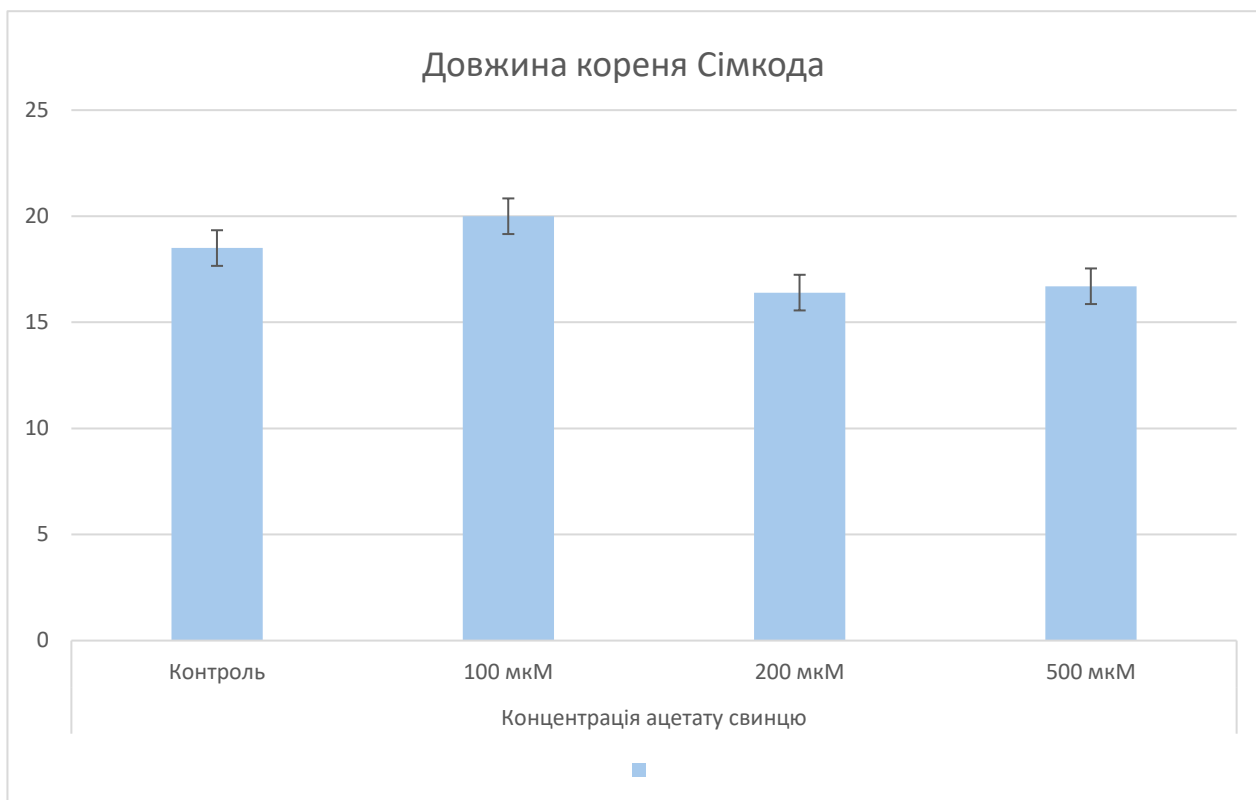


Рис 3.3 Довжина кореня 7 – добових рослин пшениці сорту Сімкода

Для сорту Сімкода можемо побачити майже ідентичну ситуацію. Показники росту пагона та кореня за різних концентрацій коливаються. При концентрації 100 мкМ корінь виростає довшим ніж на контрольному розчині, при концентрації 500 мкМ виростає довшим ніж при концентрації 200 мкМ

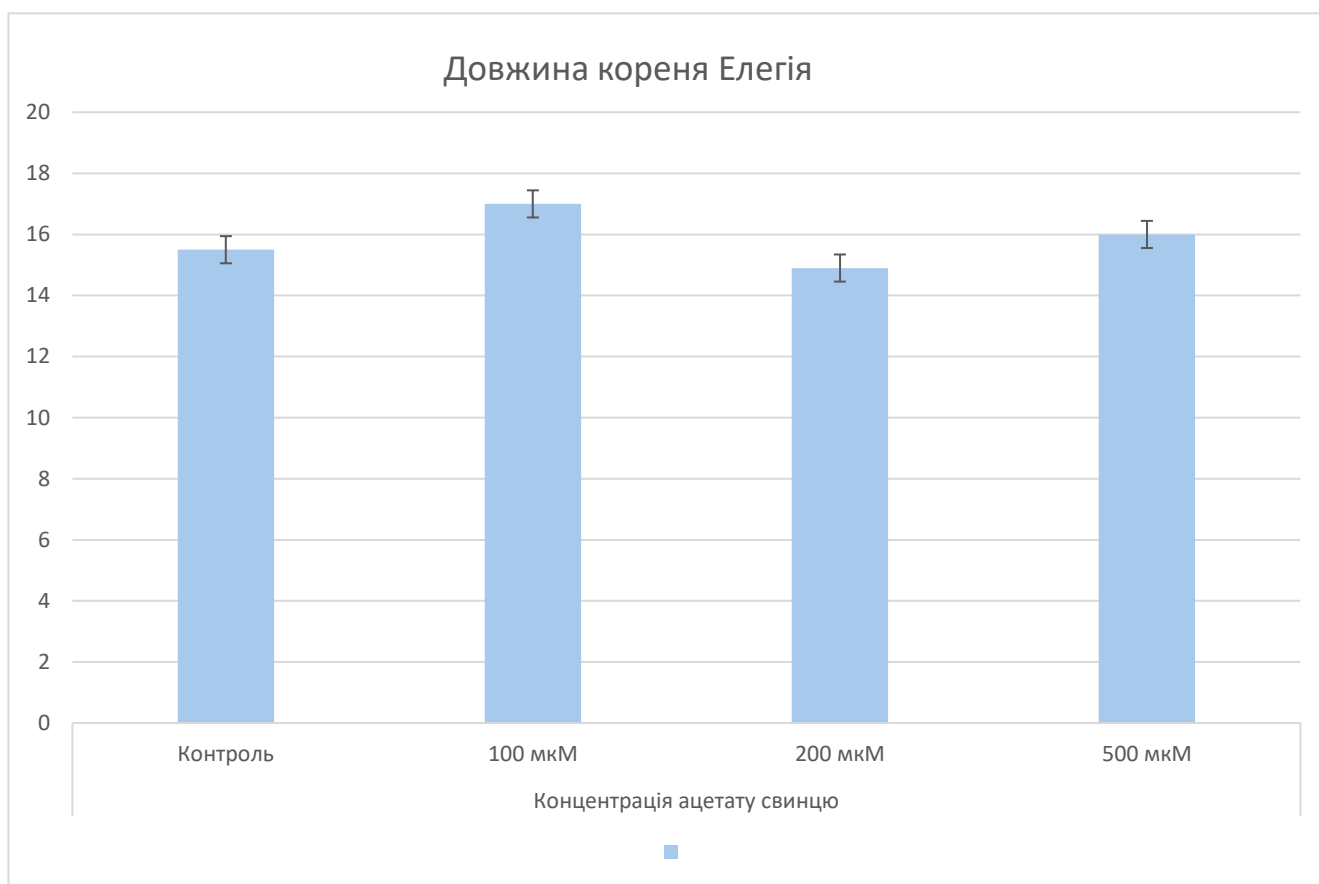


Рис. 3.4 Довжина кореня 7 - добових рослин пшениці сорту Елегія

На цьому рисунку можемо бачити що при концентрації 100 та 500 мкМ свинцю корені рослин є довші ніж контроль та 200 мкМ відповідно. Отже, ми можемо побачити певну тенденцію у рості пагона та кореня рослин за різних концентрацій свинцю. Рослини за вищих концентрацій виростають вищими та мають довші корені.

Ці рисунки діаграми покаже нам різницю у біомасі рослин які росли у розчинах з підвищеними концентраціями свинцю та рослин контролю. Результати дослідного матеріалу з контролем представлено на рис. (3.5 та 3.6)

