

Міністерство освіти і науки України
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка
Кафедра біології та хімії

«До захисту допускаю»
Завідувач кафедри біології та хімії,
кандидат біологічних наук, доцент
_____ Ірина БРИНДЗЯ
« _____ » _____ 20 ____ р.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СОЛЕЙ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ
НА ПРОЦЕС ПРОРОСТАННЯ НАСІННЯ
БОБОВИХ КУЛЬТУР**

Спеціальність 091 Біологія та біохімія

Магістерська робота

на здобуття кваліфікації – Магістр з біології за спеціалізацією
«Лабораторна діагностика біологічних систем»

Автор роботи Карпин Денис Васильович _____
підпис

Науковий керівник кандидат хімічних наук, доцент
Брюховецька Ірина Володимирівна _____
підпис

Дрогобич, 2025

Зав. кафедрою

(підпис)

(дата)

ЗАВДАННЯ

на підготовку кваліфікаційної магістерської роботи

- Тема Дослідження впливу солей важких металів на процес проростання насіння бобових культур
- Керівник доцент кафедри біології та хімії, канд. хім. наук Брюховецька І.В.
(прізвище, ініціали, вчене звання, науковий ступінь)
- Студент Карпин Денис Васильович
(прізвище, ім'я, по батькові)
- Перелік питань, що підлягають висвітленню у кваліфікаційній роботі: 1. Здійснити огляд навчально-методичної літератури та інформаційних електронних ресурсів з досліджуваної проблеми і систематизувати й узагальнити інформацію про значення та особливості життєдіяльності рослин. 2. Охарактеризувати мінеральне живлення рослин. 3. Проаналізувати процес проростання рослин. 4. Розкрити значення окремих представників бобових культур – люцерни, гороху та сої. 5. Охарактеризувати важкі метали як екотоксиканти довкілля, їхню токсичність. 6. Висвітлити шляхи потрапляння важких металів у довкілля. 7. Експериментально дослідити вплив різних концентрацій солей важких металів – Кадмію, Цинку, Плюмбуму, Купруму – на процес проростання насіння люцерни, гороху та сої.
- Список рекомендованої літератури: 1. Науково-методична література. 2. Електронні ресурси.
- Етапи підготовки роботи. Під час підготовки магістерської роботи повинні бути виконані наступні етапи роботи:

№	Назва етапу	Термін виконання	Термін звіту перед керівником, кафедрою
1.	I етап: здійснити огляд сучасної науково-методичної літератури з досліджуваної проблеми; проаналізувати літературу та електронні ресурси з теми дослідження; вибрати об'єкт і предмет дослідження, визначити основні напрямки написання літературного огляду.	Березень 2025 р.	Квітень 2025 р.
2.	II етап: на основі проаналізованої науково-методичної літератури з досліджуваної проблеми написати літературний огляд, в якому систематизувати й узагальнити інформацію про значення та особливості життєдіяльності рослин; охарактеризувати мінеральне живлення та проростання рослин; розкрити значення люцерни, гороху та сої; охарактеризувати важкі метали як екотоксиканти довкілля; експериментально дослідити вплив різних концентрацій солей важких металів на проростання насіння люцерни, гороху та сої.	Квітень-серпень 2025 р.	Вересень 2025 р.
3.	III етап: формування остаточного варіанту магістерської роботи та її попередній захист на кафедрі.	Жовтень 2025 р.	Листопад 2025 р.
4.	IV етап: публічний захист магістерської роботи перед екзаменаційною комісією.	Грудень 2025 р.	Грудень 2025 р.

Дата видачі завдання жовтень 2024 року

Термін подачі роботи керівнику жовтень 2025 року

З вимогами до виконання кваліфікаційної роботи і завданням ознайомлений (а)

(підпис студента)

Керівник

(підпис)

Захист кваліфікаційної магістерської роботи

Дослідження впливу солей важких металів

(тема роботи)

на процес проростання

насіння бобових культур

Оцінка за стобальною шкалою: _____

Оцінка за національною чотирибальною шкалою: _____

Коротка мотивація захисту:

[illegible]

Дата

Голова ЕК

підпис

прізвище, ім'я

Секретар ЕК

підпис

прізвище, ім'я

АНОТАЦІЯ

Карпин Денис. Дослідження впливу солей важких металів на процес проростання насіння бобових культур

В роботі систематизовано й узагальнено інформацію про значення та особливості життєдіяльності рослин; охарактеризовано мінеральне живлення рослин; проаналізовано процес проростання рослин; розкрито значення окремих представників бобових культур – люцерни, гороху та сої; охарактеризовано важкі метали як екотоксиканти довкілля, їхню токсичність; висвітлено шляхи потрапляння важких металів у довкілля; експериментально досліджено вплив різних концентрацій солей важких металів – Кадмію, Цинку, Плюмбуму, Купруму – на процес проростання насіння люцерни, гороху та сої.

ANNOTATION

Karpyn Denys. Research on the influence of heavy metal salts on the germination process of legume seeds

The work systematizes and summarizes information about the significance and features of plant; mineral nutrition of plants is characterized; analysis of the plant germination process was carried out; the importance of individual representatives of legumes – alfalfa, peas and soybeans – is revealed; heavy metals are characterized as environmental ecotoxicants, their toxicity; highlighted the ways in which heavy metals enter the environment; the effect of different concentrations of heavy metal salts – Cadmium, Zinc, Lead, Copper – on the germination process of alfalfa, pea and soybean seeds was experimentally investigated.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1.	9
ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ЗНАЧЕННЯ РОСЛИН І БОБОВИХ КУЛЬТУР	
1.1. Значення та особливості життєдіяльності рослин	9
1.1.1. Особливості та значення зелених рослин	9
1.1.2. Основні закони життєдіяльності рослин	12
1.1.3. Мінеральне живлення рослин	14
1.1.4. Проростання рослин	16
1.2. Характеристика деяких бобових культур	20
1.3. Значення окремих представників бобових культур	23
РОЗДІЛ 2.	25
ВАЖКІ МЕТАЛИ – ЕКОТОКСИКАНТИ ДОВКІЛЛЯ	
2.1. Загальна характеристика важких металів	25
2.2. Токсичність важких металів	28
2.3. Шляхи потрапляння важких металів у довкілля	33
РОЗДІЛ 3.	36
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СОЛЕЙ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ПРОЦЕС ПРОРОСТАННЯ НАСІННЯ БОБОВИХ КУЛЬТУР	
3.1. Об'єкти та методологія дослідження	36
3.2. Результати дослідження та їх аналіз	37
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	52
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Фітосфера – зелені рослини планети – є важливою частиною біосфери. Вона забезпечує людство продуктами харчування, кормом для сільськогосподарських тварин і різноманітною сировиною. Рослинництво є вагомою складовою сільськогосподарського виробництва, яке в Україні активно розвивалося впродовж багатьох десятиліть. Серед культур, що культивуються людиною, є представники різних видів, які володіють різними корисними властивостями. Так, цікавими є бобові культури, такі, наприклад, як горох та соя, які багаті на рослинний білок, повністю рівноцінний білкам м'яса, здатні збагачувати ґрунт сполуками Нітрогену, а також поліпшувати структуру ґрунтів. Крім того, бобові культури використовуються як сидерати в біологічному землеробстві, тобто є зеленими добривами. Окремі представники бобових, наприклад люцерна, є цінною кормовою культурою та медоносом.

Рослинний світ дуже чутливо реагує на зміни в навколишньому середовищі, яке зазнає постійного антропогенного впливу. В докiллі присутня величезна кількість забруднюючих речовин, які суттєво погіршують якість життя всіх живих організмів. Флора України дуже різноманітна, а її природні умови сприяли розвитку великої кількості видів рослин. Однак хижацьке вирубування лісів, забруднення полів та степів пестицидами та іншими токсичними речовинами сприяють прогресуючій деградації рослинного світу. Серед забруднювачів навколишнього середовища різного типу особливо небезпечними є важкі метали, які здатні акумулюватися в певних об'єктах довкілля і характеризуються високою токсичністю.

Дуже велика кількість важких металів потрапляють в ґрунт, повітря та воду під час бойових дій, коли вибухи снарядів, мін, ракет, гранат вивільняють величезну кількість різноманітних хімічних сполук, насамперед важкі метали Плюмбум, Кадмій, Цинк, Купрум, концентрації яких в зоні бойових дій можуть в сотні й тисячі разів перевищувати фонові концентрації. І саме до важких металів, точніше до їх кількості, рослини виявляють найбільшу чутливість, оскільки важкі метали здатні як пригнічувати, так і стимулювати ріст та розвиток рослин.

Мета роботи – систематизувати та узагальнити інформацію про значення та особливості життєдіяльності рослин; охарактеризувати особливості та значення окремих представників бобових культур; проаналізувати шляхи потрапляння важких металів у довкілля та їх токсичність; експериментально дослідити вплив солей важких металів – Кадмію, Цинку, Плюмбуму, Купруму – на процес проростання насіння люцерни, гороху та сої.

Об'єктом дослідження є зразки насіння окремих представників бобових культур – люцерни, гороху та сої, а **предметом** – вивчення впливу солей важких металів – Кадмію, Цинку, Плюмбуму, Купруму – на процес проростання насіння люцерни, гороху та сої.

Основними завданнями даної роботи, відповідно до поставленої мети, є наступні:

- здійснити огляд навчально-методичної літератури та інформаційних електронних ресурсів з досліджуваної проблеми і систематизувати й узагальнити інформацію про значення та особливості життєдіяльності рослин;
- охарактеризувати мінеральне живлення рослин;
- проаналізувати процес проростання рослин;
- розкрити значення окремих представників бобових культур – люцерни, гороху та сої;
- охарактеризувати важкі метали як екотоксиканти довкілля, їхню токсичність;
- висвітлити шляхи потрапляння важких металів у довкілля;
- експериментально дослідити вплив різних концентрацій солей важких металів – Кадмію, Цинку, Плюмбуму, Купруму – на процес проростання насіння люцерни, гороху та сої.

Практична цінність. В даній роботі експериментально досліджено вплив різних концентрацій солей важких металів – Кадмію, Цинку, Плюмбуму, Купруму – на процес проростання насіння люцерни, гороху та сої; виявлено області стимулюючого та токсичного впливу концентрацій солей важких металів на проростання насіння досліджуваних бобових; запропоновано бобові

культури, стійкі до токсичності високих концентрацій солей важких металів, вирощувати як сидерати на забруднених ґрунтах з метою підвищення якості ґрунту та його родючості в світлі біологізації землеробства.

Апробація результатів дослідження. Результати магістерської роботи були представлені та обговорені на наукових семінарах кафедри біології та хімії (квітень, 2025 р., вересень, 2025 р.), на звітній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти факультету здоров'я людини та природничих наук «Актуальні проблеми біології, екології, хімії та природничих наук» (квітень, 2025 р.).

Структура та об'єм роботи. Магістерська робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Основний текст роботи викладено на 53 сторінках комп'ютерного набору.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ЗНАЧЕННЯ РОСЛИН І БОБОВИХ КУЛЬТУР

1.1. Значення та особливості життєдіяльності рослин

1.1.1. Особливості та значення зелених рослин

Україна – потужна аграрна країна, в якій з давніх-давен вирощувалися різноманітні рослинні культури. Потреби у збільшенні обсягів вирощування рослинницької продукції зростають з кожним роком, що пов'язано з багатьма чинниками, в тому числі й збільшенням населення планети. До кінця ХХ століття, як зазначено в джерелі [9], фонд земельних ресурсів, придатних для обробки, виявився цілком вичерпаним: все, що можна було розорати, було розорано. Це означає, що екстенсивний фактор розвитку сільського господарства був вичерпаним. Тому його замінили інтенсивним підходом розвитку сільського господарства. А це, в свою чергу, висунуло на перший план широке використання генетичного та біологічного потенціалів рослин, які вирощувалися. Таким чином, знання особливостей росту та розвитку рослин в умовах сучасного сільськогосподарського виробництва є особливо актуальним.

Зелені рослини відіграють надзвичайно важливу роль у біосфері Землі і в господарській діяльності людини, оскільки синтезують органічні речовини з неорганічних, використовуючи енергію сонячного світла [18]. Органічні речовини, які синтезують рослини, людина використовує з різною метою:

- як їжу;
- як корми для тварин;
- як різноманітну технічну сировину.

Вивчення різноманітних чинників, які впливають на життєдіяльність рослин, дослідження обсягу їх продуктивності та стійкості до різних несприятливих факторів є предметом вивчення особливої науки – *фізіології рослин*.

Фізіологія рослин як наука займається також питаннями збереження та процвітання рослинного світу планети. Відомий біолог Тимірязєв К.А. так висловлювався про завдання фізіології рослин: «Мета прагнень фізіології

рослин полягає в тому, щоб вивчити і пояснити життєві явища рослинного організму, і не лише вивчити і пояснити, але шляхом цього вивчення і пояснення повністю підкорити їх розумній волі людини так, щоб вона могла за власної волі видозмінювати, припиняти або викликати ці явища» [9].

