

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ БІОЛОГІЧНИЙ

Кафедра загальної та прикладної екології і зоології

Кваліфікаційна робота  
магістра

на тему ВПЛИВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ЖИТТЄЗДАТНІСТЬ  
CUCUMIS SATIVUS, CUCUMIS MELO ТА TRITUCUM HORDEUS  
В ПРИСУТНОСТІ ГУМІНОВИХ РЕЧОВИН

Виконала: студентка 2 курсу, групи 8.1018

спеціальності 101 екологія, освітньої програми екологія та  
охорона навколишнього середовища

\_\_\_\_\_ Поваляєва А.А. \_\_\_\_\_

Керівник \_\_\_\_\_ проф., д.б.н. Рильський О.Ф. \_\_\_\_\_

Рецензент \_\_\_\_\_ доц. к.б.н. Костюченко Н. І. \_\_\_\_\_

**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет біологічний  
Кафедра загальної та прикладної екології і зоології  
Освітній рівень магістр  
Спеціальність 101 екологія  
Освітня програма екологія та охорона навколишнього середовища

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри загальної та  
прикладної екології і зоології,  
д.б.н., проф.

О.Ф. Рильський

«          »            2019 року

**ЗАВДАННЯ**

на дипломну роботу студентці

Поваляєвій Анжеліці Андріївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Вплив важких металів на життєздатність *Cucumis sativus*,  
*Cucumis melo* та *Triticum hordeus* в присутності гумінових речовин

керівник роботи Рильський Олександр Федорович, проф., д.б.н.,

затверджена наказом ЗНУ від «12» червня 2019 року № 940-с

2 Строк подання роботи грудень 2019 року

3 Вихідні дані до роботи кваліфікаційна робота на тему «Вплив йонів важких металів на життєдіяльність каротиносинтезувальних дріжджів у присутності гумінових речовин»

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1)дослідити вплив йонів Кадмію на життєздатність *Cucumis sativus*, *Cucumis melo* та *Triticum hordeus* в присутності гумінових речовин;  
2)порівняти фітотоксичний ефект впливу різних концентрацій йонів Кадмію на життєздатність тест-культур *Cucumis sativus*, *Cucumis melo* та *Triticum hordeus* без та в присутності гумінових речовин.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): таблиці 1.1, 2.1, 3.1–3.4, рисунки: 3.1–3.6, Додатки А, Б, В

## 6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Притула Н. М., к.с.г.н., доцент		

7 Дата видачі завдання 11.02.2018 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд наукової літератури. Оформлення розділу 1	Жовтень – грудень 2018	Виконано
2.	Засвоєння техніки безпеки під час виконання експериментальної частини. Написання розділу 4	Січень – березень 2019	Виконано
3.	Оформлення розділу 2. Проведення експериментальних досліджень	Травень – червень 2019	Виконано
4.	Статистичний аналіз експериментальних даних. Формування експериментальної частини	Липень – серпень 2019	Виконано
5.	Оформлення кваліфікаційної роботи магістра	Вересень – жовтень 2019	Виконано
6.	Оформлення матеріалів до захисту, попередній захист кваліфікаційної роботи	Листопад – грудень 2019	Виконано
7.	Захист кваліфікаційної роботи	Січень 2020	Виконано

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Поваляєва А.А.  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Рильський О.Ф.  
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено  
Нормоконтролер \_\_\_\_\_  
(підпис)

Притула Н.М.  
(ініціали та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Дана робота розміщена на 68 сторінках друкованого тексту, містить 6 таблиць, 6 графічних рисунків, 9 фотографій. Список літератури включає 62 джерела.

Об'єкт дослідження – тест-культури *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. та *Triticum hordeus* L.

Мета роботи – дослідити вплив йонів важких металів на життєздатність тест-об'єктів *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. та *Triticum hordeus* L. у присутності гумінових речовин.

В результаті проведення дослідження було встановлено, що гумінові речовини здатні виявляти детоксикаційну дію на тест-культури *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. та *Triticum hordeus* L. в присутності йонів Кадмію.

Новизна роботи – вперше було проведено дослідження з характеру впливу йонів важких металів на фітоіндикатори *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. та *Triticum hordeus* L. у присутності гумінових речовин.

Значущість роботи – результати дослідження можна використовувати для екстраполяції даних на інші живі об'єкти для їх детоксикації за впливу йонів важких металів.

Результати дослідження можуть бути використанні для біоіндикаційних досліджень та детоксикації живих організмів за впливу йонів важких металів.

ТЕСТ-КУЛЬТУРИ, ТЕСТ-ОБ'ЄКТИ, ФІТОІНДИКАТОРИ, ВАЖКІ МЕТАЛИ, ЖИТТЄЗДАТНІСТЬ, ДЕТОКСИКАЦІЙНА ДІЯ, ГУМІНОВІ РЕЧОВИНИ

## ABSTRACT

This work is placed on 68 pages of printed text, contains 6 tables, 6 graphic images, 9 photographs. References include 62 sources.

The object of study is test-cultures of *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. and *Triticum hordeus* L.

The aim of the study is to investigate the influence of heavy metal ions on the vital activity of test-objects *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. and *Triticum hordeus* L. in the presence of humic substances.

As a result of the study, it was found that humic substances are capable of having a detoxifying effect on test-objects *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. and *Triticum hordeus* L. in the presence of Cadmium ions.

Novelty of work – the first study was conducted on the nature of the influence of heavy metal ions on phytoindicators *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. and *Triticum hordeus* L. in the presence of humic substances.

Significance of work – the results of the study can be used to extrapolate the results to other living objects for their detoxification by the influence of heavy metal ions.

The results of the study can be used for bioindicative studies and detoxification of living organisms under the influence of heavy metal ions.

TEST-CULTURES, TEST-OBJECTS, PHYTOINDICATORS, HEAVY METALS, VITALITY, DETOXATION ACTION, HUMIN SUBSTANCES

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	8
ВСТУП .....	9
1 ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	12
1.1 Загальна характеристика об'єктів дослідження.....	12
1.2 Вплив важких металів на живі організми.....	17
1.2.1 Механізми стійкості мікроорганізмів до дії важких металів .....	19
1.2.2 Дія важких металів на рослинні та тваринні організми.....	20
1.3 Визначення стану довкілля за допомогою еукаріотичних та прокаріотичних організмів.....	22
1.4 Функції та захисний ефект гумінових речовин.....	25
1.4.1 Загальна характеристика гумінових речовин.....	25
1.4.2 Вплив гумінових речовин на рослини .....	29
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	33
2.1 Методика проведення ростового тесту.....	33
2.2 Методика приготування витяжки гумату Натрію із торфу .....	35
2.3 Статистична обробка результатів дослідження .....	35
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА .....	38
3.1 Детоксикаційна дія гумату Натрію на показники схожості насіння тест- культур, що зазнали впливу йонів Кадмію.....	38
3.2 Вплив гумату Натрію на морфометричні показники тест-рослин за дії йонів Кадмію.....	44
3.3 Фітотоксичний ефект впливу йонів Кадмію на індикаторні рослини у присутності гумінових речовин.....	49
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	52

ВИСНОВКИ.....	57
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	59
ДОДАТКИ.....	66

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,  
ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БАР – біологічно-активні речовини

ВМ – важкі метали

ГР – гумінові речовини

МО – мікроорганізми

ОР – органічні речовини

ФЕ – фітотоксичний ефект



## ВСТУП

Зі зростанням навантаження на природне середовище, внаслідок якого забруднюється біосфера та збільшується тиск на природні системи, виникає необхідність контролю та індикації шкідливих речовин методом біоіндикації [1].

Рослини – це найбільш зручні індикатори забруднення навколишнього середовища, тому що вони є первісними ланками трофічних ланцюгів і відіграють головну роль у поглинанні різного роду забруднювачів. Унаслідок цього, за допомогою рослин можна достатньо точно оцінити екологічну ситуацію на досліджуваній території. Перевагу віддають тест-культурам, які швидко проростають. Найбільш розповсюдженими тест-культурами є пшениця, огірок та диня [2].

Останнім часом великий інтерес у науковців викликає біоіндикація живих організмів важких металів (ВМ) [3].

ВМ можуть міститись в продовольчій сировині та харчовій продукції, мають здатність накопичуватися в організмі. Але найбільша небезпека полягає в тому, що діаметр частинок більшості ВМ схожий на діаметри частинок інших «корисних» металів. Рецептори клітини можуть помилково пропускати туди токсиканти, які вбудовуються у клітину і викликають різні патології [4].

Одним із шляхів вирішення проблеми екологічно безпечного ведення господарства є застосування гумінових добрив природного походження [5]. Ці речовини здатні підвищувати стійкість рослин до різних несприятливих факторів (заморозків, засухи, дії пестицидів), відновлювати родючість ґрунту, підвищувати урожайність культур, покращувати харчову цінність продукції та її екологічну чистоту, знижувати витрати на отримання урожаю, підвищуючи рентабельність сільськогосподарського виробництва.

Гумінові речовини (ГР) становлять основну частину органічної речовини (ОР) поверхневих вод та чинять значний вплив на їхню якість.

Зокрема, від присутності ГР істотно залежить водневий показник (рН) води та кисневий режим водних об'єктів. Вони мають властивості регулятора окисно-відновного стану, значною мірою впливають на цикли біогенних речовин [5].

Також було доведено, що гумінові речовини можуть зв'язуватися зі сполуками металів, знижуючи таким чином токсичний вплив останніх на живі організми [6].

Метою кваліфікаційної роботи було дослідити вплив йонів важких металів на життєздатність тест-об'єктів *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. та *Triticum hordeus* L. у присутності гумінових речовин.

В ході зазначеної мети були поставлені наступні завдання:

1. Дослідити вплив різних концентрацій йонів Кадмію на життєздатність тест-культур *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. та *Triticum hordeus* L. у присутності гумінових речовин.

2. Порівняти фітотоксичний ефект впливу різних концентрацій йонів Кадмію на життєздатність тест-культур *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. та *Triticum hordeus* L. у присутності гумінових речовин.

3. Порівняти реакцію індикаторних рослин *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. та *Triticum hordeus* L. на вплив йонів Кадмію без та за дії гумінових речовин.

Об'єктом дослідження були *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. та *Triticum hordeus* L.

Предмет дослідження: життєздатність тест-об'єктів *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. та *Triticum hordeus* L. за дії важких металів у присутності гумінових речовин.

Новизна роботи – вперше було проведено дослідження з характеру впливу йонів важких металів на фітоіндикатори *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. та *Triticum hordeus* L. у присутності гумінових речовин.

Практична значення даної роботи полягає в тому, що результати дослідження можна використовувати для екстраполяції отриманих даних на інші живі об'єкти для їх детоксикації за впливу йонів важких металів.

Результати попередніх досліджень апробовані в періодичному науковому виданні «Питання біоіндикації та екології» (листопад 2018 р.).

## 1 ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1 Загальна характеристика об'єктів дослідження

Рослини – це найбільш зручні індикатори забруднення навколишнього середовища, тому що вони є первісними ланками трофічних ланцюгів і відіграють головну роль у поглинанні різного роду забруднювачів. Унаслідок цього, за допомогою рослин можна достатньо точно оцінити екологічну ситуацію на досліджуваній території [2]. Об'єктом дослідження були обрані *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. та *Triticum hordeus* L.

Диня звичайна (*Cucumis melo* L.) – однорічна рослина родини Гарбузових. Харчова баштанна культура, іноді застосовується як лікарська. Трав'яниста шорстко-опушена рослина. Стебло невиразногранчасте, повзуче, до 3 м завдовжки. Листки чергові, округло-серцеві, п'ятилопатові, зубчасті, 6–20 см завдовжки. Зверху шорсткі, знизу покриті жалкими волосинками. Квітки одностатеві, рідше – двостатеві; тичинкові – на коротких ніжках, зібрані негустими пазушними пучками; маточкові – одиничні. Віночок колесоподібний, п'ятироздільний, жовтий. Плід ягодоподібний (несправжня ягода), багатонасінний, зеленуватий або жовтуватий, кулястий, овальний або видовжений. Цвіте у липні – серпні. Плодоносить у серпні – вересні [7].

Огірок звичайний (*Cucumis sativus* L.) – вид одомашнених овочів з родини гарбузових. Коренева система огірка стрижнева, проникає в ґрунт на глибину до 80–120 см. Основна маса її сильно розгалужена в орному шарі (15–40 см), який добре прогрівається. Бокові корінці розростаються в діаметрі до 260 см. Однак, незважаючи на те, що коренева система займає такий великий об'єм ґрунту, вона відносно слабо засвоює поживні речовини і може вбирати їх лише з легкодоступних форм за температури не нижчої 20 °С. Тому для нормального росту і розвитку рослин потрібно, щоб у ґрунті була достатня кількість поживних речовин. На холодних і слабо окультурених ґрунтах коренева система розвивається слабо.

Стебло – повзуче, п’ятигранне з рівчиком на кожній грані, жорстко опушене. На ньому в пазухах 3–6 і наступних листків розвиваються вусики, завдяки яким рослина чіпляється за різні предмети і підтримується в горизонтальному, похилому або вертикальному стані. Довжина огудини в сортів і гібридів відкритого ґрунту досягає 80–250 см, а закритого ґрунту – 500 см і більше. У процесі росту стебло галузиться, утворюючи 2–8 і більше пагонів першого порядку, на них розвиваються пагони другого порядку і т.д. Довжина стебла залежить від сорту та умов вирощування. У кущових і детермінантних форм огірка довжина головної огудини не перевищує 80 см. Кожна частина огудини здатна за сприятливих умов укорінюватися. З метою більш раннього вступу рослин у плодоношення та збільшення на них репродуктивних органів інколи застосовують такий агрозахід, як прищипування верхівкової бруньки над 3–4 листком. Це сприяє швидкому утворенню бокових пагонів першого порядку, на яких у більшості формуються жіночі квітки.

Листки почергові, опушені, черешкові, серцеподібні, три- і п’ятилопастеві або овальні. Краї їх зубчасті. Розміри листків часто змінюються, залежно від умов вирощування. Забарвлення темно-зелене, зелене і світло-зелене, іноді зі світло-жовтим відтінком [8].

Суцвіття. На одній рослині формуються чоловічі, жіночі та дуже рідко двостатеві квітки. Цвітіння в ранньостиглих сортів, гібридів у відкритому ґрунті розпочинається через 25–30 діб після з’явлення сходів, причому перші жіночі квітки утворюються майже одночасно з чоловічими, а іноді й раніше, переважно на головній огудині. Цвітіння більш пізніх сортів розпочинається через 35–40 днів після з’явлення сходів. Чоловічі квітки (пустоцвіт) формуються на довгих плодоніжках і зібрані в щиток. Вони мають 5 тичинок і на 1–3 доби зацвітають швидше жіночих. Жіночі квітки здебільшого поодинокі і мають нижню видовженоовальну або еліпсоподібну зав’язь на короткій квітконіжці. Зав’язь має трипелюсткову форму, всередині якої

розміщається приймочка. Двостатеві квітки мають нижню зав'язь і приймочку, а також п'ять пиляків, іноді у двостатевих квіток зав'язь округла.

