

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет лісового господарства та екології
Кафедра екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Горобець Богдан Сергійович

УДК 504.73

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
БІОТЕСТУВАННЯ ҐРУНТІВ ТЕХНОГЕННИХ ЗОН МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ
З ВИКОРИСТАННЯМ РОСЛИННИХ ОРГАНІЗМІВ

101 Екологія

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавра
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело

Б.С. Горобець
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Никитюк Юрій Андрійович
доктор економічних наук, професор

Житомир - 2024

АННОТАЦІЯ

Горобець Б.С. Біотестування ґрунтів техногенних зон міських територій з використанням рослинних організмів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 101 – екологія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

Зміст анотації: Кваліфікаційна робота містить 33 сторінки, 6 таблиць, 4 рисунків. Список використаних джерел налічує 40 позицій.

Об'єктом дослідження є фітотоксичність ґрунту.

Мета дослідження полягала в оцінці методів біотестування токсичності ґрунтового покриву техногенних зон міста з різним за інтенсивністю автотранспортним і промисловим впливом, за допомогою рослинних тест-систем (на прикладі м. Житомира), а також у визначенні найбільш чутливої тест-системи до вмісту важких металів у ґрунті досліджуваних пунктів.

В Розділі 1 наведено аналітичний огляд літератури за темою кваліфікаційної роботи; в Розділі 2 – програма, методика та характеристика предмету дослідження; в Розділі 3 – представлені результати експериментальних досліджень.

Ключові слова: біотестування, тест-системи, фітотоксичність, важкі метали, ґрунти, урбоекосистеми.

SUMMARY

Gorobets B.S. Biotesting of soils of technogenic zones of urban areas using plant organisms. - Qualification work for the bachelor's degree in specialty 101 - Ecology. - Polissya National University, Zhytomyr, 2024.

Content of the abstract: The qualification work contains 33 pages, 6 tables, 4 figures. The list of references includes 40 items.

The object of research is soil phytotoxicity.

The purpose of the study was to evaluate methods of biotesting the toxicity of soil cover in technogenic areas of the city with different intensity of motor transport and industrial impact, using plant test systems (on the example of Zhytomyr), as well as to determine the most sensitive test system to the content of heavy metals in the soil of the studied sites.

Section 1 provides an analytical review of the literature on the topic of the qualification work; Section 2 describes the program, methodology and characteristics of the subject of research; Section 3 presents the results of experimental studies.

Keywords: biotesting, test systems, phytotoxicity, heavy metals, soils, urban ecosystems.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ I. ОСОБЛИВОСТІ ҐРУНТІВ ЯК ОБ'ЄКТІВ БІОТЕСТУВАННЯ (аналітичний огляд літератури....	8
Розділ II. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	11
2.1. Програма дослідження.....	11
2.2. Методика дослідження.....	11
2.3. Характеристика предмету дослідження.....	13
Розділ III. БІОТЕСТУВАННЯ ҐРУНТІВ ТЕХНОГЕННИХ ЗОН МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ РОСЛИННИХ ОРГАНІЗМІВ.....	15
3.1. Вміст важких металів у ґрунтах тестованих пунктів.....	15
3.2. Біотестування водних витяжок ґрунтів.....	20
ВИСНОВКИ.....	26
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ.....	29

ВСТУП

Актуальність дослідження. Відомо, що в результаті діяльності людської цивілізації синтезуються та потрапляють у навколишнє середовище сотні тисяч нових хімічних сполук як природного, так і антропогенного походження з певними токсикологічними характеристиками, які, накопичуючись у ґрунті, зумовлюють його забруднення і токсичність. Існує сотні методів визначення ступеня забрудненості довкілля, проте найчастіше застосовують методи біотестування. Це зумовлюється низкою обставин: по-перше, зазначені об'єкти містять велику кількість інгредієнтів, токсикологічні властивості яких не завжди характеризуються простою сумою властивостей кожного з них з урахуванням кількісного складу, що визначається аналітичними методами; по-друге, середовище часто забруднене нестійкими продуктами взаємодії та розпаду, які іноді більш токсичні за вихідні речовини; по-третє, кількість присутніх у навколишньому середовищі забруднювачів значно перевищує кількість фізико-хімічних методів аналізу, що дають змогу контролювати їхній вміст на рівні ГДК. Окрім цього, за допомогою біотестування можна отримати повну токсикологічну характеристику природного середовища незалежно від складу забруднюючих речовин, оскільки більшу частину їх, у зв'язку з відсутністю обладнання, методик і стандартів, аналітично не визначають, у зв'язку з чим методи біотестування набувають дедалі більшої популярності [4, 11, 14, 17, 28].

Проведення експериментів із вивчення впливу різних поллютантів на рослинні об'єкти в контрольованих умовах дає змогу розв'язувати багато завдань: встановити причини різної стійкості рослин і тенденції пристосування до токсикантів, виключити дію інших чинників навколишнього середовища, з'ясувати летальну дозу факторів навколишнього середовища, з'ясувати летальну дозу поллютанта тощо [1, 2, 6, 8].

Міські ґрунти є депонуючим середовищем практично для всіх поллютантів і при геохімічному вивченні транспортно-селітебних ландшафтів є досить інформативними.

У зв'язку з цим розробка методів комплексного біотестування ґрунтів з різним за інтенсивністю автотранспортним і промисловим впливом та оцінка чутливості різних тест-відгуків до підвищеного вмісту важких металів у ґрунті, як у межах однієї тест-системи, так і в порівнянні різних тест-систем є актуальним.

Об'єкт дослідження – фітотоксичність ґрунту.

Предмет дослідження – техногенні зони міських територій.

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження полягала в оцінці методів біотестування токсичності ґрунтового покриву техногенних зон міста з різним за інтенсивністю автотранспортним і промисловим впливом, за допомогою рослинних тест-систем (на прикладі м. Житомира), а також у визначенні найбільш чутливої тест-системи до вмісту важких металів у ґрунті досліджуваних пунктів.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

1. Визначення вмісту рухомих форм міді, свинцю, кадмію, цинку та хрому в ґрунтах техногенних зон досліджуваних пунктів м. Житомира.
2. Встановлення найбільш чутливої тест-системи до забруднення ґрунтів техногенних зон міських територій.
3. Виявлення якісного прояву реакцій індикаторних ознак тест-рослин на підвищений вміст важких металів у ґрунтах.
4. Проведення кореляційного аналізу та виявлення взаємозв'язку між вмістом важких металів у ґрунтах та кількісним проявом тест-відгуків модельних рослин.
5. Розробка шкали токсичності середовищ за результатами біотестування.

Наукова новизна. Уперше проведено біотестування ґрунтового покриву територій з різним за інтенсивністю автотранспортним і промисловим впливом за допомогою трьох рослинних тест-систем (*Raphanus sativus*, *Lepidium sativum*, *Allium cepa*). Доведено перспективність використання активності каталази проростків тест-рослин як чутливого критерію для біотестування забрудненості ґрунтового покриву важкими металами. Проведено порівняння тест-відгуків використовуваних модельних організмів у подібних умовах забруднення важкими металами ґрунтового покриву.

Теоретичне та практичне значення. Науково обґрунтовані дані становлять інтерес з точки зору методів біотестування забрудненості об'єктів довкілля, зважаючи на відкритість та актуальність цього питання на сучасному етапі розвитку екології.

Проведене біогестування ґрунтів з підвищеним вмістом важких металів за допомогою декількох тест-відгуків на одному модельному організмі, що дає змогу збільшити ступінь чутливості біотесту.

Матеріали кваліфікаційної роботи можуть бути використані в процесі викладання дисциплін для студентів спеціальності 101 «Екологія».

