

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему

ВПЛИВ РІЗНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ Cu ТА Pb НА БІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТЕСТ-ОБ'ЄКТІВ

Виконав: студент 4 курсу, групи ДЕ - 41

спеціальності : 101 «Екологія»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Автор _____ / 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 _____ / Тетяна ВАУЛІНА

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____ / Раїса САВІЦЬКА

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Харків – 2021 рік

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

Навчально-науковий інститут екології
Кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) бакалавр
Спеціальність 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ / проф. Алла НЕКОС
підпис ім'я та прізвище

“ 14 ” травня 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

_____ Катерині БЕЗУГЛІЙ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи Вплив різних концентрацій Cu та Pb на біологічні показники тест-об'єктів

керівник роботи Іветта КРИВИЦЬКА, кандидат біологічних наук, доцент
(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “15” березня 2021 року №0210-05/467

2. Строк подання студентом роботи _____ 27 квітня 2021 р.

3. Перелік питань, які потрібно розробити

1. Огляд сучасних наукових літературних джерел щодо впливу важких металів на біологічні об'єкти.

2. Визначення методів дослідження впливу важких металів на біологічні показники тест об'єктів.
3. Систематизація матеріалів дослідження, будування 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 14 травня 2020 р.

Студент _____
підпис

Катерина БЕЗУГЛА
ім'я і прізвище

Керівник роботи _____
підпис

доц. Іветта КРИВИЦЬКА
посада, ім'я і прізвище

АНОТАЦІЯ

**ВПЛИВ РІЗНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ Cu ТА Pb НА БІОЛОГІЧНІ
ПОКАЗНИКИ ТЕСТ-ОБ'ЄКТІВ**

Катерина БЕЗУГЛА

Кваліфікаційна робота «Вплив різних концентрацій Cu та Pb на біологічні показники тест-об'єктів» містить 36 сторінки, 3 розділи, 17 таблиць, 4 рисунків, 4 формули.

Мета роботи: дослідження впливу різних концентрацій важких металів Cu та Pb на фітотоксичні властивості середовища за допомогою тест-об'єктів.

Актуальність теми. Наразі існує багато досліджень щодо токсичності важких металів, але недостатньо вивчено їх комплексна дія на рослини при різних умовах та за участі декількох тест-об'єктів.

Завдання дослідження передбачали порівняння показників фітотоксичності водних розчинів з різними концентраціями важких металів.

Методи. Біотестування, статистична обробка даних.

Результати. Важкий метал купрум при надлишкових концентраціях дуже пригнічує кореневу систему рослин, а також має токсичний вплив на паростки. Важкий метал свинець має високу здатність покращувати ріст та розвиток кореневої системи рослин, але при надлишкових концентраціях має токсичний вплив на паростки. Результати дослідження доказують необхідність використання декількох тест-об'єктів та змінних факторів у біотестуванні при поставленні експерименту.

ВАЖКІ МЕТАЛИ, ГДК, БІОТЕСТУВАННЯ, ФІТОТОКСИЧНІСТЬ,
СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ, КОНЦЕНТРАЦІЯ

ANNOTATION

INFLUENCE OF DIFFERENT CONCENTRATIONS OF CU AND PB ON BIOLOGICAL PARAMETERS OF TEST OBJECTS

Ekaterina BEZUGLAYA

Qualification work "The effect of different concentrations of Cu and Pb on the biological parameters of the test objects" contains 36 pages, 3 chapters, 17 tables, 4 figures, 4 formulas.

Purpose of work: to study the effect of different concentrations of heavy metals Cu and Pb on the phytotoxic properties of the environment with the help of test-objects.

Relevance of the topic. Now there are many studies on the toxicity of heavy metals, but not enough studied their complex effects on plants under different conditions and with the participation of several test-objects.

The aim of the study was to compare the indicators of phytotoxicity of water solutions with different concentrations of heavy metals.

Methods. Biotesting, statistical processing of data.

Results. The heavy metal copper in excess concentrations depresses the root system of plants and also has a toxic effect on sprouts. The heavy metal lead has a high ability to improve the growth and development of the root system of plants, but in excess concentrations has a toxic effect on sprouts. The results of the study prove the necessity of using several test objects and variables in biotesting when setting up the experiment.

HEAVY METALS, PDC, BIOTESTING, PHYTOTOXICITY, STATISTICAL
METHODS, CONCENTRATION

АННОТАЦИЯ

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ Pb И Cu НА
БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ**

Екатерина БЕЗУГЛАЯ

Квалификационная работа «Влияние различных концентраций Pb и Cu на биологические показатели тест-объектов» содержит 36 страницы, 3 главы, 17 таблиц, 4 рисунков, 4 формулы.

Цель работы: исследование влияния различных концентраций тяжелых металлов Cu и Pb на фитотоксичные свойства окружающей среды с помощью тест-объектов.

Актуальность темы. Сейчас существует много исследований по токсичности тяжелых металлов, но недостаточно изучено их комплексное воздействие на растения при различных условиях и при участии нескольких тест-объектов.

Задачи исследования предусматривали сравнения показателей фитотоксичности водных растворов с различными концентрациями тяжелых металлов.

Методы. Биотестирование, статистическая обработка данных.

Результаты. Тяжелый металл медь при избыточных концентрациях угнетает корневую систему растений, а также имеет токсическое влияние на ростки. Тяжелый металл свинец обладает высокой способностью улучшать рост и развитие корневой системы растений, но при избыточных концентрациях имеет токсическое воздействие на ростки. Результаты исследования доказывают необходимость использования нескольких тест-объектов и переменных факторов в биотестировании при постановке эксперимента.

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, ПДК, БИОТЕСТИРОВАНИЕ,
ФИТОТОКСИЧНОСТЬ, СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, КОНЦЕНТРАЦИЯ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1	
ОГЛЯД НАУКОВИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЩОДО ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ.....	10
1.1. Дослідження впливу Pb на біологічні об'єкти.....	12
1.2. Дослідження впливу Cu на біологічні об'єкти.....	13
РОЗДІЛ 2	
МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ Pb ТА Cu НА БІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТЕСТ-ОБ'ЄКТІВ.....	14
РОЗДІЛ 3	
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ Pb ТА Cu НА БІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТЕСТ- ОБ'ЄКТІВ.....	19
3.1. Вплив Pb на показники тест об'єкту <i>Avena sativa</i>	19
3.2. Вплив Pb на показники тест об'єкту <i>Raphanus sativus</i>	23
3.3. Вплив Cu на показники тест об'єкту <i>Avena sativa</i>	26
3.4. Вплив Cu на показники тест об'єкту <i>Raphanus sativus</i>	30
ВИСНОВКИ.....	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	37
ДОДАТКИ.....	41

ВСТУП

Важкі метали найбільшим чином впливають на компоненти навколишнього середовища (грунти, атмосферне повітря, водні об'єкти, рослини та живі організми). Деякі важкі метали, зокрема Cu та Pb мають високий рівень токсичності, тривалий період виведення та характерні до накопичення. Висока їх концентрація може негативно вплинути на розвиток рослин, знижуючи їх якість.

Актуальність дослідження: однією з найважливіших проблем сучасності є забруднення довкілля різними небезпечними та токсичними речовинами, у тому числі важкими металами, що є у складі викидів, скидів та відходів різних промислових підприємств, тваринницьких ферм, а також у мінеральних та, навіть, органічних добрив, якими користуються у сільському господарстві. Враховуючи здатність повільного виведення металів із організму, то їх довготривале надходження може призвести до незворотних наслідків. Наразі існує багато досліджень щодо токсичності важких металів, але недостатньо вивчено їх комплексна дія на рослини при різних умовах та за участі декількох тест-об'єктів.

Тема кваліфікаційної роботи: Вплив важких металів на біологічні показники тест-об'єктів.

Мета роботи: дослідити вплив різних концентрацій важких металів Cu та Pb на фітотоксичні властивості середовища за допомогою тест-об'єктів.

Завдання:

1. Зробити огляд сучасних наукових літературних джерел щодо впливу важких металів на біологічні об'єкти;
2. Розглянути стан вивчення питання щодо використання тест об'єктів в системі біомоніторингу;
3. Визначити та описати методи дослідження впливу важких металів на біологічні показники тест об'єктів;

4. Систематизувати матеріали досліджень, побудувати графіки порівняння результатів;

Об'єкт дослідження: тест об'єкти *Avena sativa* та *Raphanus sativus*.