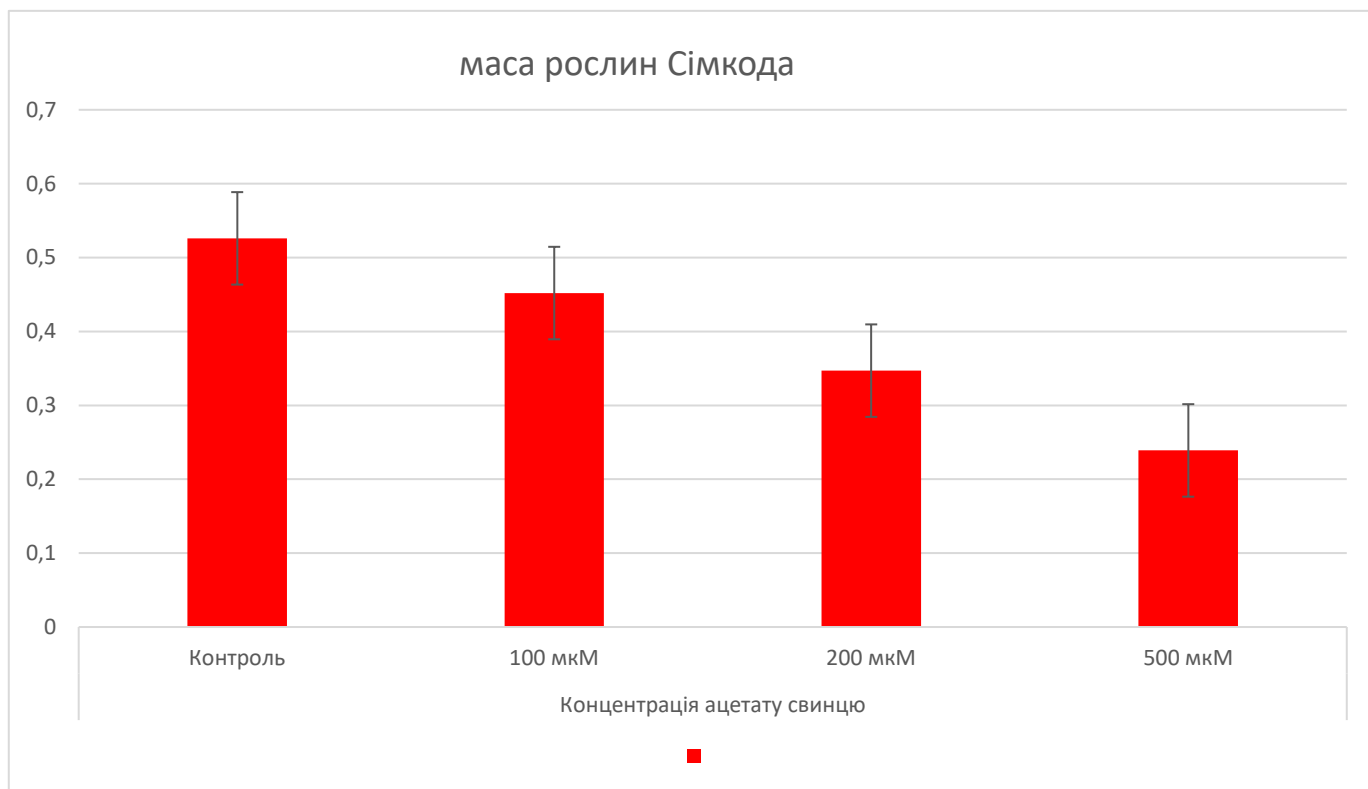


Рис. 3.5 Маса 7-добових рослин пшениці сорту Сімкода

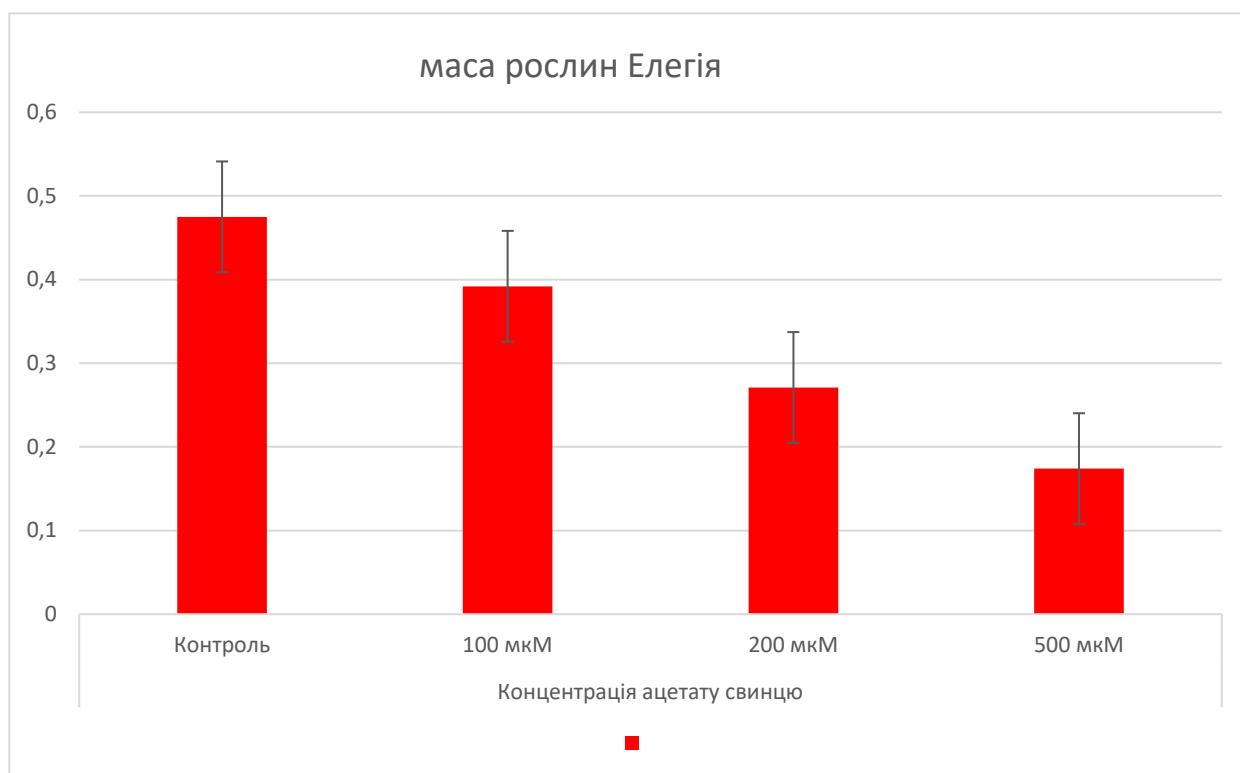


Рис 3.6 Маса 7 – добових рослин пшениці сорту Елегія

На цих рисунках ми можемо побачити зменшення біомаси рослин відповідно до концентрації ацетату свинцю, проте рослини які росли на вищих концентраціях ацетату свинцю мали довші корені та пагони. Отже, рослини хоч і мали вищі пагони та корені, втрачали поживні елементи та біомасу. Витрачаючи сили на антиоксидантні реакції, захист від шкідливого впливу важких металів.

На наступних рисунках (3.7 – 3.8) Можемо побачити пропорційне зростання показників 14 – добових рослин пшениці сорту Сімкода та Елегія відносно показників 7 – добових рослин пшениці того ж сорту. Показники сорту Сімкода майже не змінилися, проте спостерігаємо зменшення висоти пагона при концентрації 100 мкМ, контроль та концентрація 200 мкМ зрівнялися у показниках. За концентрації 500 мкМ висота пагона найнижча.

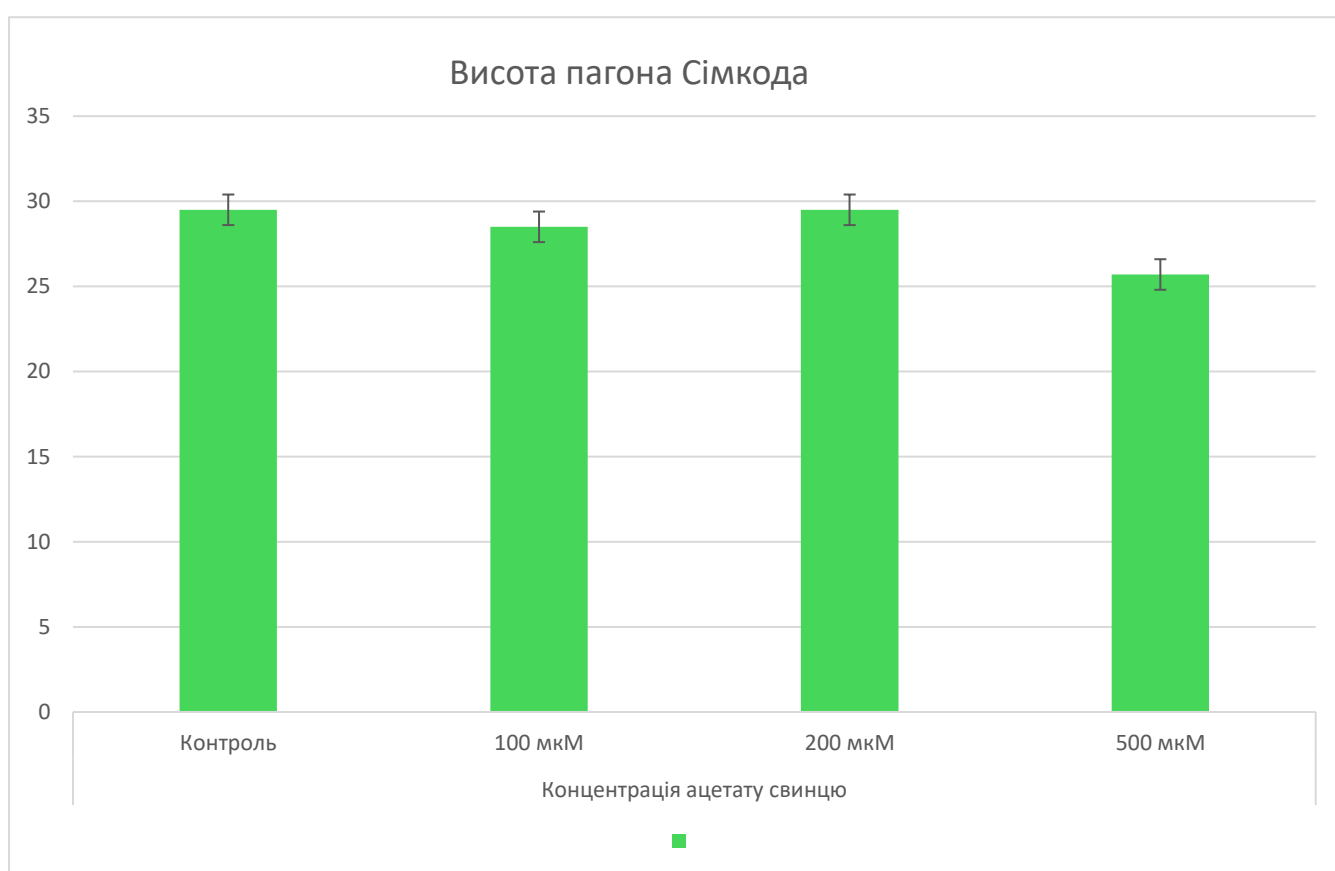


Рис 3.7 Висота пагона 14 – добових рослин пшениці сорту Сімкода

Отже, спостерігаємо певну зміну і вирівнювання показників висоти пагона відносно концентрації ацетату свинцю

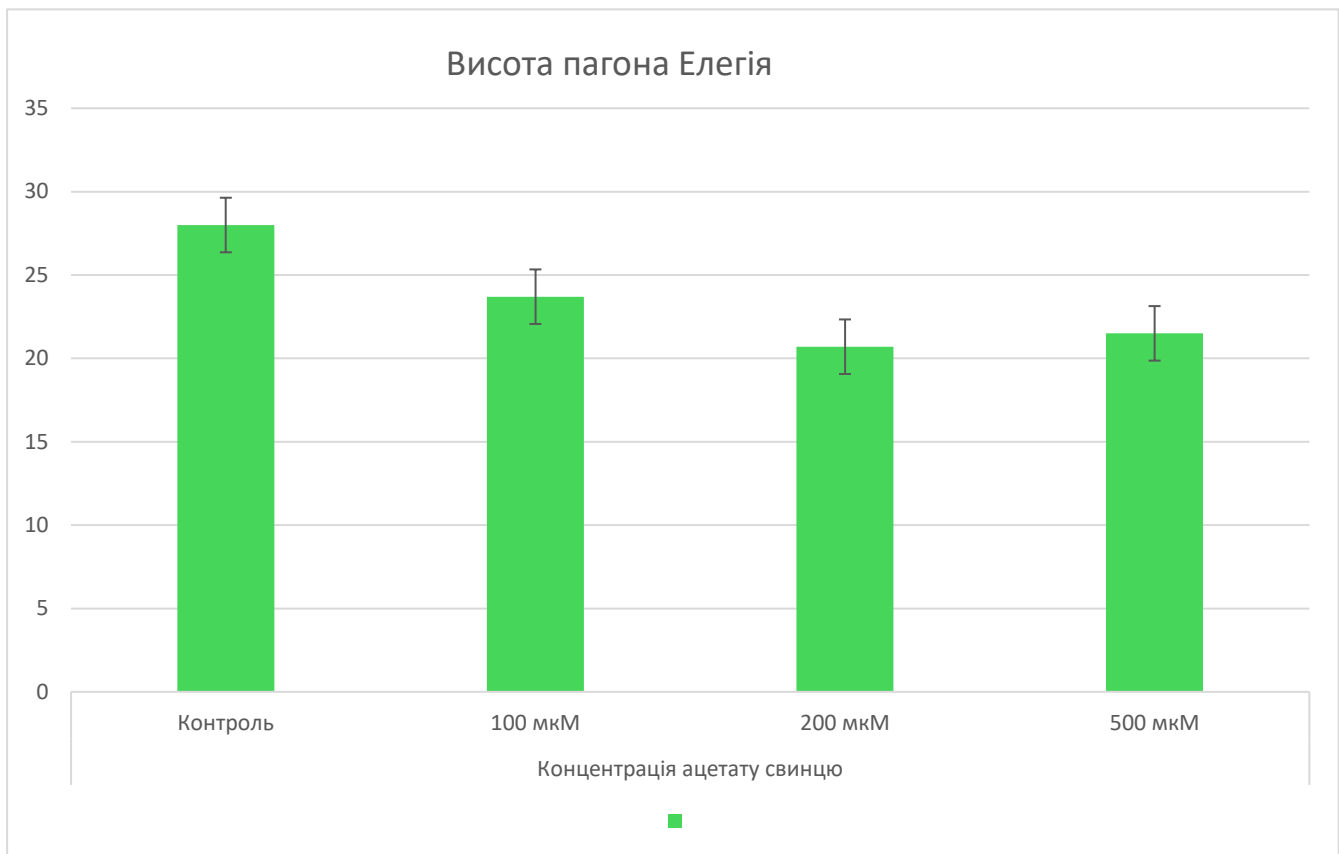


Рис 3.8 Висота пагона 14 – добових рослин пшениці сорту Елегія

Проте, показники сорту Елегія ще більше відрізняються від попередніх 7 – добових показників. Адже контроль має найвищу висоту пагона, а рослини які росли на вищих концентраціях ацетату свинцю сповільнили темпи росту, проте рослини, котрі росли на концентрації 500 мкМ все ще вищі за висотою пагона від рослин які росли на концентрації 200 мкМ, це найнижчий показник серед усіх концентрацій.