Рослини є такими ж живими організмами, як і тварини. На користь цього свідчать наступні ознаки:

- носіями спадкової інформації в рослинах і тваринах є нуклеїнові кислоти;
- основною речовиною (розчинником), в середовищі якої відбуваються всі біохімічні процеси, є вода;
- матеріальною субстанцією тіл тваринних і рослинних організмів є карбонвмісні органічні сполуки, особлива роль серед яких належить білкам.

В різний час різні вчені пропонували своє бачення визначення життя. Так було запропоновано наступні ознаки визначення [9]:

Ознаки визначення життя			
Білковий склад тіла	Здатність до обміну речовин	Збереження і передача спадкової інформації	Здатність живих організмів переробляти якнайбільше «неживої речовини» для побудови «живої» у вигляді все більшої кількості нових особин

Науковці зійшлися на думці, що важливішим буде не пошук якогось єдиного визначення життя, а оцінка основних його проявів з точки зору функціонування живих організмів. Злобін Ю.А. виділяє чотири таких загальних функціональних ознак у живих організмів:

- «наявність у живих організмів *метаболізму* – обміну речовин, що полягає в постійному поглинанні речовин з навколишнього середовища і їх ускладненні (*асиміляції*) при одночасному руйнуванні, спрощенні речовин, що входять до складу їх тіл, з виділенням частини таких речовин у природне середовище (*дисиміляція*);

- здатність до росту і розвитку як сенсу індивідуального життя (онтогенезу). У процесі росту і розвитку змінюються розміри, форма і властивості живих організмів;
- розмноження як універсальна властивість живих істот, що полягає в утворенні материнськими особинами зачатків (у рослин – спор, насіння тощо), з яких розвиваються дочірні особини, які за основними своїми властивостями подібні до материнських особин;
- подразливість, яка виявляється у здатності живих організмів сприймати зовнішні впливи і певним чином на них реагувати. Подразливість – дуже важлива властивість, вона забезпечує пристосованість рослин і тварин до умов існування» [9].

Отже, як і всі інші живі організми, зелені рослини виявляють усі перелічені функціональні особливості. Однак рослинам притаманні і деякі особливості, які відрізняють їх від тварин. Насамперед це автотрофність живлення у рослин – найголовніша їхня властивість [18].

Крім того, важливою особливістю живої матерії є її дискретність: вона завжди існує тільки у формі організмів – індивідуально самостійних особин. Живу матерію неможливо розділити на частини менші, ніж особина, оскільки таке розділення могло б зумовити загибель організму і втрату живою матерією її базових властивостей.

Саме тому така особливість живої матерії призводить до формування ієрархічної системи рівнів організації живої матерії. Так, Злобін Ю.А. пропонує раціональний і простий спосіб класифікації рівнів організації живої матерії, який полягає у виділенні певних рівнів її організації:

- *«Рівень особин, які найбільш повною мірою мають усі ознаки життя.*
- *Рівень екосистем як сукупностей різних видів живих організмів, пов'язаних між собою спільністю екологічних властивостей місцезростання і місцеперебування та біологічних взаємодій.*
- *Рівень біосфери, що є сукупністю всіх екосистем планети і становить особливу «оболонку» планети, населену і видозмінену живими істотами.*

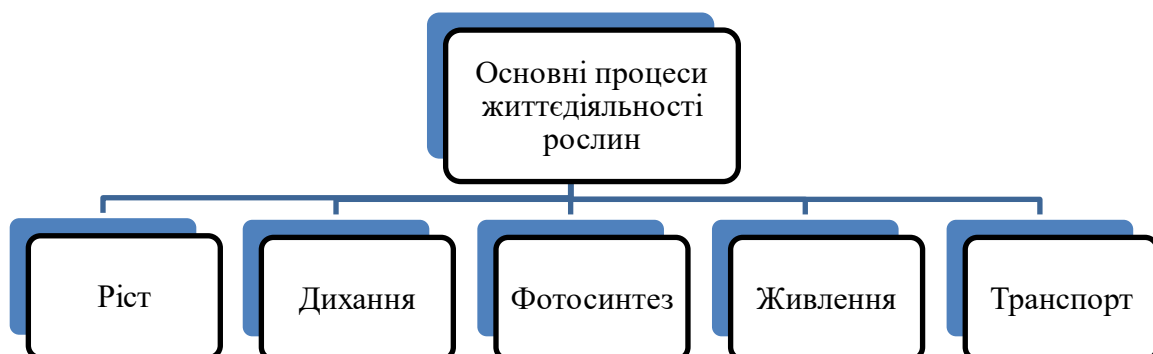
За Ситником К.М. (1982), сукупність усіх рослин планети називається *фітосферою*. *Фітосфера* – це найважливіша частина біосфери Землі» [9].

1.1.2. Основні закони життєдіяльності рослин

Всі живі істоти – рослини і тварини – є впорядкованою відкритою біологічною системою, яка здатна обмінюватися з навколишнім середовищем і речовиною, і енергією, як будь-яка інша відкрита термодинамічна система. Функціонування цієї системи підпорядковується певним закономірностям, які називаються законами природи. Закони природи – це сукупність правил і обмежень, яким підкоряються живі організми. Ті закони, які стосуються живих істот безпосередньо, називаються біологічними законами [18].

Існували різні підходи до трактування біологічних законів: *віталізм* (зводився до наявності у живих організмів життєвої сили – ентелехії), *механіцизм* (життєві процеси зводились до простих фізичних та хімічних процесів). Однак ці підходи виявились недоказовими та не підтвердженими, тому сучасна наука їх відкидає і зводить біологічні закони в самостійну категорію законів природи, які не можуть зводитися тільки до фізичних чи хімічних законів та містять ніяких міфічних сутностей.

Фізіолого-біохімічні процеси, які відбуваються в рослинах, є взаємопов'язаними, що є важливою особливістю життєдіяльності рослин. Серед них можна виділити наступні:



Фотосинтез є найважливішим процесом життєдіяльності рослин, оскільки в процесі його перебігу з вуглекислого газу та води за рахунок сонячної енергії синтезуються первинні органічні сполуки – фосфогліцеринів альдегід, фруктоза, глюкоза, сахароза, крохмаль. З цих речовин в процесі загального метаболізму синтезується величезна кількість органічних речовин. Такий *синтез* і *транспорт* речовин по рослині – енергозатратні процеси. Енергія для цих процесів забезпечується *диханням* – безперервним фізіологічним процесом, під час якого частина органічних речовин, отриманих в процесі фотосинтезу, окиснюється киснем повітря з утворенням енергії (запасається і транспортується у формі АТФ).

Синтез органічних речовин, який відбувається під час метаболізму, потребує не лише вуглеводів і енергії у вигляді АТФ, але й мінеральних речовин та води. Ці потреби забезпечуються перебігом двох самостійних фізіологічних процесів – процесу *поглинання мінеральних речовин* (кореневе живлення) і процесу поглинання води.

Процес метаболізму забезпечується особливими речовинами білкової природи – ферментами. Ферменти, які синтезуються самою рослиною, в процесі метаболізму за принципом зворотного зв'язку виступають в ролі каталізаторів та інгібіторів всіх біохімічних реакцій, які відбуваються в рослинах.

Рослина в ході індивідуального життя використовує продукти метаболізму для росту та розвитку, її біомаса збільшується, відбувається процес розмноження. В процесі метаболізму синтезуються також особливі речовини – фітогормони, які впливають на основні етапи онтогенезу у рослин. У культурних рослин онтогенез зумовлює підвищене нагромадження певних цінних для людини речовин, що відбувається внаслідок тривалого історичного добору та селекції. Такі рослини з цінними речовинами відчужуються у вигляді врожаю.

1.1.3. Мінеральне живлення рослин

Організми – це сукупність елементарних одиниць живого – клітин. Як зазначено в джерелі [20], лише віруси є позаклітинними формами життя, всі ж інші біологічні об'єкти побудовані з клітин різної кількості: з однієї (наприклад, бактерії, найпростіші) або великої кількості (багатоклітинні тварини, рослини, гриби). Клітини різних організмів різні за багатьма характеристиками:

- розмірами (орієнтовно від 5 мкм до 5 мм і більше);
- формою (округла, видовжена, неправильна);
- функціями (у багатоклітинних організмів – захисна, видільна, опорна, транспортна тощо);
- тривалістю життя (від декількох годин до багатьох десятиків років).

Не дивлячись на різноманітність клітин, для них характерні й деякі спільні ознаки: здатність до росту, розвитку, мінливості, подразливості, обміну речовин, до самовідтворення та передачі генетичної інформації.

Англійський природодослідник Роберт Гук у 1665 році вивчав під мікроскопом тонкий зріз корка і встановив, що він складається з маленьких комірок. Це були клітини, які людина побачила вперше. З цього моменту розпочалася історія вивчення клітини. А у 1839 році німецький фізіолог і цитолог Теодор Шванн сформулював наступні положення клітинної теорії:

- «клітина – мікроскопічна жива система, що є структурно-функціональною одиницею організму;
- нові клітини утворюються в результаті поділу або злиття раніше існуючих;
- для всіх клітин характерна єдність хімічного складу та метаболічних процесів;
- організм може складатися з однієї або безлічі клітин;
- багатоклітинні організми є системою клітин, які утворюють тканини й органи, пов'язані між собою гуморальними і нервовими типами регуляції;

- еволюція живих систем відбувалася шляхом ускладнення та диференціювання, від доядерних організмів до ядерних одноклітинних і далі до ядерних багатоклітинних» [20].

Отже, як бачимо з положень клітинної теорії, хімічний склад клітин є єдиним і включає хімічні елементи, неорганічні (вода, мінеральні солі) та органічні (білки, вуглеводи, ліпіди, нуклеїнові кислоти) речовини.

У клітинах живих організмів виявлено понад 70 елементів періодичної системи хімічних елементів, які за їх кількісним вмістом поділяють на три групи – *макроелементи*, *мікроелементи*, *ультрамікроелементи*:

Макроелементи (вміст понад 0,01 %)	Мікроелементи (вміст 10^{-2} – 10^{-6} %)	Ультрамікроелементи (вміст менше 10^{-6} %)
Карбон (C), Гідроген (H), Оксиген (O), Нітроген (N), Фосфор (P), Сульфур (S), Натрій (Na), Кальцій (Ca), Калій (K), Магній (Mg), Хлор (Cl)	Ферум (Fe), Цинк (Zn), Манган (Mn), Кобальт (Co), Купрум (Cu), Флуор (F), Йод (I)	Бор (B), Літій (Li), Алюміній (Al), Силіцій (Si), Станум (Sn), Кадмій (Cd), Арсен (As), Селен (Se), Ванадій (V), Титан (Ti), Хром (Cr), Нікель (Ni), Рубідій (Rb)

Макроелементи – це елементи, яких найбільше в складі клітини, вони входять до складу органічних сполук, а також приймають участь в утворенні зв'язків між білковими молекулами та біоелектричних процесах. *Мікроелементи* входять до складу гормонів і вітамінів, забезпечують перебіг ферментативних процесів, беруть участь у процесах дихання. Біологічне значення багатьох ультрамікроелементів до кінця ще не з'ясоване.

Як бачимо з наведеної вище інформації, важкі метали є і в складі мікроелементів (Zn, Mn, Co, Cu), і в складі ультрамікроелементів (Cd, As, Cr). Тобто, значення важких металів у функціонуванні клітини визначається їхнім вмістом [18].

Для нормального росту та розвитку рослини потребують не лише світла, води та вуглекислого газу. Рослинному організму потрібні також розчинені у воді мінеральні речовини, без яких рослини не зможуть рости, функціонувати і плодоносити. До найбільш потрібних рослинам хімічних елементів належать наступні макроелементи: N, P, Mg, Cl, Ca, S. Ці елементи важливі тому, що Нітроген, наприклад, входить до складу амінокислот; Фосфор – до складу

нуклеїнових кислот; Магній – до складу хлорофілу; Хлор, Кальцій, Сульфур та інші макроелементи потрібні для нормальної життєдіяльності не лише рослинних, але й будь-яких інших клітин. Мікроелементи, зокрема й металічні, рослини отримують з ґрунтового розчину. Особливо рослини потребують Нітрогену та Фосфору, нестача яких найбільше позначається на рості й розвитку рослин. Якщо ґрунт, на якому вирощують рослини, не містить достатньої кількості цих елементів, вегетативна маса рослин і їхня врожайність знижуються. В такому випадку в ґрунт вносять добрива – речовини, що містять ці елементи, наприклад, нітратні й фосфатні добрива. Як і у випадку з мікро- та ультрамікроелементами, надмірна кількість добрив не використовується рослинами або ж накопичується в їхніх тканинах. Такі рослини стають непридатними для споживання через високий ризик отруєння накопиченими речовинами [19].