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

Методи дослідження: біотестування, статистична обробка даних, аналіз, порівняння, узагальнення.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД НАУКОВИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЩОДО ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ

Фітотоксичність важких металів, їх накопичення у різних компонентах навколишнього середовища та вплив на них у різних концентраціях досить важливою та поширеною темою у сучасних науковців. Такі знання дають змогу поглиблено вивчати та розглядати проблеми вирощування сільськогосподарських культур та можливості покращення умов для їх подальшого розвитку.

Основними вітчизняними науковцями, які вивчають вплив важких металів на біологічні об'єкти є Ж. З. Гуральчук, А. Ф. Титов, В. В. Таланова, Н. М. Казнина, Е. А. Гончарук, Н. В. Загоскина [1], [2], [3], [4]. Їх праці є досить поширеними та загальновикористовуваними в якості основи для подальших досліджень у сфері вивчення фітотоксичності важких металів та їх вплив на біологічні об'єкти.

Одна із публікацій Ж. З. Гуральчук «Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії» [1]. У збірнику висвітлюються дані вітчизняних та зарубіжних авторів щодо джерел досліджень важких металів у довкіллі, їх вміст у ґрунті, а також механізм фітотоксичності та стійкості важких металів. Також підкреслюються останні досягнення вчених у очищенні ґрунту, забрудненого важкими металами, за допомогою рослин та у збільшенні фіторе mediaційного потенціалу важких металів.

Також є поширеними наукові праці А. Ф. Титова, В. В. Таланової, Н. М. Казніної «Фізіологічні основи стійкості рослин до важких металів» [2] та «Важкі метали та рослини» [3]. У цих працях зображено фізіологічні основи стійкості рослин до важких металів, розглянуто найважливіші питання, пов'язані з транспортуванням, накопиченням та перенакопиченням важких металів у рослинах, навколишньому середовищі та їх вплив на основні фізіологічні процеси рослин. Віднесено особливу увагу механізму стабілізації важких металів, що існують на різних рівнях організації.

Е. А. Гончарук, Н. В. Загоскина створили такий матеріал, як «Важкі метали: надходження, токсичність і захисні механізми рослин» [4]. У цій статті розглядається забруднення важкими металами навколишнього середовища. Надана інформація про поглинання важких металів у ґрунті та рослинах та їх вплив на різні фізіологічні процеси.

А також представлені зарубіжні праці. Наприклад, «Effects of Heavy metals on plants and resistance mechanisms», тобто «Вплив важких металів на рослини та механізми стійкості». Або наукове видання «Effect of Heavy Metals on Plant Growth: An Overview», авторами якого є Дієпіка Гоял, Арті Ядав, Мріналіні Прасад, Тег Бахадур Сінгх, Прекша Шривастав, Акбар Алі, Прем Кумар Данту, Сушма Мішра [5]. Уся робота присвячена вивченню впливу важких металів на рослини. Узагальнено походження, роль та вплив важких металів на рослини з подальшими механізмами захисту рослин для протидії стресу важких металів та методики відновлення для видалення забруднювачів важких металів.

Також широко вивчається використання рослинних тест-об'єктів для біотестування токсичності важких металів. Дослідження проводили такі науковці як Шірко О. С., Джура Н. М., Довгалюк А. [6], [7], [8]. У своїх працях вони широко розглянули доцільність використання рослин в якості тест-об'єктів.

Праця Шірко О. С. «Біотестування еколого-токсикологічного стану природних поверхневих вод з використанням тест-об'єктів» [6] висвітлює методи біотестування за допомогою рослин та їх ефективність. Автор Джура Н. М. у своїй статті «Можливості використання рослинних тест-систем для біомоніторингу нафтозабруднених ґрунтів» [7] проаналізувала проблеми техногенного забруднення ґрунту та перспективи їх моніторингу та очищення за допомогою біотестування. Також Довгалюк А. у публікації «Забруднення довкілля токсичними металами та його індикація за допомогою рослинних тестових систем» [8] охарактеризував стан ґрунтового покриву України та накопичення важких металів у ґрунті. Надав інформацію щодо переваг використання рослинних тест-об'єктів у біотестуванні.

Можна сказати, що при вивченні важких металів багато уваги приділяється шляхам їх надходження до рослинного організму та їх впливу на фізіологічні процеси, що відбувається. Наразі, багато уваги приділено таким важким металам як Рb та Сu. Але, нажаль, не вистачає досліджень з комплексною оцінкою впливу важких металів на рослини, тобто багатоскладових експериментів з декількома тест-об'єктами та металами.

1.1. Дослідження впливу Рb на біологічні об'єкти

Свинець вважається токсичним важким металом. Його акумуляція та надлишок може викликати серйозні проблеми в розвитку та життєдіяльності рослин. Плюмбум відноситься до першого класу небезпеки [9] та має гранично допустиму концентрацію 2,1 мг/кг [10].

Дослідженням впливу свинцю на біологічні об'єкти займалися такі науковці як: Безсонова В. П., Волошин І. М., Мезенцева І. В., Парняк Р. П., Васильцева Л. П., Макух Х. І. [11], [12], [13]. У їх працях просліджується зацікавленість важкими металами та їх фітотоксичністю.

Робота Бессонової В. П. «Вплив кадмію, свинцю та засолення на мітотичну активність клітин у корневих меристемах костриці червоної» [11] освітлює питання впливу свинцю на кореневу систему тест-об'єктів.

Науковці Волошин І. М. та Мезенцева І. В. дослідили яким чином накопичення свинцю у рослинному листі та у ґрунтах може впливати на довкілля та людину у своїй роботі «Вміст свинцю в ґрунтах і рослинах та його вплив на поширення нозокласів» [12].

У дослідженні «Шляхи надходження важких металів в довкілля та їх вплив на живі організми» [13] авторами якого є Парняк Р. П., Васильцева Л. П., Макух Х. детально розглянуті питання вмісту важких металів у тому числі і свинцю в компонентах довкілля та рослинності та їх акумуляції.

1.2. Дослідження впливу Cu на біологічні об'єкти

Купрум є важливим мікроелементом який приймає велику участь в розвитку рослин. Він приймає участь в процесі фотосинтезу рослин та регулює багато інших процесів, які є необхідними для нормальної життєдіяльності рослин. Але надлишок чи недостача може призвести до різних рослинних захворювань та фізіологічних змін. Купрум відноситься до другого класу небезпеки [9] та має гранично допустиму концентрацію 3 мг/кг [14].

Вивченням впливу міді на довкілля та різні структури рослин займалися таки науковці як: Рязанова М. Є., Власюк П. А., Вальков В. Ф., Колесников С. И., Казеев К. Ш. [15], [16], [17]. Цікавість до міді як до токсичного важкого металу знаходить відображення в працях даних науковців.

Робота «Мідь як важливий елемент для росту і розвитку рослин» Рязанової М. Є [15] окреслює важливість міді для росту і розвитку рослин, її участь в різних процесах, що відбуваються в рослинах. Піднімає питання щодо особливості накопичення та поглинання цього елемента.

Науковець Властюк П. А. написав велику монографію «Біологічні елементи в життєдіяльності рослин» [16]. У збірнику викладено багато інформації щодо різних важких металів, у тому числі и купрума. Описаний шлях поглинання рослинами важких металів та накопичення їх у різних частинах рослинного організму.

Дослідженням міді також займалися Вальков В. Ф., Колесников С. И., Казеев К. Ш. і у своїй роботі «Вплив забруднення важкими металами на фітотоксичність чорнозему» [17] вони висвітлили питання взаємодії міді та рослин, і подальші зміни в рослинах.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ Pb ТА Cu НА
БІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТЕСТ-ОБ'ЄКТІВ

Для визначення токсичності важких металів Pb та Cu було проведено дослідження 19 квітня 2019 року на базі Навчально-дослідної лабораторії еколого-токсикологічних досліджень, що є структурним підрозділом навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна [18].

Ціллю експерименту було виявлення закономірностей фітотоксичності обраних важких металів при збільшенні їх концентрації у водному розчині. Саме тому були обрані такі методи дослідження як: біотестування та статистична обробка даних.

Біотестування полягає у визначенні впливу різних факторів на обрані тест-об'єкти, що являються чутливими сенсорами до того чи іншого подразника. Такий метод був обраний за рядом переваг: достовірні результати, достатньо велика швидкість проведення експерименту, доступність тест-об'єктів, що використовуються у дослідженні, а також відносно невелика похибка, щодо інших методів [19]. Статистична обробка даних полягала у структуруванні та аналізі зібраних показників, а також перевірці на достовірність результатів поставленого експерименту.