На рисунках (3.9 – 4.0) бачимо відмінність показників довжини кореня 14 – добових та 7 – добових рослин сортів Сімкода та Елегія.

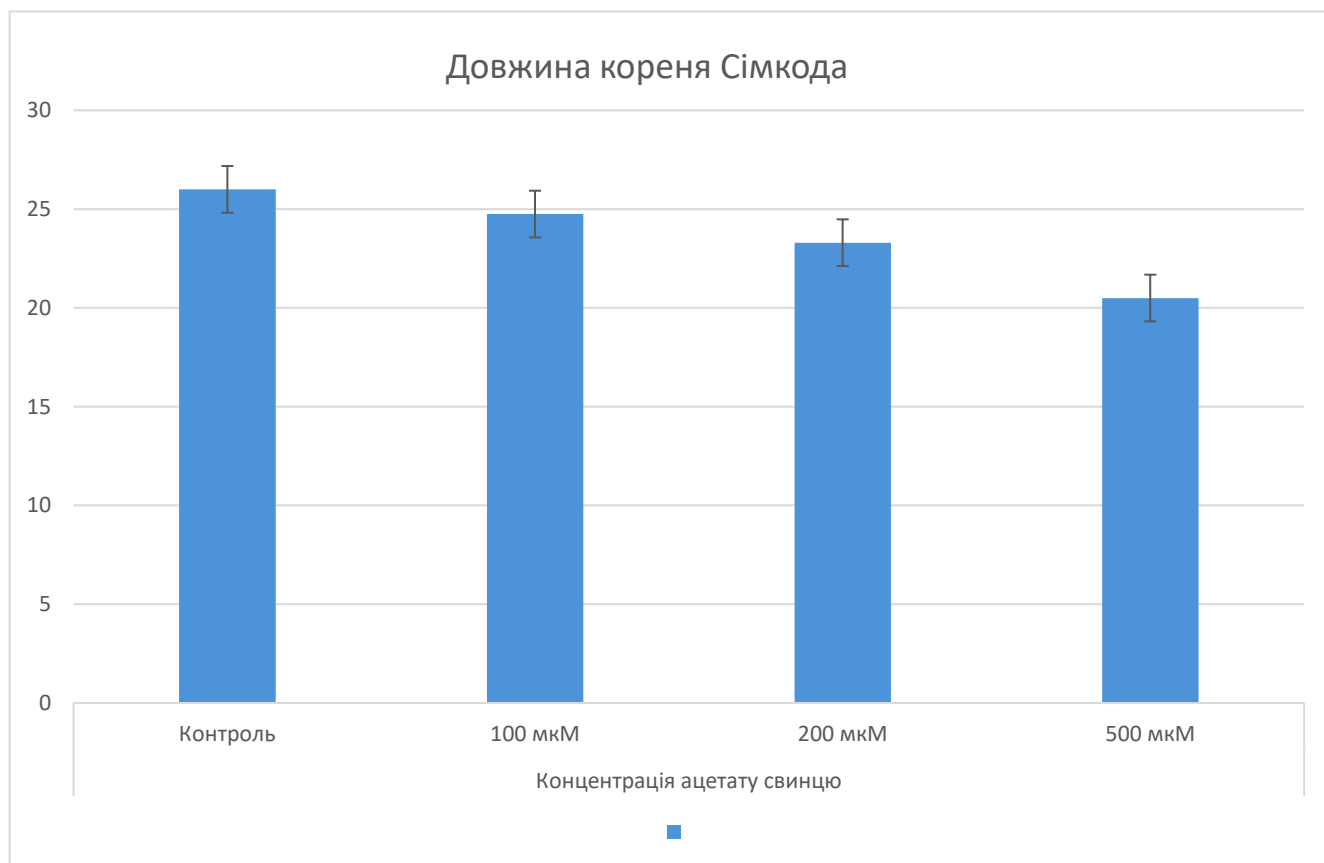


Рис 3.9 Довжина кореня 14 – добових рослин пшениці сорту Сімкода

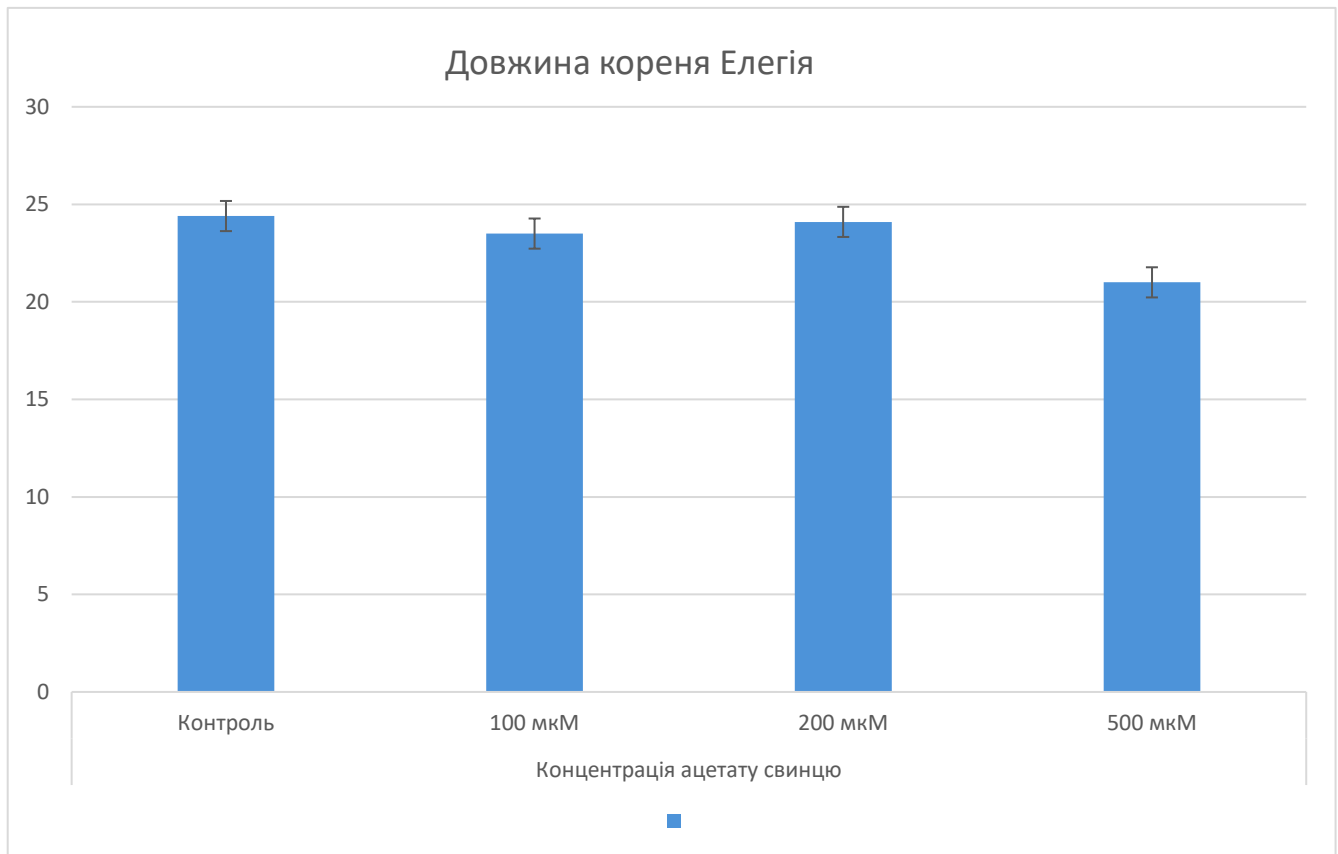


Рис 4.0 Довжина кореня 14 – добових рослин пшениці сорту Елегія

На цих рисунках ми можемо побачити збільшення довжини кореня 14 – добових рослин відносно 7 – добових та певну зміну у темпах росту довжини кореня у рослин сорту Сімкода. Спадання довжини кореня цього сорту йде пропорційно до збільшення концентрації ацетату свинцю, проте темпи росту довжини кореня сорту Елегія залишаються стабільними у темпі росту довжини кореня відносно 7 – добових показників.

На рисунках (4.1 – 4.2) ми розглянемо показники біомаси 14 – добових рослин пшениці сорту Елегія відносно концентрації ацетату свинцю.