Публікації. За темою дисертації опубліковано 2 тези: Горобець Б.С. Біотестування як метод оцінки стану ґрунтів. Тези. 2024; 2. Тищенко О.С., Дубиняк О.М., Горобець Б.С. Екологічні проблеми агроєкосистем. Тези. 2024.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаної літератури. Робота містить 33 сторінки машинописного тексту, містить 6 таблиць, 4 рисунки. Список літератури включає 40 джерел, у тому числі 9 іноземною мовою.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ ҐРУНТІВ ЯК ОБ'ЄКТІВ БІОТЕСТУВАННЯ (аналітичний огляд літератури)

Ґрунти, депонують значну частину атмосферних забруднювачів, тому є індикаторами техногенного навантаження на навколишнє середовище [1-4].

Основними екологічними функціями ґрунтів є здатність адсорбувати в товщі забруднювальні речовини й утримувати в ґрунтових водах, продуктивність і придатність для вирощування різних рослин. Виконуючи важливі середовищеутворювальні функції, ґрунт змінює хімічний склад підземних вод і атмосферних опадів, регулює вміст у повітрі O_2 , CO_2 , CH_4 і N_2 .

В умовах промислових міст відбувається техногенна трансформація властивостей ґрунтів. За ефектом впливу на міські ґрунти техногенні речовини можуть бути об'єднані у дві групи: педохімічно активні речовини та біохімічно активні речовини [13, 29].

Педохімічно активні, що переважають у викидах за масою, змінюють кислотно-основні, окислювально-відновні умови в ґрунтах. Це здебільшого нетоксичні або слаботоксичні елементи з високими кларками - залізо, кальцій, магній, лужні метали і мінеральні кислоти (H_2SO_4 , HNO_3 та ін.). При досягненні певної межі підкислення або підлужування позначаються на видовому складі ґрунтової флори і фауни [10, 12, 21, 27].

Біохімічно активні речовини, як правило, у великих концентраціях є високотоксичними для живих організмів (Hg, Cd, Pb, Ni, Cr, Cu та ін.).

Особливістю забруднення ґрунтів населених місць хімічними речовинами є те, що забруднення відбувається одночасно від багатьох джерел, у результаті цього в ґрунті накопичується складна багатокomпонентна суміш хімічних речовин різної природи [3-5, 22, 29].

Комбінований і поєднаний вплив різних чинників на педобіонтів призводить до негативних змін у трофічних ланцюгах і деградації ґрунтів.

Накопичення в ґрунті шкідливих для живих організмів речовин спричиняє зміну біологічних властивостей ґрунтів і появу токсичних властивостей [3].

Під токсичністю ґрунту розуміють зниження показників тест-об'єкта в досліджуваному ґрунті або ґрунтовій витяжці порівняно з контролем [11, 21, 40].

Продуктивність ґрунтів насамперед залежить від складу ґрунтового розчину (його кислотності, вмісту важких металів, пестицидів, синтетичних мийних засобів, нафтопродуктів і елементів живлення) і може бути оцінена величиною фітотоксичності [2, 31, 38].

Фітотоксичність – це властивість забрудненого ґрунту пригнічувати проростання насіння, ріст і розвиток проростків. Початок прояву фітотоксичності корелюється з ГДК. Зменшення числа проростків у забрудненому ґрунті порівняно з контролем більш ніж у 2 рази свідчить про значну деградацію ґрунтів і зниження його продуктивності, втрату здатності ґрунту до самоочищення, а також про зміну складу, чисельності та структури мікрофлори та мезофауни [16, 20, 34].

Сьогодні найбільш повно вивчено дію на рослини важких металів. Токсична дія важких металів на рослини виявляється [37]:

- 1) у зміні проникності клітинних мембран (Ag, Au, Cd, Cu, F, Hg, Pb);
- 2) реакції з тіольними групами (Ag, Hg, Pb);
- 3) конкуренції з життєво важливими метаболітами (As, Sb, Te, Se, W, F);
- 4) спорідненість із фосфатними групами й активними центрами в АДФ і АТФ (Al, Be, Se, V);
- 5) заміщення життєво важливих іонів, переважно макроелементів (Cs, Li, Rb, Sr, Se);
- 6) захоплення в молекулах позицій, які займають життєво важливі функціональні групи на кшталт фосфату і нітратів.

Важкі метали є протоплазматичними отрутами, токсичність яких збільшується зі зростанням атомної маси [18].

Багато важких металів інгібують активність ферментів, утворюють комплексні сполуки з органічними речовинами, легко проникають через клітинні

мембрани, зв'язують сульфати, фосфати, звичайні метаболіти, порушуючи обмін речовин.

Фітотоксичність зазвичай визначають під час моніторингу хімічно забруднених ґрунтів, при екологічних катастрофах, оцінці можливості використання хімічно забруднених ґрунтів для виробництва сільськогосподарської продукції або при оцінці можливості використання як меліорантів або добрив різного роду відходів [15, 21, 29, 30, 35].

Для всебічної оцінки впливу забруднення на токсичність ґрунту враховують також низку показників ґрунту, які застосовуються у насінництві: схожість, енергію проростання, дружність проростання, швидкість проростання.

Схожість - число пророслого насіння, виражене у відсотках від загальної кількості насіння [13].

Енергія проростання - кількість насінин, що проросли за перші три доби, виражена у відсотках від загальної кількості насіння, узятих для пророщування.

Дружність проростання - середній відсоток насіння, що проросли за першу добу проростання: $D = \Pi/A$, де D - дружність проростання; Π - повна схожість; A - число днів проростання [3, 6, 19].

Швидкість проростання - сума середніх чисел насіння, що проростає щодня: $C = a + б/2 + в/3 + г/4 + \dots$, де C - швидкість проростання; $a + б/2 + в/3 + г/4 + \dots$, де C - швидкість проростання; a - число насіння, що проросло за першу добу; $б$ - число насіння, пророслого за другу добу; $в$ - кількість насінин, пророслих за третю добу; $г$ - кількість насінин, що проросли за четверту добу [1-4, 21].

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Програма дослідження

Програма дослідження передбачала виконання таких завдань:

1. Аналітичний огляд літератури за темою дослідження.
 2. Вибір методів дослідження.
 3. Проведення експериментальних досліджень.
 4. Визначити вміст рухомих форм міді, свинцю, кадмію, цинку та хрому в ґрунтах техногенних зон досліджуваних пунктів м. Житомира.
2. Встановити найбільш чутливої тест-системи до забруднення ґрунтів техногенних зон міських територій.
 3. Виявити якісні прояви реакцій індикаторних ознак тест-рослин на підвищений вміст важких металів у ґрунтах.
 4. Провести кореляційний аналіз та виявити взаємозв'язок між вмістом важких металів у ґрунтах та кількісним проявом тест-відгуків модельних рослин.

2.2. Методика дослідження

Об'єктами цього дослідження стали ґрунти міста, що знаходяться під впливом автотранспорту та промисловості різного ступеня інтенсивності, а предметом дослідження - цибуля-сівок (*Allium cepa*) сорт «Штутгартер - Різен», редис (*Raphanus sativus*) сорт «Політез» і крес-салат (*Lepidium sativum*) сорт «Холодок».

Зразки ґрунту відбирали у восьми різних пунктах міста Житомира, на перехрестях із різним за інтенсивністю автотранспортним і промисловим впливом. Контроль – ґрунт відібраний в межах ботанічного саду Поліського національного університету.

Відбір зразків ґрунту і приготування кислотних витяжок проводили за стандартними методиками (Методи визначення мікроелементів у ґрунтах,

рослинах і водах, 1974; Методичні рекомендації з проведення польових і лабораторних досліджень ґрунтів і рослин при контролі забруднення навколишнього середовища металами, 1981). Водні витяжки ґрунтів готувалися за методикою, описаною Кабіровим О.С. Вміст елементів (Cu, Pb, Cd, Zn, Cr) у ґрунті та водній витяжці ґрунтів визначали в агролабораторії «Афіна паллада».

Вміст гумусу проводили за методом І.В. Тюріна. Насіння тест-рослин пророщували в чашках Петрі в ґрунті. На кожен варіант використовували по 100 насінин у триразовій повторності. При біотестуванні водних витяжок насіння пророщували в кварцовому піску. Для забезпечення вологості в чашки Петрі додавали або водний витяг ґрунту контрольного пункту, або водний витяг ґрунтів експериментальних пунктів.

