

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
Навчально-науковий інститут екології  
Кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

### ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН РОСТОВИХ ПРОЦЕСІВ ТЕСТ-ОБ'ЄКТІВ ПІД ВПЛИВОМ РІЗНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ ХРОМУ ТА КАДМІЮ

Виконав: студент 2 курсу, групи ЗДЕ - 71

спеціальності : 101 «Екологія»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Автора \_\_\_\_\_ / Катерина БЕЗУГЛА

(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник \_\_\_\_\_ / Іветта КРИВИЦЬКА

(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

(підпис)

(ім'я та прізвище)

*«До захисту допущено»*

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ / Алла НЕКОС

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ / Ірина КОЗУБ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Секретар ЕК \_\_\_\_\_ / Світліна БУРЧЕНКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Харків – 2022 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

Інститут: Навчально-науковий інститут екології  
Кафедра: екологічної безпеки та екологічної освіти  
Рівень вищої освіти : магістр  
Спеціальність: 101 «Екологія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

\_\_\_\_\_ /проф. Алла НЕКОС  
(підпис) (ім'я та прізвище)

«\_\_\_» травня 2022 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Катерині БЕЗУГЛІЙ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Особливості змін ростових процесів тест-об'єктів під впливом різних концентрацій хрому та кадмію

керівник роботи Іветта КРИВИЦЬКА, кандидат біологічних наук, доцент

(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 10 » листопада 2022 року № 4301-5/1990

2. Строк подання студентом роботи: «18» листопада 2022 рік.

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

1. огляд сучасних наукових літературних джерел щодо впливу важких металів Cr та Cd на біологічні об'єкти;

2. визначення методів дослідження впливу важких металів на біологічні показники тест об'єктів;
3. систематизація матеріалів дослідження, будовання графіків порівняння результатів.

4. План роботи.

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Огляд наукових літературних джерел.
2	Визначення методів дослідження.
3	Проведення дослідження та оцінка результатів.

5. Дата видачі завдання « 8» травня 2022року \_\_\_\_\_

**Студент** \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Катерина БЕЗУГЛА**  
(ім'я і прізвище)

**Керівник роботи** \_\_\_\_\_  
(підпис)

**доц. Іветта КРИВИЦЬКА**  
(посада, ім'я і прізвище)

## АНОТАЦІЯ

# ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН РОСТОВИХ ПРОЦЕСІВ ТЕСТ-ОБ'ЄКТІВ ПІД ВПЛИВОМ РІЗНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ ХРОМУ ТА КАДМІЮ

Катерина БЕЗУГЛА

Кваліфікаційна робота «Особливості змін ростових процесів тест-об'єктів під впливом різних концентрацій хрому та кадмію» містить 32 сторінки, 4 розділи, 17 таблиць, 4 рисунків, 4 формули.

*Мета роботи:* визначити вплив важких металів Cr та Cd у різних концентраціях на фітотоксичні властивості середовища за допомогою тест об'єктів.

*Актуальність теми:* існує велика кількість досліджень на тему токсичності важких металів, але недостатньо вивчений їх вплив на розвиток рослин за умови різних обставин та тест-об'єктів.

*Завдання:* порівняти результати визначення фітотоксичності водних розчинів з вмістом важких металів в різних концентраціях.

*Методи:* біотестування, статистична обробка даних.

*Результати:* важкий метал хром дуже пригнічує і кореневу систему і паростки рослин при надлишкових концентраціях. Важкий метал кадмій має більший токсичний вплив на кореневу систему рослин ніж на паростки при надлишкових концентраціях. Загалом коренева система рослин є менш стійкою до зміни концентрацій важких металів і пригнічується першою. Більш чутливим тест-об'єктом є рослина *Raphanussativus* ніж *Avenasativa*.

ВАЖКІ МЕТАЛИ, ФОНОВА КОНЦЕНТРАЦІЯ, ГДК, БІОТЕСТУВАННЯ,  
ФІТОТОКСИЧНІСТЬ, КОНЦЕНТРАЦІЯ

ANNOTATION

**FEATURES OF CHANGES IN THE GROWTH PROCESSES OF OBJECTS  
UNDER THE INFLUENCE OF DIFFERENT CONCENTRATIONS  
OF CHROMIUM AND CADMIUM**

Kateryna BEZUGLA

Qualification work «Features of changes in growth processes of test objects under the influence of different concentrations of chromium and cadmium» contains 32 pages, 4 chapters, 17 tables, 4 figures, 4 formulas.

**Purpose:** to determine the effect of heavy metals Cr and Cd in different concentrations on the phytotoxic properties of the environment using test objects.

**Relevance of the topic:** there are a large number of studies on the toxicity of heavy metals, but their impact on plant development under different circumstances and test objects is not sufficiently studied.

**Objective:** to compare the results of determining the phytotoxicity of aqueous solutions containing heavy metals in different concentrations.

**Methods:** biotesting, statistical data processing.

**Results:** heavy metal chromium strongly inhibits the root system and sprouts of plants at excessive concentrations. Heavy metal cadmium has a greater toxic effect on the root system of plants than on sprouts at excessive concentrations. In general, the root system of plants is less resistant to changes in heavy metal concentrations and is suppressed first. The plant *Rapanussativus* is more sensitive test object than *Avenasativa*.

HEAVY METALS, BACKGROUND CONCENTRATION, MPC, BIOASSAY,  
PHYTOTOXICITY, CONCENTRATION

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	1
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ НАУКОВИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ НА ТЕМУ ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ХРОМУ ТА КАДМІЮ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ .....	3
1.1 Дослідження щодо впливу хрому на біологічні об'єкти .....	5
1.2 Дослідження щодо впливу кадмію на біологічні об'єкти .....	6
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ФІТОТОКСИЧНОСТІ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ХРОМУ ТА КАДМІЮ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕСТ-ОБ'ЄКТІВ .....	8
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІТОТОКСИЧНОСТІ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ХРОМУ ТА КАДМІЮ.....	13
3.1 Вплив хрому на тест-об'єкт <i>Avena sativa</i> .....	13
3.2 Вплив хрому на тест-об'єкт <i>Raphanus sativus</i> .....	17
3.3 Вплив кадмію на тест-об'єкт <i>Avena sativa</i> .....	20
3.4 Вплив кадмію на тест-об'єкт <i>Raphanus sativus</i> .....	24
РОЗДІЛ 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ХРОМУ ТА КАДМІЮ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ .....	28
ВИСНОВКИ.....	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	31

## ВСТУП

Найбільшими забруднювачами навколишнього середовища є важкі метали. Вони можуть бути у різних компонентах довкілля у невеликій кількості, не спричиняючи токсичного ефекту. Але при збільшенні їх концентрації можуть постраждати рослини і тварини. Важкі метали Cr та Cd мають другий та перший клас токсичності, швидко накопичуються та мають шкідливий вплив на організми.

*Актуальність дослідження:* сьогодні існує велике завдання щодо покращення стану навколишнього середовища, яке постійно піддається впливу токсичних елементів, що містяться у відходах промисловостей, їх скидах і викидах, у добривах, що використовуються на фермах та інших господарствах. Важкі метали спричиняють найбільшу шкоду довкіллю коли накопичуються у ґрунтах, а потім переходять у інші компоненти навколишнього середовища, рослини, тварини, акумулюються та пригнічують їх ріст і розвиток. Тому вивчення їх впливу та способів мінімізації токсичності є дуже важливим завданням.

*Тема кваліфікаційної роботи:* особливості змін ростових процесів об'єктів під впливом різних концентрацій Cr та Cd.

*Мета роботи:* визначити вплив важких металів Cr та Cd у різних концентраціях на фітотоксичні властивості середовища за допомогою тест об'єктів.

*Завдання:*

1. ознайомитися з сучасними науковими літературними джерелами на тему впливу важких металів Cr та Cd на біологічні об'єкти;
2. проаналізувати яким чином використовуються тест об'єкти у біомоніторингу;
3. ознайомитися з методами, які використовуються в дослідженні впливу важких металів на тест-об'єкти;

4. проаналізувати та оформити отримані результати у вигляді графіків.

*Об'єкт дослідження:* тест об'єкти овес (*Avenasativa*) та редька (*Raphanussativus*).

*Предмет дослідження:* вплив важких металів на біологічні показники тест об'єктів.

*Методи дослідження:* статистична обробка даних, біотестування.

*Наукова новизна:* за допомогою даного експерименту можна виявити закономірності негативного впливу важких металів на рослини, у тому числі порівняти ступінь пригнічення розвитку докількох тест-об'єктів.

*Практичне значення:* результати даного дослідження можуть бути використанні при детальному вивченні дії важких металів та створені нових технологій, щодо використання важких металів у сільському господарстві та на підприємствах.