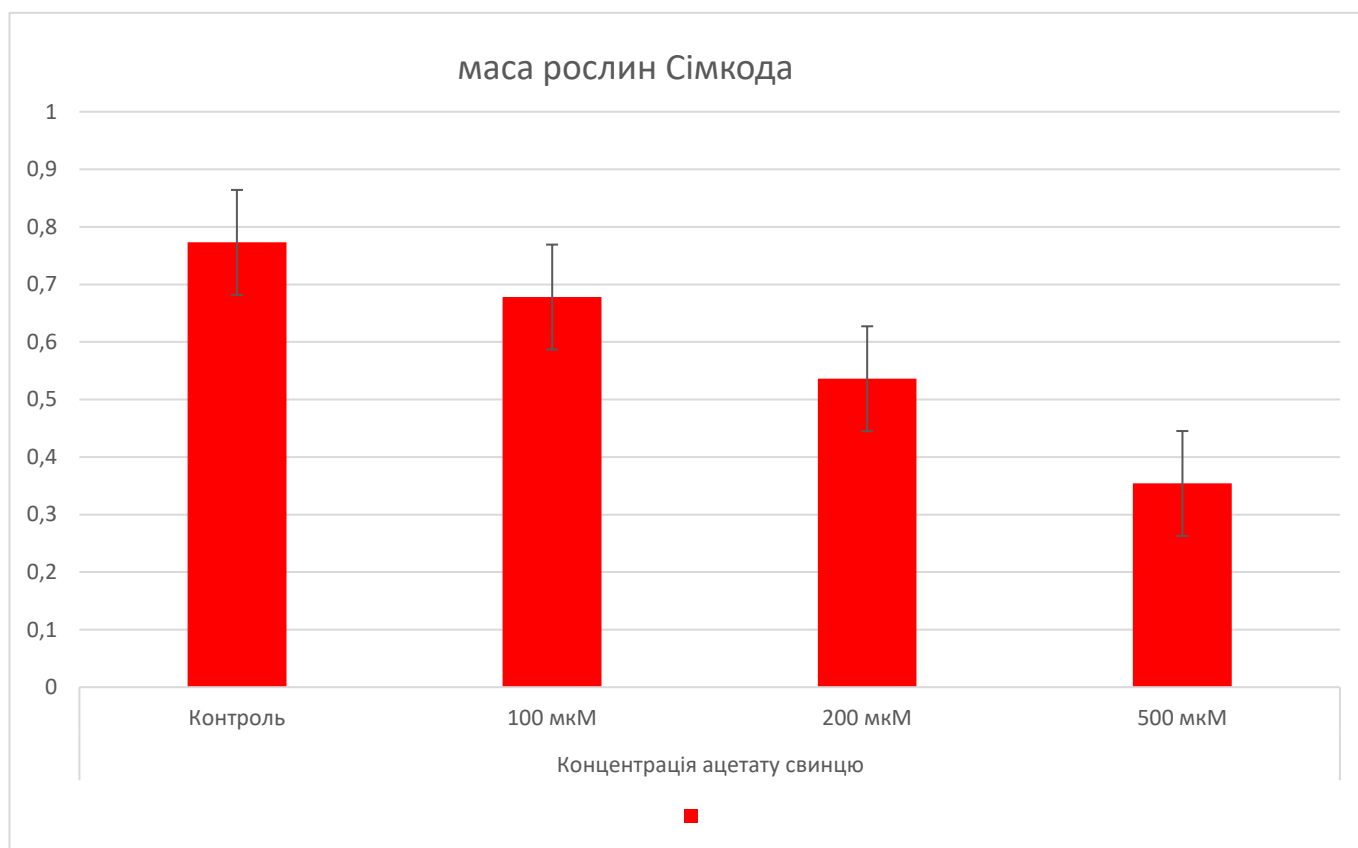


Рис 4.1 Маса 14 – добових рослин пшениці сорту Сімкода

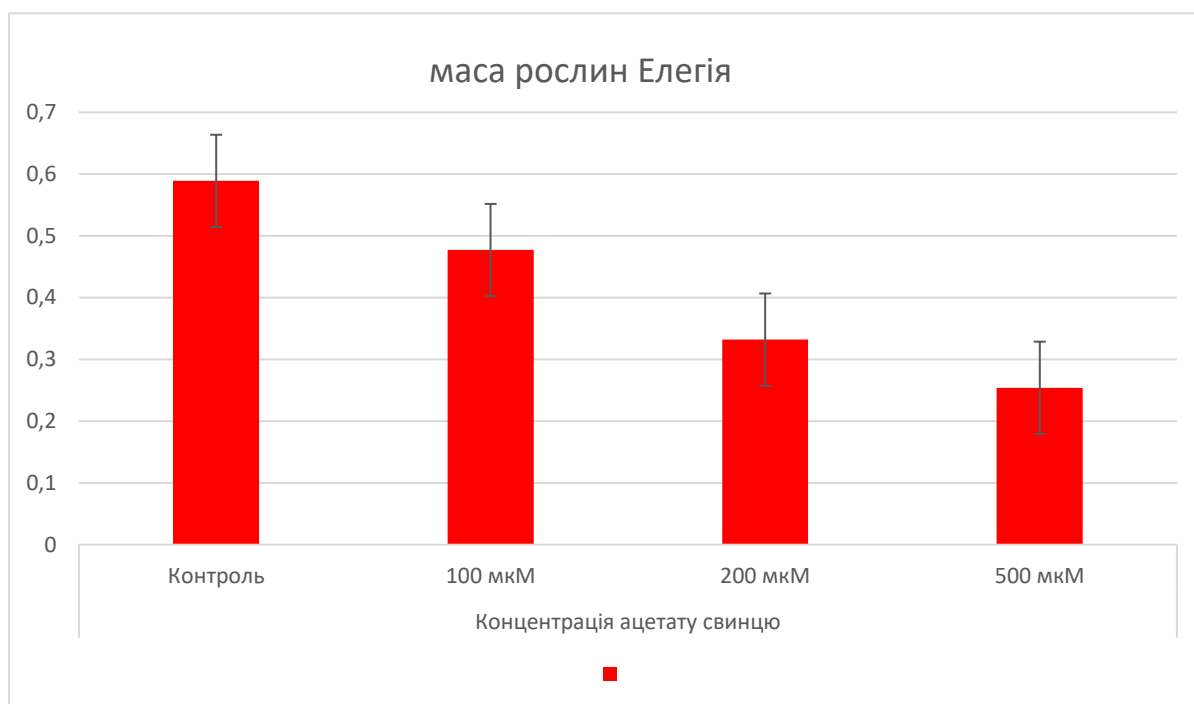


Рис 4.2 Маса 14 – добових рослин пшениці сорту Елегія

У 14-денних рослин біомаса пропорційно спадає відносно концентрації свинцю пропорційно 7-денним рослинам.

Результати впливу ацетату свинцю на морфометричні показників пшениці доволі передбачувані. Ті рослини які росли на контрольному розчині продемонстрували найвищі показники довжини пагона, хоча й не у всіх випадках кореня і пагона, наприклад сорту Сімкода, а ті рослини, котрі росли на розчині свинцю з концентрацією 500 мкМ продемонстрували найнижчі показники росту пагона, кореня та кількості біомаси.

Єдиний виняток з правил це середні значення довжини пагона та кореня за концентрації іонів свинцю 100 та 500мкМ. Довжина пагонів та коренів пшениці сорту Сімкода та Елегія 7 - денних рослин за такої концентрації свинцю була доволі велика, проте корені таких рослин найменші за довжиною серед усіх дослідних рослин. Проте у 14-денних рослин все більш передбачуваніше та плавніше у співвідношенні довжина – концентрація чи маса – концентрація. Зберігається лише показник довжини пагону у обох сортів пропорційно 7-денним. Та показник довжини кореня у сорту Елегія.

3.2. Показники вмісту аскорбінової кислоти у тканинах пшениці за різних концентрацій іонів свинцю

Що ж стосується антиоксидантних реакцій пшениці за дії іонів свинцю, то ми вимірювали вміст аскорбінової кислоти пагонах та коренях рослин. Результати наших досліджень представлені у рисунках (4.3 – 5.0)

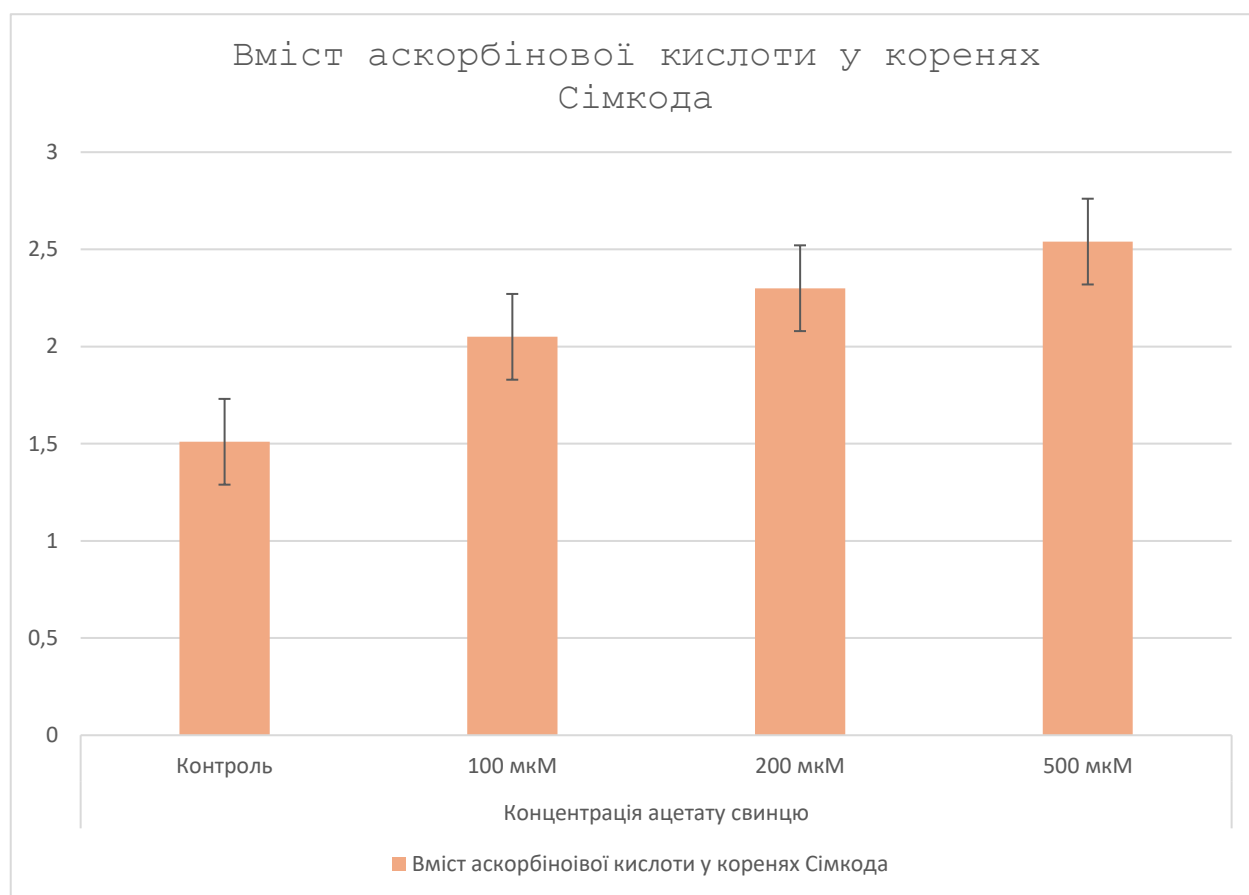


Рис. 4.3 Вміст аскорбінової кислоти у коренях 7 – добових рослин пшениці сорту Сімкода