1.1.4. Проростання рослин

Індивідуальний розвиток організму, який включає всю сукупність його перетворень від зародження до природного відмирання, називається *онтогенезом*. Як зазначає Мусієнко М.М. [11], під час онтогенезу реалізується спадкова інформація організму, відбувається структурна і функціональна спеціалізація клітин, тканин і органів рослини, а також виникають незворотні вікові зміни всього організму. Рослини в процесі онтогенезу ростуть, що призводить до збільшення розмірів та новоутворень елементів структури організму. Ріст спричиняє також якісні зміни структури та функцій самої рослини або її частин.

Важливим чинником, що впливає на онтогенез рослин, є умови довкілля, оскільки рослини прикріплені до певного місця існування. Залежність від умов існування призвело до вироблення рослинами різноманітних адаптивних реакцій, наприклад, період спокою, фотоперіодизм, термоперіодизм тощо, завдяки яким найбільш оптимальний період їхньої життєдіяльності припадає на найсприятливішу пору року.

Найважливішою особливістю живих організмів є їхня здатність до росту. За визначенням Мусієнка М.М., «*ріст* – це незворотне збільшення розмірів рослин (або їхніх органів), що зумовлене новоутворенням органів, клітин або окремих їх елементів за рахунок біосинтетичних процесів; *розвиток* – це сукупність якісних морфологічних і фізіологічних змін рослини на окремих етапах її життєвого циклу (онтогенезу), які зумовлені генотипом і фенотипом» [11].

Розвиток зрілої рослини з однієї насінини надзвичайно складний процес, який включає поділ клітин, їхній ріст шляхом розтягування, диференціювання клітин та окремих органів (корінь, стебло, листок, квітка), а також цілу низку складних і дуже добре координованих хімічних реакцій.

Рослинний організм росте і розвивається в результаті перебігу величезної кількості реакцій обміну речовин, яким передують процеси поглинання рослиною води і поживних речовин та акумулювання сонячної енергії.

У розвитку вищих рослин, як зазначає Мусієнко М.М. [11], можна виділити наступні етапи:

- ембріональний;
- ювенільний (молодість);
- репродуктивний (зрілість і розмноження);
- сенільний (старість та відмирання).

Основні етапи розвитку вищих рослин представлено на *рис. 1.1.4.1.*

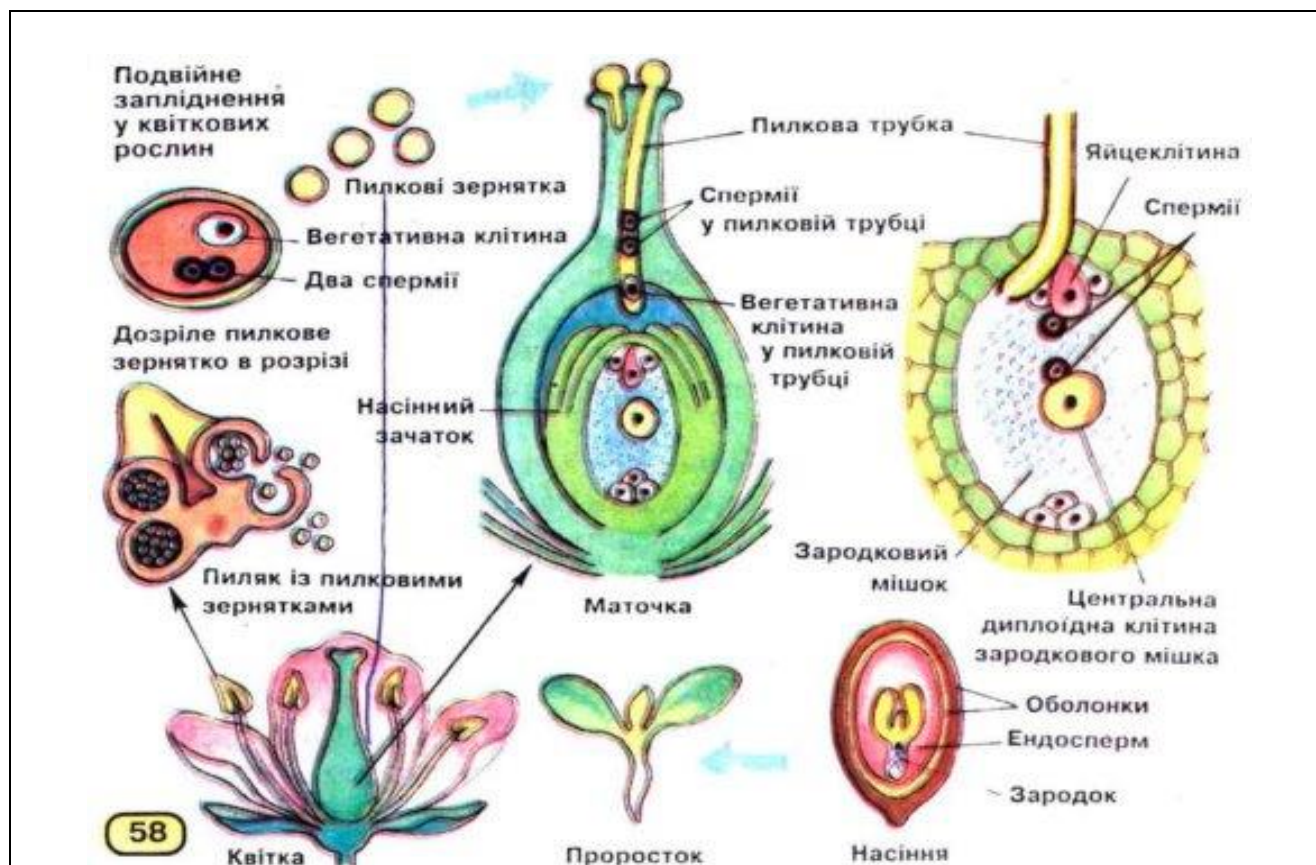


Рис. 1.1.4.1. Життєвий цикл покритонасінних рослин

Проростання насінини чи бульби/цибулини (органів вегетативного розмноження) відноситься до ювенільного етапу розвитку рослини і характеризується активним нагромадженням вегетативної маси. В свою чергу на етапі проростання виділяють наступні фази: набрякання, наклюовування, гетеротрофного росту паростків, переходу до автотрофного живлення. На даному етапі розвитку рослини не здатні до статевого розмноження [11].

Цікаво відмітити, що тривалість ювенільного періоду у різних видів рослин неоднакова і може тривати від кількох тижнів (наприклад, у однорічних) до десятків років (у кущів, дерев). На ювенільному етапі важливим є певне співвідношення фітогормонів.

Ріст рослини починається із проростання насіння. Проростання включає в себе також і ті процеси, які відбуваються в насінині до появи видимих ознак росту. До складу насінини покритонасінних входять зародок, ендосперм та насіннєва шкірка. Насіння розрізняють залежно від запасних речовин і поділяють на те, яке запасє крохмаль, білки або олії. Насіння усіх рослин містить фітин, головною функцією якого є забезпечення зародка сполуками

Фосфору. Крім того, фітин містить певну кількість йонів K^+ , Mg^{2+} та Ca^{2+} . У насінні містяться також ферменти і гормони в неактивному стані. Тканини зародка збагачені мінеральними елементами, амінокислотами, гормонами, ферментами, особливо великий їхній вміст у зародковому корінчику. Деякі ферменти, як вже зазначалося, містяться в неактивному (зв'язаному) стані і активуються лише під впливом набрякання. Для синтезу інших ферментів потрібні інформаційні РНК [11].

Для проростання насіння потрібні певні умови середовища, зокрема насамперед вода. Сухе насіння містить від 5 % до 15 % води і знаходиться в стані вимушеного спокою. Але часто навіть за наявності оптимальних чинників середовища насіння не проростає, доки в ньому не відбудуться певні процеси, зумовлені фізіологією дозрівання. Тобто, в насініні завжди є певні механізми регуляції, які узгоджують проростання з настанням оптимальних умов для росту та розвитку рослини. Серед цих чинників у механізмах регуляції велике значення належить зовнішнім оболонкам насініні, які інколи містять інгібітори росту й є непроникними для води, кисню.

Мусієнко М.М. виділяє наступні етапи проростання насіння [11].

1. Проростання починається з набрякання насіння. У деяких видів уже на етапі набрякання насінневої шкірка розтріскується.
2. Наступним етапом є гідроліз і транспортування запасних речовин, яке супроводжується інтенсивним диханням.
3. Збільшення зародка завдяки росту клітин розтягуванням і відновленню поглинання води.
4. Насініна вважається пророслою, якщо виходить зародковий корінець внаслідок розриву насінневої шкірки.

Проростання насіння залежить від дуже багатьох чинників. А загалом проростання насіння є одним із найбільш критичних етапів у функціонуванні рослинного організму, оскільки він впливає на виживання організмів певного виду.

1.2. Характеристика деяких бобових культур

За біологічною класифікацією бобові (*Fabaceae* або *Leguminosae*) належать до покритонасінних бобовоцвітих рослин. Це родина дводольних роздільнопелюсткових рослин. Бобові поділяють на три підродини, до яких відносять Мімозові (*Mimosoideae*), Цезальпінієві (*Caesalpinioideae*) і Метеликові (*Papilionoideae*), які деякі автори відносять до окремих підродин і об'єднують в порядок *Leguminosales*.

Загальновідома інформація свідчить, що життєві форми бобових бувають різними: це можуть бути однорічні та багаторічні трав'янисті рослини, кущі, напівкущі, дерева, ліани. Листки у бобових є найчастіше з прилистками, пірчастоскладні або пальчастоскладні. Квітки бобових двостатеві, частіше неправильні, з подвійною оцвітиною, можуть бути поодинокі або в суцвіттях. Плодом є біб, багатонасінний здебільшого, рідше буває однонасінний, нерозкривний.

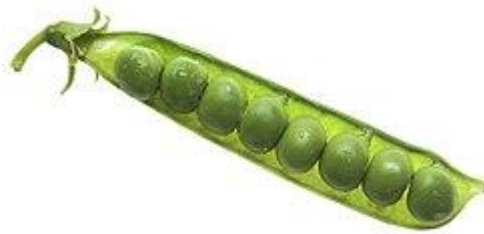
Серед бобових культур важливим є горох, який відносять до підродини Метеликові. Це однорічна трав'яниста рослина зі стеблами, що в'ються. Горох здатний чіплятися за різні поверхні завдяки перистим листкам, що закінчуються гіллястими вусиками. Рослини гороху самозапильні, практично нездатні до перехресного запилення.



Горох



Свіжий зелений горох



Плід гороху

Ще однією культурою з родини бобових є соя, яка є однорічною трав'янистою культурною рослиною, подібною до квасолі. Соя є однією з найдавніших їстівних культур.



Соя звичайна



Насіння сої

Для сої характерні певні біологічні особливості. Вона характеризується підвищеними вимогами до забезпечення теплом і водою, особливо під час проростання насіння до сходів, а потім до цвітіння і формування насіння, після чого вимоги до температурного режиму зменшуються.

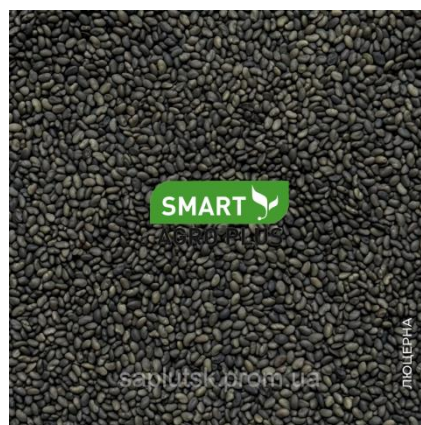
Оптимальною температурою для проростання насіння сої є $18-22^{\circ}\text{C}$, насіння в таких умовах проростає за 7–8 днів. За температури $8-10^{\circ}\text{C}$ насіння сої теж починає проростати, але за такої температури сходи з'являться через 20–30 днів. Найбільш оптимальний температурний режим для різних етапів розвитку сої наступний:

Етап розвитку	Оптимальна температура, ° С
Період вегетативного росту	18–22° С
Період формування репродуктивних органів	22–24° С
Період цвітіння	25–27° С
Період формування бобів	20–22° С
Період дозрівання	18–20° С

Ще однією культурою родини бобових є люцерна – рослина, що належить до однорічних і багаторічних трав і напівкущів підродини Метеликові. Деякі види люцерни є цінними кормовими культурами. Має стрижневу кореневу систему, яка проникає в ґрунт на глибину до 4–5 м. На коренях люцерни, як і інших бобових культур, живуть бульбочкові бактерії [21].



Люцерна



Насіння люцерни

1.3. Значення окремих представників бобових культур

Бобові культури знайшли широке застосування в різних сферах людської діяльності. Так, наприклад, горох є надзвичайно цінним продуктом харчування. В ньому міститься дуже багато білка, майже так само, як у яловичині. За калорійністю горох переважає м'ясо майже удвічі, оскільки містить ще й вуглеводи. Крім білків та вуглеводів, горох містить також цілий спектр різних вітамінів (А, В1, В2, В6, С, РР, К, Е), холін, каротин, а також мікроелементи (солі Кальцію, Калію, Мангану, сполуки Фосфору), близько 50 % крохмалю, до 1,5 % жирів. Горох містить білки, багаті на незамінні амінокислоти: цистин, лізин, триптофан, метіонін, тирозин тощо). Саме тому горох є цінним харчовим

та дієтичним продуктом. Горох виявляє гіпоглікемічні властивості, завдяки чому може вживатися хворими на цукровий діабет, а також при кам'яній хворобі нирок. Зелений горошок здатний регулювати холестериновий обмін завдяки лецитину, що входить до його складу.