За формою віночка та чашечки квітки однакові. Чашечка п'ятироздільна, густо опушена. Чашолистки шилоподібні або ланцетоподібні і теж опушені. Віночок жовтий, колоподібний і складається з 5 пелюсток, у нижній частині зростається з чашечкою. У чоловічих п'ять тичинок, з яких чотири зростаються попарно. Пиляки петлеподібні, зігнуті. Жіноча квітка має трироздільну приймочку. Запилюються квітки за допомогою комах, переважно бджіл. Тому в насінництві просторова ізоляція між сортами на відкритій місцевості повинна становити 1000, а на закритій – 500 м [7–8].

У період цвітіння кількість жіночих квіток поступово збільшується до верхівки головної огудини та на бокових пагонах. Жіночі квітки переважно поодинокі. Співвідношення між чоловічими та жіночими квітками дуже варіює залежно від сорту, гібриду та умов вирощування. На центральних пагонах першими квітують чоловічі, рідше жіночі. На пагонах першого і другого порядків кількість жіночих квіток різко зростає. Селекціонерами створені сорти і гібриди з жіночим типом квітуванням. Тому при їх вирощуванні використовують сорти-запилювачі, які висівають через 8 рядків або в шаховому порядку (до 10 % від загальної кількості рослин). Збільшенню кількості жіночих квіток сприяє використання для сівби двох- і трьохрічного насіння. Цьому також сприяє прогрівання його перед сівбою, а також підживлення рослин вуглекислотою. В овочівництві використовують сортимент двох типів огірка: бджолозапильні та партенокарпічні сорти і гібриди. У бджолозапильних зав'язь починає розвиватися лише після запилення квітки або нанесення пилку на приймочку маточки. У партенокарпічних сортів і гібридів плід розвивається без запилення. Такі плоди є безнасінними, і їх збирають лише в технічній стиглості. Для одержання насіння квітки з жіночим типом цвітіння і партенокарпічні гібриди

потрібно запилювати. В огірка відоме явище апоміксису – утворення насіння без запилення [8].

Плід огірка – несправжня ягода (гарбузина) з 3–5 насінними камерами. На товарні цілі плоди збирають у технічній стиглості. Поверхня плодів у цей період велико-, дрібно-горбкувата або гладенька глянцева. Плоди з велико-горбкуватою поверхнею мають складне опушення, з дрібно-горбкуватою – просте або змішане, а з гладенькою глянцевою можуть бути з різним опушенням. При цьому слід зазначити, що забарвлення опушення 3–5-денної зав'язі безбарвне.

За формою плоди поділяють на яйцеподібні, видовжено-яйцеподібні, видовжено-овальні, циліндричні та веретеноподібні.

Забарвлення плодів зеленця варіює від світло-зеленого до темно-зеленого. Плоди в біологічній стиглості (насінники) мають забарвлення від білого до темно-коричневого з сіткою або без неї, що пов'язано із забарвленням їх опушення.

За розміром плоди поділяють на 3 категорії: зеленець, корнішон і пікуль. Технічна стиглість зеленця бджолозапильних сортів і гібридів у відкритому ґрунті настає через 8–10 діб, а в закритому – 5–10 діб після запилення, тоді як пікулів – через 1–3 доби залежно від погодних умов та інтенсивності плодоношення рослин. За скоростиглістю (від з'явлення сходів до першого збору) сорти та гібриди огірка поділяють на ультраранні (до 40 діб), ранні (до 45 діб), середньоранні (до 50 діб), середньостиглі (до 55 діб), середньопізні (до 60 діб) та пізньостиглі (понад 60 діб) [9].

Рослини огірка разом із вступом у плодоношення продовжують квітнути та формувати врожай для наступних зборів. Тому кожний збір урожаю проводять через 1–3 доби залежно від погодних умов та інтенсивності наростання плодів. При збиранні потрібно одночасно зривати всі плоди (перерослі, виродливі тощо), оскільки кожний залишений плід на рослині

використовує поживні речовини на формування насіння, внаслідок чого затримується формування нової зав'язі та зменшується інтенсивність наростання листків, що негативно відбивається на продуктивності рослин.

Насіння. На насіння плоди збирають у біологічній стиглості пізно восени до настання приморозків. Після збирання їх закладають на 15–20 діб на дозрівання і розм'якшення. Після цього насіння випускають, зброджують, промивають та висушують до сипучості. Насіння середнього розміру, видовжено-загострене, виповнене, білуватого забарвлення, без опушення. Маса 1000 насінин становить 16–25 г. При вологості 9 % воно добре зберігає посівні якості протягом 6–8 років [7–9].

Пшениця (*Triticum hordeus* L.) – рід однорічних трав'янистих рослин родини злакових, найважливіша харчова культура. Насіння видовженої форми.

Коренева система мичкувата, колоски розташовані колосом, по одному в кожному поглибленні його стержня. Стержень у диких видів ламкий. Колоски 2–5-квіткові; квіти тісно зближені, тільки нижні 1–3 плодущі, верхні чоловічі або нерозвинені. Зовнішні колоскові луски (плівки) парні, широкі, тупі, нагорі з одним зубцем або декількома остюками. Нижня квіткова луска на спинці опукла, з багатьма жилками, на кінці з декількома зубцями або остюками. Зерно з глибокою борозенкою, на вершині пухнасте, вільне. У рослини пшениці – властива всім злакам стебло-соломина з вузлами і зазвичай порожніми міжвузлями, а листя прості, лінійні, чергові, дворядні. Кожен лист відходить від вузла і складається з піхви, що охоплює вищерозміщене міжвузля на зразок розщепленої трубки, і довгої вузької пластинки. На кордоні між піхвою і пластинкою знаходяться три вирости – широкий туманний язичок, що прилягає до стебла, і два охоплюють останні пальцевидні вушка [8].

Верхнє міжвузля несе суцвіття – складний колос. Він складається з колінчатої центральної осі і дрібних суцвіть, що відходять від неї – колосків, звернених до осі широкою стороною. Кожен колосок несе на своїй осі від двох



до п'яти очерединих квіток, сукупність яких прикрита знизу двома – верхньої і нижньої – колоскові луски, що представляють собою закриті листи простого суцвіття.

Кожна квітка захищена парою спеціалізованих виростів – більшої, товстої та нижньої дещо тонкої верхньої квітковими лусками. У остистих сортів пшениці нижня квіткова луска закінчується довгою остю.

Квітки звичайно двостатеві, з трьома тичинками і товкачем, що несе два перистих рильця. У підстави зав'язі знаходяться дві або три дрібні лусочки – квіткові плівки, або лодікули, еквівалентні оцвітини. На час цвітіння вони набухають і розсовують луски. Пшениця – рослина в основному самоzapильна, хоча у деяких її типів відбувається і перехресне запилення. Після запліднення зав'язь перетворюється в маленький твердий плід – зернівку, яка утримується в колосі квітковими лусками.

Зернівка, або зерно, являє собою сформуваній з стінки зав'язі околоплідник, нерозривно пов'язаний з єдиним насінням, що містить зародок і ендосперм. Зародок знаходиться збоку в підставі зерна і складається з бруньки, корінця і прилеглої до ендосперму видозміненої сім'ядолі – щитка. Після проростання зародковий корінець дасть первинну кореневу систему, брунька – надземні органи рослини і його «дорослі» корені, а щиток виділятиме ферменти, що перетравлюють ендосперм, і переносять його поживні речовини до розвиненого проростку [9–10].

## 1.2 Вплив важких металів на живі організми

Одне з перших місць серед хімічних факторів забруднення довкілля займають солі ВМ, зокрема, Кадмію, Ртуті, Свинцю, Цинку та Міді, які є високотоксичними і можуть впливати на живі організми навіть у малих концентраціях [11]. ВМ є пріоритетними забруднювачами атмосферного

повітря, води водоймищ і ґрунтів у глобальних і регіональних масштабах. Через високу міграційну здатність, схильність до біоаккумуляції та політропності метали створюють небезпеку не тільки при безпосередній дії, але й через негативний вплив на санітарно-гігієнічні показники об'єктів навколишнього середовища [12–13].

У численних наукових дослідженнях досить повно висвітлені природні та техногенні джерела забруднення довкілля цими металами, визначена загальна їх токсичність, вивчені особливості метаболізму, встановлено ступінь канцерогенного, тератогенного, гонадотоксичного, ембріотоксичного та мутагенного впливу на організм [14]. Зокрема встановлено, що характерною особливістю біотичної дії йонів  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  і  $\text{Cu}^{2+}$  є їх безпосередня взаємодія [14–16].

Кадмій є одним з найбільш шкідливих для здоров'я людини хімічних елементів. Він накопичується у нирках, при його надлишку виникає викривлення, деформація, крихкість та ломкість кісток, що супроводжується сильним болем. Кадмій виявляє канцерогенну дію. Протягом життя його вміст у нирках збільшується у 100–1000 разів [17].

Також у великих кількостях акумулює Кадмій і тютюн: його концентрація в сухому листі в тисячі разів вище середніх значень.

Проте в невеликих концентраціях ВМ потрібні всім живим організмам, оскільки входять в склад ферментів і беруть участь у багатьох фізіологічних реакціях і процесах, які в них проходять. Наприклад, Цинк входить до каталази, яка являється одним з найефективних ферментів.

ВМ можуть змінювати валентність і тому беруть участь в окисно-відновних реакціях організмів. Як і мікроелементи, вони можуть утворювати сполуки з протеїдами. Наприклад, Молібден може сполучатись з ферментом флавопротеїном і утворювати нітратредуктазу, яка має важливе призначення. Флавін і Молібден є тимчасовими носіями електронів [18].

### 1.2.1 Механізми стійкості мікроорганізмів до дії важких металів

Мікроорганізми (МО) найбільш швидко реагують на зміни навколишнього середовища. Їх розвиток та активність знаходяться в прямій залежності від складу органічних і неорганічних речовин у середовищі, тому що вони здатні руйнувати сполуки природного та антропогенного походження. На цьому базується принцип використання їх у біоіндикації [19, 20]. Одним із етапів виконання багатьох екологічних завдань є дослідження характеру впливу ВМ на МО.

Відомо, що бактерії мають декілька механізмів стійкості до йонів ВМ [20–21]:

- позаклітинний бар'єр (клітинна стінка, мембрана або капсула перешкоджають потраплянню йонів металів у клітину);
- ефлюкс (активний транспорт йонів металів із клітини). Ефлюксні системи можуть кодуватися як хромосомними [22], так і плазмідними генетичними детермінантами [23];
- позаклітинна секвестрація (зв'язування йонів металів специфічними компонентами клітини в периплазматичному просторі або зовнішній мембрані);
- внутрішньоклітинна секвестрація (зв'язування йонів металів біополімерами в цитоплазмі клітини). В еукаріот відомі два типи білків, які здатні секвеструвати йони металів – металотіонеїни та фітохелатини (низькомолекулярні білки), які містять велику кількість залишків цистеїну та зв'язують йони металів сульфгідрильними групами [24];
- відновлення бактеріями йонів ВМ.

### 1.2.2 Дія важких металів на рослинні та тваринні організми

Отже, під впливом ВМ фізіологічні процеси в залежності від їх концентрації або пригнічуються, якщо вона недостатня або надмірна, або, коли концентрація оптимальна, проходять нормально. Це все відображається на морфометричних ознаках рослин, в тому числі на рості і розвитку.

Починаються ці процеси з проростання насіння. Саме проростання насіння починається з процесу набухання, коли насіння швидко вбирає велику кількість води. В цей період великі концентрації солей ВМ у ґрунті та й солей інших елементів призводить до утворення високого осмотичного тиску в ґрунті, в такому разі вода важко поступає в насіння і процеси набухання порушуються.

Якщо насіння все ж таки проростає, то високі концентрації металів можуть або дуже прискорювати метаболізм, або навпаки сповільнювати його. При прискоренні метаболізму переважають процеси дисиміляції, і рослина не встигає виробити достатню кількість структурних речовин. При високих концентраціях ВМ можуть руйнуватися нуклеїнові кислоти, білки, вітаміни і інші речовини, і при цьому порушуються фізіологічні процеси в рослинах. Зовнішніми ознаками порушення біохімічних і фізіологічних процесів є сповільнення процесів росту і розвитку, втрата стійкості до хвороб, до посухи, втрата зимостійкості, пожовтіння і в'янення асимілюючої поверхні (листіків) та інші. Також є відомості, що при високих концентраціях цих металів виникають пошкодження хромосом.

При недостатності Марганцю викликає точковий хлороз, Молібдену – хлороз і порушення азотного живлення, Цинку – в рослин не формується нормально вегетативна маса, утворюється розеточність [25].

Наявність ВМ у біосфері (воді, ґрунті, рослинах) має подвійне значення: як мікроелементи вони необхідні для нормального перебігу фізіологічних процесів, але водночас токсичні у підвищених концентраціях, що негативно

позначається на здоров'ї, продуктивності тварин та якості сільськогосподарської продукції. Токсичні хімічні елементи, що потрапляють до організму людини і тварини (з їжею, кормом) виводяться з нього повільно. В організмі їх акумулюють окремі органи і тканини. Тому вирощені на відносно чистих або малозабруднених ґрунтах корми можуть стати джерелом надмірного надходження важких металів в організм і негативно впливати на обмін речовин [26].

Організм тварин є важливою ланкою у харчовому ланцюзі, куди переважно з кормів надходять ВМ, всмоктуються та розподіляються в різні органи і тканини.

Підвищений вміст у кормах рухомих форм Плюмбуму, які перевищують максимально допустиму концентрацію, негативно впливає на гематологічні показники крові та метаболічні процеси в організмі тварин. Відомо, що корми є однією з основних ланок міграції ВМ в організм тварин. Дослідження свідчать, що за підвищеного рівня ВМ (Купруму, Цинку, Плюмбуму, Кадмію) в організмі корів змінюються гематологічні показники крові: кількість еритроцитів – зменшується, лейкоцити, гематокрит, гемоглобін – збільшуються. Білки крові також змінюють свої показники за дії ВМ на організм корів. Загальний білок знижується, що пов'язано з порушенням білоксинтезуючих функцій печінки і зниженням активності відповідних ферментних систем [27–29].

Після потрапляння йонів Кадмію в організмі риб відбуваються гематологічні зміни показників, які характеризують інтенсивність еритропоезу. Зокрема пригнічується синтез гемоглобіну. Із збільшенням концентрації йонів Кадмію спостерігається незначне зменшення кількості еритроцитів у крові. Щодо гематокритного числа, то спостерігається його зменшення [30].

Одним із ВМ є Хром, який залежно від валентного стану може виконувати різну еколого-біохімічну роль. Шестивалентний Хром несприятливо впливає на більшість життєвих процесів в організмі людини і

тварин, пошкоджує функціональну активність видільної, травної і нервової систем.