В якості тест-об'єктів нами були обрані вищі рослини овес (*Avena sativa*) та редька (*Raphanus sativus*). Такий вибір обумовлений тим, що дані рослини являються досить чутливими до зміни різних факторів навколишнього середовища та мають швидкий рівень пророщування, що зменшую тривалість експерименту.

В якості факторів, що впливали на описані вище тест-об'єкти виступали різні концентрації важких металів Pb та Cu перевищуючих гранично допустимі концентрації в 12, 15, 30 та 4, 5, 10 разів відповідно. Вибір саме таких металів полягає у тому, що вони мають високий клас небезпечності (Pb – перший, Cu – другий) та являються доволі токсичними елементами та при надмірній акумуляції

можуть призвести до негативних наслідків, також у доступності їх у наведеній вище лабораторії та особистих переконань.

Під час проведення дослідження, було використано таке необхідне обладнання та матеріали як: насіння *Avena sativa* та *Raphanus sativus*, водний розчин з вмістом важких металів Pb та Cu, термостат, центрифуга, терези лабораторні, термометр, струшувач, чашки Петрі, колби мірні, циліндри мірні, піпетки, фільтрувальний папір.

У дослідженні була використана одна з найпоширеніших запатентованих методик «Методика визначення токсичності ґрунтів на вищих рослинах *Raphanus sativus*», [20] за допомогою якої можливо визначити вплив важких металів на біологічні показники тест об'єктів. 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.

Згідно з методикою [20] у дослідженні порівнювалися контроль – питна дехлорована вода та дослід – водні розчини з різними концентраціями купруму та плюмбуму. Було зроблено відповідні водні розчини з різними концентраціями курума та плюмбума. Було відібрано по 35 цілих, непошкоджених насінин. У чашки Петрі було покладено фільтрувальні папери та зволожено питною водою (контроль) та водними розчинами (дослід) з концентраціями плюмбуму 24 мг/кг, 30 мг/кг, 60 мг/кг та купруму 12 мг/кг, 15 мг/кг, 30 мг/кг, які перевищують гранично допустимі концентрації цих елементів у 12, 15, 30 та 4, 5, 10 разів відповідно. Дехлоровану питну воду та водні розчини було розлито по стаканам у кількості 10 см³ та у кожний стакан поміщено по 35 насінин. Отриману рідину з насінням ретельно перемішано та розташовано у термостат на 24 години при температурі 27 ± 2 °C. Далі насіння із зазначених склянок було рівномірно розкладено у чашки Петрі на фільтрувальний папір, зволожений питною водою та водними розчинами з різними концентраціями важких металів Pb та Cu. Надалі ємкості розташовано у термостат і витримано 72

години за температури 25 ± 2 °C. Після цього було виміряно довжину усіх паростків та коренів у мм.

Усі отримані результати було проаналізовано методом статистичної обробки даних. Були розраховані середні арифметичні значення довжини паростків та коренів обох вищих рослин, що були використані в якості тест-культур. Отримані показники необхідні для розрахунку різниці довжини паростків або коренів досліду та контролю. Різниця розраховується за наступною формулою (2.1):

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

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.

Токсичність водного розчину з різними концентраціями важких металів визначалася за перебільшенням показника A більше ніж у 20 %.

Для перевірки достовірності результатів був використаний t -критерій Стюдента, який потрібен для оцінки відмінностей середніх величин в двох вибірках. Було використано t -критерій Стюдента для вибірок, що розподілені по нормальному закону та зв'язаних між собою. Загальна формула (2.2), що використовується для розрахунку є такою:

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

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

X – середнє значення кореню (паростка) у досліді (мм);

Y – середнє значення кореню (паростка) у контролі (мм).

У наведеній вище формулі S_d розраховується наступним чином (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);

$\bar{x}$ – відповідне значення довжини кореню (паростка) у досліді (мм);

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

$\bar{y}$ – 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 за наступною формулою (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.

Щоб оцінити відмінність двох вибірок за допомогою t -критерію Ст'юдента потрібно взяти за основну гіпотезу H_0 , прийняття якої означає що значимих відмінностей вибірками, що досліджуються не знайдено. Якщо ж гіпотеза H_0 відхиляється, то на 0,5% рівні приймається альтернативна гіпотеза H_1 , що стверджує значиму різницю між вибірками контрольної групи та дослідної групи.

На наступному етапі необхідно обрати вірогідність помилки (Табличне значення t -критерію Ст'юдента) для рівня вірогідності $P=0,05$ і відповідного числа степенів свободи (Таблиця 2.1). Визначивши вірогідність помилки, а саме $t_{\text{кр}}$, потрібно порівняти її з кожним значенням $t_{\text{емп}}$ та відповідно до результату

порівняння зробити висновки. Якщо гіпотеза H_0 не підтвердиться то можна сказати, що з вірогідністю 5 % можна помилитися і виявлені відмінності при повторенню експерименту не проявляться.

Таблиця 2.1

Граничні значення t-критерію Стюдента (по Стюденту, 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, були використані достовірні та сучасні методи та методики дослідження впливу важких металів Pb та Cu на біологічні показники тест об'єктів.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ Cu ТА Pb НА БІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТЕСТ-ОБ'ЄКТІВ

Дослідження впливу важких металів Cu та Pb на біологічні показники тест проводилося за допомогою біотестування. У ході дослідження необхідним було вимірювання довжин паростків та коренів тест-об'єктів у досліді та у контролі.

Результати виміру проростків рослин овес (*Avena sativa*) та редька (*Raphanus sativus*), що знаходилися у контрольній групі показано у додатку 1.

Результати виміру коренів та паростків рослини *Avena sativa* дослідних груп з різними концентраціями Pb (24 мг/кг, 30 мг/кг, 60 мг/кг) показано у додатку 2. Також отримано результати виміру коренів та паростків рослини *Raphanus sativus* дослідних груп з різними концентраціями Pb (24 мг/кг, 30 мг/кг, 60 мг/кг), результати висвітлено у додатку 3.

Результати виміру коренів та паростків рослини *Avena sativa* дослідних груп з різними концентраціями Cu (12 мг/кг, 15 мг/кг, 30 мг/кг) показано у додатку 4. Також отримано результати виміру коренів та паростків рослини *Raphanus sativus* дослідних груп з різними концентраціями Cu (12 мг/кг, 15 мг/кг, 30 мг/кг), результати висвітлено у додатку 5.

3.1. Вплив Pb на показники тест об'єкту *Avena sativa*

Щоб проаналізувати відмінності середніх величин в двох вибірках було розраховано t-критерій Стюдента. Порівнювалися показники довжини коренів та паростків контрольної групи та дослідних груп з водним розчином з різними концентраціями плюмбума. Оскільки число загальна кількість пророслих насінин 25 штук, то число ступенів свободи дорівнює 48. Для рівня вірогідності 0,05 табличне значення критерію Стюдента дорівнює 2,02.

Показник критерію Стюдента для двох вибірок: контроль та дослід (Pb 24 мг/кг) дорівнює 0,44 по кореню та 2,91 по паростку (Таблиця 3.1). У такому випадку гіпотеза H_0 відклоняється і 0,5 % рівні приймається альтернативна гіпотеза H_1 , що стверджує значиму різницю між вибірками контрольної групи та дослідної групи. Хоча результати не є досить високими і перебільшені незначно.

Таблиця 3.1

Фактичне значення критерію Стюдента за довжиною коренів та паростків (Pb 24 мг/кг, *Avena sativa*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корень	Паросток	Корень	Паросток
Середнє значення	95,48	66,16	87,36	39,36
Станд. відхилення	49,50	29,70	78,71	35,22
Похибка станд. відхилення	9,90	5,94	15,74	7,04
Критерій Стюдента			0,44	2,91

Показник критерію Стюдента для двох вибірок: контроль та дослід (Pb 30 мг/кг) дорівнює 0,39 по кореню та 3,8 по паростку (Таблиця 3.2). У такому випадку гіпотеза H_0 відклоняється і 0,5 % рівні приймається альтернативна гіпотеза H_1 , що стверджує значиму різницю між вибірками контрольної групи та дослідної групи.