Горох широко використовується в народній медицині. Так, відвар з насіння гороху має сечогінні властивості й виводить солі з організму при сечокам'яній хворобі. В той же час горох протипоказаний хворим на гострий нефрит (гострий запальний процес у нирках) та хронічну недостатність кровообігу. Не рекомендують вживати страви з гороху також людям з подагрою та гострими запальними процесами шлунку та кишківника. Страви з гороху дуже корисні людям з хворобами серця, а також із серцевими на нирковими набряками.

Широко використовується в народній медицині й горохове борошно. Його прикладають (виготовляють тісто з борошна і води) для розсмоктування твердих пухлин (інколи змішане з медом). Горохове борошно приймають також при інсульті по 0,5–1 чайній ложці 2–3 рази на день до їди: це поліпшує живлення головного мозку та нормалізує обмін речовин.

Цінною рослиною також є соя, насіння якої містить:

Склад насіння сої			
білки	жири	лецитин	зольні речовини та вітаміни
35–45 %	17–25 %	1–2 %	5–6 %

Насіння сої корисне тим, що з нього виробляють соєве молоко, крупи, борошно, олію, сурогат кави тощо. Із зелених бобів сої виготовляють різноманітні страви, консерви. Сою використовують також як корм для худоби, а жом з неї – для виробництва біопалива.

Культурною рослиною багатоцільового призначення є люцерна, яка використовується як високоякісний корм для худоби, оскільки є джерелом повноцінного за амінокислотним складом протеїну, каротину. Листя люцерни містять вітаміни, мікроелементи, ксантофіл, глюкозу, сахарозу, фруктозу, крохмаль. Люцерна крім того є медоносом, а також збагачує ґрунт сполуками

Нітрогену і покращує його структуру завдяки своїй потужній кореневій системі [5].

Важливо також відмітити, що перелічені вище бобові культури – горох, люцерна і соя – відносяться до бобових сидератів. Тобто їх можна використовувати як зелені добрива з метою поліпшення структури та родючості ґрунту, збагачення ґрунту сполуками Нітрогену і пригнічення росту бур'янів на певних ділянках землі [7].

РОЗДІЛ 2

ВАЖКІ МЕТАЛИ – ЕКОТОКСИКАНТИ ДОВКІЛЛЯ

2.1. Загальна характеристика важких металів

Людська діяльність – один із найбільш непередбачуваних і глобальних чинників впливу на стан навколишнього середовища. Негативно на якість довкілля впливає діяльність людини в багатьох сферах – енергетики, промисловості, транспорту, сільського господарства, військової справи тощо. Серед величезного числа негативних антропогенних чинників близько 150 тис. є токсичними, а близько 40 тис. з них потрапляють у водойми за даними джерела [15]. Всі ці полютанти (забруднювачі) в кінцевому підсумку зумовлюють зміни метаболічних процесів в живих організмах та призводять до значного зниження їх продуктивності. Серед найбільш небезпечних забруднювачів довкілля насамперед виокремлюють важкі метали, які мають здатність акумулюватися в різних компонентах екосистем, спричиняючи їх постійну інтоксикацію [16].

Термін *важкі метали* можна тлумачити по-різному. Серед критеріїв, які дозволяють віднести метали до цієї групи полютантів, можна виділити наступні:

- велике значення відносної атомної маси металічного елемента ($Ar(Me) > Ar(Fe)$; $Ar(Fe) = 56$);
- велике значення густини металу ($\rho > 5 \text{ г/см}^3$);
- токсичність металу;
- здатність акумулюватися в компонентах екосистем.

За такими критеріями до групи *важких металів* можна віднести понад 40 металічних елементів. Окремі мікроелементи – Ферум (Fe), Манган (Mn), Купрум (Cu), Кобальт (Co), Молібден (Mo), Цинк (Zn) – за величиною їхніх відносних атомних мас належать до групи *важких металів*, але токсичними будуть їхні підвищені концентрації в компонентах екосистем [8]. Серед особливо небезпечних металічних елементів слід виділити наступні: Нікель

(Ni), Манган (Mn), Хром (Cr), Цинк (Zn), Арсен (As), Кадмій (Cd), Плюмбум (Pb), Меркурій (Hg), Купрум (Cu), Ванадій (V).

Як бачимо з наведених вище прикладів, металічні елементи можуть бути і мікроелементами [10], і важкими металами, тобто ці поняття взаємопов'язані. Токсичними є не самі металічні елементи, а їхні кількості. Саме доза (концентрація) та форма металічного елемента характеризують його шкоду/користь для екосистем. Тобто, важкі метали у мікродозах (у кількостях мікроелементів) життєво необхідні для функціонування живих організмів [13]. Однак у кількостях, які перевищують мікродози, вони стають дуже токсичними. Зокрема, вміст окремих металічних елементів (наприклад, Cu, Pb, Ag) у кількостях 0,02–0,004 мг/л вже буде зумовлювати для гідробіонтів токсичну дію.

Саме тому до негативних, а часом і згубних, наслідків призводить недотримання норм (гранично-допустимих концентрацій, ГДК) застосування хімічних сполук у різних сферах, а також їх неправильне транспортування та зберігання і, загалом, нехтування встановлених норм щодо таких сполук [12]. Гранично допустимою концентрацією (ГДК) речовини є такий її вміст в повітрі, воді та ґрунті, який за умови її тривалого впливу на людський організм не зумовить будь-яких патологічних змін. Кількісний вміст забруднюючих речовин не повинен перевищувати норм, встановлених відповідними нормативними документами [15].

Для важких металів ГДК наступні (*табл. 2.1.1, 2.1.2*) [2]:

Таблиця 2.1.1

ГДК важких металів в атмосфері населених пунктів

Речовина	ГДК, мг/м ³	
	разова	середньодобова
Пари Плюмбуму	—	0,0003
Пари Меркурію	—	0,0003
Солі Нікелю	—	0,0002
Хром шестивалентний	0,0015	0,0015
Хлорид Феруму	—	0,004
Оксиди Купруму (та купрум(II) хлорид)	—	0,002

Таблиця 2.1.2

ГДК важких металів у питній воді та ґрунтах

ГДК важких металів у питній воді		ГДК важких металів у ґрунтах	
Металічний елемент	ГДК, мг/л	Металічний елемент	ГДК, мг/кг
Меркурій	0,0005	Плюмбум	20,0
Кадмій	0,001	Хром шестивалентний	0,05
Кобальт, Манган, Бісмут, Барій	0,1	Меркурій	2,1
Плюмбум	0,03	Купрум	3,0
Цинк, Кобальт, Ферум	0,1	Нікель	4,0
Хром, Нікель, Купрум, Молібден, Вольфрам	0,01	Цинк	23,0
		Манган	1500,0
		Кобальт	5,0
		Кадмій	1,0
		Ванадій	150,0

Як видно з табличних даних, гранично-допустимі концентрації важких металів в різних об'єктах коливаються в різних межах, однак їхні значення свідчать про високу токсичність.

2.2. Токсичність важких металів

Всі хімічні елементи – металічні і неметалічні – можна умовно поділити на токсичні й нетоксичні. До токсичних елементів відносяться ті, які негативно впливають на живі організми за умови досягнення концентрації елементів, що визначаються особливостями природи організму. Як вказує Рудишин С. [15], найбільш токсичні елементи досить компактно розташовані в періодичній системі хімічних елементів, на що вказують дані *таблиці 2.2.1*.

Таблиця 2.2.1

Розташування у періодичній системі хімічних елементів, найбільш токсичних для живих організмів

Номер періоду	Група							
	I B	II B	VIII B	II A	III A	IV A	V A	VI A
II	–	–	–	Be	–	–	–	–
IV	Cu	Zn	Ni	–	–	–	As	Se
V	Ag	Cd	Pd	–	–	Sn	Sb	Fe
VI	Au	Hg	Pt	–	–	Pb	Bi	–

В науковій літературі зазначено, що токсичність елементів однієї групи збільшується із збільшенням зарядів ядер їхніх атомів. Токсичну дію деяких хімічних елементів на організм людини охарактеризовано в *таблиці 2.2.2*.

Таблиця 2.2.2

Токсичний вплив деяких хімічних елементів на організм людини [15]

Елемент	Джерела надходження в довкілля	Спосіб потрапляння в організм	Вплив на здоров'я людини
Fe	Промислове виробництво	З водою, їжею	Цироз печінки, захворювання кровоносної системи
Cd	Виплавляння кольорових металів; арматура, пластмаси, пофарбовані сполуками Кадмію	З водою, їжею, повітрям	Хвороби нирок, анемія, остеопороз (ламкість кісток), канцерогенна дія
Mn	Виплавляння металів, добрива, рідке паливо, лінолеум, сірники, піротехнічні вироби	З повітрям	Прогресуюче ураження центральної нервової системи, синдром Паркінсона, пневмонія
Cu	Промислове виробництво, спалювання вугілля, добрива, засоби захисту рослин, барвники	З водою, їжею	Гепатити, ураження легень

As	Кольорова металургія, пестициди, препарати для лікування тварин	З водою, їжею	Рак легень та шкіри, порушення функції шлунку, інтоксикація
Ni	Промислове виробництво, нікелювання виробів	З їжею, повітрям	Бронхіальний рак, дерматити (екзема), інтоксикація, алергія
Hg	Стоки хімічних підприємств, виробництво пестицидів, спалювання кам'яного вугілля	З водою, їжею, повітрям	Інтоксикація, хвороба Мінамата, паралічі та психічна неповноцінність новонароджених
Pb	Виплавляння металів, пестициди, двигуни внутрішнього згоряння, дорожній пил, ґрунт навколо підприємств	З водою, їжею, повітрям	Ураження центральної нервової системи, печінки, нирок, мозку, статевих органів
Cr	Промислове виробництво, сплави, барвники, вогнетривка цегла	З їжею, повітрям	Бронхіальний рак
Se	Збагачення руд, спалювання вугілля	З повітрям	Депресії, запаморочення, механічна жовтуха, носові кровотечі

Металічні елементи, за винятком Берилію, утворюють в довкіллі стійкі сульфідні. Токсичну дію важких металів найчастіше пов'язують із заміщенням у деяких ферментах йонів металічних елементів, а також із блокуванням важкими металами окремих функціональних груп білків (насамперед сульфгідрильних груп). Серед особливо токсичних та досить поширених металічних елементів можна виділити Cd, Hg, Pb, Cr, Ni, які здатні конкурувати з біофільними металічними елементами (Ca, Mg, Fe та інші) в процесах комплексоутворення та витіснити їх з біологічно активних молекул [15].

Негативний вплив важких металів відбувається насамперед на клітинному та молекулярному рівнях: відбувається порушення мітозу, гальмується дія ферментів, мають місце незворотні конфірмаційні зміни макромолекул. Це призводить до змін швидкості метаболізму та виникнення мутацій.

Важкі метали особливо небезпечні тим, що здатні накопичуватися в організмі, брати участь у метаболічних циклах, утворюючи при цьому високотоксичні металоорганічні сполуки. Як зазначено в джерелі [14], важкі метали спричиняють серйозні фізіологічні розлади та отруєння, здатні викликати алергію та рак.

Токсичний вплив дози важких металів характеризується, як зазначає Рудишин С. [15], п'ятьма якісними категоріями (за ступенем збільшення впливу на живий організм):

- без помітного ефекту;
- ефект стимуляції;
- терапевтичний ефект;
- токсичний ефект;
- летальний результат.

Найбільш токсичними є координаційні сполуки йонів важких металів (вони водорозчинні). Вони стають проникливими для клітинних мембран і здатними до транспортування та виведення з організму. Більшу частину засобів сучасної фармацевтичної галузі становлять потенційні ліганди (комплекси), які зв'язують певний металічний елемент і утворюють металоферменти. Ліганди (наприклад, ліпоєва, аскорбінова кислоти та ін.) і металічні елементи як інгібіторами, так і активаторами певних ферментів, що зумовлює їхню важливу роль при лікуванні різних захворювань.