Дослідження показали, що за умов введення в організм щурів катіонів Cr (VI) відносний вміст молодих еритроцитів поступово зростає. Щодо дослідження динаміки гемоглобіну – білка, що відіграє визначальну роль у процесах транспорту кисню, встановлено, що вміст цього гемопротейну поступово зменшується [31].

Рослини – це найбільш зручні індикатори забруднення навколишнього середовища, тому що вони є первісними ланками трофічних ланцюгів і відіграють головну роль у поглинанні різного роду забруднювачів. Унаслідок цього, за допомогою рослин можна достатньо точно оцінити екологічну ситуацію на досліджуваній території.

Перевагу віддають тест-культурам, які швидко проростають та є характерними для даного регіону. Наприклад, у регіонах з дерново-підзолистими ґрунтами в якості тест-культури використовують овес і горох; у регіонах зі степовими ґрунтами – пшеницю, люцерну, боби і квасоллю. Найбільш розповсюдженими тест-культурами є пшениця, огірок та диня [2]. Тому було обрано *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. та *Triticum hordeus* L. для проведення нашого дослідження.

### 1.3 Визначення стану довкілля за допомогою еукаріотичних та прокаріотичних організмів

Оцінкою якості середовища існування або його окремих компонентів за станом біоти у природних умовах називають біоіндикацію. Головна мета біоіндикації – діагностика стану екосистем шляхом встановлення здатності організмів до адаптації у відповідних умовах довкілля. Основним завданням біоіндикації є виявлення видів-біоіндикаторів, які реагують на зміни у стані

довкілля, що виникли під дією природних і антропогенних факторів, і добір індикаторів-тестерів з високим порогом чутливості до змін у стані довкілля [32].

Біоіндикатори – види, групи видів або угруповання, за наявності, ступенем розвитку, зміною морфологічних, структурно-функціональних, генетичних характеристик яких роблять висновок про стан довкілля. Як біоіндикатори часто виступають лишайники та мохоподібні, у водних екосистемах – угруповання бактеріопланктону, фітопланктону, зоопланктону, зообентосу, фітобентосу, перифітону [33].

Біоіндикаційні дослідження поділяються на два рівні: видовий і біоценотичний. Видовий рівень включає констатацію присутності організму, облік частоти його трапляння, вивчення його анатомо-морфологічних, фізіолого-біохімічних властивостей. При біоценотичному моніторингу враховуються різні показники різноманітності видів, продуктивність цього угруповання.

Критерії вибору біоіндикатора:

- швидка реакція;
- надійність (помилка < 20 %);
- простота;
- моніторингові можливості (постійно присутній в природі об'єкт).

Залежно від того які організми виступають в ролі індикаторів виділяють наступні види біоіндикації.

Фітоіндикація – це виявлення і визначення екологічно значущих антропогенних навантажень на основі реакції на них рослин.

Ліхеноіндикація – використання лишайників як біоіндикаторів ступеня забруднення атмосферного повітря, засноване на вивченні складу і біологічних особливостей ліхенофлори [34].

Дендроіндикація – використання деревних рослин для оцінки стану і змін навколишнього середовища під впливом екологічних факторів.

За допомогою рослин можна проводити біоіндикації всіх природних середовищ. Індикаторні рослини використовуються при оцінці механічного та кислотного складу ґрунтів, їх родючості, зволоження і засолення, ступенем мінералізації ґрунтових вод і ступеня забруднення атмосферного повітря газоподібними сполуками, а також при виявленні трофічних властивостей водойм і ступеня їх забруднення поллютантами [35].

Чутливі фітоіндикатори вказують на присутність забруднюючої речовини в повітрі або ґрунті ранніми морфологічними реакціями – зміною забарвлення листя, різної форми некрозами, передчасним старінням і опаданням листя. У багаторічних рослин забруднюючі речовини викликають зміну розмірів, форми, кількості органів, напрямку росту пагонів або зміну плодючості.

Хребетні тварини також служать добрими індикаторами стану середовища завдяки наступним особливостям. Будучи консументами, вони знаходяться на різних трофічних рівнях екосистем і акумулюють через харчові ланцюги забруднюючі речовини. Тварини мають активний обмін речовин, що сприяє швидкому прояву впливу негативних факторів середовища на організм, мають добре диференційовані тканини і органи, які володіють різною здатністю до накопичення токсичних речовин і неоднозначністю фізіологічного відгуку, що дозволяє досліднику мати широкий набір тестів на рівні тканин, органів і функцій. Тварин з коротким циклом розвитку і численними нащадками можна використовувати для проведення ряду тривалих спостережень і простежувати вплив фактора на наступні покоління; для довгоживучих тварин можна вибрати особливо чутливі тести відповідно до особливо уразливих етапів онтогенезу [36].

Проте основною перевагою в якості біоіндикаторів є використання еукаріотичних МО, що полягає в їх цитологічній та біохімічній близькості до людини [37].

Вчені зазначають тенденції переважного зменшення чисельності окремих груп МО при внесенні певних пестицидів.



Існують певні групи МО, зменшення чисельності яких свідчить про антропогенний вплив на ґрунт. Дані фізіологічні групи реагують на зміну багатьох показників (наприклад, нітрифікатори).

У забруднених ґрунтах бурхливо розвиваються МО, які здійснюють розпад гнильних продуктів, а нітрифікація пригнічена [37].

Інтенсивний процес нітрифікації говорить про завершення розпаду органічних забруднювачів і активно відбувається самоочищення ґрунту.

Останні десятиріччя проводяться дослідження впливу ВМ на МО-біоіндикатори [38–39]. Проте відсутні відомості про вплив ВМ на рослинні організми у присутності гумінових речовин (ГР). Це спонукає нас дослідити вплив ВМ на рослинні організми в присутності ГР з метою їх використання у детоксикації організмів.

#### 1.4 Функції та захисний ефект гумінових речовин

##### 1.4.1 Загальна характеристика гумінових речовин

Гумінові речовини поділяються на три головні фракції: гуміни, гумінові кислоти та фульвокислоти (табл.1.1). Цей поділ здебільшого умовний і оснований на розчинності кожної фракції у воді і відрегульований за різним значенням рН. Гуміни – нерозчинні залишки органічної речовини молекулярною масою понад 100000 а.о. Фізіологічно неактивні речовини.

Гумінові кислоти – природні органічні сполуки, що утворюються в процесі гуміфікації продуктів рослинного, тваринного і мікробного походження. Основна їх частина стійка до біохімічного розщеплення і тому накопичується в ґрунті, біогумусі, сапропелях, торфі, бурому вугіллі. Гумінові кислоти мають високу фізіологічну активність і молекулярну масу від 10000 до 100000 а.о. В ґрунті накопичуються у вигляді нерозчинних і недоступних рослинам сполук. Це азотовмісні високомолекулярні оксикарбонові кислоти з

інтенсивним темно-бурим або червоно-бурим забарвленням. Їх екстрагують з ґрунту розчинами лугів й отримують гумати – солі гумінових кислот. Залежно від лугу, яким здійснюють екстракцію, виділяють гумати калію, натрію або амонію.

Фульвові кислоти – розчинні як у вигляді солей, так і самостійно. Мають високу біологічну активність. Молекулярна маса 800–10000 а.о. Майже не накопичуються у ґрунті [5, 40].

Таблиця 1.1 – Загальні властивості трьох головних компонентів гумусу

Властивості	Гуміни	Гумінові кислоти	Фульвокислоти
Молекулярна маса	$10^7$	$10^5 - 10^4$	$10^4 - 10^3$
Обмінна ємність, г-моль/кг	100	300 – 500	500 – 1000
Вміст вуглецю, г/ кг	620	620 – 560	560 – 430
Вміст кисню, г/кг	290	340 – 360	440 – 510
Вміст азоту, г/кг	55	46 – 43	7
Вміст водню, г/кг	55–29	67 – 33	50
Удобрювальні властивості (відгук рослин)	Повільний	Швидкий	Швидкий

Кожна функціональна група фрагмента молекули гумінової кислоти виконує свою безпосередню роль, а таких груп дуже багато, тому дія гуматів на воду, ґрунт і всі стадії росту рослин багатогранна. У ґрунті гумінові кислоти знаходяться у зв'язаному стані. Вони входять в органомінеральні комплекси, утворюючи слаборозчинні сполуки з Ca, Mg, Fe, Al. У зв'язку з поганою розчинністю, низькою швидкістю мінералізації і реакцій заміщення, а також зі зв'язаністю з іншими сполуками, в рослини попадає надзвичайно мала кількість біологічно активних речовин, які присутні у ґрунті. А для забезпечення родючості ґрунту вміст гумусу в ньому повинен бути досить

високим на рівні 8–10 %. Нині вміст гумусу в них становить 3–4 %. Щоб зупинити подальше зниження вмісту гумусу у ґрунтах, необхідно застосовувати системи, при якій винесення гумусу з ґрунту разом з урожаєм культур компенсується поверненням до них органіки [41–42].

У рослинництві надають перевагу гуматам Калію. Це пов'язано з впливом Калію на оптимізацію водного балансу рослин за рахунок регулювання поглинання вологи з ґрунту через кореневу систему, що підвищує посухостійкість рослин. Натрієві гумати здебільшого використовують як кормові добавки в рослинництві та тваринництві. Оскільки в процесі виробництва разом з гуміновими кислотами екстрагуються і фульвові, то зазвичай гуматами називають суміш солей гумінових і фульвових кислот.

Гумати можна розділити на види, залежно від сировини, з якої їх видобувають. На ефективність їх дії перш за все впливає якість сировини. Чим вищий вміст гумінових кислот у сировині, тим більша концентрація гуматів у кінцевому продукті. Чим однорідніша сировина (довший процес гуміфікації), тим стабільніша якість препарату.

Виробництво гумінових речовин пройшло досить великий шлях від високобаластних гуматів із низьким вмістом активних речовин до сучасних високотехнологічних продуктів нового покоління. Завдяки своїм унікальним властивостям нові природні гумінові добрива збільшують енергетику рослинної клітини, стимулюють процеси життєдіяльності, посилюють корисну дію інших речовин. Це продукти з мінімальним вмістом баласту, високим вмістом біологічно активних речовин, з гарантовано стабільними властивостями, що забезпечують точне дозування і прогнозовано високу ефективність дії [5].

ГР виконують в біосфері безліч функцій, з яких найважливіші наступні.

1. Акумулятивна функція. Вона полягає в накопиченні хімічних елементів і енергії, необхідних живим організмам. У складі ГР знайдено від 40 до 60 % Вуглецю, 3–5 % Нітрогену, 30–40 % Оксигену, а також Водень,

Сірка, Фосфор, багато металеві катіони, в тому числі мікроелементи. Не випадково темно-сірі та чорні за кольором ґрунти в народі завжди вважали родючими і називали, хоча і не завжди правильно, чорноземами. Забарвлення таким ґрунтам надають гумусові речовини [43–44].

ГР віддають живим організмам необхідні їм елементи живлення поступово, у міру їх споживання, зберігаючи тим самим необхідний запас цих елементів для наступних поколінь. Цим вони істотно відрізняються від багатьох мінеральних сполук, які можуть постачати рослини елементами живлення, але представлені, як правило, легкорозчинними речовинами, які швидко витрачаються або вимиваються з ґрунту. У той же час частина мінеральних елементів входить в кристалічну решітку алюмосилікатів, вони недоступні живим організмам і тільки після руйнування мінералів споживаються рослинами.

2. Транспортна функція. Вона полягає у формуванні геохімічних потоків мінеральних і органічних речовин, переважно у водних середовищах, за рахунок утворення стійких, але порівняно легкорозчинних комплексних сполук гумусових кислот з катйонами металів або гідроксидами.

3. Регуляторна функція. Ця функція об'єднує безліч різних явищ і процесів і відноситься до ґрунтів, вод та інших природних тіл. У регуляторної функції ГР можна виділити кілька головних складових:

- формування ґрунтової структури і водно-фізичних властивостей ґрунтів;
- регулювання реакцій іонного обміну між твердими і рідкими фазами;
- вплив на кислотно-основні та окисно-відновні режими;
- регулювання умов харчування живих організмів шляхом зміни розчинності мінеральних компонентів;
- регулювання теплового режиму ґрунтів і атмосфери, включаючи прояви парникового ефекту.

4. Протекторна функція, яка полягає в здатності ГР зв'язувати в малорухливі або складнодисоціюючі з'єднання токсичні і радіоактивні

елементи, а також сполуки, що негативно впливають на екологічну ситуацію в природі, в тому числі вони можуть інкорпорувати деякі пестициди, вуглеводні, феноли. Захисна функція гумінових речовин настільки велика, що багаті ними ґрунту можуть повністю запобігти надходженню в ґрунтові води йонів Плюмбуму та інших токсичних речовин.

5. Фізіологічна функція. Багатьма дослідниками було встановлено, що різні ГР, особливо гумінові кислоти і їх солі, можуть стимулювати проростання насіння, активізувати дихання рослин, підвищувати продуктивність великої рогатої худоби, птиці. Більш того, було показано, що деякі препарати ГР стримують розвиток злоякісних пухлин, підвищують стійкість організмів до різного роду запальних процесів [45–46].

#### 1.4.2 Вплив гумінових речовин на рослини

Гумінові речовини впливають на рослину прямо або опосередковано. Непрямий ефект пов'язаний з поліпшенням водно-фізичних властивостей ґрунту, активізацією мікрофлори, впливом на міграцію поживних речовин, зв'язуванням токсичних агентів (пестицидів, важких металів).

Гумусові речовини мають пряму всебічну дію на процеси росту рослин, тобто здійснюють їх регуляцію. Вплив гумінових добрив на рослини має складний багатоступеневий характер та охоплює весь період вегетації рослин. Кожна функціональна група фрагменту молекули гумінової кислоти виконує свою безпосередню роль, а таких груп дуже багато, тому дія гуматів на воду, ґрунт і всі стадії росту рослин багатогранна [40–42].

З гуміновими речовинами в рослину потрапляє певна кількість поживних речовин – Нітрогену, Фосфору, Калію, Кальцію, Сульфуру та інших мікроелементів, а також амінокислот, вітамінів і ростових речовин. Потрапляючи в рослину, гумінові речовини активують ферментативну

активність усіх клітин рослини та утворення стимулюючих сполук самою рослиною. Як результат – зростання енергетики клітини, зміна фізико-хімічних властивостей протоплазми, інтенсифікація обміну речовин. Збільшується проникливість мембрани клітин кореня, покращується проникнення елементів мінерального живлення із ґрунтового розчину до рослин у вигляді гуміново-мінеральних сполук. Це призводить до посилення поглинання рослиною поживних речовин.