Таблиця 3.2

Фактичне значення критерію Стюдента за довжиною коренів та паростків (Pb 30 мг/кг, *Avena sativa*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корень	Паросток	Корень	Паросток
Середнє значення	95,48	66,16	86,88	32,76
Станд. відхилення	49,50	29,70	98,47	32,37
Похибка станд. відхилення	9,90	5,94	19,69	6,47
Критерій Стюдента			0,39	3,80

Показник критерію Стюдента для двох вибірок: контроль та дослід (Pb 60 мг/кг) дорівнює 0,66 по кореню та 3,79 по паростку (Таблиця 3.3). У такому випадку гіпотеза H_0 відклоняється і 0,5 % рівні приймається альтернативна гіпотеза H_1 , що стверджує значиму різницю між вибірками контрольної групи та дослідної групи.

Таблиця 3.3

Фактичне значення критерію Стюдента за довжиною коренів та паростків (Pb 60 мг/кг, Avena sativa)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корень	Паросток	Корень	Паросток
Середнє значення	95,48	66,16	82,72	32,12
Станд. відхилення	49,50	29,70	83,11	33,70
Похибка станд. відхилення	9,90	5,94	16,62	6,74
Критерій Стюдента			0,66	3,79

Результати визначення фітотоксичного ефекту водного розчину з різними концентраціями Pb на вищій рослині Avena sativa показано у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Фітотоксичний ефект водного розчину з різними концентраціями Pb на Avena sativa

Концентрація	Корінь	Паросток
Pb2+ 24 мг/кг	9%	41%
Pb2+ 30 мг/кг	9%	50%
Pb2+ 60 мг/кг	13%	51%

У контролі виявлено 25 пророслих насінин. Середнє значення довжини кореня дорівнює 95,48 мм, а паростка – 66,16 мм.

У пробі с концентрацією 24 мг/кг проросло 18 насінини. Середня довжина кореня – 87,36 мм, паростка – 39,36 мм. Довжина коренів у досліді відносно контролю дорівнює 9 %. Довжина паростків у досліді відносно контролю дорівнює

41%. Тож можна вважати, що концентрація плюмбума 24 мг/кг є фітотоксичною за довжиною паростка.

У пробі с концентрацією 30 мг/кг проросло 19 насінин. Середня довжина кореня – 86,88 мм, паростка – 32,76 мм. Довжина коренів у досліді відносно контролю дорівнює 9 %. Довжина паростків у досліді відносно контролю дорівнює 50%. Тож можна вважати, що концентрація плюмбума 30 мг/кг є фітотоксичною за довжиною паростка.

У пробі с концентрацією 60 мг/л проросло 20 насінин. Середня довжина кореня – 82,72 мм, паростка – 32,12 мм. Довжина коренів у досліді відносно контролю дорівнює 13 %. Довжина паростків у досліді відносно контролю дорівнює 51 %. Тож можна вважати, що концентрація плюмбума 30 мг/кг є фітотоксичною за довжиною паростка.

Розподіл результатів щодо фітотоксичності водного розчину з різними концентраціями Pb на *Raphanus sativus* можна розглянути на рисунку 3.1.

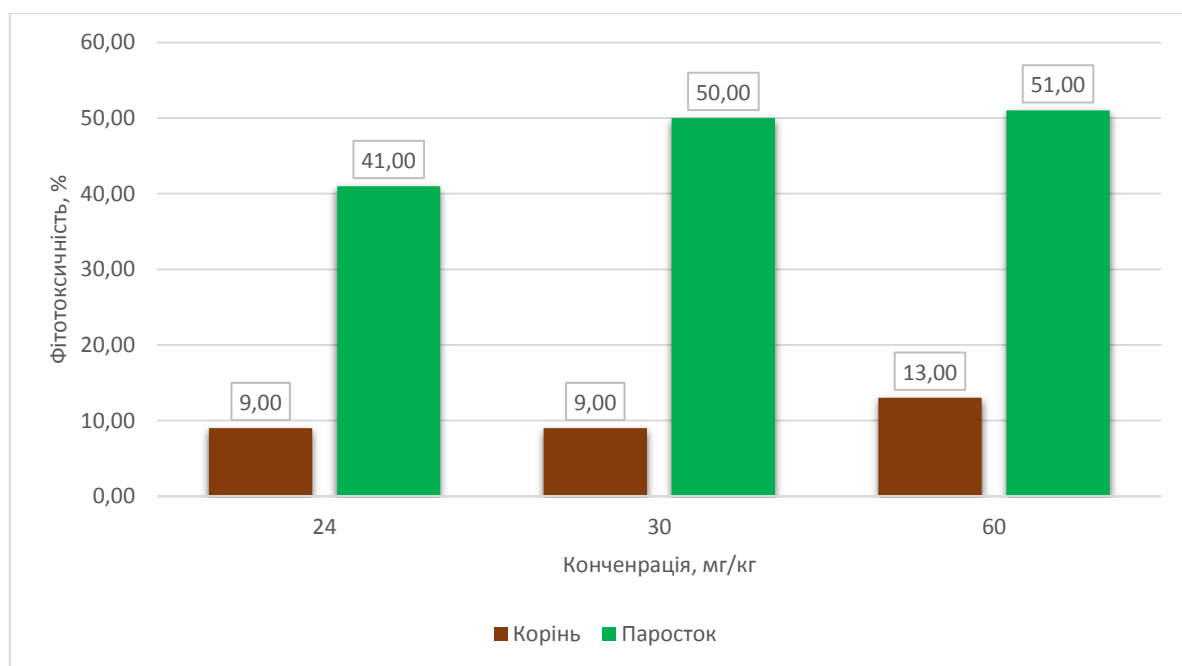


Рис. 3.1 – Фітотоксичний ефект водного розчину з різними концентраціями Pb на *Avena sativa*

Тож можна зробити висновок, що важкий метал плумбум є фітотоксичним при концентрації 24 мг/л, і при збільшенні концентрації до 30 мг/л та 60 мг/л він також є фітотоксичним, але лише за довжиною паростка.

3.2. Вплив Pb на показники тест об'єкту *Raphanus sativus*

Щоб проаналізувати відмінності середніх величин в двох вибірках було розраховано t-критерій Стюдента. Порівнювалися показники довжини коренів та паростків контрольної групи та дослідних груп з водним розчином з різними концентраціями плумбума. Оскільки число загальна кількість пророслих насінин 28 штук, то число ступенів свободи дорівнює 54. Для рівня вірогідності 0,05 табличне значення критерію Стюдента дорівнює 2,01.

Показник критерію Стюдента для двох вибірок: контроль та дослід (Pb 24 мг/кг) дорівнює 0,16 по кореню та 0,79 по паростку (Таблиця 3.5). У такому випадку гіпотеза H_0 приймається. Це означає, що значимих відмінностей вибірками, що досліджуються не знайдено.

Таблиця 3.5

Фактичне значення критерію Стюдента за довжиною коренів та паростків (Pb 24 мг/кг, *Raphanus sativus*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корень	Паросток	Корень	Паросток
Середнє значення	77,61	50,21	75,50	46,25
Станд. відхилення	34,90	19,40	54,19	16,00
Похибка станд. відхилення	6,98	3,88	10,84	3,20
Критерій Стюдента			0,16	0,79

Показник критерію Стюдента для двох вибірок: контроль та дослід (Pb 30 мг/кг) дорівнює 0,46 по кореню та 1,12 по паростку (Таблиця 3.6). У такому

випадку гіпотеза H_0 приймається. Це означає, що значимих відмінностей вибірками, що досліджуються не знайдено.

Таблиця 3.6

Фактичне значення критерію Стюдента за довжиною коренів та паростків (Pb 30 мг/кг, *Raphanus sativus*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корень	Паросток	Корень	Паросток
Середнє значення	77,61	50,21	72,50	44,46
Станд. відхилення	34,90	19,40	43,66	16,73
Похибка станд. відхилення	6,98	3,88	8,73	3,35
Критерій Стюдента			0,46	1,12

Показник критерію Стюдента для двох вибірок: контроль та дослід (Pb 60 мг/кг) дорівнює 2,11 по кореню та 1,85 по паростку (Таблиця 3.7). У такому випадку гіпотеза H_0 приймається. Це означає, що значимих відмінностей вибірками, що досліджуються не знайдено.

Таблиця 3.7

Фактичне значення критерію Стюдента за довжиною коренів та паростків (Pb 60 мг/кг, *Raphanus sativus*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корень	Паросток	Корень	Паросток
Середнє значення	77,61	50,21	55,71	40,04
Станд. відхилення	34,90	19,40	38,39	19,45
Похибка станд. відхилення	6,98	3,88	7,68	3,89
Критерій Стюдента			2,11	1,85

Результати визначення фітотоксичного ефекту водного розчину з різними концентраціями Pb на вищій рослині *Raphanus sativus* показано у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

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

Концентрація	Корінь	Паросток
Pb ²⁺ 24 мг/кг	3%	8%
Pb ²⁺ 30 мг/кг	7%	11%
Pb ²⁺ 60 мг/кг	28%	20%

У контролі виявлено 26 пророслих насінин. Середнє значення довжини кореня дорівнює 77,61 мм, а паростка – 50,21 мм.