Схожість та енергію проростання насіння тест-рослин визначали за загальноприйнятими методиками (ГОСТ 12039-82 і ГОСТ 12038-84).

Зважування та вимірювання довжини підземної та надземної частини тест-рослин проводили у десятиденних проростків редиски та крес-салату. Вимірювання довжини вищевказаних частин тест-рослин проводили за допомогою лінійки, з точністю до 1 мм, зважування досліджуваних органів тест-рослин проводили на аналітичних вагах 2-го класу точності «ВЛР – 200».

Вимірювання довжини коренів у цибулин *Allium cepa* під час біотестування ґрунтових витяжок проводили на 4, 7 і 14 добу. Для кожного пункту використовували по 12 цибулин у чотирикратній повторності.

Активність каталази в чотириденних проростках редиски, крес-салату визначали газометричним методом.

У кореневій меристемі проростків цибулі ріпчастої визначали мітотичний індекс як відсоток клітин, що діляться від загальної кількості спостережуваних клітин. Препарати досліджували під мікроскопами МБІ-3 і МРУ-5. У кожному варіанті підраховували від 2000 до 3000 клітин.

Відсоток інгібування тест-відгуку рослин обчислювали за формулою:

$$I = 100\% - \frac{K_1 \times 100\%}{K_2}, \text{ где:}$$

.., де

I – відсоток інгібування тест-відгуку рослин (%),

K_1 – середнє значення тест-відгуку рослин у досліді,

K_2 – середнє значення тест-відгуку рослин на контролі.

Індекс токсичності ґрунтів (водної витяжки ґрунтів) пунктів розраховували для кожної тест-функції.

Як тест-відгук використовували довжину коренів цибулин, мітотичний індекс, схожість насіння, довжину та масу надземної/підземної частини рослин.

Усі експериментальні дані обробляли статистично на ІВ М РС Pentium IV з використанням пакета програми Statistica 6.0.

2.3. Характеристика предмету дослідження

На поверхні літосфери під час проведення різних будівельних і гірничих робіт, у результаті виробничої діяльності людини утворюється досить велика кількість відкладень, що являють собою або відходи господарської діяльності людини (відвали шахт, заводів, міські звалища тощо), або відкладення, спеціально створені людиною в будівельних і виробничих цілях. Такі утворення дістали назву техногенних ґрунтів [14].

Нині саме під техногенними ґрунтами розуміють природні ґрунти і ґрунти, змінені й перетворені внаслідок виробничої та господарської діяльності людини, і антропогенні утворення [22].

Під антропогенними утвореннями слід розуміти тверді відходи виробничої та господарської діяльності людини, унаслідок якої відбулися докорінні зміни складу, структури та текстури ґрунту, природної мінеральної та органічної сировини [1, 19, 40].

Техногенні ґрунти набули широкого поширення на селітебних територіях, у місцях видобутку та переробки корисних копалин, уздовж лінійних споруд різного призначення, на сільськогосподарських угіддях тощо. Процес їх утворення та накопичення з найбільшою інтенсивністю відбувається головним

чином у районах великих міст і промислових об'єктів. Обсяг цих відкладів значний і постійно зростає. На початок ХХІ ст. світовий обсяг усіх різновидів техногенних осадів досягнув 1400 млрд м³. Не є винятком у цьому процесі і територія Житомирської області.

Техногенні ґрунти належать до специфічних ґрунтів. Вони характеризуються неоднорідним складом і характеризуються неоднорідним складом і будовою, високою мінливістю властивостей у просторі та часі. Масиви техногенних ґрунтів утворюють своєрідні форми техногенного рельєфу.

РОЗДІЛ 3

БІОТЕСТУВАННЯ ҐРУНТІВ ТЕХНОГЕННИХ ЗОН МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ РОСЛИННИХ ОРГАНІЗМІВ

3.1. Вміст важких металів у ґрунтах тестованих пунктів

У тестованих ґрунтах методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії визначався вміст рухомих форм міді, кадмію, цинку, хрому та свинцю. Результати хімічного аналізу ґрунту наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Вміст рухомих форм важких металів у ґрунтах тестованих пунктів (мг/кг) (екстрагент 1М HNO₃)

Точки відбору зразків ґрунту	Cu	Pb	Cd	Zn	Cr
Пункт 1	16,2	160,51	0,31	56,27	196,02
Пункт 2	21,61	193,41	0,81	57,01	322,01
Пункт 3	13,61	266,72	1,42	51,41	91,01
Пункт 4	11,61	164,41	-	36,21	233,02
Пункт 5	56,61	324,61	0,90	121,19	-
Пункт 6	36,01	33,21	0,41	30,27	63,01
Пункт 7	36,82	316,82	1,21	102,01	102,01
Пункт 8	15,31	163,41	1,32	47,11	213,00
Контроль	13,26	10,12	0,21	19,99	16,88
ГДК	20,00	32,00	0,30	37,00	50,00

Дані кластерного аналізу показали, що пункти 5 і 7 входять в один кластер. Аналогічна картина простежується і для 1 і 8 пунктів. Це свідчить про схожий елементний склад ґрунтів цих пунктів, причому схожість між пунктом 1 і 8 більша, ніж між пунктами 7 і 5.

Оцінка забрудненості ґрунтів тестованих пунктів важкими металами за допомогою мітотичної активності. Мітотична активність часто вивчалася дослідниками в якості чутливого показника для оцінки забруднення навколишнього середовища. Цікаво визначити мітотичну активність проліферативних клітин корінців проростків *Allium cepa*, що вирости на ґрунтах

тестованих пунктів із підвищеним вмістом ВМ. Результати дослідження представлено на рис. 3.1.

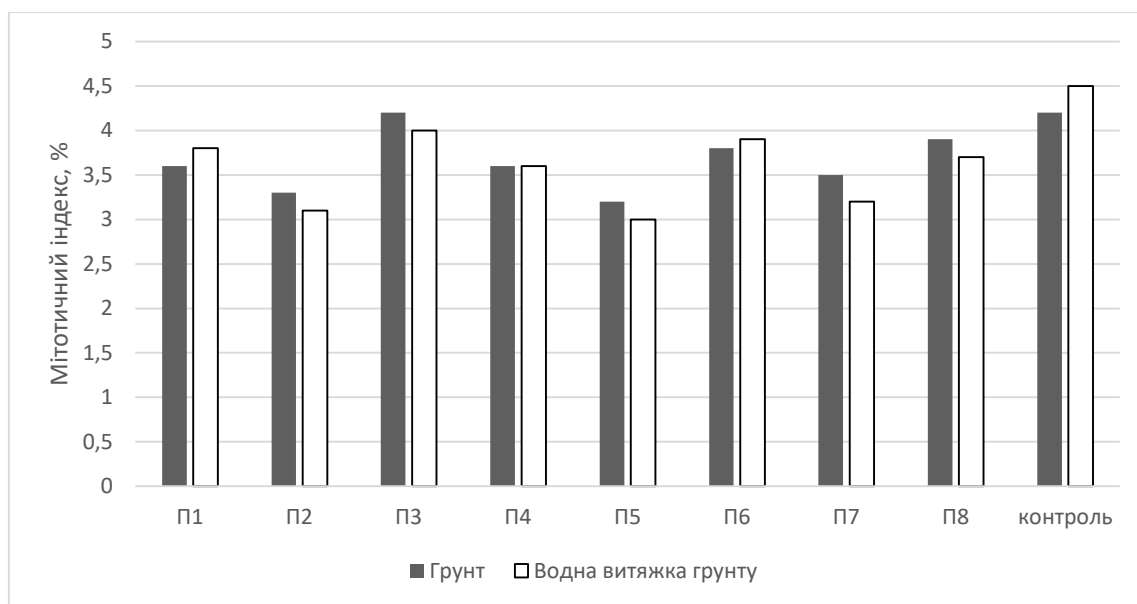


Рис. 3.1. Мітотична активність меристематичних клітин корінців проростків *Allium cepa*

Кореляційний аналіз вказує на наявність зв'язків між мітотичною активністю та вмістом ВМ у досліджуваних ґрунтах: кореляційна залежність має найнижчі значення в П. 1, 3 для свинцю $r_{Pb}=0,43, 0,40$; у П. 2, для цинку $r_{Zn}=0,37$; у П. 4, 8 для хрому $r_{Cr} = - 0,30, - 0,47$; у П. 5, 6, 7 для міді $r_{Cu}= - 0,22, - 0,5, 0,4$.