Крім того, за рахунок гуматів покращується надходження у рослину із ґрунту цукрів, амінокислот, вітамінів, гормонів. Прискорюється надходження води та поглинання кисню рослинами, що у підсумку інтенсифікує дихання рослин. Внаслідок посиленого дихання прискорюється поділ клітин, фотосинтез, синтез білків, посилення росту кореневої системи, надземної маси, збільшується вихід сухої речовини, а значить і загальна життєдіяльність рослин покращується.

Все це в кінцевому підсумку призводить до посилення росту, підвищення продуктивності рослин та покращення якості продукції. Гумати виступають як органічні добрива і як регулятори росту рослин [47].

Найкраще дія гумінових речовин проявляється, коли обробка рослин розпочинається із ранніх фаз розвитку, причому коренева система відрізняється більшою чутливістю до препарату. Встановлено, що однорічні рослини краще реагують на гумати на початку свого розвитку і в період утворення репродуктивних органів.

Ці речовини здатні підвищувати стійкість рослин до різних несприятливих факторів (заморозків, засухи, дії пестицидів), відновлювати родючість ґрунту, підвищувати врожайність культур, покращувати харчову цінність продукції та її екологічну чистоту, знижувати витрати на отримання врожаю, підвищуючи рентабельність сільськогосподарського виробництва. Вони використовуються для обробки насіння перед посівом, обприскування рослин у період вегетації, внесення у ґрунт при крапельному поливі. Їх застосовують практично на всіх сільськогосподарських культурах.

В умовах заморозків обприскування рослин гуматами підвищує в'язкість протоплазми клітин та концентрацію клітинного соку. Це призводить до зниження температури замерзання клітинного соку, зменшення розміру кристалів льоду в клітинах і допомагає зменшити або уникнути пошкодження рослин заморозком.

Обробка насіння ярих культур гуматами або рання обробка по вегетації дозволяє в умовах зниження температури на 1–3 °С від мінімально допустимої, відновити нормальний метаболізм у клітинах рослин, всисну здатність кореневої системи, попередити відставання у темпах росту і розвитку рослин.

За високих температур обприскування рослин гуматами допомагає підтримати процес фотосинтезу в умовах перевищення максимально допустимих температур на 2–4 °С. Це дозволяє рости і розвиватися рослинам в умовах, коли температура навколишнього середовища сягає вище 33–36 °С, що особливо актуально для більшості регіонів останніми роками.

В умовах посухи обприскування рослин гуматами зменшує коефіцієнт транспірації на 17–25 %. Це дає змогу рослині синтезувати до 25 % більше органічної речовини і, відповідно, урожаю з тієї ж кількості доступної вологи.

Обприскування посівів гуматами після градобою або інших механічних пошкоджень рослин, наприклад шкідниками, стимулюється відростання листкової маси і галуження стебел, що значно зменшує втрати від пошкоджень. Також посилюється імунітет рослин і знижується їх зараження патогенами у місцях пошкоджень.

Антистресова дія гуматів проявляється також при роботі з пестицидами. Застосування гуматів разом із протруйниками зменшує їх інгібуючий вплив на проростання зародку насінини, підвищує темпи росту і розвитку рослин [48].

Застосування гуматів разом із гербіцидами зменшує їх фітотоксичний вплив і скорочує період пригнічення культурних рослин. Посіви не втрачають 3–7 днів вегетації на вихід із стресового стану. Обприскування фунгіцидами

зупиняє розвиток хвороб, а додавання гуматів відновлює рослини за рахунок рістстимулюючих та імуностимулюючих властивостей.

За рахунок підвищення імунітету рослин подовжується період захисної дії фунгіцидів, внаслідок чого рослини довше плодоносять. Це особливо важливо для овочевих культур (томатів, огірка) [49].

Поряд з тим гумінові речовини здатні утворювати комплексні сполуки із солями металів, зменшуючи таким чином концентрацію останніх у розчині [6].

Проведені дослідження із пестицидами на різних сільськогосподарських культурах показали, що застосування гуматів сприяє підвищенню стійкості рослин проти ураження їх інфекційними хворобами у період вегетації, несприятливих факторів навколишнього середовища та зростанню врожайності культур. Використання гумінових речовин у сумішах дозволяє знижувати норми витрати останніх на 20–25 %, зменшуючи пестицидне навантаження на агроценози і підвищуючи безпечність сільськогосподарської продукції, а також в якості кормових добавок [43, 50–51].

В останні роки в Україні та за кордоном все більша увага приділяється дослідженням у сфері застосування та використання ГР на МО різних груп, оскільки до теперішнього часу недостатньо вивченою є дія фульвових та гумінових речовин на них. Дослідження Т. С. Петренко [52] щодо впливу гумінових та фульвових речовин на ріст та розмноження бактеріальної культури *B. subtilis* показали, що водний розчин гумінових кислот торфу «Гумінат», володіє стимулюючим ефектом на ріст культури *B. subtilis* на рідкому середовищі субстрату.

Згідно попередніх досліджень, гумінові речовини здатні проявляти детоксикаційну дію на каротиносинтезувальні дріжджі в присутності ВМ, а також, поновлюється синтез пігментів дріжджових культур і підвищувався їхній поріг виживання [39]. Тому було вирішено продовжити дослідження захисного ефекту гумінових речовин на рослинних біоіндикаторах *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. та *Triticum hordeus* L.



## 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Методика проведення ростового тесту

Об'єктом дослідження були *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. та *Triticum hordeus* L.

Для пророщування досліджуваних рослин використовували методику ростового тесту на «плаваючих дисках». Сутність ростового тесту полягає в обліку змін показників проростання індикаторних культур, вирощених на досліджуваних зразках ґрунту, води, водних витяжок ґрунтів тощо. Цей метод дозволяє оцінити не тільки пригноблюючу дію різних забруднювачів на рослини, але і стимулюючий ефект.

При дослідженні токсичності проб води і водних витяжок за цим методом в лабораторні склянки наливали досліджувані проби води та розчину гумату Натрію в об'ємі 250–500 мл. Насіння індикаторної культури (по 20 – 25 насінин) пророщували на спеціальних плаваючих кільцях з пінопласту, обтягнутих марлею.

На перші кілька діб ємності з досліджуваними зразками накривали склом. Два-три рази на добу скло знімали на 10–15 хвилин для провітрювання.

На четверту добу ємності з насінням поміщали на полицю, де по можливості протягом 14-ти годин (з 6-00 до 20-00) підтримували постійне освітлення. Витримували рослини в таких умовах ще 2 тижні, фіксуючи наступні показники:

- час появи сходів і їхню кількість (кожну добу);
- довжину надземної частини проростків та їх приріст (кожну добу);
- загальну кількість пророслих насінин (на кінець експерименту).

Дослідження всіх варіантів проводили у трьох повторностях.

Через 2 тижні молоді рослини обережно звільняли із води та трохи підсушували на фільтрувальному папері. Потім проводили виміри довжини кореневої і стеблової системи [2, 53].

Отримані значення фітотоксичного рівня оцінювали за шкалою рівнів токсичності (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Шкала рівнів токсичності [53, 54]

Рівні пригнічення ростових процесів (фітотоксичний ефект), %	Рівень токсичності
0 – 20	Відсутність або слабкий рівень
20,1 – 40	Середній рівень
40,1 – 60	Вище середнього рівня
60,1 – 80	Високий рівень
80,1 – 100	Максимальний рівень

Основними параметрами для оцінки ступеня токсичності води були обрані: довжина стебла та коріння. Критерієм фітотоксичності була частка зниження довжини стеблової системи і коренів рослин порівняно із контролем (відстояна водопровідна вода без йонів Кадмію та гумату Натрію).

Метод визначення фітотоксичності води заснований на здатності тест-об'єктів реагувати на наявність різного роду забруднення води в якому пророщують насіння. Нами було обрано насіння огірка (*Cucumis sativus* L.), дині (*Cucumis melo* L.) та пшениці (*Triticum hordeus* L.), адже дані тест-рослини мають підвищену чутливість до забруднення та їх часто застосовують для досліджень токсичності водних об'єктів [55]. Ці біоіндикатори відрізняються швидким проростанням насіння і майже сто відсотковою схожістю, яка помітно зменшується в присутності поллютантів. Для визначення токсичності використовують переважно дрібне насіння з невеликим запасом поживних речовин [55]. Крім того, насіння даних видів рослин є найбільш зручними при використанні методу «плаваючих дисків».

## 2.2 Методика приготування витяжки гумату Натрію із торфу

Для приготування витяжки з торфу останній подрібнювали до розмірів приблизно 1 мм, просіювали через сито та фасували разом з NaOH в пакети з нетканного гігроскопічного матеріалу. На 1 кг торфу брали 50 г NaOH. Пакет щільно зав'язували. Для отримання маточного розчину пакет поміщали в ємність з водопровідною кип'яченою водою, яка була охолоджена до температури 70–80 градусів (співвідношення вихідного матеріалу до рідини 1:20–1:25). Рідину перемішували протягом 10–15 хв шляхом віджимання пакету до появи піни коричневого кольору, потім ємність щільно закривали та запарювали протягом 2–3 год, знову ретельно перемішували рідину в ємності, пакет витягували з ємності та ретельно віджимали. Потім розливали отриману рідину у колби місткістю по 250 мл [56]. Співвідношення поживного середовища до водної витяжки із торфу було 9:1.

Для дослідження використовували Кадмій (II) хлорид (у перерахунку на катіон металу).

## 2.3 Статистична обробка результатів дослідження

Після проведення вимірювань морфометричних вимірювань для кожного з досліджуваних варіантів обчислювали середню довжину надземної і кореневої частин  $x \pm m$ , де  $m$  – помилка середнього арифметичного, яку визначають за формулою 2.1.

$$m = \frac{\delta}{\sqrt{n}}, \quad (2.1)$$

де  $N$  – кількість результатів;  $\sigma$  – дисперсія, яку визначають за виразом 2.2.

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - M)^2}{n-1}}, \quad (2.2)$$

Достовірність різниці середніх арифметичних  $t$  розраховується за критерієм Стьюдента-Фішера 2.3.

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}, \quad (2.3)$$

де  $x_1$  – середнє арифметичне значення показника в контрольному досліді;  $x_2$  – середнє арифметичне значення показника у досліджуваному варіанті;  $m_1$  – помилка середнього арифметичного в контрольному досліді;  $m_2$  – помилка середнього арифметичного у досліджуваному варіанті.

Якщо фактично встановлена величина  $t$  більше або дорівнює критичному (стандартному) значенню  $t_{st}$  роблять висновок про існування статистично достовірної різниці між середніми арифметичними у досліджуваному та контрольному варіанті. Якщо ж фактична величина  $t$  менша за  $t_{st}$ , різницю між середніми вважають статистично недостовірною.

Відсутність статистично достовірної різниці між середніми значеннями біопараметра у контрольному та досліджуваному варіанті свідчить про відсутність значних змін ростових процесів у біоіндикаторів, в порівнянні з контрольним варіантом. Тобто ґрунт або вода у досліджуваному варіанті майже такої ж якості, як і в контрольному досліді та не має токсичних властивостей. І навпаки, статистично достовірна різниця між варіантом та контрольним дослідом вказує на те, що досліджуваний зразок (вода, ґрунт) мають фітотоксичні властивості.

Фітотоксичний ефект (ФЕ) визначається у відсотках за будь-яким біопараметром: за масою рослини, довжиною кореневої або стеблової системи, кількістю ушкоджених рослин або кількістю сходів тощо. Розраховується фітотоксичний ефект за формулою 2.4.

$$\text{ФЕ} = \frac{M_0 - M_x}{M_0} \times 100\%, \quad (2.4)$$

де  $M_0$  – значення біопараметра (маса рослин, висота паростків, довжина корінців та ін.) у посуді з контрольним субстратом;  $M_x$  – значення аналогічного біопараметра у посуді з досліджуваним субстратом [53, 54].

Статистичну обробку експериментальних даних проводили з використанням прикладного пакету програм Excel 2007.

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Детоксикаційна дія гумату Натрію на показники схожості насіння тест-культур, що зазнали впливу йонів Кадмію

За результатами досліджень було встановлено, що найвищий рівень схожості насіння огірка (*Cucumis sativus* L.) на 4-й день відмічався за концентрації 10–25 мг/дм<sup>3</sup> йонів Кадмію, де відсоток проростання до контролю (варіантів без йонів Кадмію та ГР) становив 77 % без ГР і 100 % у присутності ГР (рис. 3.1, додаток А).

З підвищенням концентрації Cd<sup>2+</sup> пригнічувалось проростання насіння культури щодо контрольних тест-об'єктів. Так, в присутності 50 мг/дм<sup>3</sup> йонів Кадмію рівень схожості зменшився на 44 %, порівняно з контролем, а за концентрації 100–150 мг/дм<sup>3</sup> – на 32 %. Тобто, відсоток гальмування схожості насіння відповідав 56 і 68 % відповідно.

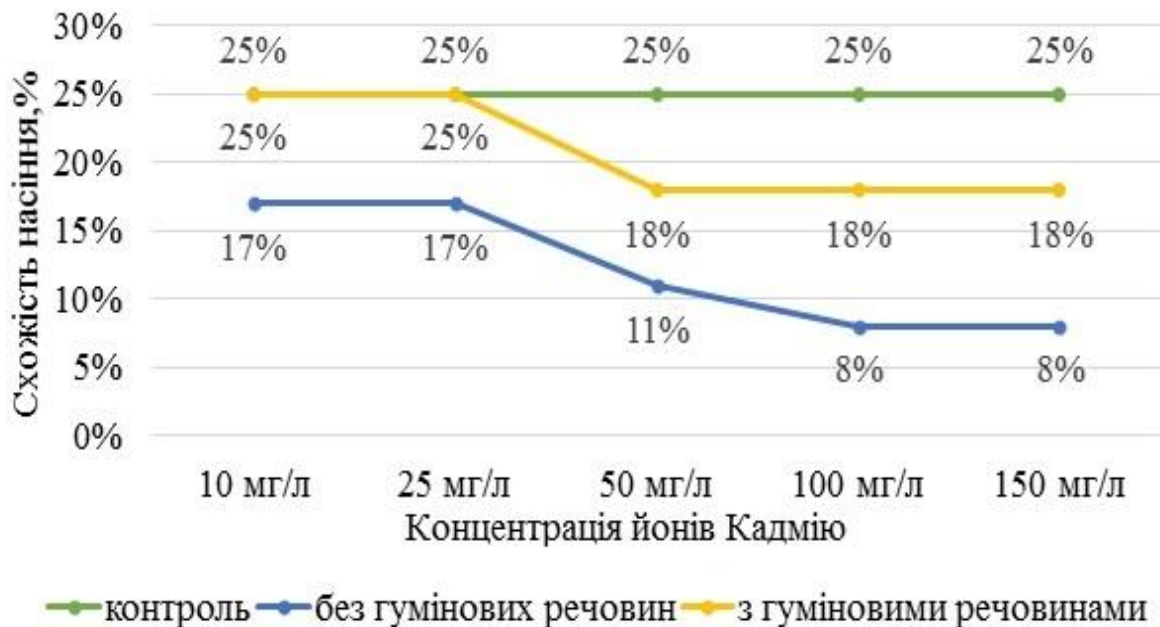


Рисунок 3.1 – Показники схожості насіння (%) *Cucumis sativus* L. за різних концентрацій йонів Кадмію без/в присутності гумінових речовин на 4-й день

Проте цей показник значно виріс у зразків з ГР і становив 72 % щодо контролю, що вдвічі перевищує показники тест-культури без ГР, гальмування схожості складало 27 %.