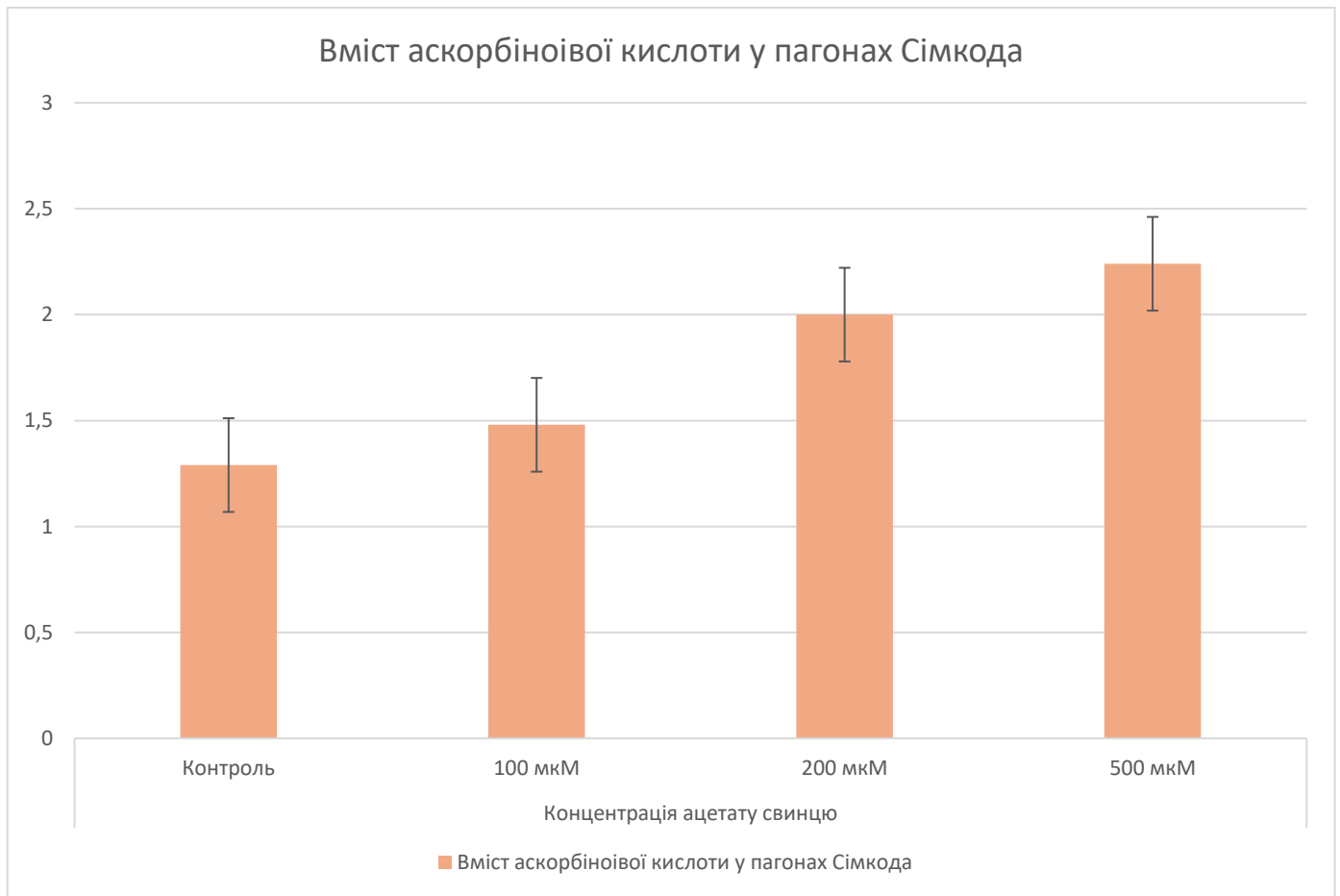


Рис 4.4 Вміст аскорбінової кислоти у пагонах 7 – добових рослин пшениці сорту Сімкода

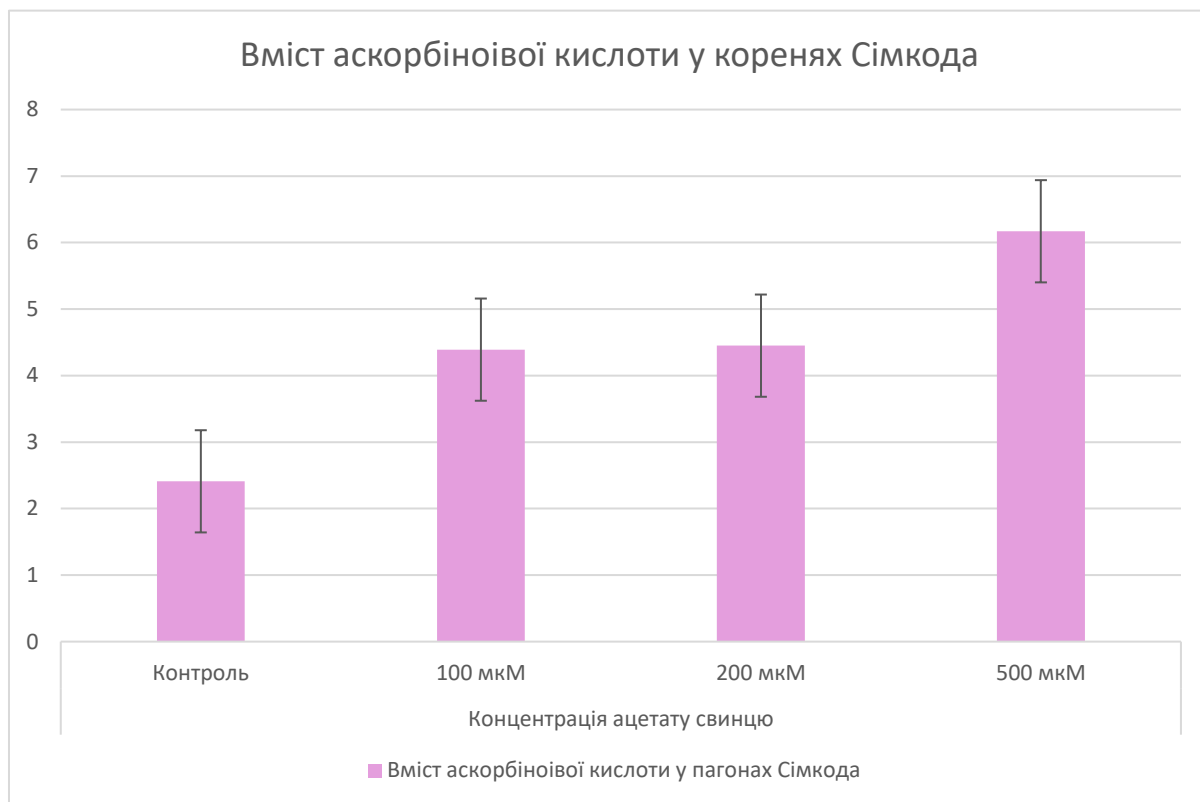


Рис 4.5 Вміст аскорбінової кислоти у коренях 14 – денних рослин пшениці сорту Сімкода

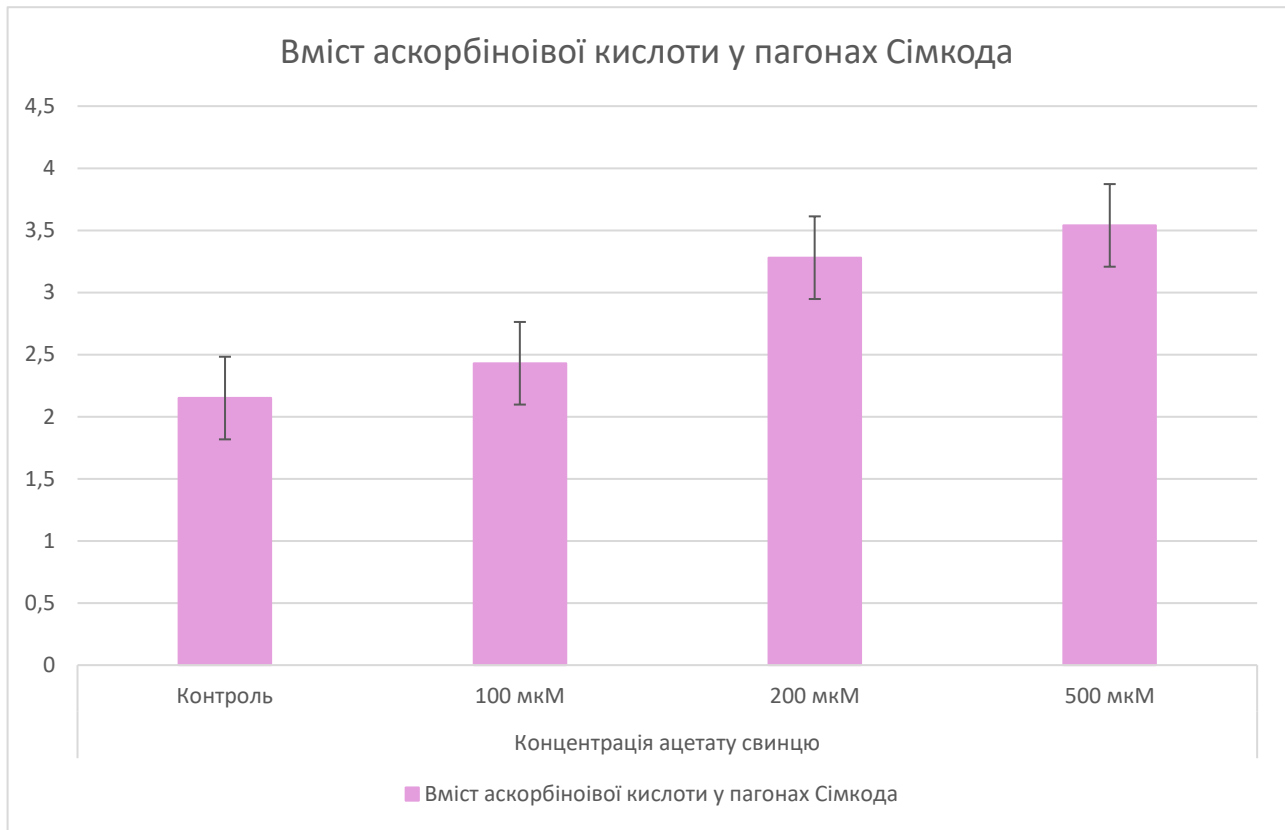


Рис 4.6 Вміст аскорбінової кислоти у пагонах 14 – денних рослин пшениці сорту Сімкода