*Основна гіпотеза:* якщо збільшити концентрації важких металів хрому та кадмію перевищуючих гранично допустимі концентрації, то можна буде побачити на які частини рослин вині впливають більше.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ НАУКОВИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ НА ТЕМУ ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ХРОМУ ТА КАДМІЮ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ

Наразі питання фітотоксичності важких металів є дуже поширеним серед науковців. Існує багато наукових праць щодо токсичного впливу важких металів на компоненти навколишнього середовища, на рослини і тварини. Наукові роботи та експерименти надають можливість розуміти до яких наслідків може призвести надмірний поступ важких металів у довкілля з добривами, відходами промислових закладів. А також дають змогу робити висновки, щодо застосування нових методів у сільському господарстві та промисловостях, що використовують важкі метали.

Найвидатнішими науковцями, що займаються важкими металами та їх впливом на тест об'єкти є: Гуральчук Ж. З., Загоскіна Н. В., Гончарук Е. А. та Красовський С.А. Їх наукові досягнення є основопологаючі та відкривають багато нових фактів, що можуть використовуватися в якості фундаменту для наступних поколінь науковців в даній сфері.

Найвідомішою збіркою Гуральчук Ж. З. є «Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії» [1]. У цій монографії висвітлюються результати досліджень щодо надходження важких металів у навколишнє середовище, як вони впливають на зміни у ньому та розглядається стійкість компонентів довкілля до впливу важких металів. Окремо розглядається питання акумуляції рослинами важких металів. Також описані остатні відкриття та методи очищення навколишнього середовища від надлишку важких металів.

Одна з недавніх публікацій є у Красовського С.А., яка має назву «Токсичний вплив важких металів на фізіологічні процеси рослин» [2]. У статті описані деякі важкі метали, проаналізований їх можливий вплив на ріст та розвиток рослин. Також інші питання пов'язані з токсичним впливом важких металів.

Найпоширенішою роботою Загоскиної Н. В. та Гончарука Е. А. є «Важкі метали: надходження, токсичність і захисні механізми рослин» [3]. Тут висвітлюються питання щодо забруднення важкими металами навколишнього середовища, описані процеси накопичення важких металів в ґрунтах, атмосферному повітрі, водних об'єктах та їх вплив на різні процеси, що відбуваються у рослинах (як, наприклад, транспірація, дихання, водний режим та фотосинтез).

Також дана тема є досить поширеною у зарубіжних науковців. Багато хто вивчає важкі метали та їх вплив на навколишнє середовище. Так, наприклад, у роботі «Effect of Heavy Metals on Plants: An Overview», що написали Ambika Asati, Mohnish Pichhode та Kumar Nikhil [4] висвітлюються питання забруднення ґрунтів важкими металами, такими як: кадмій, мідь, свинець, хром, марганець, залізо і ртуть, що являються основними забруднювачами. Також описано як таке забруднення може впливати на ведення сільського господарства та виробництва.

Також досить відомою працею є «Heavy Metals in the Environment» від Lawrence K. Wang, Jiaping Paul Chen, Yung-Tse Hung, Nazih K. Shammam [5]. У цій роботі описані методи боротьби з забрудненням важких металів пов'язаних з контролем забруднення води, повітря, ґрунту, рекультивацією територій, захистом ґрунтових вод, утилізацією промислово-побутових відходів важких металів.

Щодо праці «Heavy metals and living systems: An overview», яку написали такі науковці як Reena Singh, Neetu Gautam, Anurag Mishra та Rajiv Gupta [6]. Розглядаються питання тривалого впливу важких металів таких як кадмій, мідь, свинець, нікель і цинк. Описані процеси, що відбуваються в рослинах підвержених впливу важких металів на молекулярному рівні. А також розглянуті біотехнологічні наслідки накопичення важких металів.

Широко вивчається метод біотестування важких металів з використанням різних тест-об'єктів. Основні дослідження представлені в роботах таких науковців як: Довгалюк А., Джура О. С., Шірко О. С. У представлених ними працях

можна зобачити основні засади використання рослин в біотестуванні та доцільність цього методу.

Шкірко О. С. у своїй роботі «Біотестування еколого-токсикологічного стану природних поверхневих вод з використанням тест-об'єктів» [7] висвітлює всі аспекти використання рослин у якості тест-об'єктів та аналізує ефективність біотестування в цілому.

Джура Н. М. у статті «Можливості використання рослинних тест-систем для біомоніторингу нафтозабруднених ґрунтів» [8] написала про проблематику забруднень ґрунту техногенного характеру та описала способи моніторингу ґрунтів методом біотестування.

У публікації Довгалюка А. «Забруднення довкілля токсичними металами та його індикація за допомогою рослинних тестових систем» [9] описаний стан ґрунту в Україні щодо накопичення важких металів та надана інформація з поведи доцільності використання рослинних тест-об'єктів у якості індикаторів.

Можна сказати, що приділяється досить багато уваги до впливу важких металів на всі компоненти навколишнього середовища, а також в особливості на рослини. Більшою мірою вивчаються токсичні важкі метали, що швидко поглинаються та мають здатність накопичуватися. Але, мало досліджень виконуються за допомогою кількох тест-об'єктів та при різних умовах, що може призвести до недостовірних результатів. Метод біотестування широко використовується і вивчається.

### 1.1. Дослідження щодо впливу хрому на біологічні об'єкти

Хром – це токсична речовина, що може призвести до проблем з розвитком рослин при надмірній концентрації. Основні джерела цього метала є викиди та скиди підприємств, також при спалюванні палива. Хром відноситься до першого класу небезпеки та має [10] та має гранично допустиму концентрацію 6 мг/кг [11].

Такі наукові як Гришко В. М., Лисенко О. І., Бессонова В. П., Иванченко О. Е. вивчали хром як токсичний важкий метал, його вплив на рослини і їх розвиток. У їх працях можна помітити зацікавленість темою фітотоксичності важких металів.

У своїй статті «Фітотоксичність хрому і нікелю на початковому етапі онтогенетичного розвитку кукурудзи» В. М. Гришко, О. І. Лисенко [12] описали результати дослідження щодо фітотоксичності хрому та інших важких металів на гібриди кукурудзи.

Бессонова В. П., Иванченко О. Е. написали роботу яка має назву «Хром у навколишньому середовищі» [13]. У цій роботі зібрані основні відомості про стан питання щодо джерел надходження хрому в навколишнє середовище, а також його вміст в компонентах довкілля. А також був розглянутий фітотоксичний ефект хрому на рослини та тварини.

Також Бессонова В. П., Иванченко О. Е. створили роботу «Накопичення хрому в рослинах та його токсичність» [14]. У цій роботі описані основні дані про поглинання хрому рослинами, його біологічної ролі, а також загальний вплив хрому на розвиток рослин.

## 1.2 Дослідження щодо впливу кадмію на біологічні об'єкти

Кадмій – це дуже токсичний важкий метал, що може призвести до невідвертних процесів у рослинах при надмірній кількості. Він може потрапляти у компоненти навколишнього середовища разом з мінеральними добривами, що використовуються у сільському господарстві, а також при спалюванні пластику та палива. Кадмій відноситься до другого класу небезпеки [10] та не має гранично допустимої концентрації, але його фонові концентрації 0,04 мг/кг [11].

Дослідженням кадмію займалися такі науковці як Левенець Т. В., Смірнов О. Є., Таран Н. Ю., Михальська Л. М., Швартау В. В., Загричук О. М., Гарбуз Т. В., Чеховська В. Б., Дробик Н. М., Фарафонов Д. Д., Філімонов Д. І., Д'яконов В.

I. У їх працях просліджуються описи загальних відомостей про кадмій, його токсичність та вплив на розвиток рослин.

Загричук О.М., Гарбуз Т.В., Чеховська В.Б., Дробик Н.М. написали відому роботу «Дослідження впливу йонів кадмію на ріст рослин» [15]. У цій роботі вони висвітлили матеріали досліджень щодо ролі коренів та паростків у поглинанні важких металів, зокрема кадмію. Розглянуті закономірності розподілення важких металів у рослинах [15].

У статті «Кадмієвий стрес у рослин: токсичність та механізми стійкості» Левенець Т.В., Смірнова О.Є., Тарана Н.Ю., Михальської Л.М., Швартау В.В. [16] проаналізовано літературу щодо походження кадмію та його вплив на рослини, а також накопичення у різних частинах рослин. Проаналізовано знання щодо міграції кадмію між клітками рослин. Також розглянутий вплив кадмію на фізіологічні процеси рослин.

Фарафонов Д. Д., Філімонов Д. І., Д'яконов В. І. написали статтю «Токсичність кадмію» [17]. У ній представлені питання забруднення довкілля важкими металами на підставі кадмію.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ФІТОТОКСИЧНОСТІ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ХОМУ ТА КАДМІЮЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕСТ-ОБ'ЄКТІВ

Для визначення фітотоксичності важких металів Cr та Cd було проведено дослідження на базі «Centrum Analiz Jakości Środowiska» у Вроцлавському університеті природи 5 вересня 2022 року.

Мета експерименту була виявити фітотоксичні властивості обраних важких металів за умови збільшення їх концентрацій перевищуючих гранично допустимі концентрації. Та зобачити які частини рослини прігнічуються більше. Для цього експерименту були обрані такі методи як біотестування та статистична обробка даних.