Ґрунт – одна з важливих складових частин біосфери, яка виконує роль природної буферної системи, в якій відбувається перенесення речовин та хімічних елементів в атмосферу, гідросферу і рослини. Важкі метали спричиняють забруднення ґрунтових і поверхневих вод завдяки можливості їх горизонтальної і вертикальної міграції в ґрунтах. Найчастіше важкі метали адсорбуються і міцно зв'язуються у верхньому шарі ґрунту завглибшки близько 20 см. Однак відомі випадки проникнення важких металів на глибину до 160 см у випадку сильного забруднення. Саме в такому випадку створюється загроза потрапляння водорозчинних форм токсичних важких металів у ґрунтові води. Як зазначає Рудишин С. [15], найбільшу міграційну здатність мають Меркурій (Hg) та Цинк (Zn), які рівномірно розподіляються в шарі ґрунту завглибшки до 20 см. Плюмбум (Pb) накопичується найчастіше в поверхневому шарі ґрунту на глибину до 2,5 см. Міграційна здатність Кадмію (Cd) знаходиться орієнтовно посередині між цими металічними елементами. Крім того, як підкреслює Рудишин С. [15], на міграцію важких металів впливають також процеси їхнього

осадження на геохімічних бар'єрах. *Геохімічний бар'єр* – це така ділянка земної кори, в якій на малій відстані різко зменшується міграція хімічних елементів, в результаті чого відбувається їх концентрування. Відомі три групи геохімічних бар'єрів – механічні, фізико-хімічні, біогеохімічні.

Концентрування важких металів у ґрунті можуть зумовлювати наступні процеси:

- сорбція;
- оклюзія (процес поглинання речовин із газового середовища усім об'ємом поглинача, подібний до абсорбції) та спільне осадження;
- комплексоутворення та утворення органічних халатів;
- мікробіологічна фіксація.

Якщо оцінювати внесок кожного процесу у фазовому розподілі важких металів у ґрунтах, то провідну роль відіграє комплексоутворення з органічними речовинами. Хімічні сполуки, які утворюють такі комплекси або містяться в обмінно-сорбованому вигляді в ґрунтових колоїдах, є основою мінерального живлення рослин. Тип ґрунту та ландшафтно-геохімічні умови також впливають на процеси зв'язування важких металів. Так, частка важких металів, зв'язаних із гумусом, є досить значною і знаходиться в межах 30–40 %. Вміст важких металів у дерново-слабопідзолистих супіщаних ґрунтах розташовують в наступній послідовності:

Cu	Zn	Sr	Pb	Be	Cr	Ni
зменшення вмісту →						

Частка рухомих форм важких металів може сягати 0,2–14 % від їхнього загального вмісту в ґрунті, їх можна розташувати в наступний ряд:



Отже, як видно з даного ряду, в ґрунтовому розчині найбільше може бути Цинку, Купруму та Плюмбуму.

Рослини засвоюють хімічні сполуки, в тому числі й важкі метали, по-різному. Це залежить від виду рослини, а також ґрунтових та кліматичних

умов. До ґрунтових чинників, які впливають на доступність важких металів для рослин, можна віднести наступні:

- гранулометричний склад ґрунту;
- рН ґрунтового розчину;
- вміст органічної речовини (гумусу);
- катіонообмінна здатність;
- дренаж ґрунту [15].

Важкі метали здатні утворювати з органічною речовиною ґрунту складні комплексні сполуки. Тому в ґрунтах з високим вмістом гумусу важкі метали є менш доступними для рослин. Обмінна ємність катіонів впливає на здатність ґрунту утримувати важкі метали: чим вища обмінна ємність катіонів, тим більша утримувальна здатність ґрунту. Своєю чергою, на обмінну ємність катіонів впливає вміст у ґрунті мінералів, а також склад глинистої частини ґрунту і вмісту у ньому органічних речовин.

Отже, підсумовуючи вищесказане, можна констатувати, що основними чинниками, які впливають на міграцію важких металів у ґрунтах є:

- наявність сполук Fe, Al, Mn;
- наявність алюмосилікатів і глин;
- наявність органічних речовин;
- значення рН ґрунтового розчину;
- здатність ґрунтових мінералів зв'язувати важкі метали [15].

Для кількісної характеристики надходження важких металів з ґрунту в рослини використовують *коефіцієнт біологічного накопичення* (КБН), який розраховується як відношення кількості накопиченої в організмі речовини (пестициду, радіонукліду, мікроелемента тощо) до його вмісту в навколишньому середовищі. КБН визначається співвідношенням вмісту металічного елемента в одиниці маси акцептора (рослини в перерахунку на її золу) і донора (ґрунту).

Різні види рослин значно відрізняються між собою за значенням коефіцієнта біологічного накопичення хімічних елементів. Як підкреслює

Рудишин С. [15], для всіх культурних рослин КБН для Mo і Zn >1, а для Ti і V <1.

2.3. Шляхи потрапляння важких металів у довкілля

Основними джерелами забруднення навколишнього середовища важкими металами (Ni, Cr, Zn, Mn, Cu, As, Hg, Cd, Pb, Fe та інші) є підприємства чорної та кольорової металургії, машинобудівні заводи, стоки гальванічних цехів та гірничовидобувних підприємств, транспорт тощо. Важкі метали можуть потрапляти у водойми зі стоками із сільськогосподарських угідь, оскільки вони входять до складу добрив та пестицидів. Так, як зазначає Рудишин [15], сільськогосподарське виробництво використовує хлороорганічні та фосфороорганічні пестициди, мідний купорос та бордоську рідину (містять Cu).

Однак наявність важких металів в навколишньому середовищі може бути спричинена не лише антропогенним впливом. Існують так звані *біогеохімічні провінції* – окремі ділянки земної поверхні, які відрізняються від інших надлишком або нестачею і складом хімічних елементів та речовин у рослинах, тваринах, ґрунтах, водах, що може бути зумовлено геологічними та фізико-географічними особливостями даної ділянки. Живі організми, які проживають на території відповідної ділянки, специфічно реагують на хімічні характеристики провінції, що може зумовлювати ендемічні захворювання – *біогеохімічні ендемії* [15].

Важкі метали надходять у довкілля найчастіше у вигляді солей – неорганічних речовин, токсичність яких може бути зумовлена як катіонами, так і аніонами, а також фізико-хімічними властивостями самих солей. Йони важких металів можуть перебувати в об'єктах довкілля у різних ступенях окиснення – це залежить насамперед від значення рН, окисно-відновного потенціалу *Eh* (або редокс-потенціал) та ряду інших чинників. Вони можуть також входити до складу різних неорганічних і органічних речовин та перебувати у розчиненому, колоїдному і завислому станах.

Як вказують джерела [3; 17], окисно-відновний потенціал *Eh* є важливим показником стану насамперед природних вод, оскільки визначає можливість

перебігу реакцій окиснення-відновлення, під час яких можуть утворюватися більш або менш токсичні інгредієнти, наприклад, $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$, $\text{Cr}^{+6} \rightarrow \text{Cr}^{+3}$, а зміна ступенів окиснення цих компонентів може впливати на їхню міграцію у водному середовищі.

Однією з найбільш ганебних рис людської цивілізації є війна. Людство воювало впродовж тривалого часу і не усвідомлюють повною мірою всіх її наслідків. Вчені підраховали, що за останні 6000 років люди жили мирно всього лише 292 роки [1].

Будь-яка військова діяльність має антиекологічний характер, адже має на меті завдання шкоди біосфері, насамперед людині. Війни, за підрахунками вчених, забрали життя майже 3700 млн людей. В ході війн знищуються матеріальні цінності на фантастичні суми, яких вистачило б на забезпечення людей всім необхідним на декілька тисяч років!

Війни завдають непоправної шкоди і середовищу існування людей. Руйнуються дамби, знищуються ліси, родючі поля, використовується хімічна [22] та біологічна зброя, не гребує людство і ядерною.

Важких наслідків довкіллю завдають активні бойові дії в результаті розривання снарядів, мін, ракет та іншої зброї. Внаслідок вибуху дрібні частинки металів, оксиди та осколки розлітаються навсібіч і потрапляють у повітря та ґрунт. У ґрунт потрапляють металеві корпуси боєприпасів, які містять Плюмбум (Pb), Купрум (Cu), Цинк (Zn), Кадмій (Cd), Хром (Cr), Нікель (Ni). У ґрунті металеві уламки поступово окиснюються, що збільшує ризик міграції важких металів у підземні води.

В результаті горіння техніки, пального, електроніки, пластмас, батарей та акумуляторів у повітря та ґрунти потрапляють Меркурій (Hg), Плюмбум (Pb), Кадмій (Cd), Цинк (Zn), Стибій (Sb). Якщо горять технічні мастила, та паливо, то в довкілля потрапляють ще й Нікель (Ni), Ванадій (V) та інші металічні елементи.

Неабиякої шкоди довкіллю завдають руйнування будівель та різноманітної інфраструктури. У старих конструкціях часто містилися свинцеві фарби, кабелі зі свинцем, нікельовані та хромовані металічні елементи.

Руйнування промислових будівель та складів може призводити до розгерметизації або руйнування резервуарів з металовмісними речовинами, що зумовлює розпорошування в повітрі та осідання в ґрунті частинок металів.

До забруднення довкілля призводить поступова корозія залишків військової техніки, ракетних систем. Після окиснення важкі метали у вигляді йонів активно мігрують і впродовж місяців і років стають стабільними джерелами забруднення.

У військовій справі використовуються спеціальні хімічні реагенти та сплави [22]. Окремі військові сплави можуть містити Кобальт (Co), Вольфрам (W), Молібден (Mo). А до складу піротехнічних речовин можуть входити Стронцій (Sr), а також Меркурій (Hg) у деяких запалювальних елементах.

Металічні елементи можуть мігрувати в довкіллі, з опадами переноситися у водойми, а пилові викиди зумовлювати вторинне забруднення повітря. Отже, як бачимо, активні бойові дії є першопричиною забруднення довкілля важкими металами, які з часом потрапляють і в сільськогосподарську продукцію [6].

Важливо зазначити, що екологічні дослідження зон збройних конфліктів показують, що концентрації важких металів та інших токсичних сполук можуть перевищувати фонові концентрації у сотні і тисячі разів.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СОЛЕЙ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ПРОЦЕС ПРОРОСТАННЯ НАСІННЯ БОБОВИХ КУЛЬТУР

3.1. Об'єкти та методологія дослідження

Для дослідження було обрано декілька видів бобових культур – харчових і кормових: сою, горох цукровий та люцерну. Бобові культури здавна вирощували і використовували з різною метою. Боби, наприклад, за поживністю прирівнювалися до хліба та м'яса і використовувалися в їжу. Крім того, бобові (боби, квасоля, горох арахіс, сочевиця тощо) є джерелом рослинного білка і за калорійністю є ціннішими за багато овочевих культур. Вони також мають велике застосування в найрізноманітніших сферах, оскільки містять багато цінних речовин: дубильні речовини, камеді, барвники. Важливою цінною властивістю бобових культур є їхнє використання як зеленого добрива, оскільки вони здатні підвищувати родючість ґрунтів завдяки засвоєнню атмосферного азоту завдяки бульбочковим бактеріям, які селяться на їхніх коренях. Отже, бобові є важливими сільськогосподарськими культурами, а також використовуються як сидерати – для поліпшення структури і родючості ґрунту та збагачення його сполуками Нітрогену.

Україна – аграрна країна, яка завжди славилася своїми родючими ґрунтами та потужним сільськогосподарським виробництвом. Однак активне антропогенне навантаження на ґрунти, яке спостерігалось впродовж останніх десятиліть, призвело до зниження родючості ґрунтів та їх забруднення різними речовинами, зокрема важкими металами. Найбільше забруднення ґрунтів важкими металами відбувається внаслідок воєнних дій, в результаті чого в довкілля потрапляють важкі метали у дуже високих концентраціях, які в сотні, а то й тисячі, разів перевищують нормовані показники. Саме тому в роботі досліджувався вплив йонів важких металів та їх концентрації на процес проростання насіння сої, гороху цукрового та люцерни.

Для проведення дослідження було використано стандартну методику вивчення впливу концентрації розчину солей на проростання насіння [4]. Для проведення роботи в чашки Петрі насипали невелику кількість добре

промитого річкового піску. У кожен чашку доливали розчини солей різних важких металів різних концентрацій. Одну пробу виконували з водопровідною водою (контроль). Після цього відбирали порції насіння досліджуваних бобових культур (сої, гороху та люцерни) по 50 шт. Відібране насіння рівномірно розкладали в чашках Петрі, накривали їх кришками і ставили в термостат для пророщування насіння при відповідній температурі. Насіння пророщували при температурі $+18^{\circ}\text{C}$. Насіння витримувалося в термостаті один тиждень. Через тиждень підраховували кількість пророслих насінин (додаток 1). Міліметровою лінійкою вимірювали довжину надземної частини і корінців та знаходили середнє значення з 10 вимірювань. Отримані результати заносили в таблиці.

3.2. Результати дослідження та їх аналіз

З метою дослідження впливу солей важких металів на процес проростання насіння сої, гороху та люцерни, готували 1 М розчини кадмій(II) хлориду (CdCl_2), купрум(II) сульфату (CuSO_4), цинк сульфату (ZnSO_4) та плюмбум(II) нітрату ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), які розбавляли для отримання різних концентрацій. В розчинах різних солей різних концентрацій витримували відібрані порції насінин сої, гороху та люцерни впродовж одного тижня в термостаті при температурі $+18^{\circ}\text{C}$. Результати дослідження наведені в таблицях 1–3 (додаток 2).