Отримані результати свідчать про перспективність застосування цього цитогенетичного показника для біотестування забруднення ґрунтів ВМ.

Біотестування ґрунтів щодо схожості насіння модельних рослин. Результати досліджень показали, що відбувається достовірне інгібування схожості насіння тест-рослин. Результати біотестування представлені в табл. 3.2.

Вплив концентрацій ВМ на схожість насіння тест-рослин було вивчено за допомогою кореляційного аналізу, за результатами якого вдалося виявити нижчу кореляційну залежність для цинку $r_{Zn} = 0,43$; (П. 2 - редис); $r_{Zn} = 0,37$ (П. 2 - крес-салат); для міді $r_{Cu}= - 0,14; - 0,52; 0,20; 0,19$; (П. 2, 3, 5, 6 - редис); $r_{Cu}= 0,25$ (П. 5 - редис); $r_{Cu}= 0,22, 0,42$ (П. 5, 7 - крес-салат); для свинцю $r_{Pb}= - 0,43; -0,36$ (П. 1, 3, редис); $-0,43; -0,38$ (П. 1, 3, крес-салат), для кадмію $r_{Cd}= - 0,50$ (П. 6, 7, 8 - для редису).

Енергія проростання і схожість насіння тест-рослин

Точки відбору проб ґрунту	Енергія проростання редис (ґрунт)	Схожість редис (ґрунт)	Енергія проростання редис (витяжка)	Схожість редис (витяжка)	Енергія проростання крес-салат (ґрунт)	Схожість крес-салат (ґрунт)	Енергія проростання крес-салат (витяжка)	Схожість крес-салат (витяжка)
П1	15,81±1,62	24,61±1,92	31,54±2,42	56,60±1,54	37,80±2,16	72,01±2,00	72,34±3,86	85,13±1,73
П2	30,01±2,06	52,01±2,24	41,11±1,24	74,41±1,21	16,21±1,64	37,81±2,16	52,31±1,44	72,25±2,26
П3	24,21±1,92	41,41±2,21	35,16±2,25	62,51±2,43	13,59±1,52	28,01±2,01	49,13±2,82	63,01±2,70
П4	21,81±1,86	24,01±1,92	32,55±3,45	48,35±3,22	32,01±2,08	39,59±2,18	66,20±2,88	74,11±3,78
П5	23,01±1,89	39,61±2,18	34,82±2,54	59,97±3,48	38,01±2,16	54,01±2,21	75,01±2,76	89,01±2,22
П6	23,61±1,91	41,41±2,21	31,59±2,91	62,11±3,51	38,59±2,17	43,21±2,20	70,66±3,24	78,27±3,20
П7	23,01±1,89	36,01±2,14	29,01±2,59	57,25±2,26	42,01±2,20	50,41±2,22	78,25±2,70	84,44±2,12
П8	21,41±2,05	52,21±2,22	31,41±2,05	70,39±2,64	46,01±2,22	55,81±2,21	80,11±2,08	90,84±2,54
Контроль	45,41±2,24	82,01±1,73	50,22±2,23	86,01±1,73	90,01±1,33	94,59±1,00	95,02±1,33	97,20±1,00

Тестування ґрунтів на проростках редиски та крес-салату. Під час біотестування ґрунтів із підвищеним вмістом міді, свинцю, кадмію, хрому та цинку за допомогою редиски та крес-салату відмічені достовірні зміни довжини підземної та надземної частини тест-рослин порівняно з контролем, що свідчить про фітотоксичність тестованих ґрунтів. Результати біотестування відображено в табл. 3.3, 3.4.

Проведений кореляційний аналіз засвідчив наявність слабкої позитивної кореляції між вмістом гумусу в ґрунті та довжиною підземної частини проростків редиски (П. 4, 5, 6), проростків крес-салату (П. 7, 8), помітною позитивною П. 1, 2, 3, 7 (редис) і П. 3, 6, (крес-салат), вираженою позитивною П. 4 (крес-салат), тоді, як між вмістом гумусу та довжиною надземної частини виявлено слабку позитивну кореляцію (П. 1, 3, 5, 7, 8 - редиска; П. 3, 5, 7 - крес-салат); помітна позитивна (П. 2 - редиска; П. 1, 2 - крес-салат); виражена позитивна (П. 4, 6 - редиска і крес-салат).

Дія підвищеного вмісту важких металів у ґрунтах тестованих пунктів на активність каталази проростків модельних рослин. У результаті проведеного експерименту було виявлено достовірне інгібування активності каталази в дослідних проростках порівняно з контрольними. Результати біохімічного дослідження представлені на рис. 3.2.

Таблиця 3.3

**Результати біотесгування ґрунтів на проростках модельних рослин
(коріння)**

Точки відбору проб ґрунту	Коріння			
	Середня довжина, см (ґрунт)	Середня довжина, см (водна витяжка)	Середня маса, г (ґрунт)	Середня маса, г (водна витяжка)
Редис				
Пункт 1	8,16±0,82	7,82±0,40	0,03±0,002	0,02±0,002
Пункт 2	4,03±0,35	6,97±0,24	0,02±0,007	0,02±0,006
Пункт 3	6,48±0,58	7,11±0,18	0,04±0,007	0,04±0,003
Пункт 4	3,21±0,51	6,30±0,13	0,02±0,001	0,02±0,002
Пункт 5	7,24±0,43	7,80±0,46	0,02±0,002	0,02±0,002
Пункт 6	11,15±1,11	12,02±1,02	0,03±0,002	0,03±0,001
Пункт 7	5,54±0,67	6,62±0,10	0,02±0,001	0,02±0,003
Пункт 8	6,98±0,47	7,02±0,17	0,02±0,005	0,02±0,007
Контроль	8,15±0,43	9,12±0,43	0,02±0,008	0,02±0,008
Крес-салат				
Пункт 1	2,94±0,21	3,89±0,21	0,004±0,0001	0,004±0,0003
Пункт 2	3,27±0,21	3,68±0,19	0,005±0,0002	0,005±0,0003
Пункт 3	2,13±0,30	3,25±0,17	0,003±0,0004	0,003±0,0008
Пункт 4	2,69±0,22	3,87±0,24	0,002±0,0001	0,002±0,0002

Пункт 5	2,18±0,20	3,16±0,46	0,005±0,0001	0,004±0,001
Пункт 6	1,69±0,23	3,01±0,13	0,002±0,0002	0,002±0,0003
Пункт 7	2,85±0,32	3,02±0,32	0,004±0,0002	0,005±0,0002
Пункт 8	2,58±0,89	3,66±0,24	0,004±0,0002	0,004±0,0002
Контроль	4,70±0,39	5,02±0,39	0,003±0,0004	0,003±0,0005