У пробі с концентрацією 24 мг/кг проросло 27 насінини. Середня довжина кореня – 75,5 мм, паростка – 46,25 мм. Фітотоксичний ефект для кореня дорівнює 3 %. Довжина паростків у досліді відносно контролю дорівнює 8 %. Тож можна вважати, що концентрація плюмбума 24 мг/кг взагалі не є фітотоксичною.

У пробі с концентрацією 30 мг/кг проросло 26 насінин. Середня довжина кореня – 72,5 мм, паростка – 44,46 мм. Довжина коренів у досліді відносно контролю дорівнює 7 %. Довжина паростків у досліді відносно контролю дорівнює 11 %. Тож можна вважати, що концентрація плюмбума 30 мг/кг не є фітотоксичною.

Розподіл результатів щодо фітотоксичності водного розчину з різними концентраціями Pb на *Raphanus sativus* можна розглянути на рисунку 3.2.

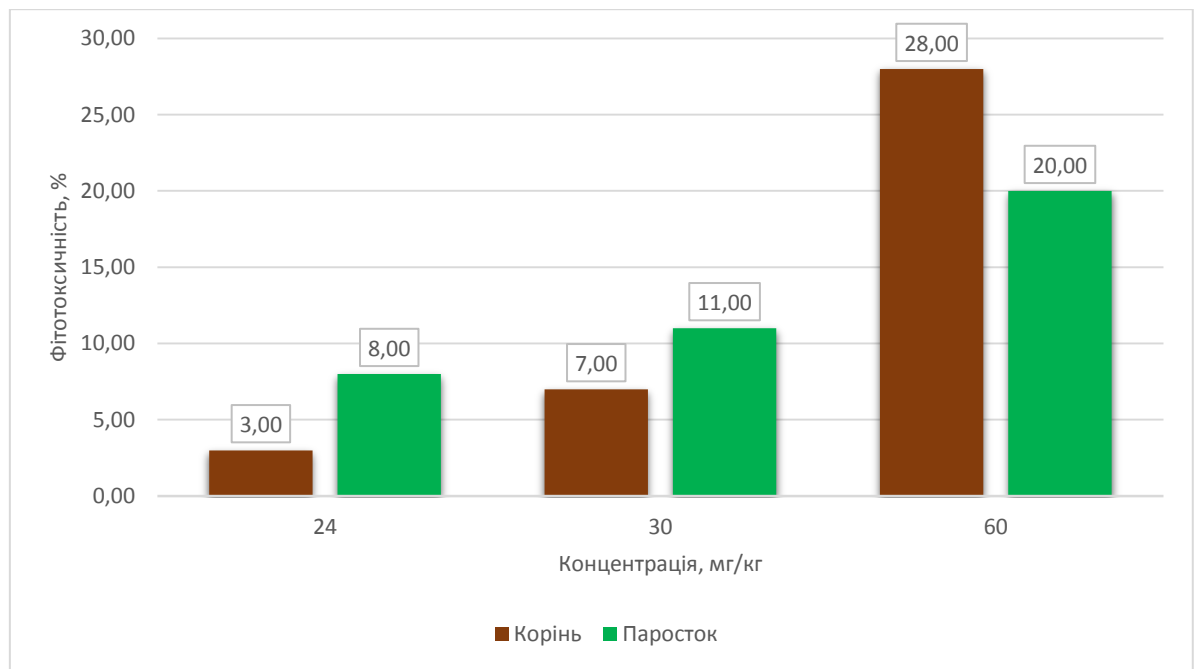


Рис. 3.2 – Фітотоксичний ефект водного розчину з різними концентраціями Pb на *Raphanus sativus*

Тож можна зробити висновок, що важкий метал плумбум не є фітотоксичним ні при концентрації 24 мг/кг, ні при 30 мг/кг. Але починає бути незначною мірою фітотоксичним при концентрації 60 мг/кг.

3.3. Вплив Cu на показники тест об'єкту *Avena sativa*

Щоб проаналізувати відмінності середніх величин в двох вибірках було розраховано t-критерій Стюдента. Порівнювалися показники довжини коренів та паростків контрольної групи та дослідних груп з водним розчином з різними концентраціями плумбума. Оскільки загальна кількість пророслих насінин 25 штук, то число ступенів свободи дорівнює 48. Для рівня вірогідності 0,05 табличне значення критерію Стюдента дорівнює 2,02.

Показник критерію Стюдента для двох вибірок: контроль та дослід (Cu 12 мг/кг) дорівнює 5,13 по кореню та 3,03 по паростку (Таблиця 3.9). У такому

випадку гіпотеза H_0 відклоняється і 0,5 % рівні приймається альтернативна гіпотеза H_1 , що стверджує значиму різницю між вибірками контрольної групи та дослідної групи. Хоча результати не є досить високими і перебільшені незначно.

Таблиця 3.9

Фактичне значення критерію Стюдента за довжиною коренів та паростків (Cu 12 мг/кг, *Avena sativa*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корень	Паросток	Корень	Паросток
Середнє значення	95,48	66,16	34,76	40,52
Станд. відхилення	49,50	29,70	32,54	30,10
Похибка станд. відхилення	9,90	5,94	6,51	6,02
Критерій Стюдента			5,13	3,03

Показник критерію Стюдента для двох вибірок: контроль та дослід (Cu 15 мг/кг) дорівнює 5,94 по кореню та 4,1 по паростку (Таблиця 3.10). У такому випадку гіпотеза H_0 відклоняється і 0,5 % рівні приймається альтернативна гіпотеза H_1 , що стверджує значиму різницю між вибірками контрольної групи та дослідної групи.

Таблиця 3.10

Фактичне значення критерію Стюдента за довжиною коренів та паростків (Cu 15 мг/кг, *Avena sativa*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корень	Паросток	Корень	Паросток
Середнє значення	95,48	66,16	29,72	31,40
Станд. відхилення	49,50	29,70	24,83	30,19
Похибка станд. відхилення	9,90	5,94	4,97	6,04
Критерій Стюдента			5,94	4,10

Показник критерію Стюдента для двох вибірок: контроль та дослід (Cu 30 мг/кг) дорівнює 6,6 по кореню та 4,12 по паростку (Таблиця 3.11). У такому випадку гіпотеза H_0 відклоняється і 0,5 % рівні приймається альтернативна

гіпотеза Н1, що стверджує значиму різність між вибірками контрольної групи та дослідної групи.

Таблиця 3.11

Фактичне значення критерію Стюдента за довжиною коренів та паростків (Cu 30 мг/кг, Avena sativa)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корень	Паросток	Корень	Паросток
Середнє значення	95,48	66,16	22,76	30,64
Станд. відхилення	49,50	29,70	24,11	31,25
Похибка станд. відхилення	9,90	5,94	4,82	6,25
Критерій Стюдента			6,60	4,12

Результати визначення фітотоксичного ефекту водного розчину з різними концентраціями Cu на вищій рослині *Avena sativa* показано у таблиці 3.12.

Таблиця 3.12

Фітотоксичний ефект водного розчину з різними концентраціями Cu на Avena sativa

Концентрація	Корінь	Паросток
Cu ²⁺ 12 мг/кг	64%	38,75%
Cu ²⁺ 15 мг/кг	69%	53%
Cu ²⁺ 30 мг/кг	76%	54%

У контролі виявлено 25 пророслих насінин. Середнє значення довжини кореня дорівнює 95,48 мм, а паростка – 66,16 мм.

У пробі с концентрацією 12 мг/кг проросло 25 насінин. Середня довжина кореня – 34,76 мм, паростка – 40,52 мм. Довжина коренів у досліді відносно контролю дорівнює 64 %. Довжина паростків у досліді відносно контролю дорівнює 38,75 %. Тож можна вважати, що концентрація купрума 12 мг/кг є фітотоксичною.

У пробі с концентрацією 15 мг/кг проросло 21 насінина. Середня довжина кореня – 29,72 мм, паростка – 31,4 мм. Довжина коренів у досліді відносно контролю дорівнює 69%. Довжина паростків у досліді відносно контролю дорівнює 53%. Тож можна вважати, що концентрація купрума 15 мг/кг має досить велику фітотоксичність.