Результати обчислення відсотка проростання насіння люцерни в розчинах солей важких металів представлено на *рис. 3.1*. Порівняння відсотка проростання насіння люцерни в розчинах солей важких металів показує, що найвищий відсоток проростання спостерігається за низьких концентрацій йонів важких металів (0,1–10 мг/л). З підвищенням концентрації солей важких металів виявляється токсична дія важких металів. А за високої концентрації насіння люцерни не проросло.

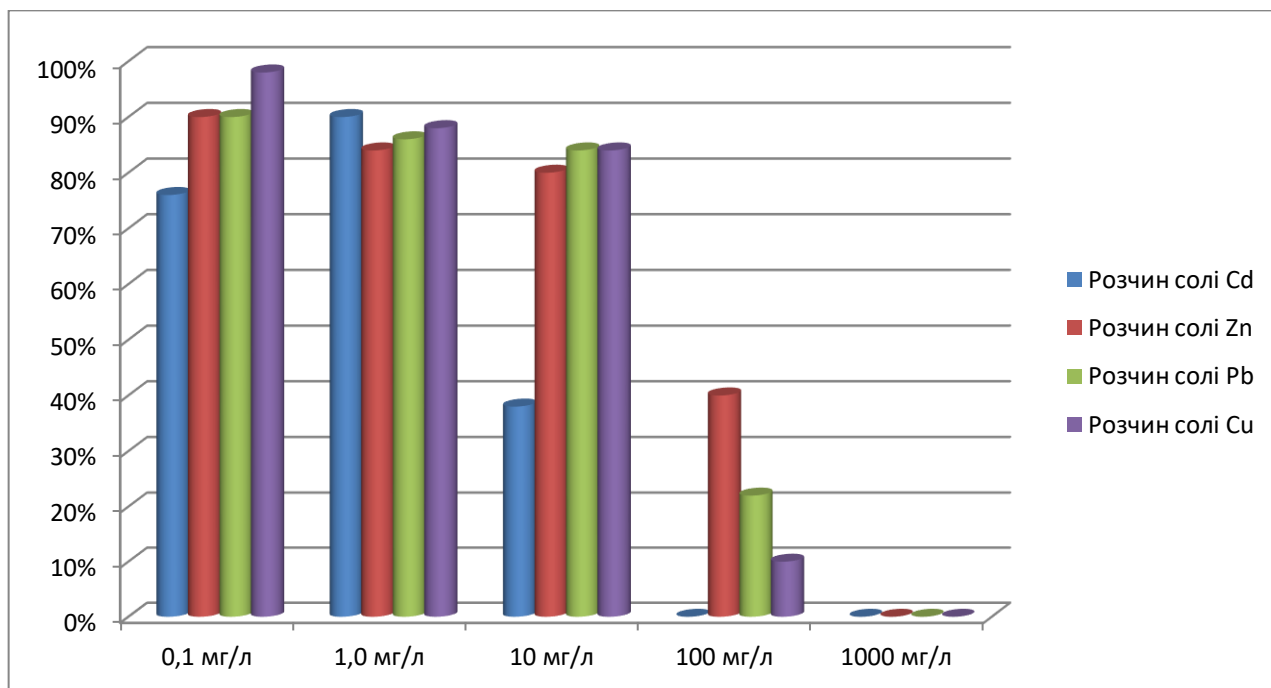


Рис. 3.1. Відсоток проростання насіння люцерни в розчинах солей важких металів G, %

Порівняльний аналіз відсотка проростання насіння гороху в розчинах солей важких металів показано на *рис. 3.2*.

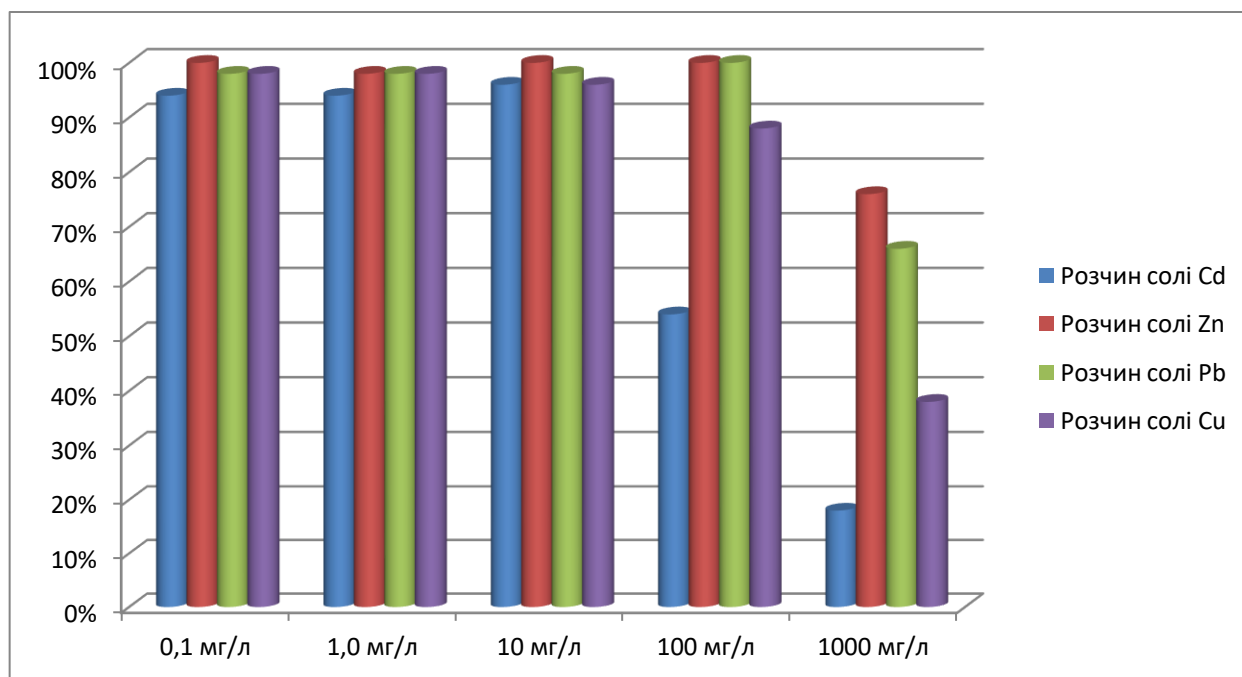


Рис. 3.2. Відсоток проростання насіння гороху в розчинах солей важких металів G, %

Як видно з наведених даних, насіння гороху характеризується кращим ступенем проростання насіння навіть при високих концентраціях. Певний

токсичний вплив на проростання насіння гороху за умов високих концентрацій виявляли йони Cd^{2+} і Cu^{2+} .

Відсоток проростання насіння сої в розчинах солей важких металів представлено на *рис. 3.3*.

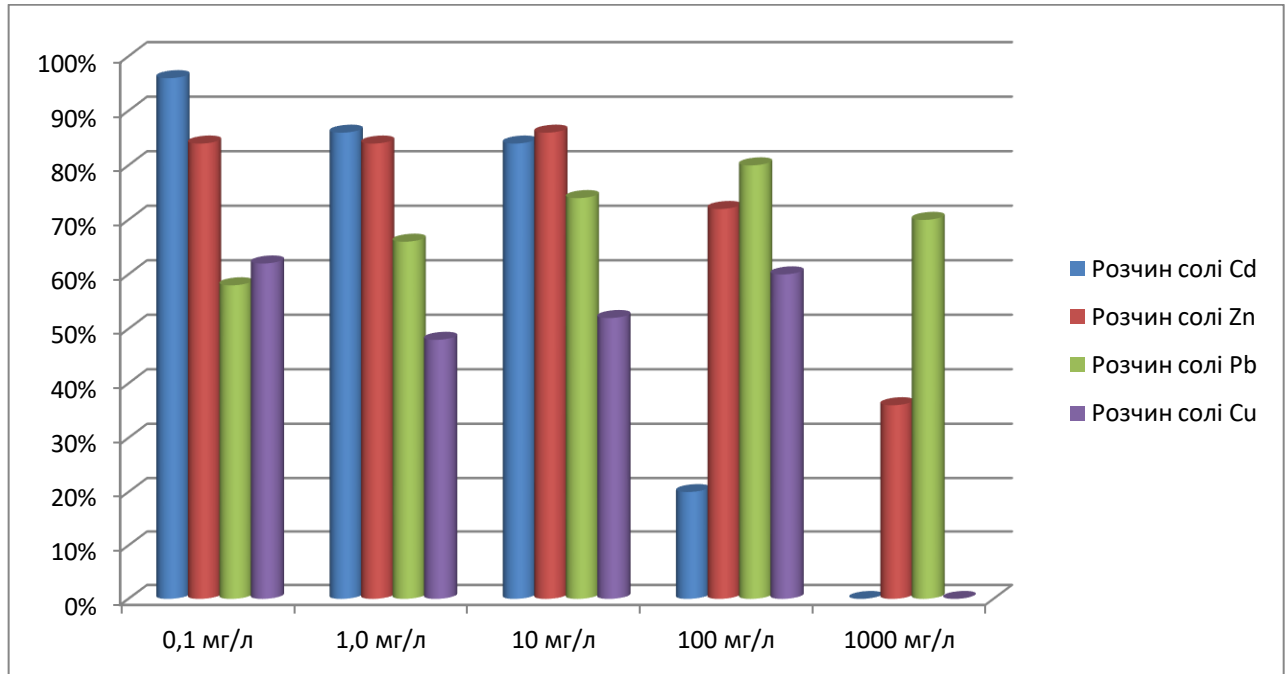


Рис. 3.3. Відсоток проростання насіння сої в розчинах солей важких металів G, %

У випадку насіння сої, при низьких концентраціях солей важких металів (від 0,1 мг/л до 10 мг/л) відсоток проростання насіння практично не відрізняється між собою. При підвищенні концентрації солей металів до 100 мг/л проявляється токсичний вплив йонів Кадмію. А за умов високих концентрацій солей металів насіння зовсім не проросло в розчинах солей Cd^{2+} і Cu^{2+} .

Дані щодо відсотка проростання насіння гороху, люцерни та сої у воді представлено на *рис. 3.4*.

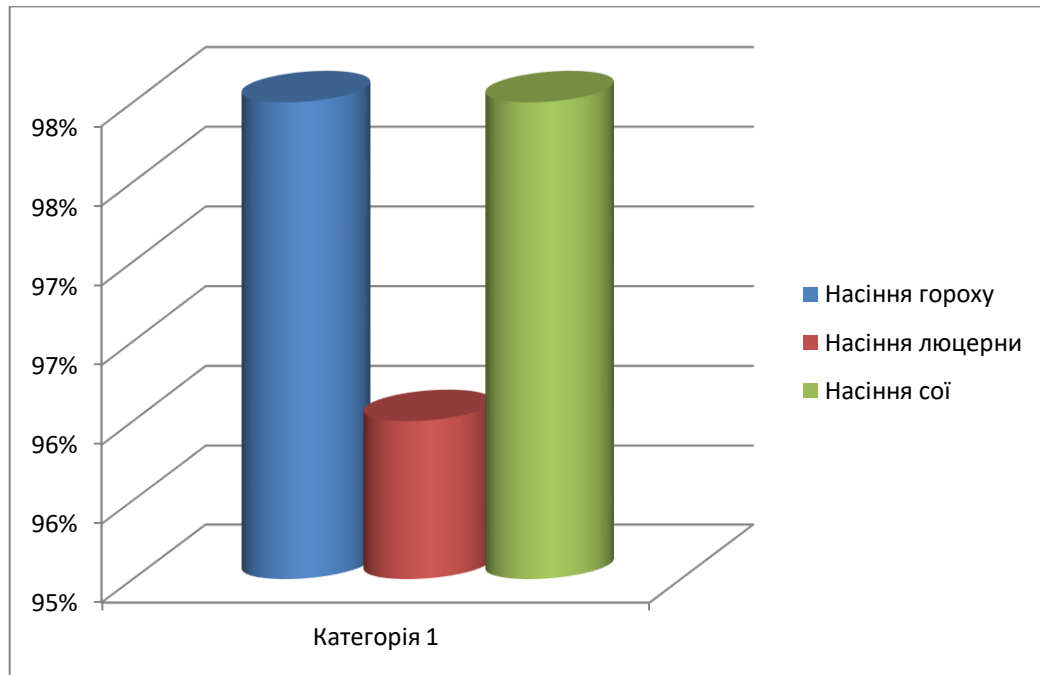


Рис. 3.4. Відсоток проростання насіння бобових у воді G, %

Як видно з наведених даних, вищий відсоток проростання у воді спостерігається для насіння гороху та сої.