Таблиця 3.4

**Результати біотестування ґрунтів на проростках модельних рослин
(стебла)**

Точки відбору проб ґрунту	Стебла			
	Середня довжина, см (ґрунт)	Середня довжина, см (водна витяжка)	Середня маса, г (ґрунт)	Середня маса, г (водна витяжка)
Редис				
Пункт 1	9,07±1,08	9,12±1,00	0,13±0,01	0,12±0,001
Пункт 2	10,20±0,49	10,72±0,19	0,13±0,01	0,13±0,001
Пункт 3	6,02±0,53	7,11±0,53	0,08±0,01	0,10±0,002
Пункт 4	5,15±0,69	6,29±0,23	0,06±0,01	0,09±0,001
Пункт 5	6,61±0,65	7,00±0,24	0,11±0,01	0,11±0,007
Пункт 6	6,41±0,67	7,11±0,17	0,12±0,01	0,13±0,008
Пункт 7	6,27±0,74	7,44±0,53	0,10±0,01	0,10±0,02
Пункт 8	7,77±0,43	8,04±0,25	0,11±0,01	0,11±0,007
Контроль	8,22±0,32	8,95±0,32	0,11±0,01	0,11±0,006
Крес-салат				
Пункт 1	3,86±0,19	4,25±0,16	0,02±0,001	0,02±0,0005
Пункт 2	4,30±0,11	4,92±0,22	0,02±0,001	0,02±0,0004
Пункт 3	3,26±0,29	3,92±0,10	0,02±0,002	0,02±0,002
Пункт 4	4,11±0,15	4,27±0,25	0,03±0,008	0,03±0,002
Пункт 5	4,12±0,11	4,35±0,10	0,02±0,001	0,02±0,0005
Пункт 6	3,81±0,23	4,00±0,34	0,02±0,001	0,02±0,0004
Пункт 7	4,61±0,14	4,97±0,10	0,02±0,001	0,02±0,0007
Пункт 8	4,27±0,19	4,82±0,10	0,02±0,001	0,02±0,0006
Контроль	5,81±0,19	6,02±0,19	0,04±0,001	0,04±0,0007

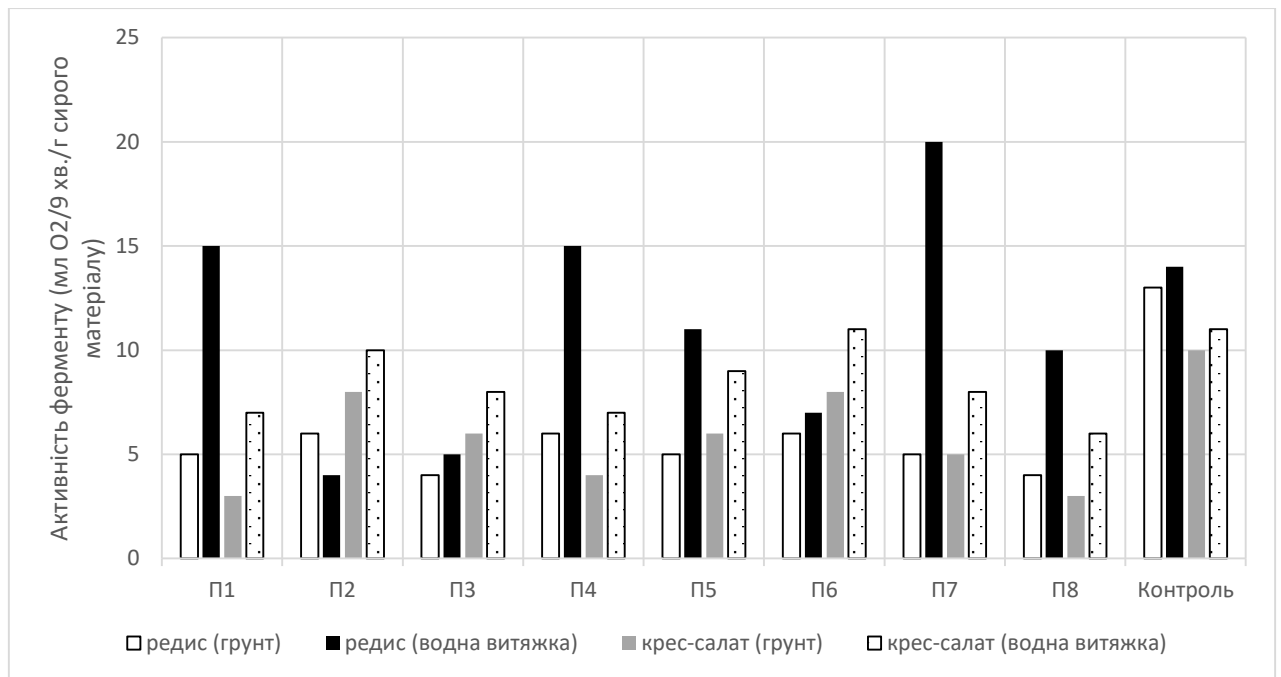


Рис. 3.2. Каталазна активність проростків тест-рослин

Проведений кореляційний аналіз вказує на наявність зв'язків між вмістом ВМ у водних витяжках ґрунтів та активністю каталази проростків тест-рослин. Слабку кореляцію встановлено в редису та крес-салату між вмістом у водній витяжці цинку - П. 5, ($r = 0,14$ – крес-салат); міді - П. 5 ($r = - 0,22$ - редис); свинцю - П. 1, 7 ($r = 0,29$; $0,10$ - редис); П. 1 ($r = 0,11$ - крес-салат) та активністю каталази проростків.

Дослідження підтверджують можливість використання цього біохімічного показника як тест-функції при моніторингу забруднення ґрунтів ВМ.

Кластерні аналізи, проведені за результатами хімічного аналізу ґрунтів і біотестування, вказують на те, що подібний хімічний склад ґрунтів пунктів може викликати подібну реакцію тест-відгуків модельних рослин, і навпаки, різний вміст ВМ у ґрунтах пунктів може викликати схожу реакцію тест-відгуків у модельних рослин.

3.2. Біотестування водних витяжок ґрунтів

Вміст важких металів у водних витяжках ґрунтів тестованих пунктів, методом атомноабсорбційної спектрофотометрії визначали вміст міді, кадмію, цинку, хрому та свинцю. Результати елементного аналізу наведено в табл. 3.5.

**Результати елементного аналізу водних витяжок ґрунтів на ААС
(в мг/кг)**

Точки відбору зразків ґрунту	Cu	Pb	Cd	Zn	Cr
Пункт 1	1,05	0,45	-	0,93	10,37
Пункт 2	3,76	0,58	-	1,32	48,24
Пункт 3	1,77	0,34	-	3,22	18,85
Пункт 4	1,60	0,44	-	1,43	25,54
Пункт 5	1,21	0,48	-	2,00	-
Пункт 6	7,30	0,22	-	1,15	4,58
Пункт 7	3,80	0,42	-	11,16	8,87
Пункт 8	2,42	0,57	-	0,98	19,70
Контроль	1,00	-	-	0,24	0,35
ГДК	20,00	32,00	0,30	37,00	50,00

За результатами елементного складу водних витяжок було проведено кластерний аналіз, який дав змогу об'єднати пункти 3 і 8, 1 і 7, 5 і у кластери

Чутливість *Allium*-тесту до присутності іонів металів у водних витяжках ґрунтів тестованих пунктів. Результати проведених досліджень показали, що під дією водної витяжки досліджуваних ґрунтів відбувається достовірна ($p > 0,9500$) зміна довжини коренів дослідних цибулин порівняно з контрольними.