Біотестування – це визначення кількісних та якісних змін у обраних тест-об'єктах при різних умовах експерименту. У данному методі тест-об'єкти виступають сенсорами, які показують результати дії того, чи іншого подразника. Цей метод має кілька переваг: швидке проведення експерименту, досить достовірні результати, тест-об'єкти, що використовуються є досить доступними, невелика похибка.

Статистична обробка даних дає можливість структурувати дані та проаналізувати отримані результати. За допомогою цього методу можна перевірити достовірність результатів отриманих у ході дослідження.

Були обрані такі тест-об'єкти: овес (*Avena sativa*) та редька (*Raphanus sativus*). Це обумовлено тим, що ці рослини чутливі до зміни тих, чи інших факторів у експерименті, а також вони швидко пророщуються.

Змінними факторами були різні концентрації важких металів Cr та Cd, що перевищували гранично допустимі концентрації а також фонову концентрацію відповідно у 4, 5 та 10 разів. Було обрано саме такі важкі метали за кількома факторами: клас небезпечності Cr – 2 клас небезпечності та Cd – 1 клас небезпек-

ності, це токсичні елементи, які при надлишковій концентрації можуть призвести до незворотніх змін в організмі рослин і тварин.

Для проведення експерименту було необхідне наступне обладнання та матеріали: тест-об'єкти *Avena sativa* та *Raphanus sativus* (насіння рослин), дистильована вода, водні розчини з вмістом різних концентрацій Cr та Cd, термостат, терези, центрифуга, термометр, чашки петрі, струшувач, колби, піпетки, циліндри, фільтрувальний папір.

Дослідження проводилося на базі запатентованої методики «Методика визначення токсичності ґрунтів на вищих рослинах *Raphanus sativus*» [18]. Ця методика дозволяє визначити фітотоксичність важких металів. Методика розроблена Українським науково дослідним інститутом екологічних проблем Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України у 1997 році. Дана методика необхідна для проведення біотестування на вищих рослинах в якості тест-об'єктів для визначення токсичності ґрунтів, а також важких металів [18].

У експерименті порівнювалося пророщування рослин у питній дехлорованій воді (контроль) та у водних розчинах з різними концентраціями хрому та кадмію. Для цих цілей було використано по 35 непошкоджених насінин. Насіння було розкладено у чашки петрі на фільтрувальний папір зволожений питною водою та водними розчинами з концентраціями хрому 24 мг/кг, 30 мг/кг, 60 мг/кг та кадмію 0,4 мг/кг, 0,5 мг/кг, 1 мг/кг. Концентрації хрому перевищують гранично допустиму концентрацію у 4, 5, 10 разів. Концентрації кадмію перевищують фонову концентрацію у 4, 5, 10 разів. Ємкості покладено у термостат на 72 години при температурі 25°C. Потім було виміряно довжину паростків та довжину коренів рослин у мм.

Далі за методом статистичної обробки даних були проаналізовані отримані результати вимірів довжин паростків а коренів. Було розраховано

середнеарифметичне усіх довжин. А далі за допомогою формули (2.1) було розраховано фітотоксичність обраних елементів.

$$A = \frac{X_k - X_d}{X_k} \times 100 \%, \quad (2.1)$$

де  $A$  – різниця довжини проростків, коренів у досліді та у контролі;

$X_k$  – середнє арифметичне довжини проростків, коренів у контролі;

$X_d$  – середнє арифметичне довжини проростків, коренів у досліді.

Якщо  $A$  є більшим за 20 %, то вважається, що водний розчин є токсичний.

Був використаний  $t$ -критерій Стьюдента задля перевірки достовірності результатів експерименту. Він потрібен щоб виявити відмінності між середніми величинами в двохрізних вибірках. Вибірki були розподілені по нормальному закону та зв'язані між собою. Для розрахунку, використовуємо формула 2.2:

$$t_{\text{емп}} = \left| \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{S_d} \right|, \quad (2.2)$$

$t_{\text{емп}}$  – критичні значення для даної вибірки;

$\bar{X}$  – середнє значення кореню (паростка) у досліді (мм);

$\bar{Y}$  – середнє значення кореню (паростка) у контролі (мм).

$S_d$  розраховується за настіпною формулою 2.3:

$$S_d = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 + \sum (y_i - \bar{y})^2}{(n-1) \times n}} \quad (2.3)$$

де  $S_d$  – похибка середнього відхилення вибірки;

$x_i$  – середнє значення довжини кореню (паростка) у досліді (мм);

$x$  – відповідне значення довжини кореню (паростка) у досліді (мм);

$y_i$  – середнє значення довжини кореню (паростка) у контролі (мм);

$y$  – відповідне значення довжини кореню (паростка) у контролі (мм);

$n$  – кількість величин у вибірці.

Для порівняння  $t_{\text{емп}}$  та  $t_{\text{кр}}$  необхідно розрахувати число степенів свободи, що показано у формулі 2.4:

$$k = (n_1 - 1) + (n_2 - 1) = n_1 + n_2 - 2, \quad (2.4)$$

де  $k$  – число степенів свободи;

$n$  – кількість величин у вибірці.

За основу була взята гіпотеза  $H_0$ , для оцінки відмінності двох вибірок. Якщо гіпотеза була прийнята, то значимих відмінностей між вибірок не знайдено. Якщо ця гіпотеза не підтверджується, то приймається альтернативна гіпотеза  $H_1$ , що в свою чергу доказує значиму різницю між двома взятими вибірками.

Також була обрана вірогідність помилки (табличне значення t-критерію Стьюдента) для рівня вірогідності  $P=0,05$  та відповідне число ступенів свободи (табл. 2.1). Після визначення вірогідності помилки ( $t_{\text{кр}}$ ), потрібно порівняти її зі підтверджена помилка може складати 5 % і при повторному проведенні експерименту не буде виявлено відмінностей.

Таблиця 2.1

Граничні значення t-критерію Стьюдента (по Стьюденту, 1958)

Q	P=0,05	P =0,01	P=0,001	Q	P=0,05	P=0,01	P=0,001
20	2,086	2,845	3,850	40	2,021	2,704	3,551
21	2,08	2,831	3,819	41	2,02	2,701	3,544
22	2,074	2,819	3,792	42	2,018	2,698	3,538
23	2,069	2,807	3,768	43	2,017	2,695	3,532
24	2,064	2,797	3,745	44	2,015	2,692	3,526
25	2,06	2,787	3,725	45	2,014	2,690	3,520
26	2,056	2,779	3,707	46	2,013	2,687	3,515
27	2,052	2,771	3,690	47	2,012	2,685	3,510
28	2,049	2,763	3,674	48	2,011	2,682	3,505
29	2,045	2,756	3,659	49	2,01	2,680	3,500
30	2,042	2,750	3,646	50	2,009	2,678	3,496
31	2,04	2,744	3,633	51	2,008	2,676	3,492
32	2,037	2,738	3,622	52	2,007	2,674	3,488
33	2,035	2,733	3,611	53	2,006	2,672	3,484
34	2,032	2,728	3,601	54	2,005	2,670	3,480
35	2,03	2,724	3,591	55	2,004	2,688	3,476
36	2,028	2,719	3,582	56	2,003	2,667	3,473
37	2,026	2,715	3,574	57	2,002	2,665	3,470
38	2,024	2,712	3,566	58	2,002	2,663	3,466
39	2,023	2,708	3,558	59	2,001	2,662	3,463

Отже, дослідження проводилося на базі сучасних методів, були використані підтвержені методики щодо дослідження впливу важких металів на тест-об'єкти.

### РОЗДІЛ 3

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІТОТОКСИЧНОСТІ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ХРОМУ ТА КАДМІЮ

Для дослідження фітотоксичності важких металів Cr та Cd було використано біотестування з використанням тест-об'єктів. Результати дослідження були отримані у ході вимірювання довжини коренів та довжини паростків у контролі та у досліді.

Виміряні довжини паростків та коренів рослин редька (*Raphanus sativus*) та овес (*Avena sativa*) контрольної групи показані у Додатку А.

Результати виміру коренів та паростків рослини *Avena sativa* дослідних груп з різними концентраціями Cr (24 мг/кг, 30 мг/кг, 60 мг/кг) показано у Додатку Б.

Результати виміру коренів та паростків рослини *Raphanus sativus* дослідних груп з різними концентраціями Cr (24 мг/кг, 30 мг/кг, 60 мг/кг) висвітлено у Додатку В.

Результати виміру коренів та паростків рослини *Avena sativa* дослідних груп з різними концентраціями Cd (0,4 мг/кг, 0,5 мг/кг, 1 мг/кг) показано у Додатку Г.

Також отримано результати виміру коренів та паростків рослини *Raphanus sativus* дослідних груп з різними концентраціями Cd (0,4 мг/кг, 0,5 мг/кг, 1 мг/кг), результати висвітлено у Додатку Д.