Відповідно до методики, яка використовувалась в роботі, крім відсотка проростання насіння проводилось вимірювання середньої довжини стебельця відповідної рослини в розчинах солей важких металів різних концентрацій. На *рис. 3.5* представлено результати вимірювання середньої довжини стебельця люцерни в різних розчинах солей важких металів, які засвідчують зменшення довжини стебельця з підвищенням концентрації солей металів. При збільшенні концентрацій солей металів прослідковується токсичний вплив солей Кадмію та Купруму, який за найвищої концентрації поширюється на солі інших металів.

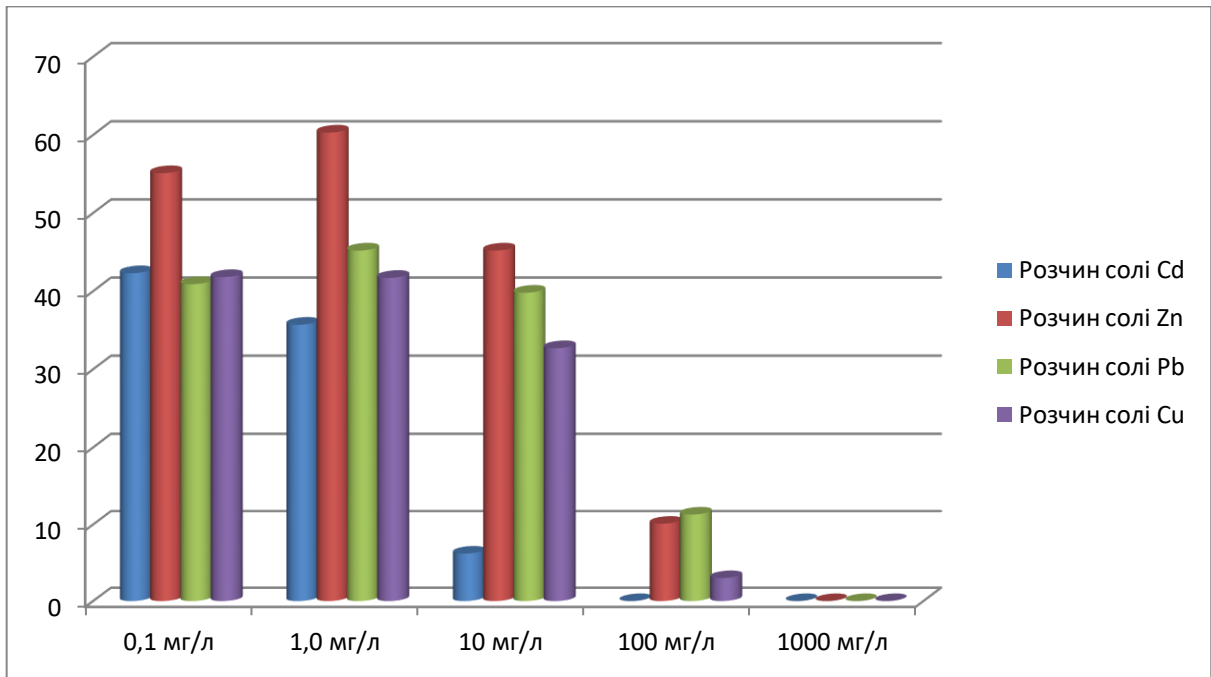


Рис. 3.5. Середня довжина стебельця люцерни (мм) в розчинах солей важких металів

Залежність середньої довжини стебельця гороху від природи та концентрацій солей важких металів показано на *рис. 3.6.*

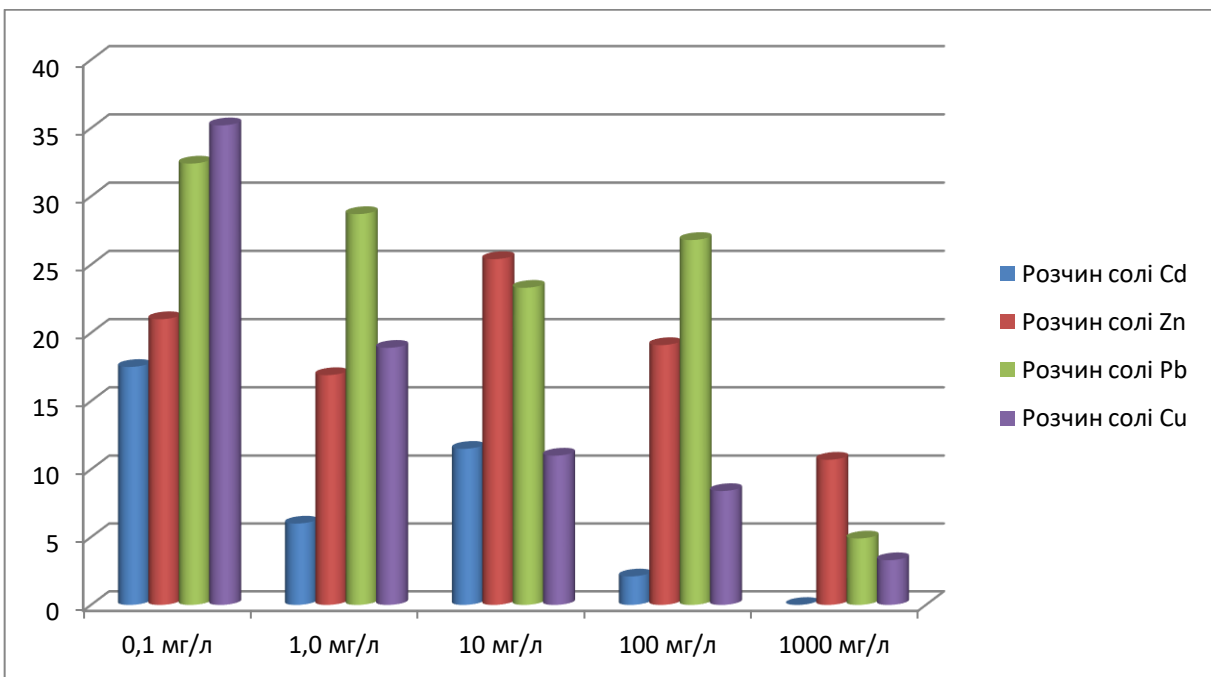


Рис. 3.6. Середня довжина стебельця гороху (мм) в розчинах солей важких металів

Як бачимо з наведених даних, стебельця гороху добре виростають за малої та помірної концентрації солей металів, однак при підвищенні концентрації посилюється токсичний вплив насамперед йонів Кадмію.

Дані, наведені на *рис.3.7*, показують, що за часових рамок експерименту стебельця в сої не формувалися.

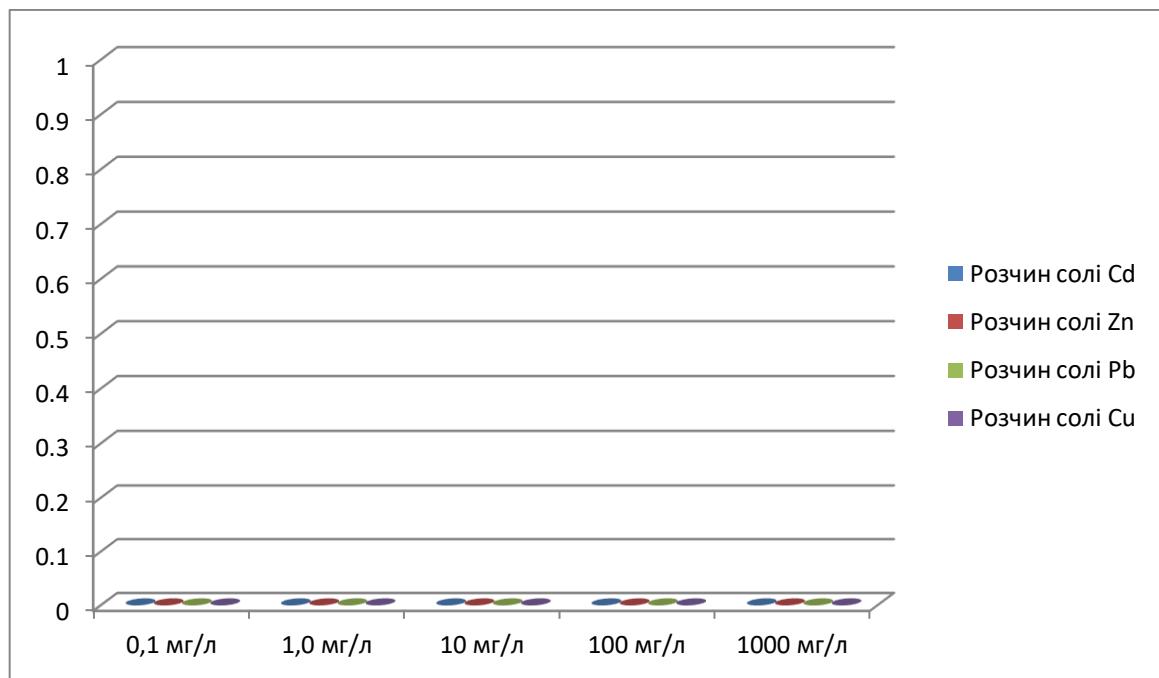


Рис. 3.7. Середня довжина стебельця сої (мм) в розчинах солей важких металів

Під час виконання роботи проводилось вимірювання корінців досліджуваних рослин. Середню довжину корінців люцерни в розчинах солей важких металів представлено на *рис. 3.8*. З наведених даних видно, що найкраще корінець росте в області низьких і помірних концентрацій солей важких металів. З підвищенням концентрацій солей металів збільшується токсичний вплив металів і спостерігається пригнічення росту корінців люцерни.

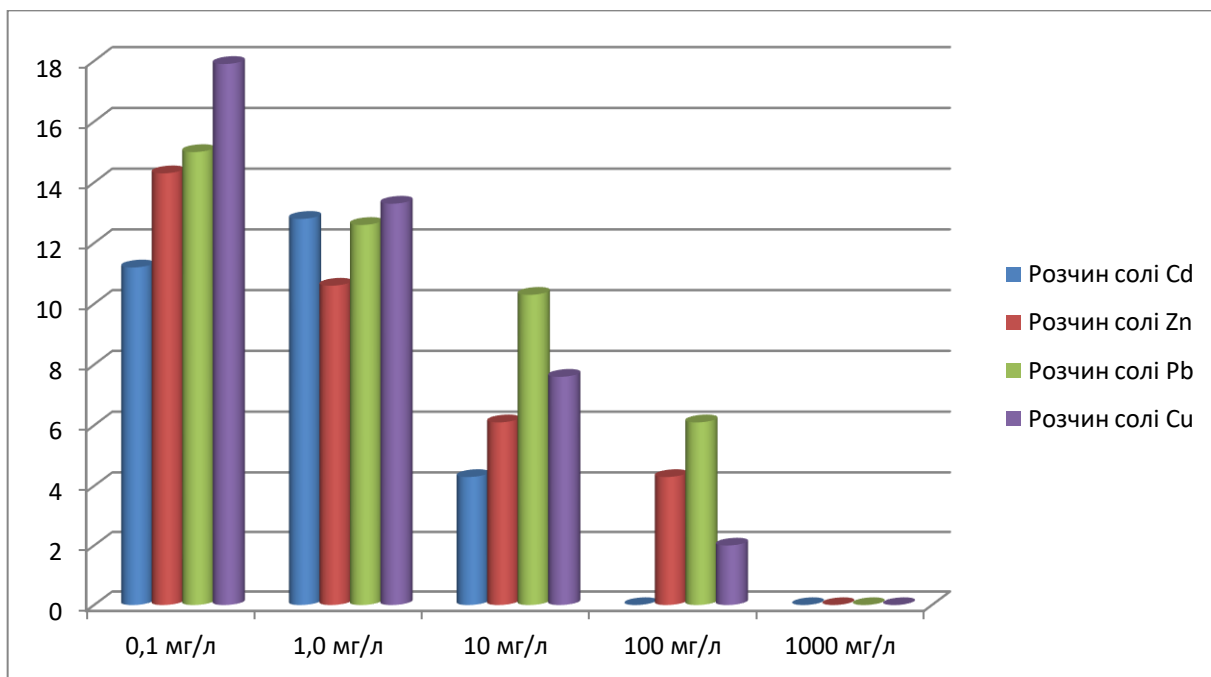


Рис. 3.8. Середня довжина корінця люцерни (мм) в розчинах солей важких металів

Середню довжину корінців гороху в розчинах солей металів різної концентрації показано на *рис. 3.9*.