У пробі с концентрацією 30 мг/кг проросло 21 насінина. Середня довжина кореня – 22,76 мм, паростка – 30,64 мм. Довжина коренів у досліді відносно контролю дорівнює 76 %. Довжина паростків у досліді відносно контролю дорівнює 54 %. Тож можна вважати, що концентрація купрума 30 мг/кг має досить велику фітотоксичність.

Розподіл результатів щодо фітотоксичності водного розчину з різними концентраціями Cu на *Avena sativa* можна розглянути на рисунку 3.3.

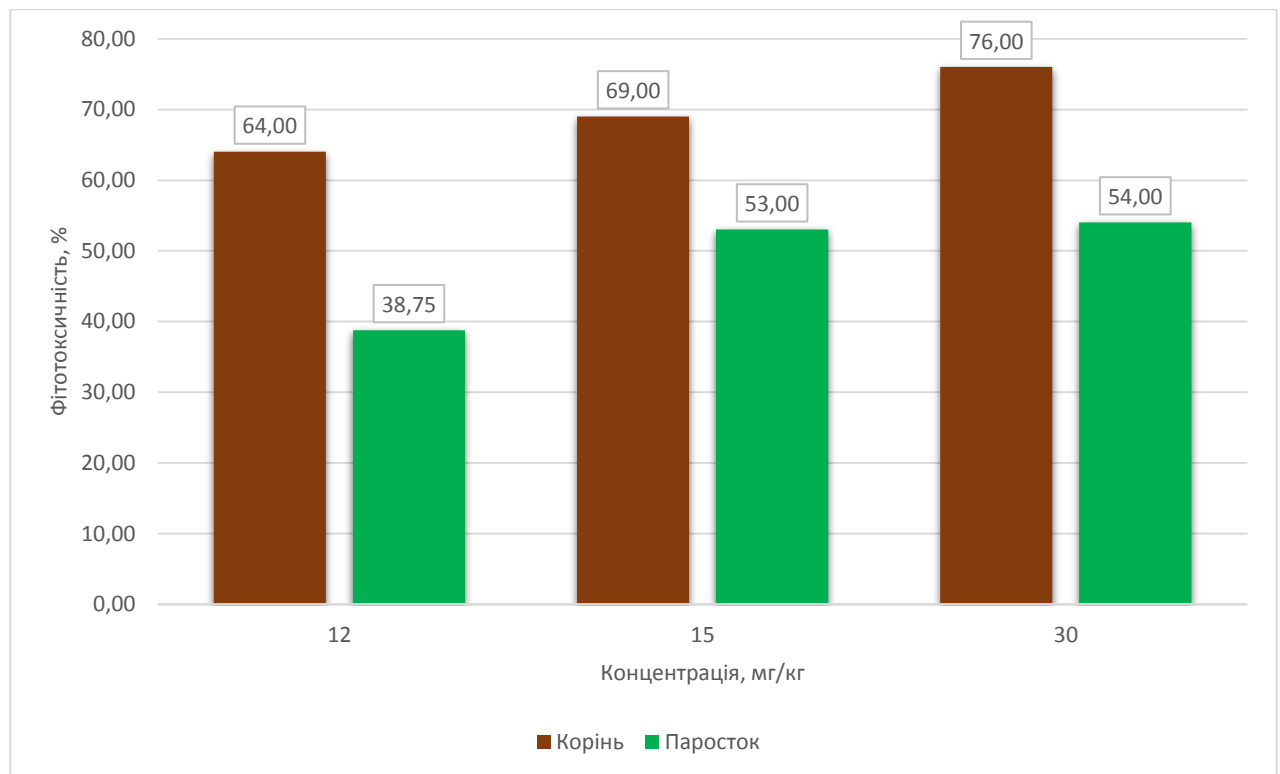


Рис. 3.3 – Фітотоксичний ефект водного розчину з різними концентраціями Cu на *Avena sativa*

Отже, можна зробити висновок, що важкий метал купрум починає бути фітотоксичним з концентрації 12 мг/кг, і при збільшенні концентрації до 15 мг/кг та 30 мг/кг він також є фітотоксичним. Також потрібно відмітити, що рівень токсичності є на досить великому рівні (від 40 % до 76 %).

3.4. Вплив Cu на показники тест об'єкту *Raphanus sativus*

Щоб проаналізувати відмінності середніх величин в двох вибірках було розраховано t-критерій Стюдента. Порівнювалися показники довжини коренів та паростків контрольної групи та дослідних груп з водним розчином з різними концентраціями плюмбума. Оскільки число загальна кількість пророслих насінин 28 штук, то число ступенів свободи дорівнює 54. Для рівня вірогідності 0,05 табличне значення критерію Стюдента дорівнює 2,01.

Показник критерію Стюдента для двох вибірок: контроль та дослід (Cu 12 мг/кг) дорівнює 4,2 по кореню та 2,2 по паростку (Таблиця 3.13). У такому випадку гіпотеза H_0 відхиляється і 0,5 % рівні приймається альтернативна гіпотеза H_1 , що стверджує значиму різницю між вибірками контрольної групи та дослідної групи. Хоча результати не є досить високими і перебільшені незначно.

Таблиця 3.13

Фактичне значення критерію Стюдента за довжиною коренів та паростків (Cu 12 мг/кг, *Raphanus sativus*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корень	Паросток	Корень	Паросток
Середнє значення	77,61	50,21	42,04	40,04
Станд. відхилення	34,90	19,40	27,11	12,67
Похибка станд. відхилення	6,98	3,88	5,42	2,53
Критерій Стюдента			4,02	2,20

Показник критерію Стюдента для двох вибірок: контроль та дослід (Cu 15 мг/кг) дорівнює 4,7 по кореню та 2,64 по паростку (Таблиця 3.14). У такому випадку гіпотеза H_0 відклоняється і 0,5 % рівні приймається альтернативна гіпотеза H_1 , що стверджує значиму різницю між вибірками контрольної групи та дослідної групи.

Таблиця 3.14

Фактичне значення критерію Стюдента за довжиною коренів та паростків (Cu 15 мг/кг, *Raphanus sativus*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корень	Паросток	Корень	Паросток
Середнє значення	77,61	50,21	37,64	36,29
Станд. відхилення	34,90	19,40	24,27	17,87
Похибка станд. відхилення	6,98	3,88	4,85	3,57
Критерій Стюдента			4,70	2,64

Показник критерію Стюдента для двох вибірок: контроль та дослід (Cu 30 мг/кг) дорівнює 6,97 по кореню та 3,77 по паростку (Таблиця 3.15). У такому випадку гіпотеза H_0 відклоняється і 0,5 % рівні приймається альтернативна гіпотеза H_1 , що стверджує значиму різницю між вибірками контрольної групи та дослідної групи.

Таблиця 3.15

Фактичне значення критерію Стюдента за довжиною коренів та паростків (Cu 30 мг/кг, *Raphanus sativus*)

Показник	Контроль		Дослід	
	Корень	Паросток	Корень	Паросток
Середнє значення	77,61	50,21	24,82	31,82
Станд. відхилення	34,90	19,40	14,67	14,81
Похибка станд. відхилення	6,98	3,88	2,93	2,96
Критерій Стюдента			6,97	3,77

Результати визначення фітотоксичного ефекту водного розчину з різними концентраціями Cu на вищій рослині *Raphanus sativus* показано у таблиці 3.16.

Таблиця 3.16

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

Концентрація	Корінь	Паросток
Cu ²⁺ 12 мг/кг	46%	20,27%
Cu ²⁺ 15 мг/кг	51%	28%
Cu ²⁺ 30 мг/кг	68%	37%

У контролі виявлено 26 пророслих насінин. Середнє значення довжини кореня дорівнює 77,61 мм, а паростка – 50,21 мм.

У пробі с концентрацією 12 мг/кг проросло 28 насінин. Середня довжина кореня – 42,04 мм, паростка – 40,04 мм. Довжина коренів у досліді відносно контролю дорівнює 46 %. Довжина паростків у досліді відносно контролю дорівнює 20,27 %. Тож можна вважати, що концентрація купрума 12 мг/кг є фітотоксичною за середньою довжиною кореня.

У пробі с концентрацією 15 мг/кг проросло 28 насінин. Середня довжина кореня – 37,64 мм, паростка – 36,29 мм. Довжина коренів у досліді відносно контролю дорівнює 51%. Довжина паростків у досліді відносно контролю дорівнює 28%. Тож можна вважати, що концентрація купрума 15 мг/кг є фітотоксичною.