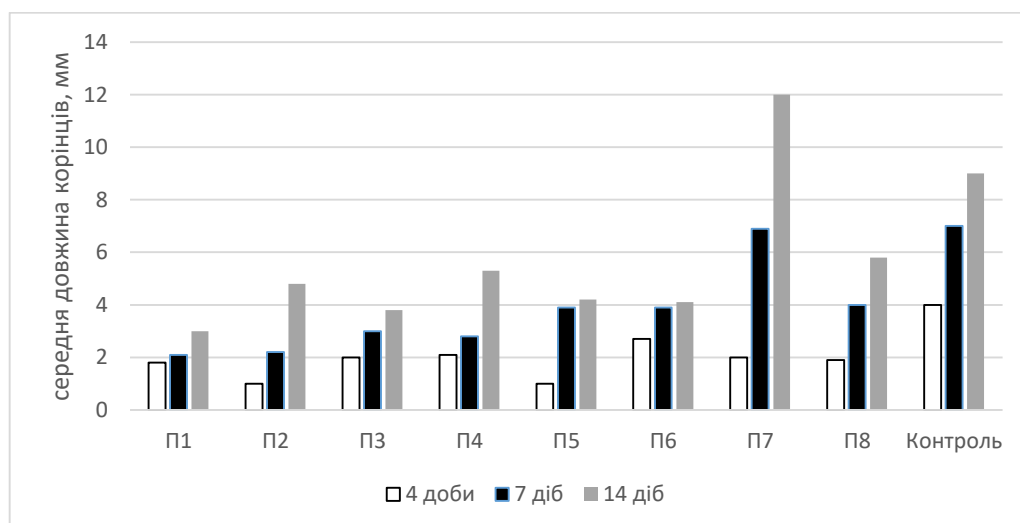


Рис. 3.3. Результати тестування водних витяжок ґрунту за допомогою *Allium* *sepa*

Крім достовірної зміни в рості коренів *Allium cepa*, спостерігалися такі морфологічні порушення, як гачкоподібні та веретеноподібні корені, потовщення на коренях, що з'являються на 7-8 добу. Залежність між величиною інгібування росту кореня та кількістю потовщень було вивчено за допомогою кореляційного аналізу, при цьому було виявлено як позитивну ($r_{п4} = 0,50$; $r_{п5} = 0,50$; $r_{п6} = 0,89$), так і негативну ($r_{п1} = -0,85$; $r_{п2} = -0,16$; $r_{п3} = -0,83$; $r_{п7} = -0,91$; $r_{п8} = -0,50$) досить тісну кореляційну залежність між цими ознаками (виняток - п. 6).

Дані кластерного аналізу показали, що водні витяжки ґрунтів пунктів за реакцією тест-відгуків *Allium*-тесту групуються в один кластер, віддалений від контрольного. Найбільшу кластерну відстань відзначено між пунктом 7 і контролем, між пунктом 1 і контролем, між пунктом 4 і контролем.

Дія водних витяжок ґрунтів тестованих пунктів на мітотичну активність клітин меристеми коренів *Allium cepa*. Дослідження (див. рис. 3.1) показали, що водна витяжка ґрунтів спричинила достовірне інгібування мітотичної активності, що свідчить про чутливість цього цитогенетичного критерію до вмісту важких металів у водній витяжці. Кореляційний аналіз показав наявність зв'язків між мітотичною активністю та вмістом важких металів у водних витяжках ґрунтів: кореляційна залежність має найнижчі значення в пунктах 1, 4 для цинку $r_{Zn} = 0,11$; $0,20$; у П. 2, 3, 5, 6 для міді $r_{Cu} = -0,05$; $-0,50$; $0,27$; $0,20$; у П. 7, 8 для свинцю $r_{Pb} = -0,24$; $-0,24$.

Мітотична активність може бути використана як критерій для біотестування водних витяжок ґрунтів із підвищеним вмістом важких металів.

Біотестування водних витяжок ґрунтів щодо схожості насіння модельних рослин. Результати експерименту показали достовірне зниження ($p > 0,9500$) енергії проростання і схожості насіння тест-рослин порівняно з контролем, що свідчить про фітотоксичність водних витяжок ґрунтів. Результати біотесту відображено в табл. 3.2

Залежність між вмістом важких металів у водних витяжках ґрунтів і схожістю насіння тест-рослин вивчено за допомогою кореляційного аналізу, який виявив нижчу кореляційну залежність для цинку $r_{Zn} = 0,11$; $0,16$ (П. 1 і 4 -редис);

$\Gamma_{Zn} = -0,11; 0,28; 0,44$ (П. 1, 4, 8 - крес-салат); для міді $\Gamma_{Cu} = -0,14; -0,52; 0,20; 0,19$; (П. 2, 3, 5, 6 - редис); $\Gamma_{Cu} = -0,21; 0,21; 0,19$; (П. 2, 5,6 крес-салат); для свинцю $\Gamma_{Pb} = -0,35; -0,12$ (П/ 7, 8, редис); $-0,43; -0,19$ (П. 3,7, крес-салат); $-0,43; -0,19$ (П. 3, 7, крес-салат)/

Біотестування водних витяжок ґрунтів на проростках редиски та крес-салату. При біотестуванні водних витяжок ґрунтів було зафіксовано як інгібуючий, так і стимулюючий розвиток тест-відгуків у редису та крес-салату. Слабку кореляцію встановлено у редису і крес-салату між вмістом у водній витяжці цинку - П. 1, 4, ($\Gamma = -0,11; -0,19$ - редис; $\Gamma = 0,11; 0,23$ - крес-салат), міді П. 2, 5, 6 ($\Gamma = -0,14; 0,27; 0,21$ - редис; $-0,10; 0,27; 0,23$ - крес-салат), свинцю П. 7, 8 ($\Gamma = -0,23; 0,08$ - редис; $-0,24; -0,12$ - крес-салат) і довжиною кореня (табл. 3.3). Залежність між вмістом важких металів у водних витяжках ґрунтів і довжиною надземної частини тест-рослин було вивчено за допомогою кореляційного аналізу, в результаті якого якого було встановлено слабку кореляцію для цинку - П. 1, 4, ($\Gamma = -0,13; -0,21$ - редис;), міді П. 2, 5, 6 ($\Gamma = -0,18; 0,25; 0,21$ - редис; $-0,20; 0,21; 0,27$ - крес-салат), свинцю П. 7, 8 ($\Gamma = -0,27; -0,12$ - редис; $-0,20; -0,18$ - крес-салат).

Дія водних витяжок ґрунтів на активність каталази проростків модельних рослин. Результати експериментів свідчать про достовірне інгібування (виняток пункт 6 для крес-салату) активності каталази у проростків редиски та крес-салату, порівняно з контролем, під впливом водних витяжок ґрунтів, що свідчить про фітотоксичність досліджуваних витяжок, і про можливість використання цього тест-відгуку як критерій для біотестування водних витяжок ґрунтів. Результати експерименту представлені на рис. 3.2.

Проведений кореляційний аналіз вказує на наявність зв'язків між вмістом важких металів у водних витяжках ґрунтів та активністю каталази проростків тест-рослин. Слабку кореляцію встановлено між вмістом у водній витяжці цинку - П. 1, 4, ($\Gamma = -0,18; -0,29$ - редис; $\Gamma = -0,13; 0,18$ - крес-салат); міді П. 2, 5, 6 ($\Gamma = -0,21; 0,28; 0,26$ - редис; $-0,23; 0,29; 0,28$ - крес-салат), свинцю П. 7, 8 ($\Gamma = -0,23; -$

0,16 - редис; - 0,33; - 0,26 - крес-салат) та активністю каталази проростків редиски і крес-салату.

За даними біотестування водних витяжок було проведено кластерний аналіз, у результаті якого пункти 1 і 7 об'єднано в один кластер. Аналогічна картина спостерігається і під час кластеризації даних елементного аналізу водних витяжок ґрунтів, з чого можна дійти висновку, що схожий хімічний склад різних пунктів викликає схожу реакцію тест-відгуків.

Розрахунок індексу токсичності ґрунтів і водних витяжок ґрунтів за результатами біотестування. Ми використовували шкалу токсичності (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Шкала токсичності тестованого фактора (у модифікації)

Клас токсичності	Індекс токсичності	Роз'яснення
VI (стимуляція)		Фактор має стимулюючий вплив на тест-об'єкти. Величина тест-функції в досліді перевищує контрольні значення
значна	>1,60	
виражена	1,50-1,60	
помітна	1,50	
середня	1,11-1,40	
слабка	1,10	
V норма	0,91-1,00	Фактор не має суттєвого впливу на розвиток тест-об'єктів. Величина тест-функції знаходиться на рівні контролю
IV (низька токсичність)	0,71-0,90	Різний ступінь зниження величини тест-функції в досліді у порівнянні з контролем
III (середня)	0,50-0,70	
II (висока)	<50 (нижче індексу LD ₅₀ прийнятого в токсикології)	
I (надвисока, викликає загибель тест-об'єкту)	Середовище не придатне для життєдіяльності тест-об'єкту	Відмічається загибель тест-об'єкту

За підсумками біотестування, беручи до уваги шкалу токсичності тестованого фактору, було зроблено розрахунок індексу токсичності ґрунтів окремо для кожної тест-системи (рис. 3.4).