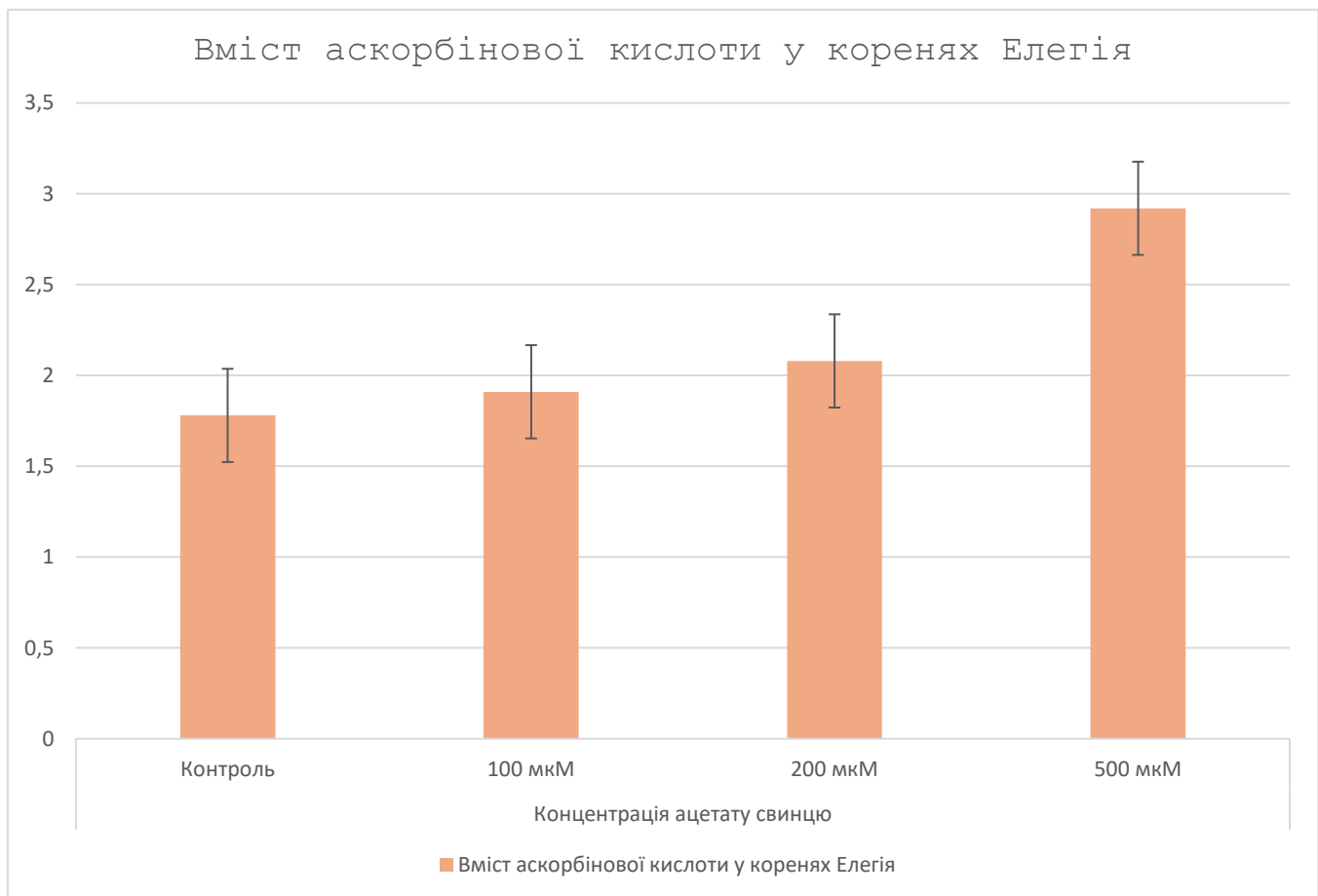


Рис 4.7 Вміст аскорбінової кислоти у коренях 7 - добових рослин пшениці сорту Елегія

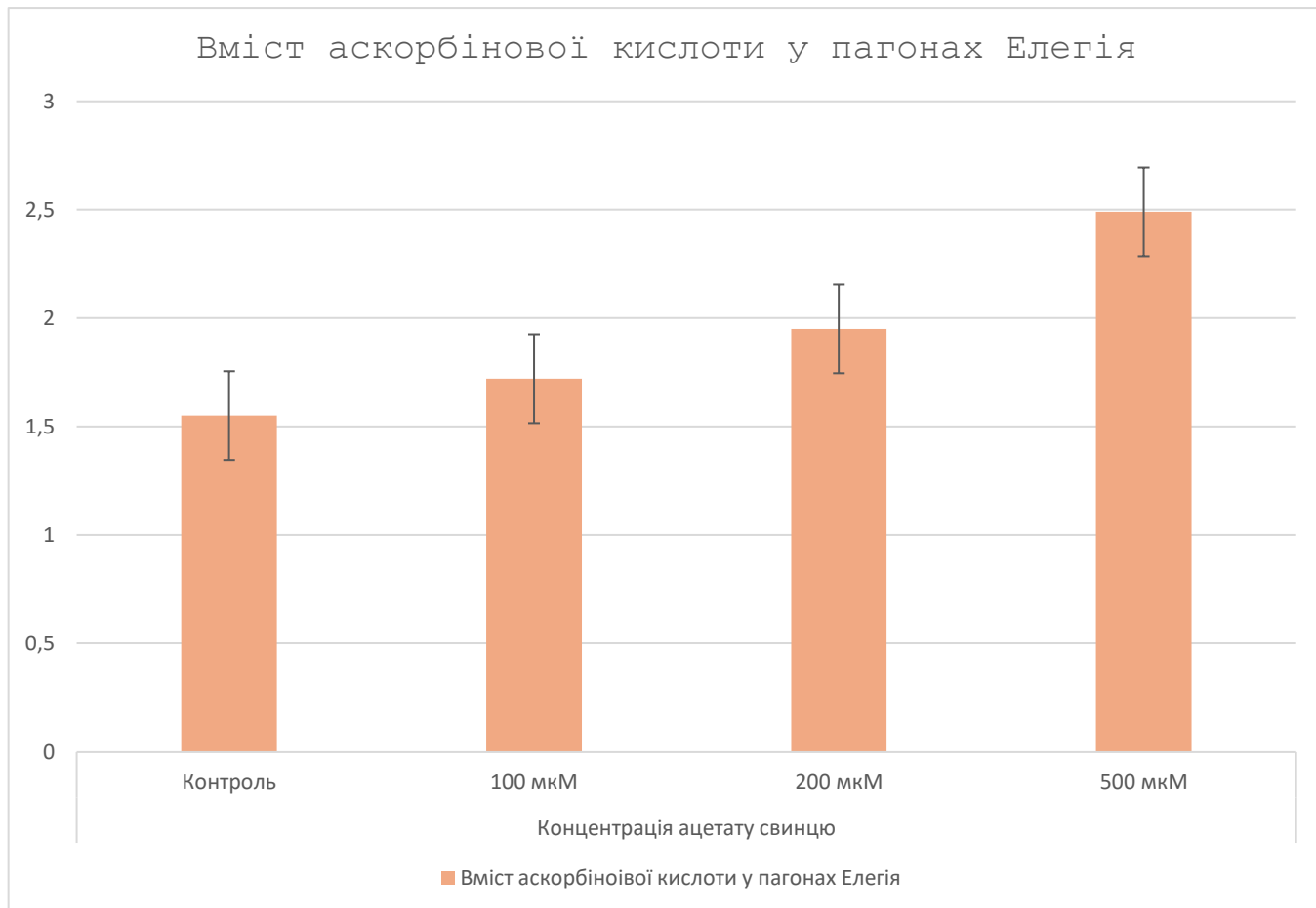


Рис 4.8 Вміст аскорбінової кислоти у пагонах 7 – добових рослин пшениці сорту Елегія

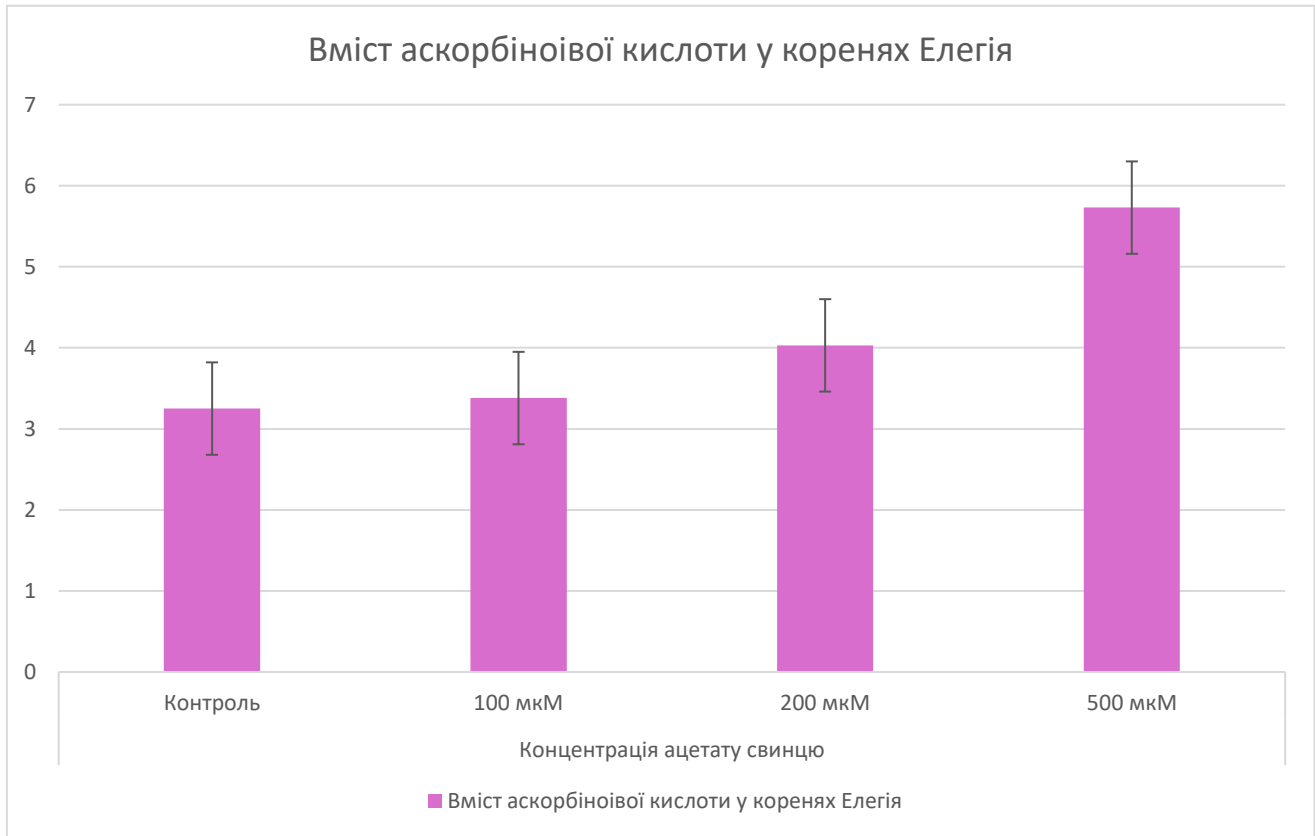


Рис 4.9 Вміст аскорбінової кислоти у коренях 14 – добових рослин пшениці сорту Елегія