У пробі с концентрацією 30 мг/кг проросло 26 насінини. Середня довжина кореня – 24,82 мм, паростка – 31,82 мм. Довжина коренів у досліді відносно контролю дорівнює 68 %. Довжина паростків у досліді відносно контролю дорівнює 37 %. Тож можна вважати, що концентрація купрума 30 мг/кг є найбільш фітотоксичною.

Розподіл результатів щодо фітотоксичності водного розчину з різними концентраціями Cu на *Raphanus sativus* можна розглянути на рисунку 3.4.

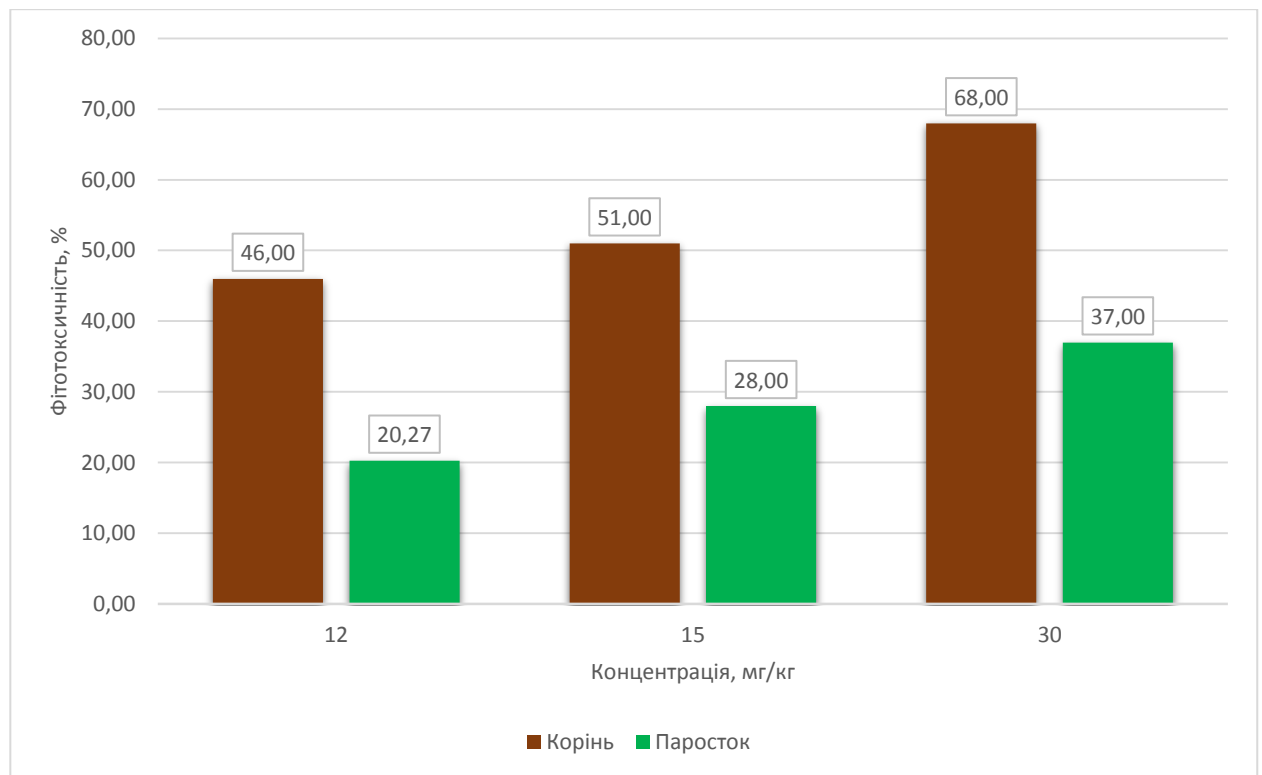


Рис 3.4 – Фітотоксичний ефект водного розчину з різними концентраціями Cu на *Raphanus sativus*

Тож можна зробити висновок, що важкий метал купрум починає бути фітотоксичним з концентрації 12 мг/кг (але фітотоксичність відмічена лише за коренем), і при збільшенні концентрації до 15 мг/л та 30 мг/кг він також є фітотоксичним.

Загалом можна дійти наступних висновків. Важкий метал купрум при надлишкових концентраціях дуже пригнічує кореневу систему рослин, а також має токсичний вплив на паростки. Важкий метал плумбум має високу здатність покращувати ріст та розвиток кореневої системи рослин, але при надлишкових концентраціях має токсичний вплив на паростки. Більш чутливими до зміни зовнішніх факторів є тест-об'єкт *Avena sativa*, у порівнянні з тим *Raphanus sativus* є менш чутливий.

Результати дослідження доказують необхідність використання декількох тест-об'єктів та змінних факторів у біотестуванні при поставленні експерименту.

Отже, можна використовувати такий тест для визначення приблизного вмісту купрума та плюмбума у навколишньому середовища для оцінки компонентів довкілля.

ВИСНОВКИ

1. Можна сказати, що при вивченні важких металів багато уваги приділяється шляхам їх надходження до рослинного організму та їх впливу на фізіологічні процеси, що відбувається. Наразі, багато уваги приділено таким важким металам як Pb та Cu. Основними вітчизняними науковцями, які вивчають вплив важких металів на біологічні об'єкти є Ж. З. Гуральчук, А. Ф. Титов, В. В. Таланова, Н. М. Казнина, Е. А. Гончарук, Н. В. Загоскина. А також представлені зарубіжні праці. Але, нажаль, не вистачає досліджень з комплексною оцінкою впливу важких металів на рослини, тобто багатоскладових експериментів з декількома тест-об'єктами та металами.

2. Сучасні методи, засновані на рослинних тест-системах, надають можливості для екологічної оцінки токсичності компонентів навколишнього середовища в різних регіонах України. У роботі використана одна з найпоширеніших запатентованих методик є «Методика визначення токсичності ґрунтів на вищих рослинах *Raphanus sativus*», за допомогою якої можливо визначити вплив важких металів на біологічні показники тест об'єктів. Комбіноване використання статистичних та біологічних методів забезпечить високу достовірність отриманих результатів у дослідженні.

3. Важкий метал купрум при надлишкових концентраціях дуже пригнічує кореневу систему рослин, а також має токсичний вплив на паростки. Важкий метал плумбум має високу здатність покращувати ріст та розвиток кореневої системи рослин, але при надлишкових концентраціях має токсичний вплив на паростки. Більш чутливими до зміни зовнішніх факторів є тест-об'єкт *Avena sativa* аніж *Raphanus sativus*. Результати дослідження доказують необхідність використання декількох тест-об'єктів та змінних факторів у біотестуванні при поставленні експерименту. Можна використовувати тест для

визначення приблизного вмісту купрума та плюмбума у навколишньому середовищі для оцінки компонентів довкілля.

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. Титов А. Ф., Казнина Н. М., Таланова. В. В Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам : учебное пособие. Петрозаводск : Институт биологии КарНЦ РАН, 2011. 77 с. (ISBN 978-5-9274-0491-9).
3. Титов А. Ф., Казнина Н. М., Таланова. В. В. Тяжелые металлы и растения. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2014. 194 с. (ISBN 978-5-9274-0641-8).
4. Гончарук Е. А. Загоскина Н. В. Тяжелые металлы: поступление, токсичность и защитные механизмы растений (на примере ионов кадмия). 2017. (ISSN 1992-4917; 1).
5. Deepika G. Effect of Heavy Metals on Plant Growth: An Overview / Goyal Deepika. Agra, India : Department of Botany Dayalbagh Educational Institute (Deemed University), 2020.
6. Шкірко О. С., Ласло. О. О. Біотестування еколого-токсикологічного стану природних поверхневих вод з використанням тест-об'єктів. Полтава, 2016. 288 с.
7. Джура Н. М. Можливості використання рослинних тест-систем для біомоніторингу нафтозабруднених ґрунтів. Львів, 2011. С. 183 – 196. (ISSN 1996-4536).
8. Довгалюк А. Забруднення довкілля токсичними металами та його індикація за допомогою рослинних тестових систем. 2013. С. 197 – 204 (Біологічні Студії / Studia Biologica). (ISSN 1996-4536)
9. ДСТУ 17.4.1.02-83 «Охорона природи. Ґрунти. Класифікація забруднюючих речовин для контролю забруднення»