#### 3.1 Вплив хрому на тест-об'єкт *Avena sativa*

Був розрахований t-критерій Стьюдента для аналізу відмінностей між середніми величинами двох вибірок. Середні показники довжини паростків та коренів у контрольній групі порівнювалися з показниками у водних розчинах з різними концентраціями хрому. Загальна кількість пророслих насінин – 25. Отже,

число ступенів свободи складає 48. Критерій Стьюдента дорівнює 2,02 для рівня вірогідності 0,05.

Критерій Стьюдента для вибірок з контролем та дослідом (Cr 24 мг/кг): 3,15 для кореня та 4,14 для паростка (Таблиця 3.1). Це означає, що  $H_0$  гіпотеза відклонена та приймається інша альтернативна  $H_1$  гіпотеза. Отже вибірки дослідної та контрольної груп мають значиму різницю.

Таблиця 3.1

Значення критерію Стьюдента за довжиною коренів та паростків (Cr 24 мг/кг, *Avenasativa*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корінь	Паросток	Корінь	Паросток
Середнє значення	83,64	71,30	55,79	42,30
Станд. відхилення	29,70	19,79	32,81	28,88
Похибка станд. відхилення	5,94	3,96	6,56	5,78
Критерій Стьюдента			3,15	4,14

Критерій Стьюдента для вибірок з контролем та дослідом (Cr 30 мг/кг): 3 для кореня та 4,09 для паростка (Таблиця 3.2). Це означає, що  $H_0$  гіпотеза відклонена та приймається інша альтернативна  $H_1$  гіпотеза. Отже є вибірки дослідної та контрольної груп мають значиму різницю.

Таблиця 3.2

Значення критерію Стьюдента за довжиною коренів та паростків (Cr 30 мг/кг, *Avenasativa*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корінь	Паросток	Корінь	Паросток
Середнє значення	83,64	71,30	50,30	38,72
Станд. відхилення	29,70	19,79	47,01	34,59
Похибка станд. відхилення	5,94	3,96	9,4	6,92
Критерій Стьюдента			3	4,09

Критерій Стюдента для вибірок з контролем та дослідом (Cr 60 мг/кг): 4,67 для кореня та 4,68 для паростка (Таблиця 3.3). Це означає, що  $H_0$  гіпотеза відклонената приймається інша альтернативна  $H_1$  гіпотеза. Отже є вибірки дослідної та контрольної груп мають значиму різницю.

Таблиця 3.3

Значення критерію Стюдента за довжиноюкоренів та паростків (Cr 60 мг/кг, *Avenasativa*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корінь	Паросток	Корінь	Паросток
Середнє значення	83,64	71,30	39,40	33,60
Станд. відхилення	29,70	19,79	36,89	35,09
Похибка станд. відхилення	5,94	3,96	7,38	7,02
Критерій Стюдента			4,67	4,68

Результат щодо фітотоксичного ефекту водного розчину з різними концентраціями Cr на вищій рослині *Avena sativa* показано у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Фітотоксичний ефект водного розчину з різними концентраціями Cr на *Avenasativa*

Концентрація	Корінь	Паросток
Cr 24 мг/кг	25%	36%
Cr 30 мг/кг	32%	42%
Cr 60 мг/кг	47%	49%

Кількість пророслих насінин у контролі дорівнює 25. Середнє значення довжини паростка – 66,39 мм, кореня – 74,5 мм.

У досліді з концентрацією 24 мг/кг виявлено 21 проросла насінина. Середня довжина паростка – 42,3 мм, кореня – 55,78 мм. Довжина паростків у контролі відносно довжини паростків у досліді дорівнює 36 %. Довжина коренів у контролі відносно довжини коренів у досліді дорівнює 25 %. Отже, можемо вважати що

концентрація хрому 24 мг/кг являється фітотоксичною відносно паростка та кореня.

У досліді з концентрацією 30 мг/кг виявлено 18 пророслих насінин. Середня довжина паростка – 38,72 мм, кореня – 50,3 мм. Довжина паростків у контролі відносно довжини паростків у досліді дорівнює 42 %. Довжина коренів у контролі відносно довжини коренів у досліді дорівнює 32 %. Отже, можемо вважати що концентрація хрому 30 мг/кг являється фітотоксичною відносно паростка та кореня.

У досліді з концентрацією 60 мг/кг виявлено 15 пророслих насінин. Середня довжина паростка – 33,6 мм, кореня – 39,4 мм. Довжина паростків у контролі відносно довжини паростків у досліді дорівнює 49 %. Довжина коренів у контролі відносно довжини коренів у досліді дорівнює 47 %. Отже, можемо вважати що концентрація хрому 30 мг/кг являється фітотоксичною відносно паростка та кореня.

Результат фітотоксичності водних розчинів з різними концентраціями хрому на рослині *Avena sativa* можна побачити на рисунку 3.1.

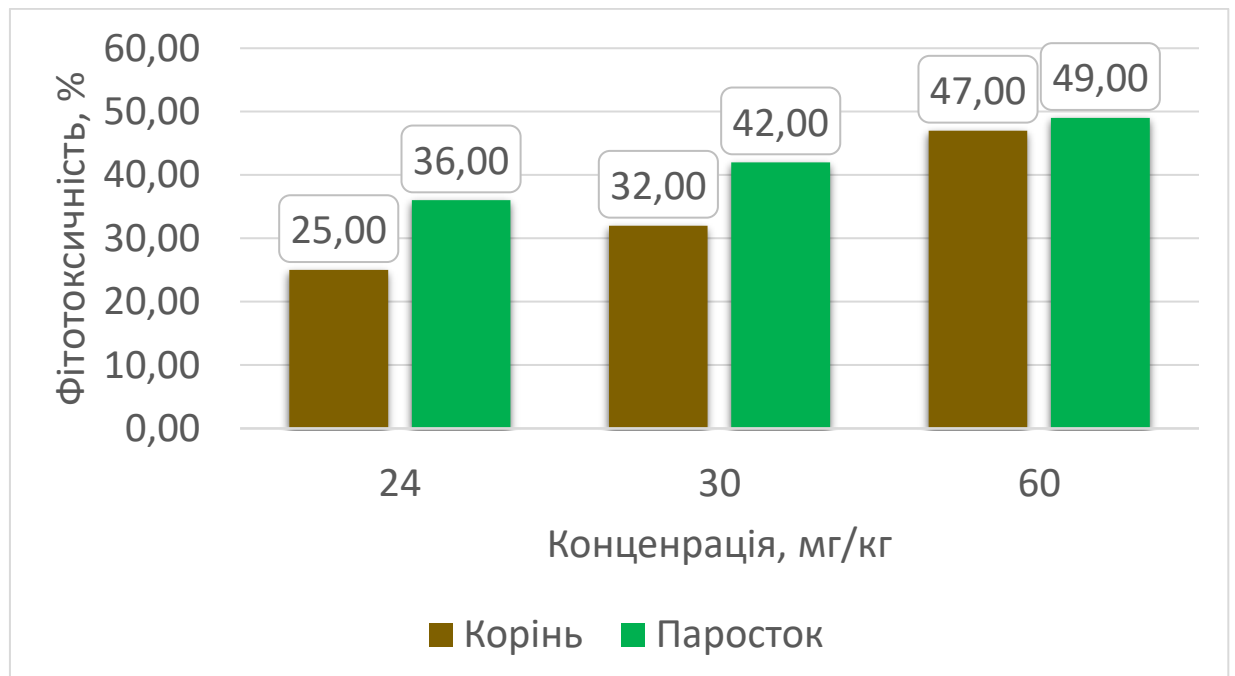


Рис. 3.1 – Фітотоксичний ефект водного розчину з різними концентраціями Cr на *Avenasativa*

Отже, важкий метал хром виявляється фітотоксичним починаючи з концентрації 24 мг/кг, і при збільшенні концентрації, збільшується відсотокфітотоксичності. Фітотоксичність виявлена за довжиною і кореня, і паростка.

### 3.2. Вплив Cr на тест-об'єкт *Raphanus sativus*

Був розрахований t-критерій Стьюдента для аналізу відмінностей між середніми величинами двох вибірок. Середні показники довжини паросків та коренів у контрольній групі порівнювалися з показниками у водних розчинах з різними концентраціями хрома. Загальна кількість пропрослих насінин – 25. Отже, число ступенів свободи складає 48. Критерій Стьюдента дорівнює 2,02 для рівня вірогідності 0,05.

Критерій Стьюдента для вибірок з контролем та дослідом (Cr24 мг/кг): 0,3 для кореня та 1,16 для паростка (Таблиця 3.5). Це означає, що  $H_0$  гіпотеза приймається. Отже вибірки дослідної та контрольної груп не мають значимої різниці.

Таблиця 3.5

Значення критерію Стьюдента за довжиною коренів та паростків (Cr 24 мг/кг, *Raphanussativus*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корінь	Паросток	Корінь	Паросток
Середнє значення	61,8	55,21	59,5	47
Станд. відхилення	26,72	24,28	27,69	25,63
Похибка станд. відхилення	5,34	4,86	5,54	5,13
Критерій Стьюдента			0,3	1,16

Критерій Стьюдента для вибірок з контролем та дослідом (Cr 30 мг/кг): 0,42 для кореня та 1,6 для паростка (Таблиця 3.6). Це означає, що  $H_0$  гіпотеза приймається. Отже вибірки дослідної та контрольної груп не мають значимої різниці.