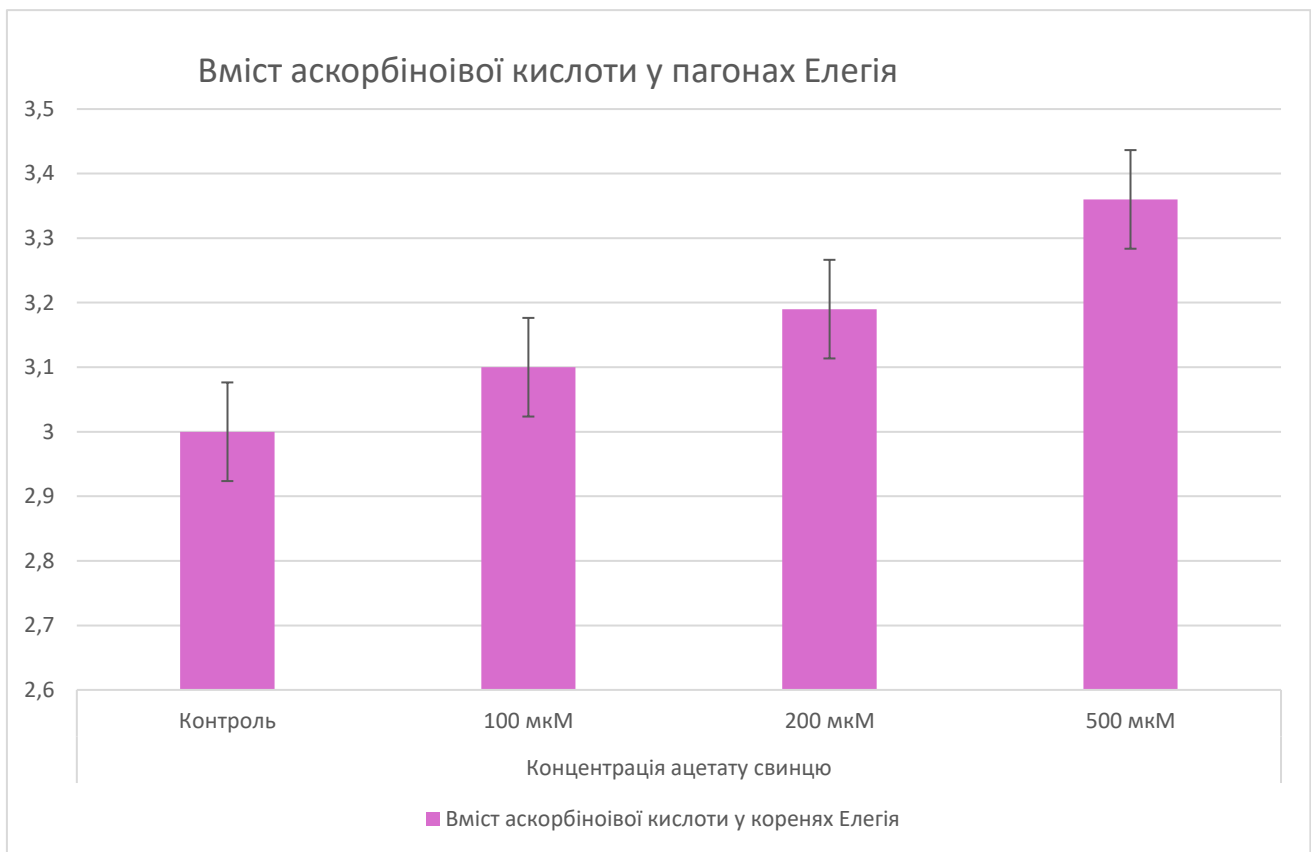


Рис 5.0 Вміст аскорбінової кислоти у пагонах 14 – добових рослин пшениці сорту Елегія

Як ми можемо бачити на усіх показниках рослин 7-и та 14-ти діб проростання вміст аскорбінової кислоти зростав відповідно до збільшення концентрації іонів свинцю. Спостерігалось більше накопичення аскорбінової кислоти саме у коренях рослин, які безпосередньо контактують з поживним середовищем у якому є вміст іонів свинцю. Найвищий показник накопичення аскорбінової кислоти у рослин які росли на поживному середовищі з концентрацією свинцю 500 мкМ і у 7-и і у 14-ти добових рослин. Отже, можемо зробити проміжний висновок, накопичення аскорбінової кислоти у біомасі рослин прямо пропорційно залежить від збільшення концентрації ацетату свинцю у поживному середовищі проростання цих рослин.

3.3 Показники вмісту малонового диальдегіду у пагонах та коренях рослин

Що ж стосується окисдантних реакцій пшениці за дії іонів свинцю, то ми вимірювали вміст малонового диальдегіду у пагонах та коренях рослин.

Результати наших досліджень представлені на рисунках (5.1 - 5.2.)

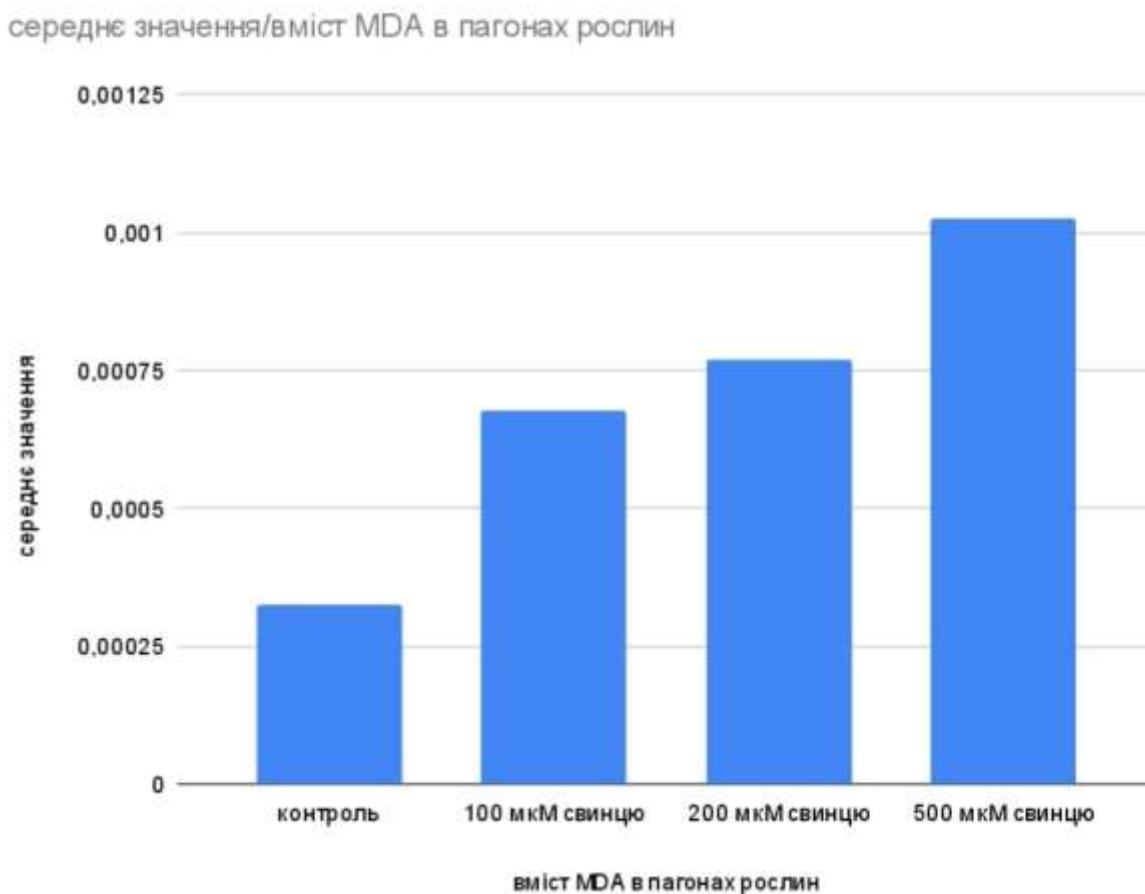


Рис. 5.1 Вміст малонового диальдегіду (MDA) у пагонах рослин.

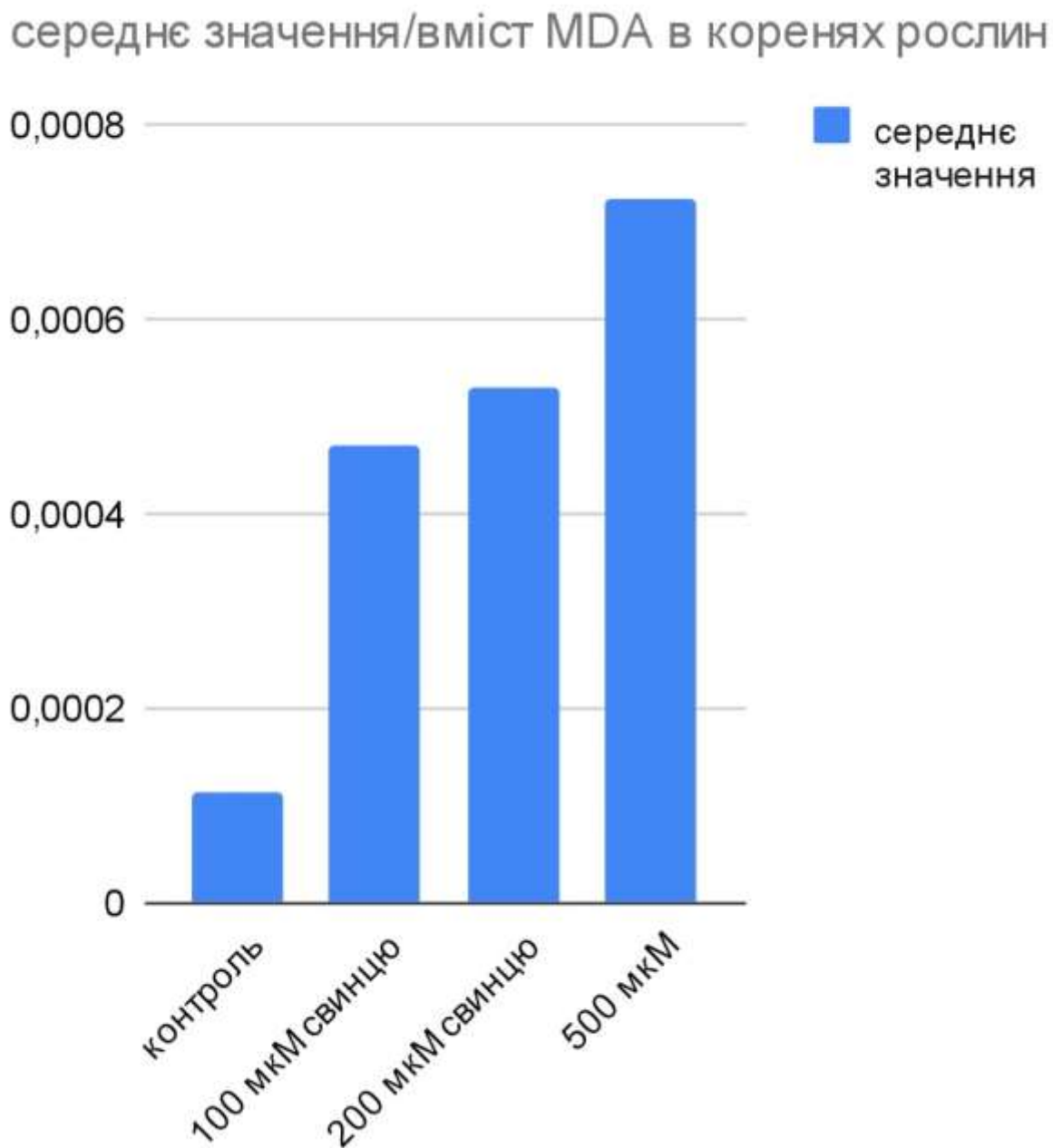


Рис. 5.2 Вміст малонового діальдегіду (MDA) у коренях рослин.