Результати обліку кількості пророслого насіння огірка, проведеного на 10-й день досліду (рис. 3.2, додаток Б), показали, що значення суттєво змінилися порівняно з попередніми даними. Так, частка схожості насіння в присутності 10–25 мг/дм<sup>3</sup> йонів Кадмію без ГР складала 94 та 84 % порівняно з контролем, що відповідає гальмуванню на 6 та 16 % відповідно. За зростання концентрації йонів Cd<sup>2+</sup> ці показники зменшувались до 75 та 69 % відносно контролю, тобто відсоток пригнічення схожості насіння складав 25 та 31 %.

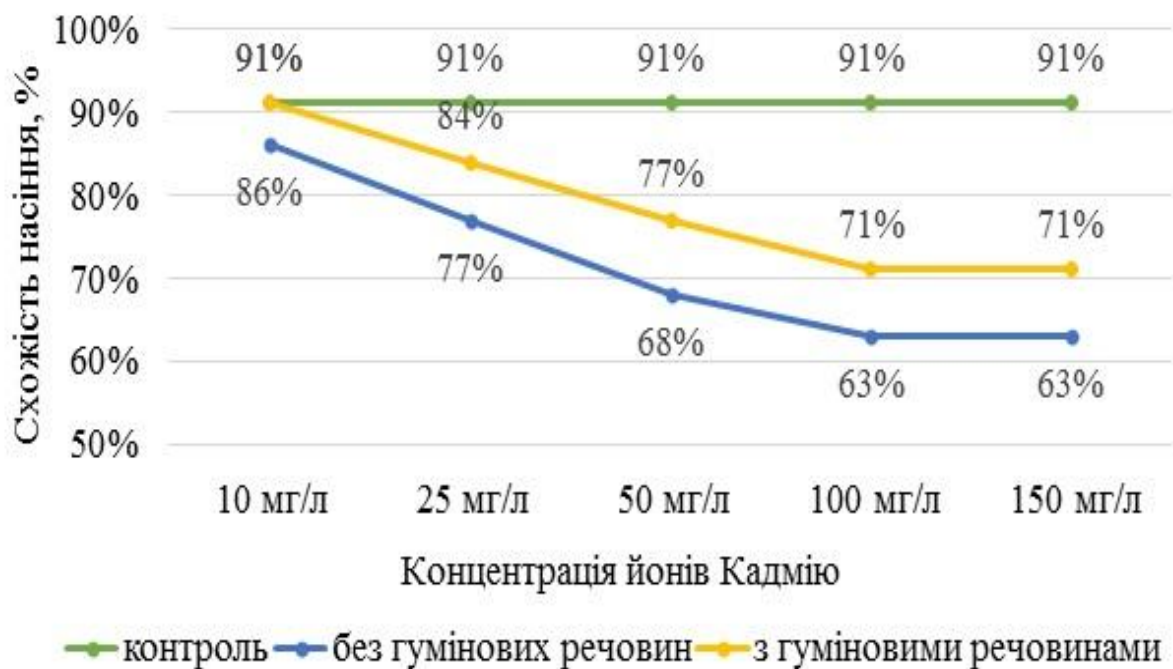


Рисунок 3.2 – Показники схожості насіння (%) *Cucumis sativus* L. за різних концентрацій йонів Кадмію без/в присутності гумінових речовин на 10-й день

Розчин гумату Натрію сприяв 100 % проростання насіння огірків у присутності 10 мг/дм<sup>3</sup> Cd<sup>2+</sup>, 92 % – 25 мг/дм<sup>3</sup>, 84 % – 50 мг/дм<sup>3</sup> та 78 % у

присутності 100–150 мг/дм<sup>3</sup> йонів Кадмію відповідно до контролю. Тобто, гальмівний ефект схожості насіння тест-культури становив 8–22 %.

Отже, за показником схожості насіння огірка була відмічена найбільша детоксикаційна дія гумату Натрію на 4-й день експерименту.

Аналіз отриманих даних проростання насіння дині (*Cucumis melo* L.) на 4-й день досліджень показав, що кількість насіння у присутності 10 мг/дм<sup>3</sup> йонів Кадмію без ГР становила 68 % до контролю, тоді як зі збільшенням концентрації – 43 %, що складає відповідно 32 та 57 % гальмування схожості насіння (рис. 3.3, додаток А).

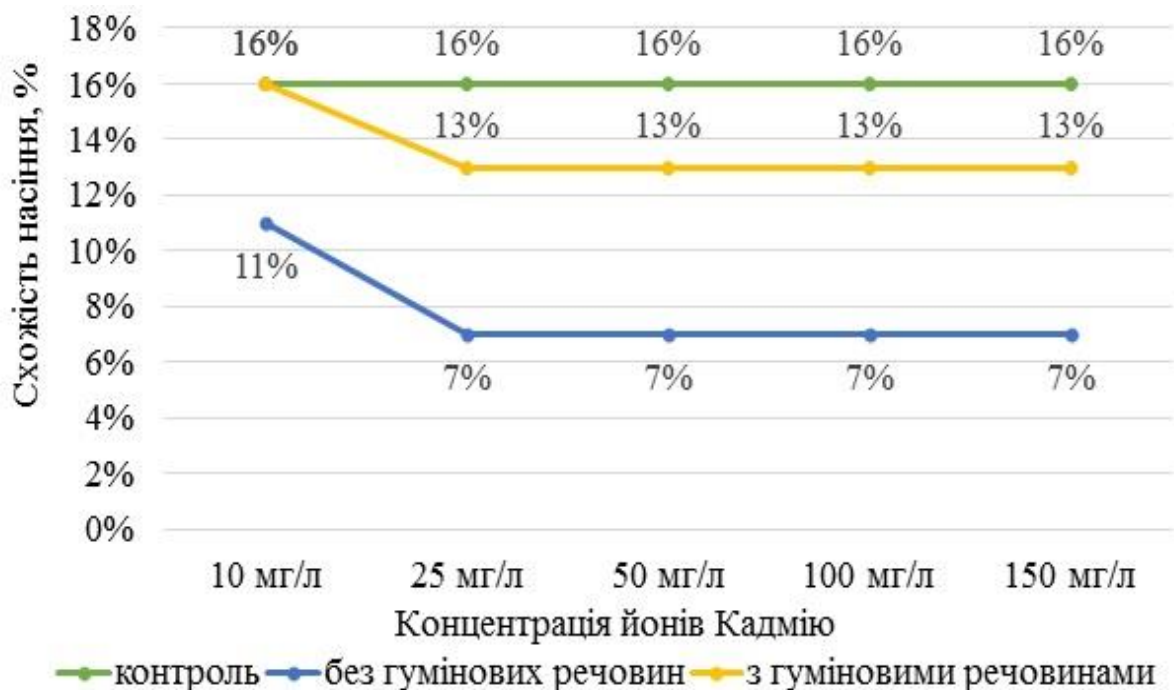


Рисунок 3.3 – Показники схожості насіння (%) *Cucumis melo* L. за різних концентрацій йонів Кадмію без/в присутності гумінових речовин на 4-й день

Встановлено, що за присутності гумінових речовин схожість насіння *C. melo* L. становила 81–100 % до контролю, що майже вдвічі перевищувало показники тест-об'єктів без ГР. Тобто, рівень пригнічення проростання насіння знизився до контролю.



На 10 день експерименту частка проростання насіння дині у присутності 10–25 мг/дм<sup>3</sup> йонів Кадмію збільшилась до 86–80 % щодо контролю, що відповідає 14–20 % гальмування схожості насіння (рис. 3.4, додаток Б). Кількість насіння, що виростило без ГР, за вищих концентрацій Cd<sup>2+</sup> становило 74 та 62 % до контролю, тобто рівень гальмування схожості збільшився до 38 %.

Кількість насіння тест-культури *C. melo* L., що проростило на розчині гумату Натрію, була дещо вищою, ніж у зразках без гумінових речовин. Так, показники схожості в присутності ГР за концентрації 10–25 мг/дм<sup>3</sup> Cd<sup>2+</sup> склали 94–89 % до контролю, а частка гальмування проростання 6–11 %, що вдвічі перевищує показники у зразках без ГР. Кількість пророслого насіння зменшувалась зі зростанням концентрації Cd<sup>2+</sup> і становила 83–73 % щодо контролю, а гальмівний ефект становив 17–27 %.

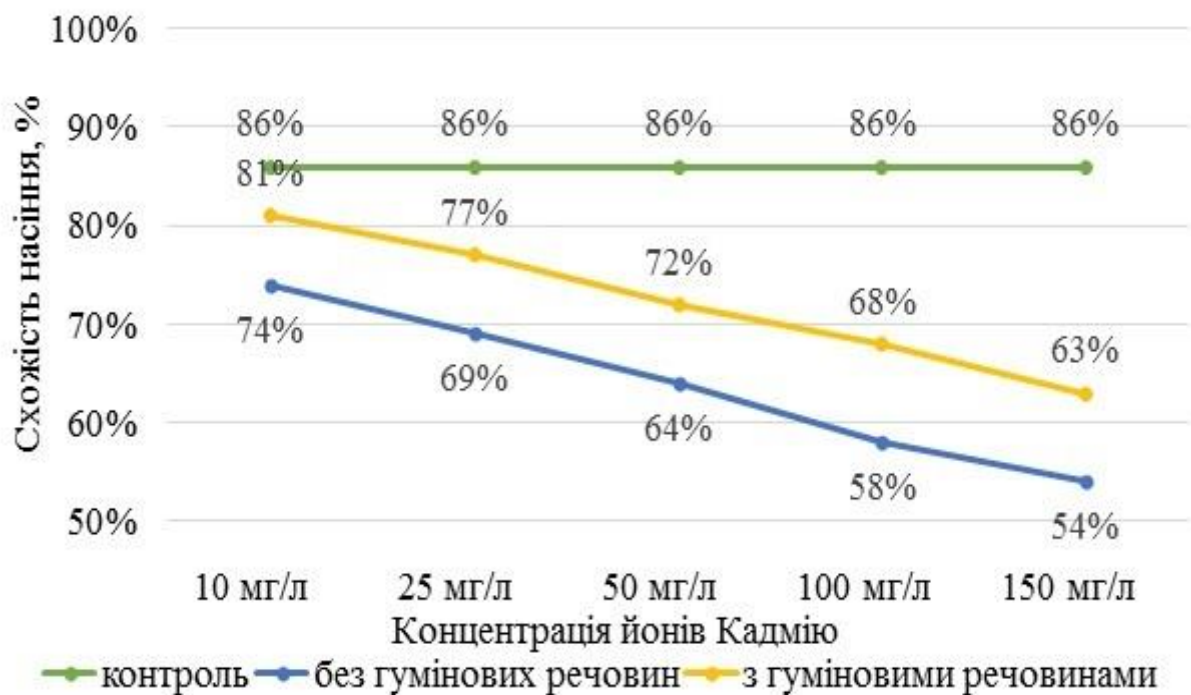


Рисунок 3.4 – Показники схожості насіння (%) *Cucumis melo* L. за різних концентрацій йонів Кадмію без/в присутності гумінових речовин на 10-й день

Таким чином, за показником проростання насіння дині проявились інтенсивні детоксикаційні властивості гумату Натрію на 4-й день дослідження.

Проведений аналіз результатів обліку насіння пшениці (*Triticum hordeus* L.), що вирощувалися на різних концентраціях йонів Кадмію, показав, що на 4-й день експерименту значення були дещо меншими порівняно з контролем і становили 93–87 %, гальмування складало 7–12 %. (рис. 3.5, додаток А). Рівень схожості насіння, що вирощувалось на розчині ГР, за концентрації Кадмію 10–25 мг/дм<sup>3</sup> був на рівні контролю, тоді як зі зростанням концентрації гальмівний ефект становив лише 6 %.

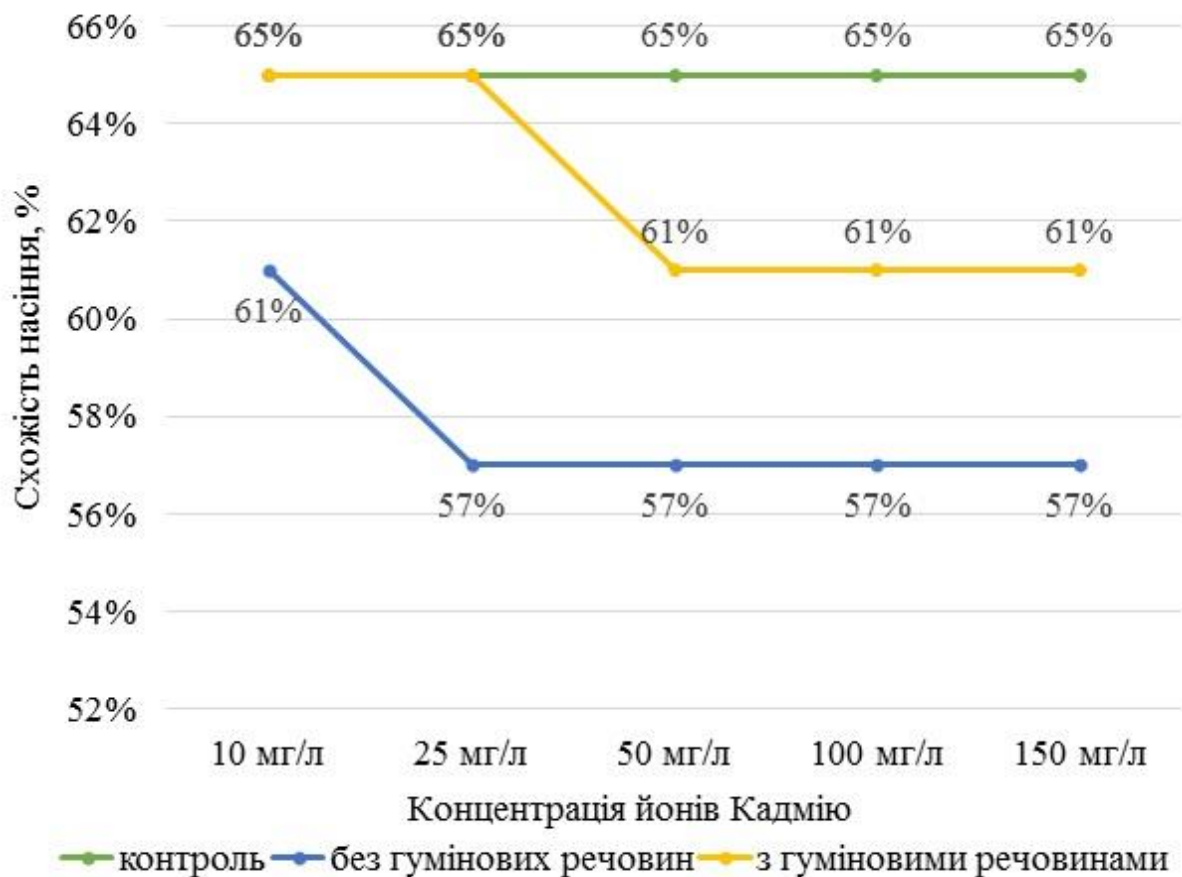


Рисунок 3.5 – Показники схожості насіння (%) *Triticum hordeus* L. за різних концентрацій йонів Кадмію без/в присутності гумінових речовин на 4-й день

Аналіз результатів обліку кількості пророслого насіння пшениці, проведеного на 10-й день досліджень (рис. 3.6, додаток Б), показав, що кількість пророслих насінин відносно контролю відповідала 94 % в присутності 10 мг/дм<sup>3</sup> Cd<sup>2+</sup>, 89 % – 25–50 мг/дм<sup>3</sup> і 80 % до контролю в присутності 100–150 мг/дм<sup>3</sup> йонів Кадмію у варіантах без ГР. Рівень гальмування проростання насіння дорівнював 6, 11 та 20 % відповідно.