Таблиця 3.6

Значення критерію Стьюдента за довжиною коренів та паростків (Cr 30 мг/кг, *Raphanussativus*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корінь	Паросток	Корінь	Паросток
Середнє значення	61,8	55,21	58	43,84
Станд. відхилення	26,72	24,28	36,28	26,07
Похибка станд. відхилення	5,34	4,86	7,26	5,21
Критерій Стьюдента			0,42	1,6

Критерій Стьюдента для вибірок з контролем та дослідом (Cr60 мг/кг): 1,91 для кореня та 1,92 для паростка (Таблиця 3.7). Це означає, що  $H_0$  гіпотеза приймається. Отже вибірки дослідної та контрольної груп не мають значимої різниці.

Таблиця 3.7

Значення критерію Стьюдента за довжиною коренів та паростків (Cr 60 мг/кг, *Raphanussativus*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корінь	Паросток	Корінь	Паросток
Середнє значення	61,8	55,21	46,92	42,11
Станд. відхилення	26,72	24,28	28,5	23,9
Похибка станд. відхилення	5,34	4,86	5,7	4,78
Критерій Стьюдента			1,91	1,92

Результат щодо фітотоксичного ефекту водного розчину з різними концентраціями Cr на вищій рослині *Raphanussativus* показано у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

Фітотоксичний ефект водного розчину з різними концентраціями Cr на  
*Raphanussativus*

Концентрація	Корінь	Паросток
Cr 24 мг/кг	28 %	30 %
Cr 30 мг/кг	29 %	35 %
Cr 60 мг/кг	43 %	37 %

Кількість пророслих насінин у контролі дорівнює 25. Середнє значення довжини паростка – 67,33 мм, кореня – 82,13 мм.

У досліді з концентрацією 24 мг/кг виявлено 26 пророслих насінин. Середня довжина паростка – 47 мм, кореня – 59,5 мм. Довжина паростків у контролі відносно довжини паростків у досліді дорівнює 30 %. Довжина коренів у контролі відносно довжини коренів у досліді дорівнює 28 %. Отже, можемо вважати що концентрація хрому 24 мг/кг являється фітотоксичною відносно паростка та кореня.

У досліді з концентрацією 30 мг/кг виявлено 24 пророслих насінин. Середня довжина паростка – 43,84 мм, кореня – 58 мм. Довжина паростків у контролі відносно довжини паростків у досліді дорівнює 35 %. Довжина коренів у контролі відносно довжини коренів у досліді дорівнює 29 %. Отже, можемо вважати що концентрація хрому 30 мг/кг являється фітотоксичною відносно паростка та кореня.

У досліді з концентрацією 60 мг/кг виявлено 23 пророслих насінин. Середня довжина паростка – 42,11 мм, кореня – 46,92 мм. Довжина паростків у контролі відносно довжини паростків у досліді дорівнює 37 %. Довжина коренів у контролі відносно довжини коренів у досліді дорівнює 43 %. Отже, можемо вважати що концентрація хрому 30 мг/кг являється фітотоксичною відносно паростка та кореня.

Результат фітотоксичності водних розчинів з різними концентраціями хрому на рослині *Raphanussativus* можна побачити на рисунку 3.2.

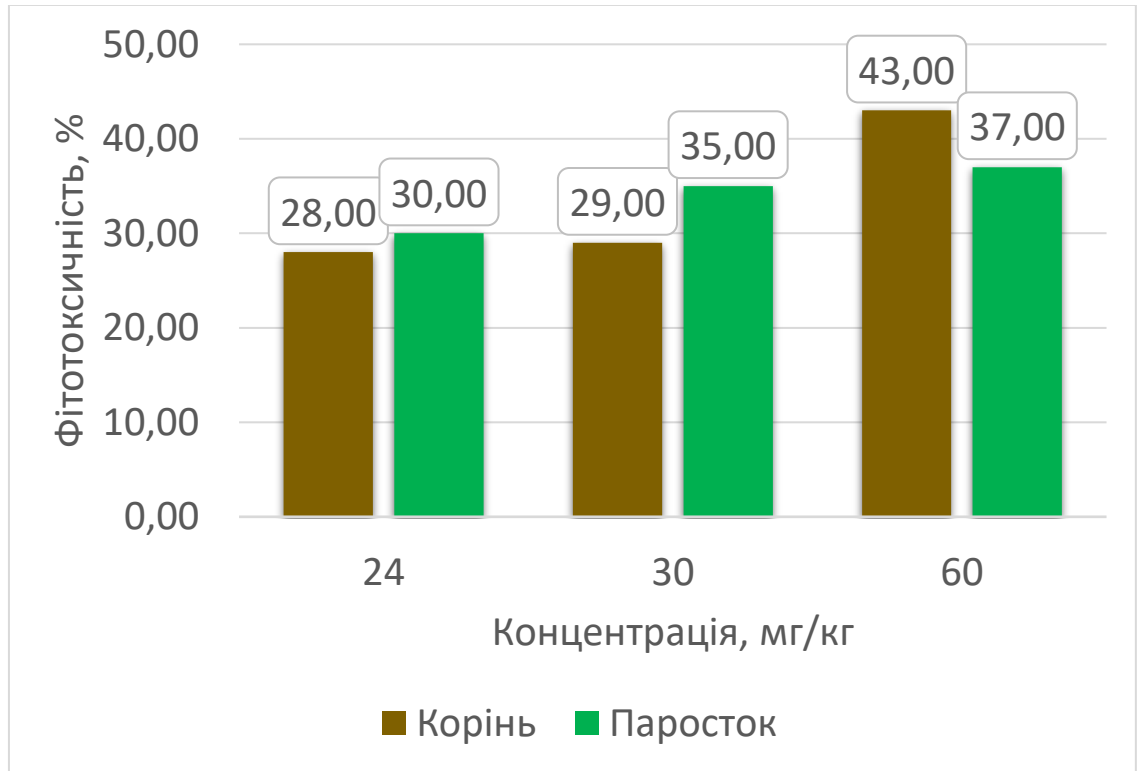


Рис. 3.2 – Фітотоксичний ефект водного розчину з різними концентраціями Cr на *Raphanussativus*

Отже, важкий метал хром виявляється фітотоксичним починаючи з концентрації 24 мг/кг, і при збільшенні концентрації, збільшується відсоток фітотоксичності. Фітотоксичність виявлена за довжиною і кореня, і паростка.

### 3.3 Вплив кадмію на тест-об'єкт *Avenasativa*

Був розрахований t-критерій Стьюдента для аналізу відмінностей між середніми величинами двох вибірок. Середні показники довжини паросків та коренів у контрольній групі порівнювалися з показниками у водних розчинах з

різними концентраціями кадмію. Загальна кількість пропрослих насінин – 25. Отже, число ступенів свободи складає 48. Критерій Стьюдента дорівнює 2,02 для рівня вірогідності 0,05.

Критерій Стьюдента для вибірок з контролем та дослідом (Cd 0,4 мг/кг): 1,64 для кореня та 0,82 для паростка (Таблиця 3.9). Це означає, що  $H_0$  гіпотеза приймається. Отже вибірки дослідної та контрольної груп не мають значимої різниці.

Таблиця 3.9

Значення критерію Стьюдента за довжиною коренів та паростків (Cd 0,4 мг/кг, *Avenasativa*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корінь	Паросток	Корінь	Паросток
Середнє значення	83,64	71,3	62,47	63,2
Станд. відхилення	29,7	19,79	57,08	45,54
Похибка станд. відхилення	5,94	3,96	11,42	9,11
Критерій Стьюдента			1,64	0,82

Критерій Стьюдента для вибірок з контролем та дослідом (Cd 0,5 мг/кг): 1,66 для кореня та 1,38 для паростка (Таблиця 3.10). Це означає, що  $H_0$  гіпотеза приймається. Отже вибірки дослідної та контрольної груп не мають значимої різниці.

Таблиця 3.10

Значення критерію Стьюдента за довжиною коренів та паростків (Cd 0,5 мг/кг, *Avena sativa*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корінь	Паросток	Корінь	Паросток
Середнє значення	83,64	71,3	64	59,12
Станд. відхилення	29,7	19,79	51,26	39,5
Похибка станд. відхилення	5,94	3,96	10,25	7,9
Критерій Стьюдента			1,66	1,38

Критерій Стьюдента для вибірок з контролем та дослідом (Cd 1мг/кг): 3,1 для кореня та 3,93 для паростка (Таблиця 3.11). Це означає, що  $H_0$ гіпотеза відклонената приймається інша алтернативна  $H_1$  гіпотеза. Отже є вибірки дослідної та контрольної груп мають значиму різницю.