10. Гранично допустимі концентрації хімічних речовин у ґрунті (ГДК) Органи влади СРСР ; Інші від 30.10.1980 № 2264-80 : веб-сайт. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v2264400-80#Text> (дата звернення 05.03.2021).
11. Бессонова В. П., Самарська О. В. Вплив кадмію, свинцю та засолення на мітотичну активність клітин у кореневих мери-стемах костриці червоної. Физиология и биохимия культур. растений. 2005. 37, № 6. С. 530-535.
12. Волошин І., Мезенцева І. Вміст свинцю в ґрунтах і рослинах та його вплив на поширення нозокласів. Вісник Львівського університету. Серія географічна. 2009. Вип. 37. - С. 120-128.
13. Параняк, Р. П., Васильцева Л. П., Макух І. Х. Шляхи надходження важких металів в довкілля та їх вплив на живі організми. Біологія тварин. 2007. Т. 9, № 1-2. С. 83-89.
14. Гранично допустимі концентрації хімічних речовин в ґрунті (ГДК) Органи влади СРСР ; Інші від 01.02.1985 № 3210-85 : веб-сайт. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/v3210400-85> (дата звернення 05.03.2021).
15. Рязанова, М. Є. Мідь як важливий елемент для росту і розвитку рослин. Науковий вісник Ужгородського університету. 2013. № 35. С. 25-29.
16. Властюк, П. А. Биологические элементы в жизнедеятельности растений. Киев : Наукова думка, 1969. 516 с.
17. Вальков, В. Ф., Колесников С. И., Казеев К. Ш. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на фитотоксичность чернозема. Агрохимия. 1997. № 6. С. 50 - 55.
18. Положення про навчально-дослідну лабораторію еколого-токсикологічних досліджень. Харків, 2016 : веб-сайт. URL : http://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2019/09/04_regulations-on-ecotox-lab.pdf. (дата звернення 05.04.2021).
19. Лановенко О. Г., Остапішина. О. О. Біотестування. Словник-довідник з екології : навч.-метод. посіб. : ПП Вишемирський В. С., 2013. С. 27.

20. Крайнюкова А. М., Чистякова О. О., Шаніна О. С. Методика визначення токсичності ґрунтів на вищих рослинах *Raphanussativus* L. Київ: УкрНДІЕП, 1997. 8 с.

ДОДАТКИ

Довжини коренів та паростків рослин контрольної групи, (мм)

Avena sativa			Raphanus sativus		
№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки
1	110	78	1	112	70
2	7	18	2	96	52
3	99	85	3	78	67
4	91	57	4	107	58
5	147	98	5	99	54
6	86	96	6	83	56
7	140	85	7	121	55
8	66	50	8	56	68
9	55	41	9	48	79
10	112	79	10	86	42
11	4	0	11	88	51
12	111	52	12	132	52
13	155	83	13	109	55
14	0	16	14	93	46
15	103	72	15	83	63
16	98	81	16	80	50
17	23	105	17	101	78
18	121	55	18	110	62
19	120	94	19	102	54
20	135	86	20	74	43
21	36	9	21	65	51
22	152	72	22	47	48
23	114	61	23	60	56
24	134	90	24	92	47
25	168	91	25	49	41
			26	2	8
			27	0	0
			28	0	0

Довжини коренів та паростків *Avena sativa* дослідної групи з різними
концентраціями Pb, (мм)

Pb ²⁺ 24 мг/л			Pb ²⁺ 30 мг/л			Pb ²⁺ 60 мг/л		
№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки
1	139	68	1	170	44	1	158	66
2	130	51	2	240	76	2	151	84
3	120	56	3	216	78	3	140	88
4	76	30	4	252	28	4	106	77
5	190	93	5	48	90	5	202	40
6	109	61	6	195	88	6	257	58
7	81	10	7	109	10	7	32	46
8	125	50	8	198	40	8	117	66
9	211	84	9	310	36	9	40	88
10	96	66	10	155	30	10	105	76
11	200	80	11	26	70	11	93	25
12	187	82	12	70	13	12	46	40
13	80	30	13	55	60	13	133	23
14	64	43	14	0	30	14	80	11
15	227	95	15	54	87	15	291	10
16	149	77	16	23	16	16	0	5
17	0	5	17	33	10	17	27	0
18	0	3	18	6	13	18	57	0
19	0	0	19	5	0	19	16	0
20	0	0	20	2	0	20	17	0
21	0	0	21	5	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 *Raphanus sativus* дослідної групи з різними концентраціями Pb, (мм)

Pb ²⁺ 24 мг/л			Pb ²⁺ 30 мг/л			Pb ²⁺ 60 мг/л		
№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки
1	188	60	1	78	41	1	60	43
2	145	75	2	11	39	2	49	41
3	67	61	3	35	22	3	92	49
4	128	52	4	34	33	4	85	65
5	85	54	5	94	38	5	94	43
6	96	51	6	138	50	6	49	64
7	57	56	7	66	43	7	77	65
8	48	38	8	42	57	8	46	51
9	27	39	9	76	65	9	56	45
10	79	50	10	143	38	10	36	42
11	42	55	11	89	44	11	29	25
12	78	36	12	57	49	12	126	56
13	218	68	13	139	50	13	62	57
14	81	65	14	118	67	14	33	54
15	106	66	15	151	47	15	100	52
16	173	41	16	28	47	16	41	48
17	66	44	17	42	79	17	37	37
18	49	53	18	95	55	18	50	46
19	10	42	19	125	50	19	45	59
20	83	50	20	35	40	20	80	43
21	42	55	21	96	51	21	167	35
22	85	40	22	72	48	22	67	50
23	53	28	23	83	60	23	30	12
24	26	32	24	45	45	24	0	21
25	41	23	25	95	42	25	49	18
26	41	31	26	43	45	26	0	0
27	0	30	27	0	0	27	0	0
28	0	0	28	0	0	28	0	0

Довжини коренів та паростків *Avena sativa* дослідної групи з різними
концентраціями Cu, (мм)

Cu ²⁺ 12 мг/л			Cu ²⁺ 15 мг/л			Cu ²⁺ 30 мг/л		
№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки
1	70	72	1	55	76	1	37	73
	62	62	2	40	60	2	13	57
3	64	85	3	73	86	3	78	61
4	150	68	4	59	98	4	37	68
5	53	36	5	75	62	5	19	79
6	55	77	6	63	49	6	10	80
7	19	70	7	57	34	7	36	55
8	42	66	8	48	70	8	17	79
9	24	57	9	52	48	9	23	51
10	34	71	10	32	46	10	95	59
11	19	72	11	6	39	11	47	22
12	38	64	12	46	27	12	41	15
13	47	55	13	17	20	13	28	26
14	66	46	14	8	12	14	17	20
15	31	37	15	15	5	15	16	13
16	23	19	16	17	6	16	22	6
17	15	6	17	21	12	17	0	2
18	10	20	18	11	10	18	3	0
19	12	23	19	28	17	19	24	0
20	6	5	20	8	5	20	3	0
21	11	0	21	12	3	21	3	0
22	3	2	22	0	0	22	0	0
23	8	0	23	0	0	23	0	0
24	2	0	24	0	0	24	0	0
25	5	0	25	0	0	25	0	0

Довжини коренів та паростків *Raphanus sativus* дослідної групи з різними концентраціями Cu, (мм)

Cu ²⁺ 12 мг/л			Cu ²⁺ 15 мг/л			Cu ²⁺ 30 мг/л		
№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки	№	Корені	Паростки
1	80	54	1	26	47	1	30	43
2	66	47	2	30	59	2	35	50
3	56	51	3	42	40	3	27	53
4	70	55	4	65	44	4	46	38
5	46	36	5	88	47	5	27	45
6	95	67	6	48	43	6	22	35
7	62	44	7	40	59	7	32	47
8	37	33	8	12	46	8	17	38
9	55	49	9	43	40	9	43	37
10	79	34	10	105	35	10	20	26
11	25	44	11	45	41	11	56	44
12	26	45	12	83	29	12	33	51
13	83	37	13	45	70	13	56	44
14	23	35	14	10	50	14	39	27
15	50	37	15	51	25	15	15	3
16	22	55	16	11	41	16	11	26
17	44	41	17	23	34	17	26	40
18	61	50	18	43	50	18	16	32
19	37	61	19	36	32	19	32	31
20	10	34	20	40	33	20	14	30
21	55	35	21	31	31	21	13	38
22	34	10	22	21	39	22	14	22
23	26	21	23	6	37	23	28	32
24	35	35	24	21	44	24	17	26
25	0	25	25	22	0	25	22	26
26	0	28	26	5	0	26	4	7
27	0	31	27	32	0	27	0	0
28	0	27	28	30	0	28	0	0