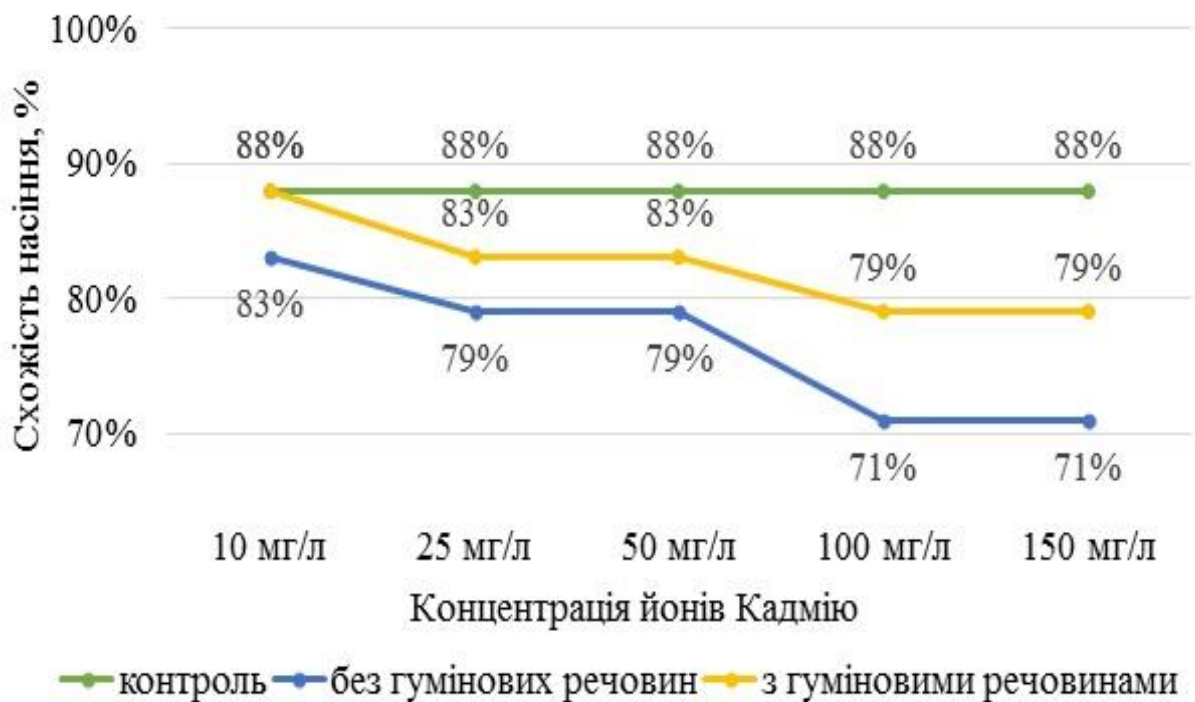


Рисунок 3.6 – Показники схожості насіння (%) *Triticum hordeus* L. за різних концентрацій йонів Кадмію без/в присутності гумінових речовин на 10-й день

Відсоток схожості насіння, вирощеного на розчині гумату Натрію, в присутності 10 мг/дм<sup>3</sup> Cd<sup>2+</sup> порівняно з контролем не змінився, а зі збільшенням концентрації складав 94–89 % до контролю, гальмівний ефект становив відповідно 6–11 %.

Отже, за показником проростання насіння пшениці найбільшу детоксикаційну дію гумат Натрію проявив на 4-й день дослідження.

Встановлено, що за вищих концентрацій йонів Кадмію (200–300 мг/дм<sup>3</sup>), гальмівний ефект проростання насіння тест-об'єктів становив 100 %.

### 3.2 Вплив гумату Натрію на морфометричні показники тест-рослин за дії йонів Кадмію

Статистична обробка результатів обліку морфометричних показників тест-культури *C. sativus* L. показала, що рослини, які виростили на пробах з різною концентрацією йонів Кадмію в розчині гумату Натрію, мали більші значення, ніж рослини, вирощені на цих пробах без ГР (табл. 3.1, додаток В).

Так, у присутності ГР довжина паростків тест-об'єкта *C. sativus* L. була в 1,2–1,4 рази більшою, ніж у зразках, що виростили без ГР. За концентрації 100 мг/дм<sup>3</sup> йонів Кадмію цей показник був більший майже в два рази.

Довжина коріння у тест-культурах, що росли на розчині гумату Натрію, зросла в 1,6–2,2 рази, порівняно з тест-культурами, що росли без ГР.

Встановлено, що морфометричні показники тест-об'єкту *C. sativus* L. за вирощування на розчинах з різною концентрацією йонів Кадмію без ГР, достовірно відрізнялися від контролю. Це означає, що з підвищенням концентрації Cd<sup>2+</sup> збільшувався токсичний вплив останнього на дану тест-культуру.

Значення  $t_2$  для тест-об'єкту *C. sativus* L., що були вирощені на розчині гумату Натрію за дії йонів Кадмію, достовірно відрізнялися від контролю, що підтверджує детоксикаційну дію ГР на даний тест-об'єкт. Виключенням є значення  $t_2$  для коріння у присутності ГР за концентрацій Cd<sup>2+</sup> 10 мг/дм<sup>3</sup>, показник нижчий рівня значимості, тобто ці результати недостовірно відрізняються від попередніх досліджень без ГР. Отже, розчин гумату Натрію не виявляє детоксикаційної дії на корінь тест-культури за даної концентрації.

Таблиця 3.1 – Середні морфологічні показники тест-культури *Cisumtis sativus* L., що вирощувалися на пробах з різною концентрацією йонів Кадмію без/в присутності гумінових речовин

Концентрація Cd <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Без ГР			З ГР		
	$\sigma^2$	$\bar{x} \pm m$	$t_1$ -критерій n=20	$\sigma^2$	$\bar{x} \pm m$	$t_2$ -критерій n=20
Довжина паростків (см)						
10	0,78	8,4±0,35*	4,75	0,41	10,9±0,18*	8,1
25	0,5	5,7±0,22*	11,63	0,83	8,0±0,37*	11,8
50	0,26	3,9±0,12*	17,22	0,78	5,0±0,34*	17,7
100	0,27	2,3±0,12*	21,14	0,22	4,1±0,1*	24,6
150	0,21	0,9±0,09*	25,23	0,09	1,2±0,04*	32,13
Контроль	0,85	10,8±0,38	–	0,92	14,6±0,41	–
Довжина корінців (см)						
10	0,34	4,56±0,15*	8,32	1,78	7,4±0,79	0,5
25	0,21	2,58±0,09*	13,8	0,62	5,1±0,27*	6,1
50	0,12	1,68±0,05*	16,5	1,47	3,7±0,65*	5,5
100	0,04	1,02±0,01*	18,44	0,12	1,68±0,05*	16,5
150	0,07	0,4±0,03*	20	0,07	0,67±0,03*	19,3
Контроль	0,83	7,92±0,37	–	0,83	7,92±0,37	–

Примітка: \* –  $p < 0,001$

Отже, гумінові речовини виявили детоксикаційну дію на морфометричні показники біоіндикаторних рослин *C. sativus* L. за дії йонів Кадмію.

Значення морфологічних показників тест-культури *Cucumis melo* L., що росла за низьких концентрацій йонів Кадмію в присутності ГР, були дещо вищими, ніж у зразках без ГР (табл. 3.2, додаток В).

Таблиця 3.2 – Середні морфологічні показники тест-культури *Cucumis melo* L. що вирощувалися на пробах з різною концентрацією йонів Кадмію без/в присутності гумінових речовин

Концентрація Cd <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Без ГР			З ГР		
	$\sigma^2$	$\bar{x} \pm m$	$t_1$ -критерій n=20	$\sigma^2$	$\bar{x} \pm m$	$t_2$ -критерій n=20
Довжина паростків (см)						
10	0,52	4,73±0,23**	5,2	0,48	5,3±0,21**	6,6
25	0,24	3,32±0,11**	10,4	0,1	4,5±0,04**	12,8
50	0,18	1,94±0,08**	14,9	0,23	3,8±0,1**	14,8
100	0,19	1,42±0,08**	16,5	0,19	2,8±0,08**	19,8
150	0,07	0,34±0,03**	20,5	0,03	0,67±0,01**	32,1
Контроль	0,69	6,76±0,31	–	0,45	7,28±0,2	–
Довжина корінців (см)						
10	1,18	7,38±0,53*	3,6	0,41	10,95±0,18	1,2
25	0,38	4,64±0,17**	7,9	0,84	8,03±0,37*	3,7
50	0,24	3,1±0,1**	10,1	0,36	6,28±0,16**	5,6
100	0,14	1,8±0,06**	11,9	0,19	3,23±0,08**	8,5
150	0,11	0,8±0,05**	13,2	0,03	1,64±0,015**	10,1
Контроль	1,66	10,7±0,74	–	2,33	12,2±1,04	–

Примітка: \* – p < 0,01, \*\* – p < 0,001

Так, довжина паростків тест-об'єкту, вирощеного на розчині гумату Натрію за концентрацій 10–25 мг/дм<sup>3</sup>, була в 1,1–1,3 рази більшою порівняно з рослинами, що росли без ГР. Проте з підвищенням концентрації Кадмію ці значення зросли вдвічі, ніж у зразках, що росли без ГР.

Показники довжини коренів тест-рослин, що вирощувалися з ГР, були в 1,4 рази більшими, ніж у варіантах без ГР, проте зі зростанням концентрації Cd<sup>2+</sup> відмічалось їх зростання майже вдвічі.

Встановлено, що морфометричні показники тест-об'єкту для *C. melo* L. достовірно відрізняються від контролю. Це означає, що з підвищенням концентрації йонів Кадмію збільшувався токсичний вплив останнього. Показники  $t_2$  для *C. melo* L., що росли в присутності ГР, розташовуються в зоні вірогідності  $p < 0,01$ , що підтверджує детоксикаційну дію ГР на дані біоіндикатори. Виняток складають результати, отримані у варіантах з концентрацією 10 мг/дм<sup>3</sup> йонів Кадмію та розчину гумату Натрію. Отже, за даної концентрації Кадмію гумат Натрію не проявляє детоксикаційних властивостей.

Отже, гумат Натрію викликав детоксикаційний ефект на морфометричні показники тест-об'єкту *C. melo* L. за дії йонів Кадмію.

Аналіз даних морфологічних показників тест-культури *Triticum hordeus* L., показав майже ідентичну реакцію біоіндикатора на йони Кадмію без/в присутності ГР (табл. 3.3, додаток В).

Показники довжини паростків та коріння *Tr. hordeus* L., вирощених у присутності ГР, майже не відрізнялись від показників рослин, що росли без ГР. За високих концентрації 100–150 мг/дм<sup>3</sup> Cd<sup>2+</sup> паростки і коріння були довші в 1,5–1,6 разів у тест-культури, що росла на розчині гумату Натрію.

Можливо такі результати пов'язані з тим, що за низьких концентрацій йони Кадмію проявляють ефект гормезису на даний вид рослин.

Значення  $t_1$  для тест-культури *Tr. hordeus* L., розташовуються в межах  $p < 0,01$ , і достовірно відрізняються від контролю. Тобто, існує токсичний вплив Cd<sup>2+</sup> на дослідні зразки. Значення  $t_2$  знаходяться в діапазоні  $p < 0,05$ , і

достовірно відрізняються від попередніх досліджень у присутності ГР і підтверджує детоксикаційну дію останніх.

Таблиця 3.3 – Середні морфологічні показники тест-культури *Triticum hordeus* L. що вирощувалися на пробах з різною концентрацією йонів Кадмію без/в присутності гумінових речовин

Концентрація Cd <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	Без ГР			З ГР		
	σ <sup>2</sup>	$\bar{x} \pm m$	t <sub>1</sub> - критерій n=20	σ <sup>2</sup>	$\bar{x} \pm m$	t <sub>2</sub> - критерій n=20
Довжина паростків (см)						
10	1,61	16,44±0,72**	3,1	0,64	14,08±0,28*	2,87
25	1,54	13,29±0,69***	6,1	0,59	11,97±0,26** *	5,39
50	1,41	10,39±0,63***	9,1	0,36	10,45±0,16** *	7,42
100	1,25	7,41±0,56***	12,5	0,35	8,15±0,16***	10,23
150	0,14	3,83±0,06***	19,6	0,33	6,16±0,15***	12,7
Контроль	1,81	19,79±0,8	–	1,79	16,53±0,8	–
Довжина корінців (см)						
10	0,81	11,23±0,36***	4,2	0,62	10,1±0,28***	4,8
25	0,51	9,66±0,23***	6,1	0,38	8,78±0,2***	9,1
50	0,46	6,77±0,21***	9,5	0,41	6,64±0,2***	14,7
100	0,31	3,26±0,13***	13,8	0,53	4,95±0,2***	17,7
150	0,07	1,88±0,03***	15,6	0,31	2,53±0,1***	26,8
Контроль	1,89	15,09±0,84	–	0,74	12,17±0,33	–

Примітка: \* – p < 0,05, \*\* – p < 0,01, \*\*\* – p < 0,001



Отже, ГР здатні проявляти детоксикаційну дію в присутності йонів Кадмію на морфологічні показники тест-об'єктів *Tr. hordeus* L., проте за низьких концентрацій спостерігався стимулюючий ефект йонів Кадмію.