Таблиця 3.11

Значення критерію Стьюдента за довжиною коренів та паростків (Cd 1 мг/кг, *Avena sativa*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корінь	Паросток	Корінь	Паросток
Середнє значення	83,64	71,3	54,42	42,31
Станд. відхилення	29,7	19,79	36,55	31,11
Похибка станд. відхилення	5,94	3,96	7,31	6,22
Критерій Стьюдента			3,1	3,93

Результат щодо фітотоксичного ефекту водного розчину з різними концентраціями Сд на вищій рослині *Avena sativa* показано у таблиці 3.12.

Таблиця 3.12

Фітотоксичний ефект водного розчину з різними концентраціями Сд на *Avena sativa*

Концентрація	Корінь	Паросток
Cd 0,4 мг/кг	25 %	11,36 %
Cd 0,5 мг/кг	23 %	17 %
Cd 1 мг/кг	35 %	41 %

Кількість пророслих насінин у контролі дорівнює 25. Середнє значення довжини паростка – 66,39 мм, кореня – 74,5 мм.

У досліді з концентрацією 0,4 мг/кг виявлено 25 пророслих насінин. Середня довжина паростка – 63,2 мм, кореня – 62,47 мм. Довжина паростків у контролі відносно довжини паростків у досліді дорівнює 11,36 %. Довжина коренів у контролі відносно довжини коренів у досліді дорівнює 25 %. Отже, можемо

вважати що концентрація кадмію 0,4 мг/кг являється фітотоксичною відносно кореня.

У досліді з концентрацією 0,4 мг/кг виявлено 23 пророслих насінин. Середня довжина паростка – 59,12 мм, кореня – 64 мм. Довжина паростків у контролі відносно довжини паростків у досліді дорівнює 17 %. Довжина коренів у контролі відносно довжини коренів у досліді дорівнює 23 %. Отже, можемо вважати що концентрація кадмію 0,5 мг/кг являється фітотоксичною відносно кореня.

У досліді з концентрацією 1 мг/кг виявлено 21 проросла насінина. Середня довжина паростка – 42,31 мм, кореня – 54,42 мм. Довжина паростків у контролі відносно довжини паростків у досліді дорівнює 41 %. Довжина коренів у контролі відносно довжини коренів у досліді дорівнює 35 %. Отже, можемо вважати що концентрація кадмію 1 мг/кг являється фітотоксичною відносно паростка та кореня.

Результати фітотоксичності водних розчинів з різними концентраціями кадмію на рослині *Avena sativa* зображені на рисунку 3.3

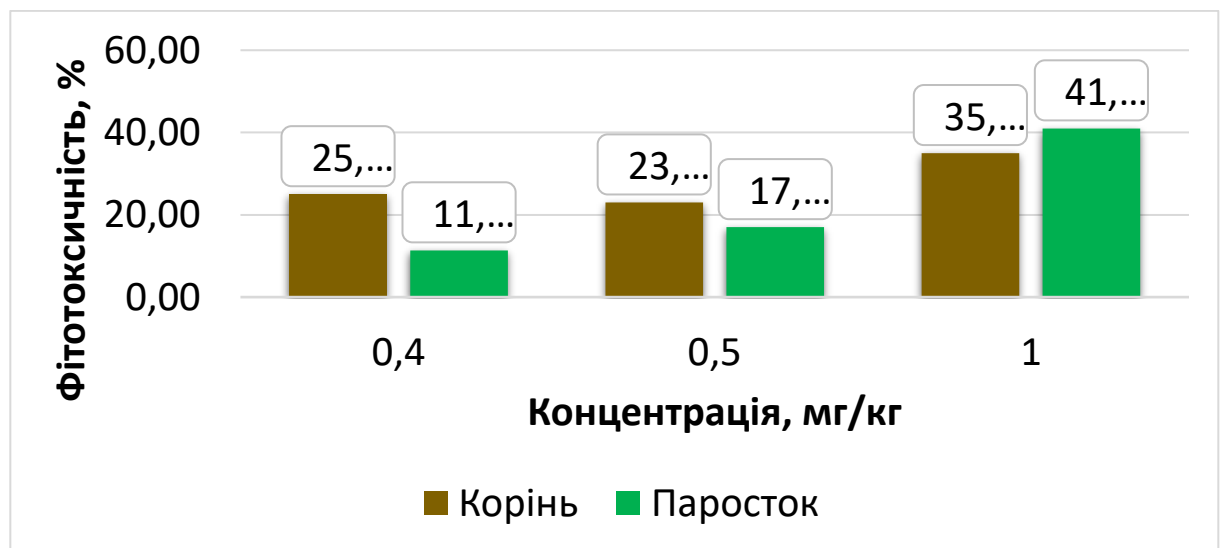


Рис. 3.3 – Фітотоксичний ефект водного розчину з різними концентраціями Cd на *Avenasativa*

Отже, важкий метал кадмій виявляється фітотоксичним починаючи з концентрації 0,4 мг/кг, і при збільшенні концентрації, збільшується відсоток фітотоксичності. Але фітотоксичність визначається тільки за коренем. Фітотоксичність виявлена за довжиною і кореня, і паростка при концентрації 1 мг/кг.

### 3.4 Вплив кадмію на тест-об'єкт *Raphanus sativus*

Був розрахований t-критерій Стьюдента для аналізу відмінностей між середніми величинами двох вибірок. Середні показники довжини паросків та коренів у контрольній групі порівнювалися з показниками у водних розчинах з різними концентраціями кадмію. Загальна кількість пропослих насінин – 25. Отже, число ступенів свободи складає 48. Критерій Стьюдента дорівнює 2,02 для рівня вірогідності 0,05.

Критерій Стьюдента для вибірок з контролем та дослідом (Cd 0,4 мг/кг): 1,52 для кореня та 0,63 для паростка (Таблиця 3.13). Це означає, що  $H_0$  гіпотеза приймається. Отже вибірки дослідної та контрольної груп не мають значимої різниці.

Таблиця 3.13

Значення критерію Стьюдента за довжиною коренів та паростків (Cd 0,4 мг/кг, *Raphanus sativus*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корінь	Паросток	Корінь	Паросток
Середнє значення	61,8	55,21	50,2	50,6
Станд. відхилення	26,72	24,28	27,34	27,48
Похибка станд. відхилення	5,34	4,86	5,47	5,5
Критерій Стьюдента			1,52	0,63

Критерій Стюдента для вибірок з контролем та дослідом (Cd 0,5 мг/кг): 1,69 для кореня та 0,85 для паростка (Таблиця 3.14). Це означає, що  $H_0$  гіпотеза приймається. Отже вибірки дослідної та контрольної груп не мають значимої різниці.

Таблиця 3.14

Значення критерію Стюдента за довжиною коренів та паростків (Cd 0,5 мг/кг, *Raphanussativus*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корінь	Паросток	Корінь	Паросток
Середнє значення	61,8	55,21	48,4	49
Станд. відхилення	26,72	24,28	29,34	27,56
Похибка станд. відхилення	5,34	4,86	5,87	5,51
Критерій Стюдента			1,69	0,85

Критерій Стюдента для вибірок з контролем та дослідом (Cd 1 мг/кг): 2,32 для кореня та 2,06 для паростка (Таблиця 3.15). Це означає, що  $H_0$  гіпотеза відкинута та приймається інша альтернативна  $H_1$  гіпотеза. Отже є вибірки дослідної та контрольної груп мають значиму різницю.

Таблиця 3.15

Значення критерію Стюдента за довжиною коренів та паростків (Cd 1 мг/кг, *Raphanussativus*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корінь	Паросток	Корінь	Паросток
Середнє значення	61,8	55,21	43,7	40,26
Станд. відхилення	26,72	24,28	28,53	27,08
Похибка станд. відхилення	5,34	4,86	5,71	5,42
Критерій Стюдента			2,32	2,06

Результат щодо фітотоксичного ефекту водного розчину з різними концентраціями Cd на вищій рослині *Raphanus sativus* показано у таблиці 3.16.

Таблиця 3.16

Фітотоксичний ефект водного розчину з різними концентраціями Cd на  
*Raphanus sativus*

Концентрація	Корінь	Паросток
Cd0,4 мг/кг	19 %	8,35 %
Cd0,5 мг/кг	22 %	11 %
Cd1 мг/кг	29 %	27 %

Кількість пророслих насінин у контролі дорівнює 25. Середнє значення довжини паростка – 55,21 мм, кореня – 61,80 мм.

У досліді з концентрацією 0,4 мг/кг виявлено 24 пророслих насінин. Середня довжина паростка – 50,6 мм, кореня – 50,2 мм. Довжина паростків у контролі відносно довжини паростків у досліді дорівнює 8,35 %. Довжина коренів у контролі відносно довжини коренів у досліді дорівнює 19 %. Отже, можемо вважати що концентрація кадмію 0,4 мг/кг являється фітотоксичною відносно кореня.

У досліді з концентрацією 0,5 мг/кг виявлено 24 пророслих насінин. Середня довжина паростка – 49 мм, кореня – 48,4 мм. Довжина паростків у контролі відносно довжини паростків у досліді дорівнює 11 %. Довжина коренів у контролі відносно довжини коренів у досліді дорівнює 22 %. Отже, можемо вважати що концентрація кадмію 0,5 мг/кг являється фітотоксичною відносно кореня.