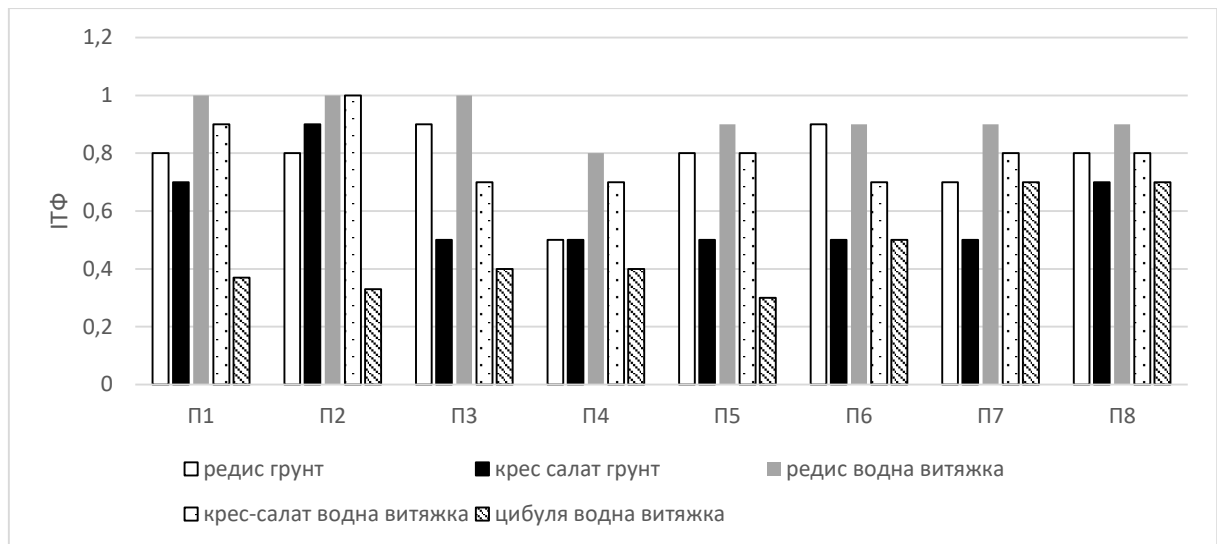


Рис. 3.4. Індекси токсичності тестованих середовищ для різних модельних організмів

Питання про розроблення шкал токсичності природних середовищ із комплексом поллютантів залишається ще відкритим, незважаючи на те, що існує кілька десятків шкал, якими користується сучасна наука. Відкритість питання пов'язана з тим, що реакції тест-організмів на модельні умови різко відрізняються від таких у природних умовах, де створити вплив будь-якого одного поллютанта неможливо. Майже завжди ми маємо справу з комплексом поллютантів, у якому врахувати вплив кожного часом буває складно, і не завжди можна виявити механізми взаємозв'язку.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що редис (*Raphanus sativus*), крес-салат (*Lepidium sativum*) і цибуля ріпчаста (*Allium cepa*) можуть бути використані для біотестування ґрунтів техногенних зон міських територій. Крес-салат більш чутливий до підвищеного вмісту важких металів у ґрунті, а цибуля ріпчаста найбільш чутлива до вмісту важких металів у водних витяжках ґрунтів техногенних зон міста.

2. Ґрунти техногенних зон міських територій містять до 3 ГДК міді, до 7 ГДК свинцю, до 4 ГДК кадмію, до 2 ГДК цинку, до 4 ГДК хрому/

3. Реакція цибулі ріпчастої на вміст важких металів у ґрунтах техногенних зон, проявилася в достовірному інгібуванні мітотичної активності клітин апікальної меристеми корінців проростків (у середньому на 19%).

4. Фітотоксична дія ґрунтів проявилася в інгібуванні схожості насіння редиски до 53%. У всіх вивчених проростків редиски, вирощених на тестованих ґрунтах, відбувалося як інгібування (у середньому до 30%), так і стимулювання росту кореневої системи (у середньому до до 30%), так і стимулювання росту кореневої системи (у середньому до 25%); ріст надземної частини проростків редиски ґрунтами техногенних зон інгібувався (у середньому на 23%) і стимулювався в середньому на 17%; активність каталази інгібувалася, в середньому, на 60%.

5. Фітотоксична дія ґрунтів проявилася в інгібуванні схожості насіння крес-салату в середньому до 50%. Ріст підземної частини проростків крес-салату інгібувався в середньому до 40%, ріст надземної частини інгібувався в середньому на 31%, активність каталази інгібувалася до 44%. Активність каталази проростків редиски та крес-салату може бути використана як індикаторна ознака при біотестуванні ґрунтів техногенних зон міста.

6. Вміст важких металів у водних витяжках ґрунтів техногенних зон не перевищує ГДК, проте, вони пригнічували і стимулювали розвиток індикаторних ознак. Цілком ймовірно, це відбувається через синергічний ефект, що виникає внаслідок поліелементного складу водних витяжок ґрунтів.

7. Водна витяжка ґрунтів техногенних зон за чотириденного експонування в ній цибулин *Allium* сера інгібує розвиток коренів у середньому на 55%, за семиденного - у середньому на 54%, за чотирнадцятиденного експонування - у середньому на 49%. За цього терміну експонування має місце і стимульований вплив водної витяжки на ріст коренів цибулі ріпчастої (у 13% випадках). Крім того, водна витяжка стимулює утворення потовщень у 38% коренів цибулин на 7 добу експонування та інгібує мітотичну активність клітин апікальної меристеми корінців дослідних проростків цибулі ріпчастої (у середньому на 11%).

8. Фітотоксична дія водних витяжок ґрунтів проявилася в інгібуванні схожості насіння редиски в середньому на 29%. У всіх вивчених проростків редису, відбувалося як інгібування (у середньому на 13%), так і стимулювання росту кореневої системи (одиночний випадок на 49%). Ріст надземної частини проростків редиски стимулювався в середньому на 20%, і пригнічувався в середньому на 16%. Активність каталази стимулювалася в середньому на 14%, інгібувалася в середньому на 31%.

9. Фітотоксична дія водних витяжок ґрунтів проявилася в пригніченні схожості насіння крес-салату в середньому на 18%, в пригніченні росту підземної та надземної частини проростків і активності каталази (в середньому на 33%, 25% і 15% відповідно). Активність каталази проростків редису і крес-салату може бути використана як індикаторна ознака при біотестуванні водних витяжок ґрунтів техногенних зон міста.

10. У результаті проведеного кореляційного аналізу між вмістом важких металів у ґрунті, що перевищують ГДК, і проявом індикаторних ознак встановлено, що максимально перевищують ГДК свинцю для пункту, не завжди тісно корелює з проявом індикаторних ознак, навпаки спостерігається більша залежність між проявом індикаторних ознак із важкими металами, концентрації яких у ґрунті не максимально перевищують свої ГДК для пункту, або взагалі не перевищують їх.