Дослідженнями встановлено, що зростання концентрацій йонів Кадмію (200–300 мг/дм<sup>3</sup>) викликало значну гальмівну дію на паростки тест-об'єктів, і в дещо меншій мірі на коріння, оскільки воно є першим бар'єром на шляху транспортування металів до рослин і саме воно відіграє основну функцію щодо їх акумуляції та детоксикації.

### 3.3 Фітотоксичний ефект впливу йонів Кадмію на індикаторні рослини у присутності гумінових речовин

Результати оцінки фітотоксичного ефекту, розрахованого за двома параметрами тест-рослини *C. sativus* L., *C. melo* L. та *Tr. hordeus* L., що вирощувались на розчині гумату Натрію, показали, що рівні пригнічення ростових процесів були дещо нижчі показників тест-рослин, що росли без ГР (табл. 3.4).

ФЕ<sub>сер</sub> за концентрації 10 мг/дм<sup>3</sup> йонів Кадмію для тест-культур *C. sativus* L. та *C. melo* L. становив 32,6 та 30,6 % відповідно, що відповідає середньому рівню токсичності, за концентрації 25 мг/дм<sup>3</sup> – 57,4 та 53,8 % відповідно, що знаходиться вище середнього рівня токсичності. Фітотоксичний ефект за концентрації 50 мг/дм<sup>3</sup> Cd<sup>2+</sup>, складав 71,1 %, що відповідає високому рівню токсичності, а за концентрації 100–150 мг/дм<sup>3</sup> – вище 80 %, що відповідає максимально високому рівню токсичності.

ФЕ<sub>сер</sub> за концентрації 10–25 мг/дм<sup>3</sup> йонів Кадмію на життєздатність *Tr. hordeus* L., вирощених без ГР, складав 21,3–34,4 %, що відповідає середньому рівню токсичності. У варіанті з 50 мг/дм<sup>3</sup> Cd<sup>2+</sup> фітотоксичний

ефект становив 51,3 % (рівень токсичності вище середнього), а за концентрації 100–150 мг/м<sup>3</sup> йонів Кадмію – високий ( $\Phi E_{\text{сеп}} = 70,5$  %) та максимально високий рівні токсичності ( $\Phi E_{\text{сеп}} = 84,1$  %).

Таблиця 3.4 – Середні показники фітотоксичності (%) різних концентрацій йонів Кадмію без/в присутності гумінових речовин

Параметр		Фітотоксичний ефект (%)				
		10 мг/ дм <sup>3</sup>	25 мг/ дм <sup>3</sup>	50 мг/ дм <sup>3</sup>	100 мг/ дм <sup>3</sup>	150 мг/ дм <sup>3</sup>
<i>Cucumis sativus</i> L.						
$\Phi E_{\text{сеп}}$	Без ГР	32,6	57,4	71,1	82,6	93,3
	З ГР	15,8	40,5	59,2	75,1	91,3
<i>Cucumis melo</i> L.						
$\Phi E_{\text{сеп}}$	Без ГР	30,6	53,8	71,1	81,1	93,4
	З ГР	18,8	35,6	47,7	67,2	88,6
<i>Triticum hordeus</i> L.						
$\Phi E_{\text{сеп}}$	Без ГР	21,3	34,4	51,3	70,5	84,1
	З ГР	16,0	27,7	41,1	55,0	70,9

Проте у біоіндикаторних рослин, вирощених у присутності ГР, токсична дія Кадмію (10 мг/дм<sup>3</sup>) була відсутня. Відсоток пригнічення росту тест-культури *C. sativus* L. за концентрації 25 мг/дм<sup>3</sup> Cd<sup>2+</sup> у присутності ГР складав 40,5 %, що відповідає рівню токсичності вище середнього, а для *C. melo* L. та *Tr. hordeus* L. – 35,6 та 27,7 %, що відповідає середньому рівню токсичності.

$\Phi E_{\text{сеп}}$  за концентрації 50–100 мг/дм<sup>3</sup> йонів Кадмію на *C. sativus* L. та *C. melo* L. в присутності розчину гумату Натрію збільшився до 59,2–75,1 та 47,7–67,2 % відповідно (рівні токсичності вище середнього та високий), а за концентрації 150 мг/дм<sup>3</sup> становив – 91,3 та 88,6 %, що відповідає максимально високому рівню токсичності.

Рівні пригнічення морфометричних показників тест-обекта *Tr. hordeus* L. за концентрації 50–100 мг/дм<sup>3</sup> йонів Кадмію дорівнювали 41,1 та 55,0%, за концентрації 150 мг/дм<sup>3</sup> – 70,9 % (рівні токсичності вище середнього та високий).

Отже, детоксикаційна дія гумату Натрію за показником фітотоксичності впливу йонів Кадмію була відмічена за низьких концентрацій останнього.

#### 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Знання, отримані з курсів «Охорона праці» я застосовувала при виконанні експериментальної частини моєї кваліфікаційної роботи, яка проводилась в лабораторії мікробіології та біофізики на кафедрі загальної та прикладної екології і зоології в лабораторії № 206. Матеріал для виконання експериментальної частини моєї кваліфікаційної роботи отримувала у лабораторії.

Перед початком роботи в умовах лабораторії я була проінструктована щодо правил безпеки: при користуванні електроприладами інструктаж № 153, при роботі з скляним посудом інструктаж № 154, та правилами пожежної безпеки. Крім того статистична обробка отриманих результатів вимагала роботи з комп'ютерною технікою, то питанням безпечного виконання зазначених робіт я присвятила даний розділ.

Умови праці в лабораторії. Техніка безпеки вимагала виконання операцій, що зводили до мінімуму ризик при виконанні експерименту. Безпека у лабораторії забезпечувалася відповідно до вимог ДСТ 12.3.002–75 та інших діючих нормативних актів [57].

Відповідність санітарно–гігієнічного режиму лабораторії встановленим нормам було запорукою моєї безпечної роботи. У робочій зоні лабораторії і дотримувалися визначені параметри температури (20–22°C), вологості (40 – 60%), освітлення, швидкість переміщення повітря та усе відповідало вимогам ДНАОП 0.03–3.15–86 [58].

У приміщенні не створювався застій повітря. Повітря робочої зони відповідало ДСТ 12.1.005–86 [59].

У лабораторії згідно СанПіН 2.04.85–86 «Опалення, вентиляція, кондиціонування» і ДСТ 12.04.021–75 «Системи вентиляційні. Загальні

вимоги безпеки» були раціонально спроектовані механічно і правильно експлуатована природна вентиляційна система.

Перед початком роботи в лабораторії було створено оптимальні умови мікроклімату, згідно ДСТ 12.1.005–88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони».

Важливе значення має створення нормальної освітленості робочого місця. Освітлення створювалося сонцем і за допомогою ламп накаливання або люмінесцентних ламп. Природне і штучне освітлення лабораторії відповідало вимогам СанПіН 11–4–79 [60].

З метою уникнення нещасних випадків, пов'язаних з ураженням електричним струмом у лабораторії користувалися обладнанням тільки заводського виготовлення. До експлуатації приборів приступала лише після ретельного ознайомлення з паспортом та інструкцією заводу – виготовлювача. Електропостачання приладів відбувалося від електричної мережі із глухо заземленою нейтраллю 380/220В. Заземлення електрообладнання було виконане відповідно до ДСТу 12.1.019–79 «Електробезпека». Загальні вимоги й номенклатура видів захисту [61].

В ході виконання практичної роботи були використанні такі індивідуальні та комплексні засоби захисту як: марлеві пов'язки, прихвати, білий х/б халат.

Правила роботи та техніка безпеки в мікробіологічній лабораторії [62].

1) В лабораторію заборонялося входити у верхньому одязі та класти на столи сумки, портфелі та інші особисті речі.

2) В мікробіологічній лабораторії заборонялося працювати без халату, який захищає одяг від забруднення мікроорганізмами, а також перешкоджає їх поширенню за межі лабораторії.

3) За мною закріплювалось постійне робоче місце. Робоче місце під час роботи було охайним.

4) На всіх пробірках та чашках обов'язково писали назву об'єкту, дата приготування, П.І.Б. та номер групи.

5) Протягом роботи предмети та матеріали знезаражувалися – прожарювалися у полум'ї пальника. Використані шпателі, предметні та накривні скельця, піпетки переносили у циліндри з дезінфікуючим розчином. Не клали згадані предмети на стіл.

6) В разі попадання матеріалу, що досліджується, або культури мікроорганізмів на руки, стіл, халат або взуття негайно попереджувала викладача і під його керівництвом (контролем) проводили дезінфекцію.

7) В лабораторії категорично не приймали їжу, тому що не допускаються зайві ходіння, різкі рухи, сторонні розмови, особливо під час висіву мікроорганізмів.

8) Після закінчення дослідження (заняття) робоче місце дезінфікувалося, матеріал та предмети, що використовувалися, здавали лаборанту та обов'язково мили руки з милом.

9) Результати досліджень заносилися у протокол, де записувалася тема заняття, задачі та коротке описання ходу роботи. При мікроскопічному дослідженні препаратів мікроорганізмів результати заносилися до протоколу у вигляді малюнка з повною назвою об'єкта на латинській мові, додавалася його загальна характеристика. За результатами досліджень робили висновки.

Техніка безпеки при роботі зі скляним посудом та іншими виробами зі скла.

1) Під час проведення робіт зі скляним посудом та іншими виробами зі скла в лабораторії № 206 усі працюючі повинні були бути забезпечені засобами індивідуального захисту (халатами, гумовими рукавицями та фартухами) за нормами що передбачені положенням.

2) До миття посуду допускалися особи, які пройшли інструктаж з ТБ з записом у журнал «Охорони праці».

3) Для миття посуду відводилася частина приміщення, обладнаного для цього.

4) Використовували тільки спеціальний хімічний посуд.

5) Не використовували брудний посуд, або той, що має тріщини або відбиті краї.

6) Кінці скляних трубок і паличок, що застосовувались для розмішування розчинів та іншої мети, були оплавлені.

7) Марка скла посуду суворо відповідала характеру роботи, що виконувалася з нею.

8) Посуд з нетерmostійкого скла використовувався переважно для робіт, що не потребували нагрівання. Допускалося рівномірне, без різких температурних перепадів, нагрівання нетерmostійкого посуду приблизно до 100 °С. Не нагрівали нетерmostійкі стакани та колби на відкритому вогні або безпосередньо на електроплитці, а також різко не охолоджували нагрітий посуд.

9) Терmostійкий посуд використовували у більш жорстких температурних режимах, однак, проте мали на увазі, що різке нагрівання або охолодження з перепадом температур більше 150–200 °С може викликати розтріскування, особливо при неякісному його виготовленні.

10) Враховували терmostійкість посуду (тобто здатність матеріалу витримувати без пошкоджень різкі температурні перепади), при інших рівних умовах, обернено пропорційна товщині стінок.

11) Для змішування або розбавлення речовин, що супроводжуються виділенням теплоти, а також для нагрівання хімічних речовин слід використовували фарфоровий або тонкостінний скляний посуд [62].

12) Пробірки, круглодонні колби, фарфорові чашки нагрівали на відкритому вогні, плоскодонні колби й стакани нагрівали тільки на металевому розсікачі полум'я або з застосуванням азбестової сітки.

13) У робочому столі або шафі тримали тільки необхідний посуд, яким постійно користувалися. Посуд у столі тримався у порядку, дрібні деталі – у неглибоких коробках в один шар на ваті. При висуванні ящиків стола посуд не вдарявся один об один.

14) Посуд, призначений для зберігання реактивів, не використовувався для зберігання харчових продуктів.

Техніка безпеки при роботі з електричними приладами.

1) Щоб запобігти виникненню нещасних випадків, враження електричним струмом, пожеж тощо ми вивчили і виконували правила з техніки безпеки при роботі на електрообладнанні, правила виробничої санітарії й пожежної профілактики.

2) Відповідально ставилися до навчальної лабораторії загальної та прикладної екології та зоології та систематично слідкувати за справністю електричної апаратури, яка використовувалася в роботі. При виявленні пошкоджень негайно повідомляли відповідного фахівця та контролювали своєчасний її ремонт.

3) Не користувалися несправним електроустаткуванням.

4) Профілактичний огляд і ремонт електроустаткування (електроплити, муфельна піч, сушильна шафа і та ін.), яке використовувався в науково-дослідній роботі, робили тільки відповідні фахівці.

5) У лабораторії № 206 використовували електронагрівальні прилади закритого типу та інше електричне обладнання тільки заводського виготовлення. При експлуатації користувалися паспортом та інструкцією заводу-виготовлювача.

6) Після закінчення експерименту подача струму негайно припинялася.

7) Шафи з розподільними пристроями були замкнені на замок.

8) Усі прилади, в яких це передбачено, були заземлені [62].

Отже, дотримання правил техніки безпеки допомогло мені уникнути травмування під час виконання кваліфікаційної роботи.



## ВИСНОВКИ

1. Дослідження впливу йонів Кадмію на життєздатність тест-культур *Cucumis sativus* L., *Cucumis melo* L. та *Triticum hordeus* L. показали, що з підвищенням концентрації  $\text{Cd}^{2+}$  без гумінових речовин пригнічувались як проростання насіння, так і морфометричні показники досліджуваних рослин. За присутності гумінових речовин була відмічена інтенсифікація схожості насіння та ростових процесів фітоіндикаторів у 1,5–2 рази, порівняно з варіантами без гумінових речовин.

2. Встановлено зниження фітотоксичного ефекту впливу йонів Кадмію при концентраціях 10–25 мг/дм<sup>3</sup> за присутності гумату Натрію, тоді як при високих концентраціях детоксикаційна властивість гуматів знижувалась, і рівень токсичності був вище середнього (41,1–59,2 %) та високий (67,2 % і вище).

3. Дослідження показали, що під впливом йонів Кадмію тест-культури в присутності гумінових речовин мають різну реакцію. Найбільш інформативно прореагували на вплив йонів Кадмію в присутності гумінових речовин тест-культура *Cucumis sativus* L.

## ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Отримані результати дослідження підтвердили детоксикаційні властивості гумату Натрію, тому ці результати можна використовувати для екстраполяції даних на інші живі об'єкти при вивченні детоксикаційного впливу гумінових речовин за дії йонів важких металів.

2. Оскільки, дослідні рослини *Cucumis sativus* L. найбільш інформативно прореагували на вплив йонів Кадмію в присутності та без гумінових речовин, то їх можна використовувати в якості біоіндикаторів агресивних стресорів.

3. Результати досліджень можуть бути впровадженні в навчальний процес до лекційних матеріалів та практичних робіт курсу «Біоіндикація та біотестування» для студентів спеціальності «Екологія».