У досліді з концентрацією 1 мг/кг виявлено 24 пророслих насінин. Середня довжина паростка – 40,26 мм, кореня – 43,7 мм. Довжина паростків у контролі відносно довжини паростків у досліді дорівнює 27 %. Довжина коренів у контролі відносно довжини коренів у досліді дорівнює 29 %. Отже, можемо вважати що концентрація кадмію 1 мг/кг являється фітотоксичною відносно паростка та кореня.

Результати фітотоксичності водних розчинів з різними концентраціями кадмію на рослині *Raphanussativus* зображені на рисунку 3.4

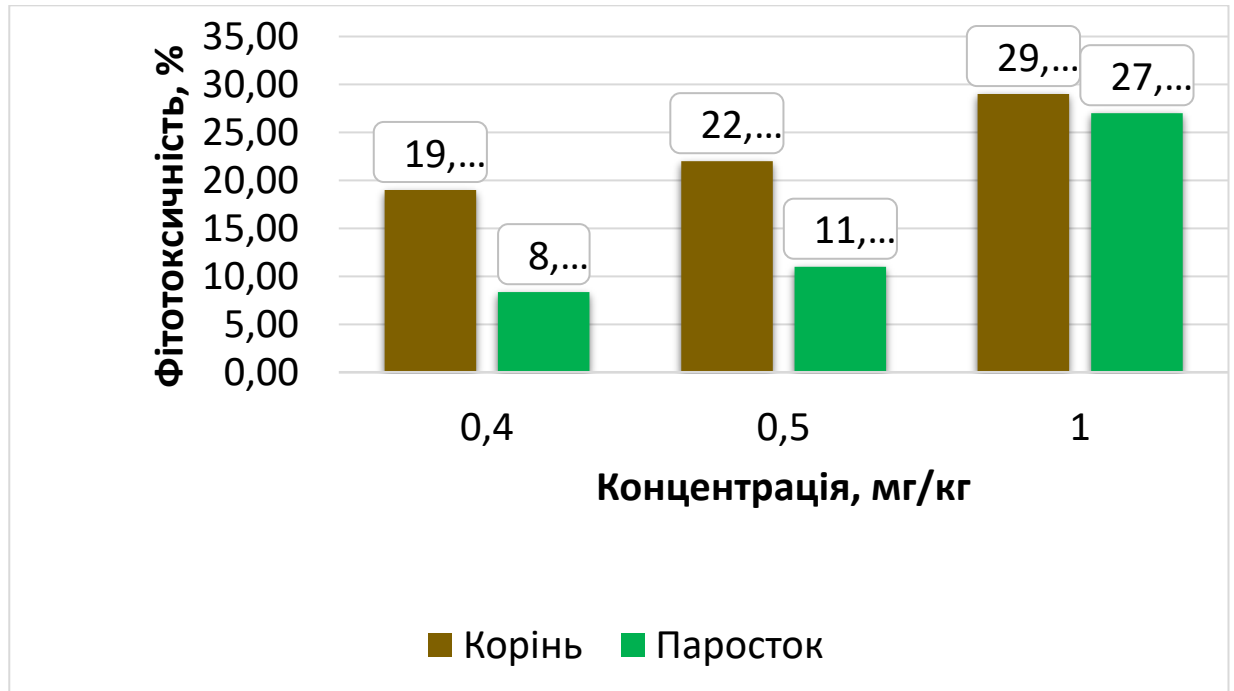


Рис 3.4 – Фітотоксичний ефект водного розчину з різними концентраціями Cd на *Raphanussativus*

Отже, важкий метал кадмій виявляється фітотоксичним починаючи з концентрації 0,4 мг/кг, і при збільшенні концентрації, збільшується відсоток фітотоксичності. Але фітотоксичність визначається тільки за коренем. Фіто-токсичність виявлена за довжиною і кореня, і паростка при концентрації 1 мг/кг.

Можна зробити наступні висновки. Важкий метал хром дуже пригнічує і кореневу систему і паростки рослин при надлишкових концентраціях. Важкий метал кадмій має більший токсичний вплив на кореневу систему рослин ніж на паростки при надлишкових концентраціях. Загалом коренева система рослин є менш стійкою до зміни концентрацій важких металів і пригнічується першою. Більш чутливим тест-об'єктом є рослина *Raphanussativus* ніж *Avenasativa*.

## РОЗДІЛ 4

### РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ Cr ТА Cd НА НАВКОЛИШНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Даний експеримент був поставлений на підставі сучасних методик, що допомогли виявити закономірності негативного впливу важких металів на ріст і розвиток рослин. У випадку даного експерименту досліджувалися такі важкі метали як хром та кадмій. Ці метали являються дуже небезпечними при надлишкових концентраціях. Вони мають перший та другий класи токсичності, що говорить про те, що при попаданні в живі організми та при накопичуванні вони можуть спричиняти різні важкі хвороби.

Щодо результатів дослідження, було виявлено що при надлишкових концентраціях важкі метали хром та кадмій мають великий вплив на кореневу систему рослин. Не зважаючи на то, що при збільшенні концентрації важких металів у 4, 5 та навіть 10 разів ніж гранично допустима концентрація паростки продовжували рости та не мали ознак жадних хвороб. Натомість коренева система рослин пригнічувала свій ріст, майже припиняла. Більшість насінин не мали жадних корінців, проте мали паростки. Тож можна припустити, що важкі метали найбільшою мірою пригнічують саме кореневу систему рослин.

Отже, головним завданням сучасності є недопустити забруднення навколишнього середовища важкими металами та запобігти потраплянню їх у довкілля у великих кількостях.

Задля цього треба приділяти багато уваги контролю стану навколишнього середовища. З періодичністю перевіряти стан ґрунтів, водних об'єктів, атмосферного повітря. Особливо на прилеглих територіях до, промисловостей що працюють з паливом. Постійний контроль за якістю довкілля надає змогу попередити можливий негативний вплив важких металів.

Досить важливим є вивчення дії важких металів при потраплянні у живі організми. Який вони мають вплив, як працюють на молекулярному рівні. Ці наукові знання нададуть змогу контролювати вплив важких металів. А також виявляти нові методи очищення навколишнього середовища та живих організмів від надлишку важких металів.

Ще одним важливим аспектом є правильне поводження з продуктами, що містять важкі метали. Наприклад, добрива що містять хром або кадмій треба використовувати у правильній пропорції, щоб не нашкодити рослинам. Підприємства, що використовують важкі метали або отримують їх в якості відходів в наслідок виробництва, повинні дотримуватися санітарних норм та в жодному разі не порушувати стандартів.

Отже, задля попередження негативного впливу важких металів на живі організми необхідно постійно проводити контроль якості навколишнього середовища, користатися науково-доказовою базою та слідкувати за дотриманням підприємствами санітарних норм та стандартів.

## ВИСНОВКИ

1. Можна сказати, що приділяється досить багато уваги до впливу важких металів на всі компоненти навколишнього середовища, а також в особливості на рослини. Більшою мірою вивчаються токсичні важкі метали, що швидко поглинаються та мають здатність накопичуватися. Але, мало досліджень виконуються за допомогою кількох тест-об'єктів та при різних умовах, що може призвести до недостовірних результатів. Метод біотестування широко використовується і вивчається.

2. В Україні є поширеним сучасний метод біотестування, який надає можливість вивчати стан навколишнього середовища за допомогою рослинних тест-об'єктів. У роботі використана одна з найпоширеніших запатентованих методик є «Методика визначення токсичності ґрунтів на вищих рослинах *Raphanussativus*». Одночасне використання біологічних і статистичних методів дає можливість отримати достовірні результати, і проводити більш змістовні дослідження.

3. Важкий метал хром дуже пригнічує і кореневу систему і паростки рослин при надлишкових концентраціях. Важкий метал кадмій має більший токсичний вплив на кореневу систему рослин ніж на паростки при надлишкових концентраціях. Загалом коренева система рослин є менш стійкою до зміни концентрацій важких металів і пригнічується першою. Більш чутливим тест-об'єктом є рослина *Raphanussativus* ніж *Avenasativa*.