11. Інгібований і стимульований розвиток індикаторних ознак має бути відображений в оціночних шкалах тестованих середовищ довкілля, у зв'язку з чим було розроблено шкалу токсичності середовищ довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Берестецкий О. Методы определения токсичности почв / О. Берестецкий. Киев: Урожай, 1971. С. 139–243.
2. Бешлей З. М. Використання рослинних тест-систем для оцінки токсичності техногенно забруднених субстратів / З. М. Бешлей, С. В. Бешлей, В. І. Баранов, О. І. Терек // *Вісник Харківського національного аграрного університету*. Сер.: Біологія. 2014. Вип. 1. С. 97-102.
3. Білявський Г. О. Основи екології: Підручник. 2-ге вид. / Г.О. Білявський, Р. С. Фурдуй, І. Ю. Костіков. К.: Либідь, 2005. 408 с.
4. Біоіндикація та біотестування: навчальний посібник / В. В. Никифоров, С. В. Дігтяр, О. В. Мазницька, Т. Ф. Козловська. Кременчук : КрНУ, 2016. 100 с.
5. Валерко Р. А. Особливості біотестування антропогенно забруднених ґрунтів з метою їх екоотоксичної оцінки / Р. А. Валерко // *Вісник Харківського національного аграрного університету*. Сер.: Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство. 2013. № 2. С. 262-266.
6. Горова А., Кулина С. Оцінка токсичності ґрунтів Червоноградського гірничопромислового району за допомогою ростового тесту. *Вісник Львів. ун-ту*. Сер. біологічна. 2008. Вип. 48. С. 189—194.
7. Григорчук І. Д. Використання рослинних біоіндикаторів для оцінки токсичності ґрунтів на території м. Кам'янця-Подільського / І. Д. Григорчук // *Біологічні системи*. 2016. Т. 8, Вип. 2. С. 212-218.
8. Грицак Л. Р. Біоіндикаційні методи для потреб системного аналізу якості довкілля / Л. Р. Грицак, І. М. Барна, І. М. Кодлюк, І. І. Сельська, Ю. Т. Сплавінська, Х. В. Сукар, С. С. Барна // *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка*. Серія : Географія. 2017. № 2. С. 153-165.
9. Гришко В. М. Тестування впливу сполук фтору на рослини / В. М. Гришко // *Науковий вісник Чернівецького нац.університету*. 2008, Вип.417. С.315-319.

10. Гришко В.М., Сишиков Д.В., Піскова О.М. Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна небезпека. Донецьк: Донбас, 2012. 304 с.
11. Губачов О. І. Особливості використання рослин для біотестування ґрунтів з метою визначення рівня екологічної безпеки промислових територій / О. І. Губачов // *Наук. Вісник КУЕІТУ. Нові технології*. 2010. № 3 (29). С. 164–171.
12. Гуральчук Ж.З. Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії : монографія / Ж.З. Гуральчук. К.: Логос, 2006. 208 с.
13. Джура Н. М. Можливості використання рослинних тест-систем для біомоніторингу нафто забруднених ґрунтів // *Біологічні студії*. 2011. Т. 5, № 3. С. 181–188.
14. Дідух Я. П. Основи біоіндикації / Я. П. Дідух. Київ: НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України, 2012. 344 с.
15. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. Київ: Наук. думка, 1994. 280 с.
16. ДСТУ ISO 11269-1:2004. Якість ґрунту. Визначання дії забрудників на флору ґрунту. Ч. 1. Метод визначення гальмівної дії на ріст коренів (ISO 11269-1:1993, IDT). [Чинний від 2005-07-01]. К. : Держспоживстандарт України, 2005. 14 с.
17. Еколого-токсикологічна оцінка якості компонентів довкілля: практикум / О. М. Крайнюков, І. А. Кривицька. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2020. 56 с.
18. Еколого-токсикологічна оцінка якості поверхневих вод, ґрунтів та донних відкладень : навчально-методичний посібник / уклад. О. М. Крайнюков, А. М. Крайнюкова, І. А. Кривицька. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2020. 100 с.
19. Єфремова О. О. Біотестування. Сучасний стан практичного використання / О. О. Єфремова, І. П. Крайнов / *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*, 2006. 27 – 30 с.
20. Крайнюков О. М. Моніторинг довкілля (моніторинг нафтогазоносних територій) / О. М. Крайнюков, А. Н. Некос. Х. : Фоліо, 2015. 203 с.

21. Крупей К.С. Біоіндикація та біометрія: навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра напряму підготовки «Екологія, охорона навколишнього природного середовища та збалансоване природокористування». Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2016. 80 с.
22. Кучерявий В. П. Урбоекологія / В. П. Кучерявий. Львів: Світ, 2001. 440 с.
23. МР 2.2.12-141-2007. Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів / [С. А. Риженко, А.І. Горова, Т. В. Скворцова та ін.]. - К.: Головне базове видавництво МОЗ України ДП «Центр інформаційних технологій». 2007. 35 с.
24. Ольхович О. П. Фітоіндикація та фітомоніторинг / О. П. Ольхович, М. М. Мусієнко. К.: Фітосоціоцентр, 2005. 64 с.
25. Рідей Н. М. Методика досліджень біохімічного зв'язування вуглицю вуглекислоти ґрунту і ґрунтового повітря гетеротрофною мікрофлорою чорнозему типового / Н. М. Рідей // *Агроєкологічний журнал*. 2002. №1. С. 72-76.
26. Снітинський В. В. Ґрунтознавство з основами агрохімії та геоботаніки / В. В. Снітинський, В. Ф. Якобенчук. Л. : Аверс, 2006. 312 с.
27. Стаднічук О. Біоіндикаційне оцінювання токсичності ґрунтів у зоні впливу військової діяльності // *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. Серія: Хімічні науки. 2013. Т. 24 (273). С. 37–42.
28. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України [за ред. А.Т. Фатєєвої, Я.В. Пащенко. Харків: ННЦ ІГА ім. О.Н. Соколовського. Х., 2003. 117 с.
29. Франчук Г. М. Урбоекологія і техноєкологія / Г. М. Франчук, В. М. Ісаєнко, О. І. Запорожець. К. : НАУ, 2007. 200 с.
30. Шалімов М. О. Біоіндикація: Конспект лекцій для студ. спец. 8.040106–екологія, охорона навколишнього природного середовища та збалансоване

природокористування [Текст] / М. О. Шалімов. Одеса: Наука і техніка, 2011. 124 с.

31. Шалімов М. О. Біоіндикація: Конспект лекцій для студ. спец. 8.040106–екологія, охорона навколишнього природного середовища та збалансоване природокористування / М. О. Шалімов. Одеса: Наука і техніка, 2011. 124 с.

32. Foy C.D., Chaney R.L., White M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 1978. 29. P. 511—566.

33. Hasegawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.-K., Bohnert H.J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Plant Physiol.* 2000. 51. P. 463—499.

34. Obroucheva N.V., Bystrova E.I., Ivanov V.B., Antipova O.V., Seregin I.V. Root growth responses to lead in young maize seedlings. *Plant Soil.* 1998. 200. P. 55—61.

35. Sgherri C., Quartacci M., Navari-Izzo F. Early production of activated oxygen species in root apoplast of wheat following copper excess. *J. Plant Physiol.* 2007. 164. P. 1152—1160.

36. Benoit B. Mandelbrot, Richard L. Hudson. *The (mis) Behavior of Markets. A Fractal View of Risk, Ruin, and Reward.* Basic Books, 2017.

37. Boularbah A., Schwartz C., Bitton G., Morel J. L. Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: 1 Use of a biotest to assess metal toxicity of tailings and soils // *Chemosphere.* 2006 Vol. 63.

38. Nicolotti G., Egli S. Soil contamination by crude oil: impact on the mycorrhizosphere and on the revegetation potential of forest trees // *Environmental Pollution.* 1998 Vol. 99.

39. Wyszowski M., Ziolkowska A. Role of compost, bentonite and calcium oxide in restricting the effect of soil contamination with petrol and diesel oil on plants // *Chemosphere.* 2009 Vol. 74 Issue 6 P. 860–865.

40. Xiufeng Cao, Yufang Song, Jianrong Kai, Xiaoxia Yang, Puhui Ji. Evaluation of EROD and CYP3A4 activities in earthworm *Eisenia fetida* as biomarkers for soil heavy metal contamination // *Journal of Hazardous Materials.* 2012 Vol. 243 P. 146–151.