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дідух Я. П. Основи біоіндикації. К.: Наукова думка, 2012. 344 с.
2. Горова А. І. та ін. Біоіндикація. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт студентами напряму 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». Д.: Національний гірничий університет, 2014. 76 с.
3. Рильський О. Ф. Наукове обґрунтування прокаріотичної біоіндикації забруднення важкими металами природного середовища: дис. ... доктора біол. наук : 03.00.16. К., 2011. 351 с.
4. Гуральчук Ж. З. Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії. К.: Логос, 2006. 208 с.
5. Горювая А. И., Орлов Д. С., Щербенко О. В. Гуминовые вещества. К. : Наукова думка, 1995. 304 с.
6. Олійник Л. П. та ін. Вивчення взаємодії гумінових кислот з іонами металів. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Хімія, технологія речовин та їх застосування"*. 2018. № 868. С. 45–51.
7. Зінченко О. І., Салатенко В. Н., Білоножко М. А. Рослинництво: Підручник / за ред. О. І. Зінченка. К.: Аграрнаосвіта, 2001. 591 с.
8. Лозовіцький П. С. Основи землеробства та рослинництва Книга 2. Рослинництво: Посібник для вищих учбових закладів. К.: 2010. 268 с.
9. Рубец В. С. Атлас растений, учитываемых при апробации сортовых посевов зерновых, зернобобовых, масличных культур, многолетних и однолетних трав. К.: Лань. 2014. 240 с.
10. Лыгин С. А., Жигалова Е. А. Пшеница – биоиндикатор качества воды. *Естественные и математические науки в современном мире*. № 11(23). Новосибирск: СибАК, 2014. С. 145–151.

11. Кравців Р. Й., Буцяк Г. А. Сумісний вплив важких металів на організм тварин. *Науковий вісник ЛНУВМБТ ім. С. З. Гжицького*. Т. 10 № 2 (37). ч. 4. 2008. С. 50–56.
12. Герасимчук Л. О. Міграція важких елементів за умов імпактного забруднення ґрунту. *Сучасне ґрунтознавство: наукові проблеми та методологія викладання* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 90-річчю кафедри ґрунтознавства та охорони ґрунтів ім. проф. М.К. Шикули. К. 2012. С.179–182.
13. Кушкевич І., Гнатуш С., Гудзь С. Вплив важких металів на клітини мікроорганізмів. *Вісник Львівського університету*. 2007. № 45. С. 3– 28.
14. Коршун М. М. Проблема комбінованої дії на організм пріоритетних хімічних забруднювачів ґрунту (огляд вітчизняної літератури і результати особистих досліджень) *Довкілля та здоров'я*. 2002. № 4(23). С. 51– 56.
15. Коршун М. М. та ін. Експериментальне вивчення механізмів комбінованої дії малих доз пестицидів, нітратів, солей свинцю та кадмію. *Современные проблемы токсикологии*. 2001. № 3. С. 46–50.
16. Коршун М. М., Анісімова І. Г., Запривода Л. П. Вивчення ембріотоксичної дії малих доз іонізуючої радіації та хімічних забруднювачів ґрунту. *Довкілля та здоров'я*. 2002. №1(20). С. 17–22.
17. Арустамян О. М., Ткачишин В. С., Алексійчук О. Ю. Вплив сполук кадмію на організм людини. *Медицина неотложных состояний*. 2016. № 7. С. 109–114.
18. Талоха Н. І., Салига Ю. Т., Куртяк Б. М. Вплив кадмію свинцю та хрому на деякі показники обміну речовин великої рогатої худоби. *Екологія. Людина. Суспільство*: збірка тез XIII міжнар. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених К., 2010. С. 60–62.
19. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений.

О. П. Мелехова и др. ; под ред. О. П. Мелеховой и Е. И. Егоровой. М. : Изд. центр «Академия», 2007. 288 с.

20. Оказова З. П., Автаева Т. А. Использование микроорганизмов в качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды. *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 5. С. 5–21.

21. Bruins M. R., Kapil S., Oehme F. W. Microbial resistance to metals in the environment. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2000. № 2. P. 198–207.

22. Franke S., Grass G., Nies D. H. The product of the ybdE gene of the Escherichia coli chromosome is involved in detoxification of silver ions. *Microbiology*. 2001. № 4. P. 965–972

23. Molecular basis for resistance to silver cations in Salmonella. A. Gupta et al. *Nat. Med.* 1999. № 2. P. 183–188.

24. Heavy metal-induced oxidative stress in algae. E. Pinto et al. *J. Phycol.* 2003. № 6. P. 1008–1018.

25. Heavy Metals Accumulation in Soil and Plants of Polish Peat Bogs. Borgulat J. et al. *Polish Journal of Environmental Studies*. V. 27, №. 2. 2018. P. 1– 8.

26. Вахуткевич І.Ю. Вміст важких металів у рослинницькій продукції. *Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*. Л.: Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2009. С. 144–145.

27. Савченко Ю. І., Савчук І. М., Савченко М. Г. Міграція важких металів в системі корми-організм бугайців на відгодівлі. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2011. № 1(28). С. 225–231.

28. Жиліщич Ю., Панас Н., Антоняк Г. Гематологічні показники у кроликів за умов введення плумбуму ацетату. *Формування стратегії науково-технічного, екологічного і соціально-економічного розвитку суспільства: матеріали II міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Тернопіль, 2013. С. 72–74.*

29. Гринцова Н.Б. Особливості хімічного складу кори головного мозку щурів в умовах впливу на організм комплексу солей важких металів. *Український морфологічний альманах*. 2011. Т. 9, № 1. С. 41–43.
30. Левкович С. Р., Панас Н. Є. Динаміка гематологічних показників за токсикації товстолоба іонами кадмію. *Наук.-техн. бюл. Ін-ту біології тварин та Держ. н.-д. контрол. ін-ту ветпрепаратів та корм. добавок*. 2012. Вип. 13, № 1/2. С. 339–342.
31. Антоняк Г. Л., Скарб О. Б., Панас Н. Є. Вплив шестивалентного хрому на гематологічні показники в організмі щурів. *Наук.-техн. бюл. Ін-ту біології тварин та Держ. н.-д. контрол. ін-ту ветпрепаратів та корм. добавок*. 2010. Вип. 11. № 2/3. С. 11–14.
32. Никифоров В. В., Дігтяр С. В., Мазницька О. В., Козловська Т. Ф. Біоіндикація та біотестування : навчальний посібник. – Кременчук : Видавництво ПП Щенбатих О. В., 2016. 76 с.
33. Клименко М. О., Прищепа А. М., Вознюк Н. М. Моніторинг довкілля. К. : Академія, 2006. 360 с.
34. Пірогов М. В., Волгін С. О. Біоіндикаційні дослідження за епіфітною ліхенофлорою шпилькових та листяних дерев на Західній Україні. *Наукові основи збереження біотичної різноманітності* : Тематичний збірник Інституту екології Карпат НАН України, Вип. 7 Львів: Ліга-Прес, 2006. С. 86–91.
35. Швець Л.С. Біоіндикація інтенсивності забруднення довкілля за показниками фертильності пилкових зерен різних рослин. *Досягнення біології і медицини*. 2011. Т. 17, № 1. С. 40–44.
36. Богач Я., Седлачек Ф., Швецова З., Криволюцкий Д. Животные – биоиндикаторы промышленных загрязнений. *Журн. общей биологии*, № 5. 1988. С. 11–28.
37. Оказова З. П., Автаева Т. А. Использование микроорганизмов в качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды. *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 5. С. 5–21.

38. Крупей К. С., Рыльский А. Ф. Дрожжи рода *Rhodotorula* – биоиндикаторы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. *Биоразнообразие и рациональное использование природных ресурсов*: материалы II всерос. научн.-практ. конф. с междунар. участием, 21 июня 2014 г. : тезисы док. Махачкала : АЛЕФ (ИП Овчинников М.А.), 2014. С. 167–169.

39. Крупей К. С., Поваляева А. А. Детоксикаційна дія Гумату Натрію на каротиновмісні дріжджі-індикатори в присутності йонів важких металів. *Питання біоіндикації та екології*. Вип. 23. № 1, Запоріжжя 2018. С. 191–200.

40. Орлов Д. С. Гуминовые вещества в биосфере. М. : Наука. 1993. 238 с.

41. Безуглова О. С., Полиенко Е. А., Горовцов А. В. Гуминовые препараты как стимуляторы роста растений и микроорганизмов (обзор). *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016. №4 (60). С. 11–14.

42. Schnitzer M., Khan S. U. Humic substances in the environment. N.Y., *Marcel Decker*. 1972. P. 12–17.

43. A. H. M. Veeken, B. V. M. Hamelers, in: J. Drozd, S. S. Gonet, N. Senesi, J. Weber (Eds.), *The Role of Humic Substances in the Ecosystems and in Environmental Protection*. PTSH. Wroclaw, (Poland), 1997. P. 779.

44. Грядских Д. А., Брыкалов А. В. Экспериментальное исследование действия гуминсодержащего агрохимиката на рост и развитие растений. *Развитие науки и техники: механизмы выбора и реализации приоритетов*: сборник статей Международной научно-практической конференции (25 декабря 2017 г., г. Омск). В 6 ч. Ч.6. АЭТЕРНА, 2017. С. 37–38.

45. Сергієнко В. Рістрегулюючий та захисний ефект гумінових речовин. *Агрономія сьогодні*. 2013. № 7. С. 26–29.

46. Козаренко Д. О. Застосування гуматів – перспективний метод зменшення навантаження на агроценози. *Агрономія сьогодні*. 2013. № 7. С. 14–16.

47. De Melo B.A., Motta F.L., Santana M.H. Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2016. № 62. P. 967–974.
48. Petrus A.C., Ahmed O.H., Muhamad A.M., Nasir H.M., Jiwan M. Effect of K-N-humates on dry matter production and nutrient use efficiency of maize in Sarawak, Malaysia. *Scientific World Journal*. 2010. №10. P. 1282–1292.
49. Jindo K., Sonoki T., Matsumoto K., Canellas L., Roig A., Sanchez-Monedero M.A. Influence of biochar addition on the humic substances of composting manures. *Waste Manag*. 2016. №49. P. 545–552.
50. Bahemmat M., Farahbakhsh M., Kianirad M. Humic substances-enhanced electroremediation of heavy metals contaminated soil. *J Hazard Mater*. 2016. Jul 15 (312). P. 307–318.
51. Бурова Е.В., Потапова И.А., Пурыгин П.П. Выделение и исследование токсических свойств солей гуминовых кислот и возможности их применения как пищевой добавки. *Башкирский химический журнал*. 2012. Т.19. №5. С. 15–19.
52. Петренко Т. Вплив гумінових та фульвових речовин на бактеріальну біоту. *Актуальні проблеми та перспективи розвитку природничих, медичних та фармацевтичних наук: IV Регіональна наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих учених Запоріжжя, 2015*. С. 252–254.
53. Бешлей З. М., Бешлей С. В., Баранов В. І., Терек О. І. Використання рослинних тест-систем для оцінки токсичності техногенно забруднених субстратів. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. Харків, 2014. Вип. 1. С. 97–102.
54. Черниш Є. Ю. Методичні вказівки до лабораторних занять із дисципліни «Біотехнології» за темою «Біоіндикація та біотестування стану навколишнього середовища». Суми : Сумський державний університет, 2015. 29 с.
55. Туоровцев В. Д., Краснов В. С. Биоиндикация : учеб. пособие. Тверь : Твер. гос. ун-т, 2004. 260 с.



56. Способ получения гумата Натрия: пат. 2150484 Россия: С10F7/00. № 99108141/13; заявл. 21.04.1999; опубл. 10.06.2000, 2000 г.
57. Кучерявий В. О. Охорона праці. Львів: Ороїяна-Нова, 2007. 368 с.
58. Керб Л. П. Основи охорони праці. К. : КНЕУ, 2006. 216 с.
59. Кодекс законів про працю України: за станом на 22 квіт. 2008 р. К. : Парлам. вид-во, 2008 р. 75 с.
60. ДСТУ 2293-99. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. К. : Держстандарт України, 1999. 22 с. (Національний стандарт України).
61. Кузнецов В. А. Пожежна безпека. Харків : Фактор, 2008. 575 с.
62. Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. Охорона праці та промислова безпека: навчальний посібник. К. : Основа, 2006. 448с.

## ДОДАТКИ

## Додаток А

Схожість тест-рослин на 4-й день експерименту



Контроль

10 мг/л

25 мг/л

Контроль з ГР

10 мг/л з ГР

25 мг/л з ГР

Концентрація йонів Кадмію

*Cucumis sativus* L.

Контроль

10 мг/л

25 мг/л

Контроль з ГР

10 мг/л з ГР

25 мг/л з ГР

Концентрація йонів Кадмію

*Cucumis melo* L.

Контроль

10 мг/л

25 мг/л

Контроль з ГР

10 мг/л з ГР

25 мг/л з ГР

Концентрація йонів Кадмію

*Triticum hordeus* L.

## ДОДАТОК Б

## Схожість тест-рослин на 10-й день експерименту



Контроль

25 мг/л

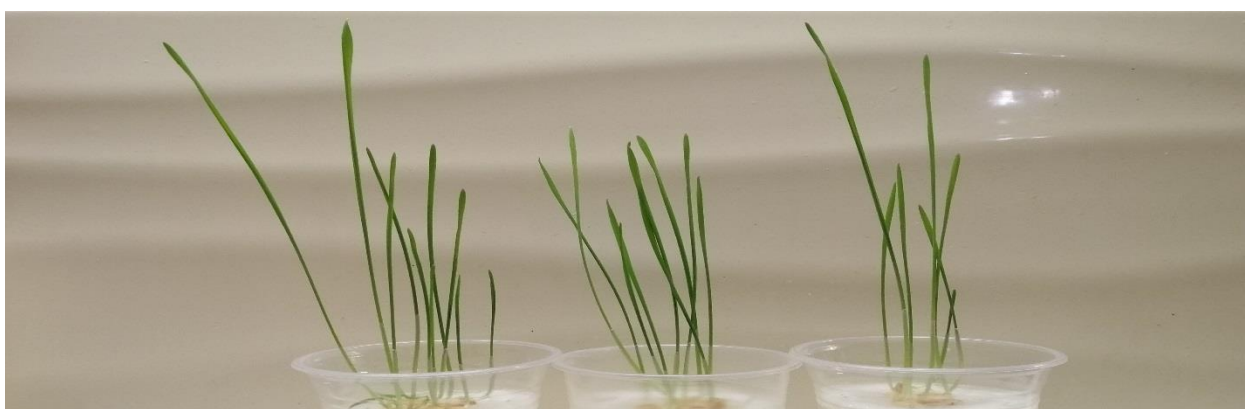
25 мг/л з ГР

Концентрація йонів Кадмію  
*Cucumis sativus* L.

Контроль

25 мг/л

25 мг/л з ГР

Концентрація йонів Кадмію  
*Cucumis melo* L.

Контроль

25 мг/л

25 мг/л з ГР

Концентрація йонів Кадмію  
*Triticum hordeus* L.

## Додаток В

Довжина стеблової та кореневої системи тест-культур в кінці експерименту



*Cucumis sativus* L.



*Cucumis melo* L.



*Triticum hordeus* L.