4. Задля попередження негативного впливу важких металів на живі організми необхідно постійно проводити контроль якості навколишнього середовища, користатися науково-доказательною базою та слідкувати за дотриманням підприємствами санітарних норм та стандартів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гуральчук, Ж. З. Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії. Харків : К.: Логос, 2006. 208 с. (ISBN 966-581-754-X.)
2. Красовський С. А. Токсичний вплив важких металів на фізіологічні процеси рослин. Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи. 2021. С. 79–81.
3. Гончарук Е. А., Загоскина Н. В. Важкі метали: надходження, токсичність і захисні механізми рослин (на прикладі іонів кадмію). Вісник Харківського національного аграрного університету. 2017. Біологія, № 1. С. 35–49.
4. Asati A., Pichhode M., Nikhil K. Effect of Heavy Metals on Plants: An Overview. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM). 2016.
5. Heavymetalsintheenvironment / L. Wangetal. 2009. P. 516.
6. Heavymetalsandlivingsystems: Anoverview / R.Singhetal. 2011.
7. Шкірко О. С., Ласло. О. О. Біотестування еколого-токсикологічного стану природних поверхневих вод з використанням тест-об'єктів. Полтава, 2016. 288 с.
8. Джура Н. М. Можливості використання рослинних тест-систем для біомоніторингу нафтозабруднених ґрунтів. Львів, 2011. С. 183-196.
9. Довгалюк А. Забруднення довкілля токсичними металами та його індикація за допомогою рослинних тестових систем. 2013. С. 197-204 (Біологічні Студії / StudiaBiologica).
10. ДСТУ 17.4.1.02-83 «Охорона природи. Ґрунти. Класифікація забруднюючих речовин для контролю забруднення»
11. Гранично допустимі концентрації хімічних речовин у ґрунті (ГДК); Інші від 30.10.1980 № 2264-80 : веб-сайт. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v2264400-80#Text> (дата звернення 23.09.2022).

12. Гришко В. М., Лисенко О. І. Фітотоксичність хрому і нікелю на початковому етапі онтогенетичного розвитку кукурудзи. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. 2019. Серія «Біологія», № 33. С. 123–132.
13. Бессонова В. П., Івнченко О. Е. Хром у навколишньому середовищі. Питання біоіндикації та екології. 2011. Т. 16, № 1. С. 13–29.
14. Бессонова В., Іванченко О. Накопичення хрому в рослинах та його токсичність. Питання біоіндикації та екології. 2011. Т. 16, № 2. С. 35–52.
15. Дослідження впливу йонів кадмію на ріст рослин *Deschampsia antarctica* / О. М. Загречук та ін. Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка.
16. Кадмієвий стрес у рослин: токсичність та механізми стійкості / Т. В. Левенець та ін. Фізіологія рослин і генетика. 2022. Т. 54, № 4. С. 279–310.
17. Фарафонов Д. Д., Філімонов Д. І., Д'яконов В. І. Токсичність кадмію. Матеріали І-ї міжн. науков.-практичної інтернет-конф. студ. та молод. науковців, м. Луганський національний аграрний університет, 9 листоп. 2020 р. С. 121–122.
18. Крайнюкова А. М., Чистякова О. О., Шаніна О. С. Методика визначення токсичності ґрунтів на вищих рослинах *Raphanus sativus* L. Київ: УкрНДІЕП, 1997. 8 с.

# ДОДАТКИ

## Довжини коренів та паростків рослин контрольної групи, (мм)

Avenasativa			Raphanussativus		
№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки
1	155	127	1	99	87
2	176	154	2	96	52
3	106	102	3	78	77
4	150	145	4	57	58
5	140	113	5	81	88
6	137	129	6	67,5	56
7	56	70	7	77	80
8	42	66	8	56	68
9	27	57	9	48	79
10	170	99	10	72	42
11	19	72	11	88	51
12	38	64	12	72	52
13	47	55	13	78	55
14	66	79	14	67	46
15	31	37	15	83	81
16	23	19	16	71	69
17	15	22	17	92	90
18	8,8	20	18	59	62
19	12	23	19	78	54
20	33	54	20	66	43
21	11	21	21	49	51
22	27	37	22	47	48
23	22	15	23	60	56
24	16	0	24	55	60
25	34	0	25	34	41
			26	0	0
			27	0	0
			28	0	0

Довжини коренів та паростків *Avenasativa* дослідної групи з різними концентраціями Cr, (мм)

Cr 24 мг/кг			Cr 30 мг/кг			Cr 60 мг/кг		
№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки
1	102	81	1	100	79	1	82	72
2	97	82	2	145	76	2	77	84
3	93	77	3	92	78	3	99	88
4	76	30	4	98	55	4	91	89
5	64	93	5	48	90	5	86	40
6	55	61	6	82	88	6	61	58
7	81	50	7	80	10	7	66	46
8	72	32	8	75	40	8	78	76
9	81	57	9	93	36	9	65	88
10	96	66	10	155	90	10	32	76
11	72	45	11	26	70	11	47	27
12	43	23	12	70	55	12	81	40
13	80	59	13	55	60	13	51	23
14	64	43	14	15	30	14	44	23
15	70	62	15	53	72	15	25	10
16	55	54	16	23	16	16	0	0
17	67	59	17	33	10	17	0	0
18	53	49	18	14,5	13	18	0	0
19	27	15	19	0	0	19	0	0
20	33	19,5	20	0	0	20	0	0
21	13,7	0	21	0	0	21	0	0
22	0	0	22	0	0	22	0	0
23	0	0	23	0	0	23	0	0
24	0	0	24	0	0	24	0	0
25	0	0	25	0	0	25	0	0

Довжини коренів та паростків *Raphanussativus* дослідної групи з різними  
концентраціями Cr, (мм)

Cr 24 мг/кг			Cr 30 мг/кг			Cr 60 мг/кг		
№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки
1	104	89	1	78	76	1	60	43
2	99	72	2	11	13	2	49	41
3	67	61	3	35	22	3	92	49
4	82	52	4	34	33	4	85	65
5	85	67	5	94	38	5	94	43
6	91	90	6	88	50	6	49	64
7	57	56	7	66	43	7	77	65
8	48	38	8	42	40	8	46	51
9	27	30	9	76	65	9	56	45
10	79	50	10	143	116	10	36	42
11	42	40	11	89	44	11	29	25
12	78	65	12	57	49	12	126	56
13	65	54	13	91	50	13	62	57
14	81	65	14	72	67	14	33	54
15	85	66	15	66	47	15	100	52
16	62	41	16	28	47	16	41	48
17	66	44	17	42	79	17	37	37
18	49	37	18	95	55	18	50	46
19	28	16	19	83	50	19	45	59
20	83	86	20	38	40	20	80	43
21	42	34	21	96	51,5	21	167	35
22	85	81	22	72	48	22	67	50
23	53	28	23	83	59	23	30	12
24	26	12	24	45	45	24	0	21
25	41	23	25	0	0	25	49	18
26	41	19	26	0	0	26	0	0
27	0	0	27	0	0	27	0	0
28	0	0	28	0	0	28	0	0

Довжини коренів та паростків *Avenasativa* дослідної групи з різними  
концентраціями Cd, (мм)

Cd 0,4 мг/кг			Cd 0,5 мг/кг			Cr 1 мг/кг		
№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки
1	155	127	1	167	121	1	120	73
2	176	154	2	145	88	2	113	92
3	106	102	3	115	100	3	91	61
4	150	145	4	162	141	4	103	75
5	140	113	5	142	112	5	73	79
6	137	129	6	120	89	6	67	99
7	56	70	7	88	94	7	85	55
8	42	66	8	92	114	8	93	79
9	27	57	9	52	48	9	68	51
10	170	99	10	53	46	10	96	76
11	19	72	11	67	71	11	47	30
12	38	64	12	46	44	12	73	62
13	47	55	13	20	23	13	34	26
14	66	79	14	67	70	14	56	45
15	31	37	15	55	62	15	47	24
16	23	19	16	17	55	16	39,5	28
17	15	22	17	21	19	17	37	17
18	8,8	20	18	42	51	18	25	20
19	12	23	19	28	17	19	35	33
20	33	54	20	42	34	20	27	12
21	11	21	21	15	21	21	31	20,8
22	27	37	22	17	25	22	0	0
23	22	15	23	27	33	23	0	0
24	16	0	24	0	0	24	0	0
25	34	0	25	0	0	25	0	0

Довжини коренів та паростків *Raphanussativus* дослідної групи з різними концентраціями Cd, (мм)

Cd 0,4 мг/кг			Cd 0,5 мг/кг			Cr 1 мг/кг		
№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки
1	80	81	1	92	90	1	88	88
2	72	70	2	91	89	2	76	77
3	56	51	3	86	87	3	65	53
4	69,5	55	4	65	60	4	92	85
5	83	92	5	88	85	5	56	52
6	95	91	6	65	66	6	68	61
7	62	59	7	54	59	7	54	47
8	55	51	8	56	46	8	67	60
9	61	65	9	43	40	9	43	37
10	79	91	10	87	88	10	20	26
11	67	65	11	72	75	11	56	52
12	56	45	12	79	70	12	55	51
13	83	81	13	45	44	13	56	44,3
14	78	77	14	69	65	14	39	27
15	50	37	15	51	49	15	51	54
16	34	55	16	63	60	16	80	79
17	44	53	17	24	34	17	63	61
18	61	50	18	42	44	18	50	47
19	37	61	19	36,2	37	19	49	31
20	27	34	20	40	33	20	34	35
21	55	57	21	31	31	21	37	38
22	34	29	22	21	39	22	24,5	22
23	32	31	23	34	37	23	0	0
24	35	35,8	24	21	44	24	0	0
25	0	0	25	0	0	25	0	0
26	0	0	26	0	0	26	0	0
27	0	0	27	0	0	27	0	0
28	0	0	28	0	0	28	0	0