Згідно з отриманих даних пшениця у відповідь на оксидативний стрес піднімає вміст оксидативних ферментів, а саме малонового діальдегіду (MDA). Результати наших досліджень показали, що вміст малонового діальдегіду у

пагонах та коренях пшениці з підвищенням концентрації іонів свинця збільшується. Як у коренях так і пагонах рослин відповідь на оксидантивний стрес відбувається виділенням індикатора стресу – малонового альдегіду.

Наші лабораторні дослідження показали, що вплив іонів свинцю на морфометричні показники та оксидантивні реакції пшениці та, власне, виділення малонового диальдегіду є негативними явищами для росту та розвитку рослин пшениці. Показники оксидативного стресу збільшуються відносно підвищення концентрації ацетату свинцю.

Висновки

1. Встановлено негативний вплив іонів свинцю на морфологічні показники пшениці.
2. Досліджено, що зі збільшенням концентрації іонів свинцю у середовищі найбільше інгібується ріст коренів рослин пшениці оскільки вони безпосередньо знаходяться в розчині важкого металу.
3. Збільшення концентрації ацетату свинцю в середовищі супроводжувалось нагромадженням малонового диальдегіду, що свідчить про зростання оксидантного стресу.
4. Визначено, що іони свинцю підвищують вміст аскорбінової кислоти у пагонах та коренях рослин пшениці зі збільшенням концентрації іонів свинцю, що вказує на намагання рослин захиститися від оксидативного стресу.
5. Таким чином, за умов збільшення концентрації іонів свинцю відмічено зниження морфометричних показників та зростання оксидативного стресу, на фоні якого зростав вміст малонового диальдегіду та аскорбінової кислоти.

Список використаної літератури

1. Артюшенко Т., Гришко В. Сумісний вплив кадмію та нікелю на функціонування аскорбатзалежної ланки антиоксидантного захисту гороху // Біологічний вісник МДПУ ім. Б. Хмельницького, 141-158, 2014
2. Бабак Т.М., Поліщук А.І. Вплив важких металів на активність антиоксидантних ферментів у листках соняшнику та кукурудзи // Екологічна безпека, 2019
3. Бойко І., Кобилецька М., Терек О. Деградація хлорофілу в листках рослин за дії іонів кадмію та саліцилової кислоти // Фізіологія та біохімія культурних рослин, 2012
4. Більчук В., Россихіна А. Вміст аскорбінової кислоти й ферментів її метаболізму за дії іонів нікелю у проростках кукурудзи // Вісник Львівського університету. Серія біологічна, 2012
5. Бойко І., Кобилецька М., Терек О. Фенольні сполуки як компоненти саліцилат-індукованої адаптивної відповіді рослин пшениці на токсичну дію кадмій хлориду // Біологічні студії, 75-82, 2013
6. Белозерова І.І., Павлюк Ю.В. Механізми адаптації рослин до дії стресових факторів на молекулярному рівні // Біологія та екологія, 2014
7. Діденко Н.О., Буздуга І.М., Волков Р.А. Активність аскорбат та гваякол пероксидаз у нокаутного мутанта *Cat2 Arabidopsis thaliana* за дії сольового стресу // Вісник Українського товариства генетиків і селекціонерів, 34-38, 2015

8. Демків О., Пацула О. Катализа та адаптація рослин соняшника до токсичної дії кадмію та свинцю. // Вісник Львів. УН-ТУ. Серія біологічна.–Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, ст (225 - 230), 2003 р
9. Демків О., Терек О. Нагромадження важких металів та їх вплив на стан антиоксидантної системи мохів // Наук. зап. Держ. природознавчого музею.–2009.– Вип 25, 125-130
10. Заєць І.Є., Вознюк Т.М., Ковальчук М.В. Активність консорціуму бактерій в агроценозах сої на забруднених важкими металами чорноземних територіях Придніпров'я // Національна Академія наук України, 2007
11. Гащишин О., Грохольська О., Пацула О., Терек О. Вплив іонів важких металів і регулятора росту трептолему на загальний вміст фенольних сполук у рослинах ріпаку та соняшнику // Біологічні студії 6 (1), 109-116, 2012
12. Грицаєнко З.М., Чернега А.О. Активність окисно-відновних ферментів у рослинах ячменю озимого при застосуванні гербіциду Калібр 75 та регулятора росту Біолан // Включено до переліків № 1 і № 6 фахових видань ВАК України з сільськогосподарських та економічних наук (Бюлетень ВАК України № 8 і № 11, 2009 рік).
13. Іванова М., Черноусова Т. Вивчення окисно-відновних реакцій в рослинах за стресу важкими металами // Наукові дослідження, 2018
14. Качмар О.С., Кобилецька М.С. Дія засолення на активність окислювальних процесів // Шоста міжнародна конференція молодих учених «Харківський Природничий Форум» 18-19 травня 2023 р.(електронне видання), 197

15. Качмар О.С., Кобилецька М.С. Дія засолення на активність окислювальних процесів // Шоста міжнародна конференція молодих учених «Харківський Природничий Форум» 18-19 травня 2023 р. (електронне видання), 197
16. Карпенко В., Красноштан В. Активність антиоксидантних ферментів у рослинах сорго зернового за дії гербіциду, регулятора росту рослин і біопрепарату // Збалансоване природокористування, 178-185, 2020
17. Карпенко В., Павлишин С. Вміст малонового діальдегіду у листках пшениці полби звичайної за дії гербіциду й регулятора росту рослин. // Підсумки наукової роботи за 2014–2019 рр, Умань 2019
18. Кобилецька М., Бойко І., Кавулич Я., Терек О. Фенольні сполуки як компоненти саліцилат-індукованої адаптивної відповіді рослин пшениці на токсичну дію кадмій хлориду // Біологічні студії, 75-82, 2013
19. Кобилецька М., Кобилецька М.С. Адаптація рослин кукурудзи та сої до токсичної дії іонів кадмію // Львів, 2003
20. Косаківська І.В., Щербатюк М.М. Гормональна система рослин за дії важких металів // Харків ХНАУ, 2019
21. Лихолат Ю.В., Приседський Ю.Г. Адаптація рослин до антропогенних чинників, 2017 р // 195.34.206.236
22. Лучків Н.Ю., Бурдилюк Н.І. Оцінка антиоксидантних властивостей родіоли рожевої (*Rhodiola rosea* L.) та волошки карпатської (*Centaurea carpatica* porc.), зібраних в Українських Карпатах // Галицький лікарський вісник, 55-57, 2013

23. Мусієнко М., Капінос М. Фізіолого-біохімічні реакції в насінні та рослинах гороху посівного (*Pisum sativum* L.) на початкових етапах онтогенезу за дії біопрепаратів і регуляторів росту рослин // Вісник аграрної науки, 11-17, 2018
24. Майор П.С., Великожон Л.Г., Захарова В.П. Вплив загартування на пероксидне окиснення ліпідів й активність пероксидаз у рослинах озимої пшениці різних сортів // Физиология и биохимия культурных растений, 2010
25. Немик В.П., Лебідь Ю.М. Спільний вплив стресових факторів на антиоксидантну активність рослин гречки // Екологічні науки 1 (20), 101-106, 2018
26. Опріш О.Ю., Матій А.Р. Аскорбінова кислота в рослинах // УжНУ, 2022
27. Оніпко В.В., Воропіна В.О. Перспективи використання в лікарському рослинництві регуляторів росту та біостимуляторів // Scientific Progress & Innovations 26 (3), 42-46, 2023
28. Пацула О., Демків О. Каталіза та адаптація рослин соняшника до токсичної дії кадмію та свинцю. // Вісник Львів. УН-ТУ. Серія біологічна.–Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, ст (225 - 230), 2003 р
29. Пацула О., Кобилецька М., Терек О. Оксидативні реакції рослин присуслової ділянки річки Тиса // Вісник Львівського університету. Серія біологічна, 2008
30. Приседський Ю.Г., Лихолат Ю.В. Адаптація рослин до антропогенних чинників, 2017 р // 195.34.206.236
31. Реджіані Р., Бертані А. Фізіологія рослин, 2003 р

- 32.Россихіна Г.С., Вінниченко О.М., Лихолат Ю.В. Інтенсивність утворення прооксидантних форм кисню та активність антиоксидантних ферментів у рослинах під впливом важких металів // Наукові записки НУБіП, 53-56, 2016
- 33.Силян І.О., Гузь А.М., Васильченко І.В. Модифікація антиоксидантної системи рослин кукурудзи під впливом важких металів // Наукові студії, 12 (3), 79-85, 2019
- 34.Сулима І.В., Ткачук М.І., Іванова О.П. Адаптація рослин до важких металів на рівні організму // Вісник Черкаського університету. Серія: Біологічні науки, 2019
- 35.Шевчук І.Ю., Шевчук І.В. Пероксидне окиснення ліпідів та його роль у стресових реакціях рослин // Аграрна наука, 2018
- 36.Щербатюк М.М., Косаківська І.В. Вплив важких металів на вміст фенольних сполук у рослинах соняшнику // Проблеми екології та охорони навколишнього середовища, 2017
- 37.Червона С.В., Андрєєва Т.П. Зміни активності антиоксидантної системи рослин за стресових впливів на різні етапи розвитку // Наукові записки, 2016
- 38.Черненко І.В., Демченко В.С. Вплив токсичних речовин на метаболізм рослин // Вісник екології, 2020
- 39.Черкашин В., Гамбург О. Вплив металів на морфологічні та біохімічні показники рослин, що ростуть на забруднених територіях // Природничі науки, 2015
- 40.Шенель В.С., Шаховський О.М. Взаємодія важких металів і антиоксидантної системи рослин у стресових умовах // Агрономічний журнал, 2017

- 41.Яковенко І.В., Дзіковська І.Б. Оцінка активності антиоксидантних ферментів у рослинах, що ростуть на забруднених важкими металами територіях // Сільськогосподарська наука, 2018
- 42.Яценко О., Зіброва Т. Вплив високих концентрацій металів на функціонування фотосинтетичної системи рослин // Фізіологія рослин, 2020
- 43.Dangles, O. Antioxidant activity of plant phenols: chemical mechanisms and biological significance // *Current Organic Chemistry* 16 (6), 692-714, 2012
- 44.Davey, M.W., Stals, E., Panis, B. High-throughput determination of malondialdehyde in plant tissues // *Analytical biochemistry* 347 (2), 201-207, 2005
- 45.Dumanović, J., Nepovimova, E. The significance of reactive oxygen species and antioxidant defense system in plants: A concise overview // *Frontiers in plant science* 11, 552969, 2021
- 46.Gupta, V.K., Sharma, S.K. *Plants as natural antioxidants* // CSIR, 2006
- 47.Khan, T., Mazid, M. A review of ascorbic acid potentialities against oxidative stress induced in plants // *Journal of agrobiolgy* 28 (2), 97, 2011
- 48.Kumar, V., Sharma, S.K. *Plants as natural antioxidants* // CSIR, 2006
- 49.Olliver, M. The ascorbic acid content of fruits and vegetables // *Analyst* 63 (742), 2-18, 1938
- 50.Smirnoff, N. Vitamin C: the metabolism and functions of ascorbic acid in plants // *Advances in botanical research* 59, 107-177, 2011