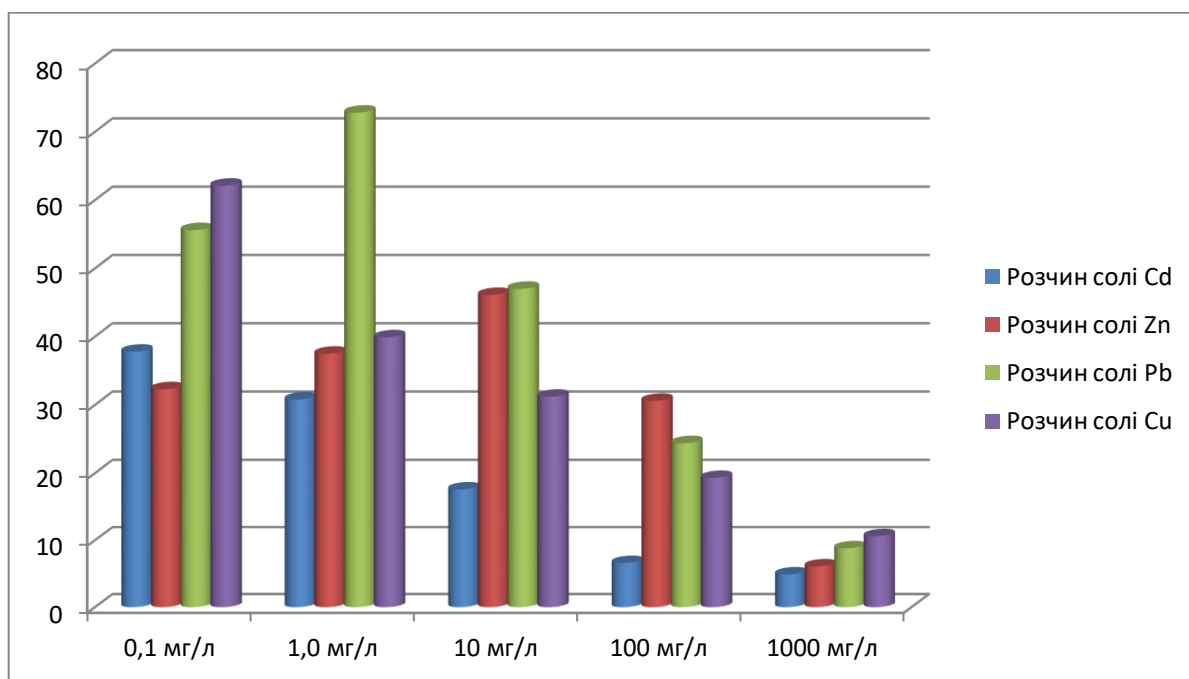


Рис. 3.9. Середня довжина корінця гороху (мм) в розчинах солей важких металів

Як видно з отриманих даних, в області низьких концентрацій у гороху формуються довгі корінці. Особливо помітну активуючу дію чинять розчини солей Pb^{2+} та Cu^{2+} при найменшій концентрації 0,1 мг/л, при концентрації 1,0

мг/л – йони Pb^{2+} , а при концентрації 10 мг/л – йони Zn^{2+} та Pb^{2+} . За високих концентрацій очікувано посилюється токсична дія солей важких металів.

Результати вимірювання середньої довжини корінців сої у розчинах солей важких металів показано на *рис. 3.10*. Як видно з одержаних даних, стимулюючий вплив на ріст корінця сої навіть в області високих концентрацій виявляють йони Zn^{2+} та Pb^{2+} , а в області малих і середніх концентрацій стимулюючий вплив на ріст корінців виявляють йони Cd^{2+} .

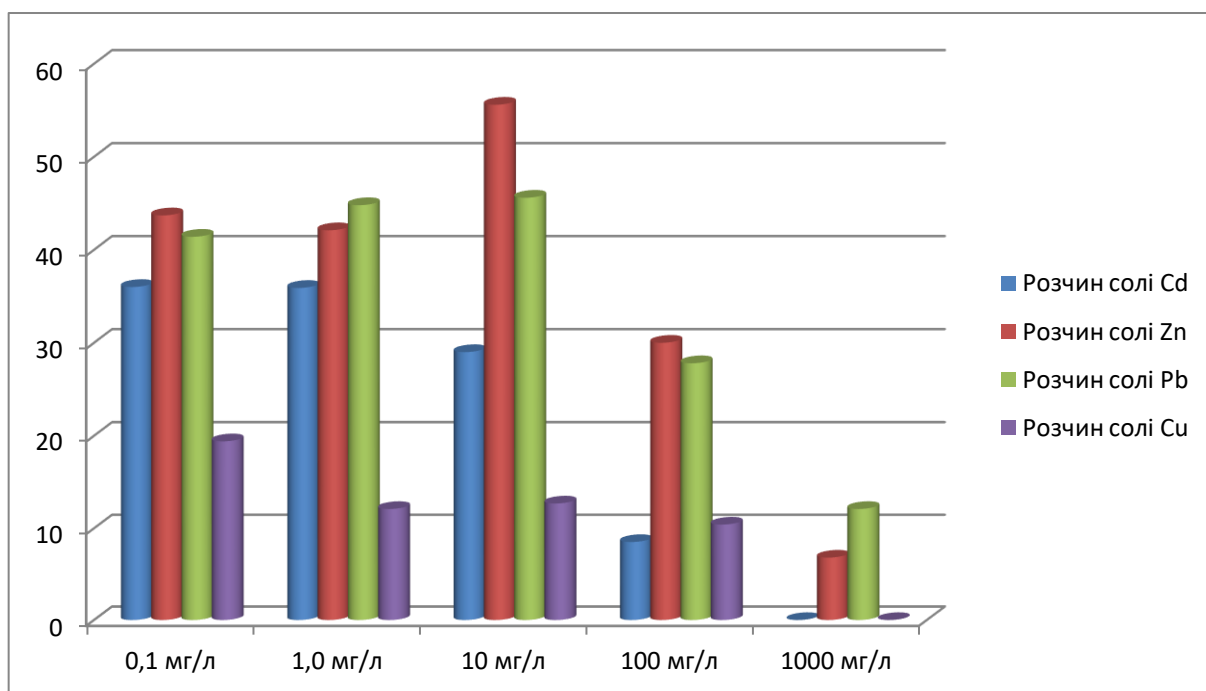


Рис. 3.10. Середня довжина корінця сої (мм) в розчинах солей важких металів

Найбільшою у воді була довжина стебелець і корінців у гороху (*рис. 3.11, 3.12*):

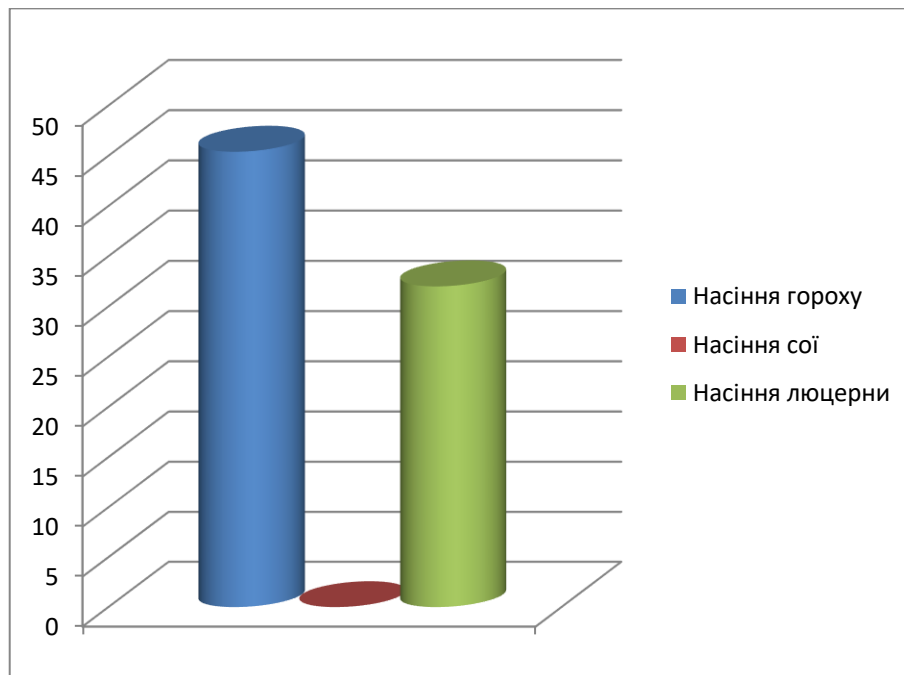


Рис. 3.11. Середня довжина стебелець бобових (мм) у воді

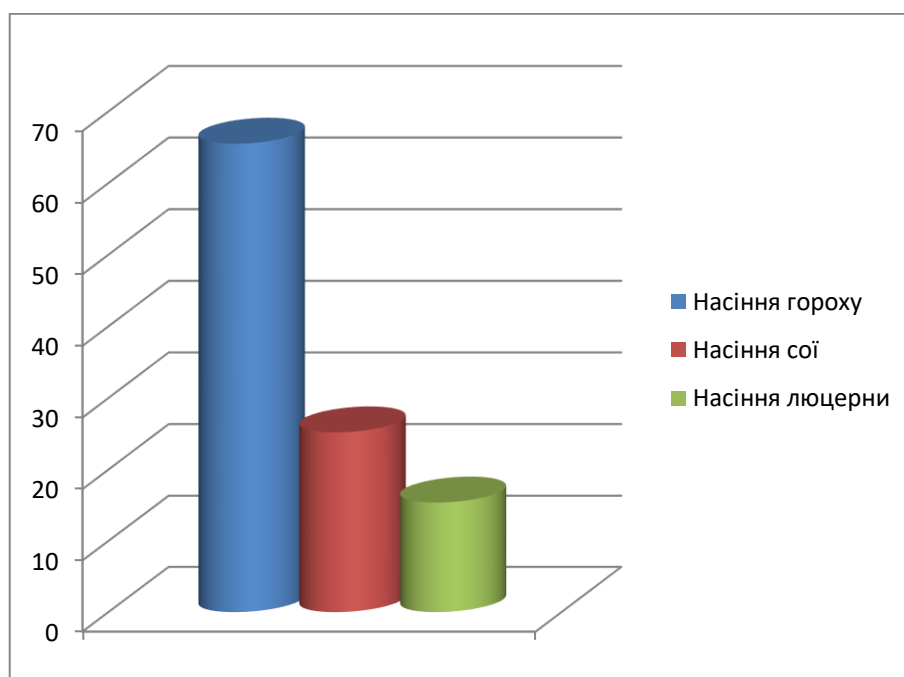


Рис. 3.12. Середня довжина корінців бобових (мм) у воді

Порівняльна характеристика відсотка проростання (%) насіння бобових при концентрації солей важких металів в області низьких концентрацій (від 0,1 мг/л до 10 мг/л) показана на *рис. 3.13–3.15*.

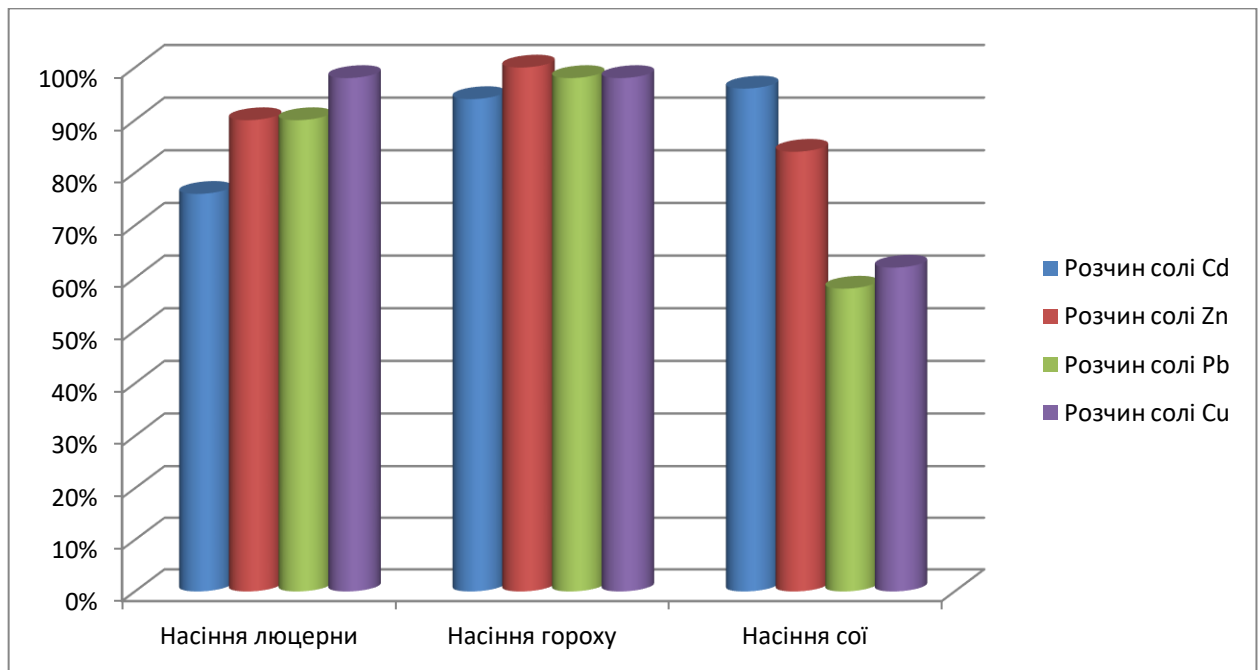


Рис. 3.13. Порівняльна характеристика відсотка проростання (%) насіння бобових при концентрації солей важких металів 0,1 мг/л

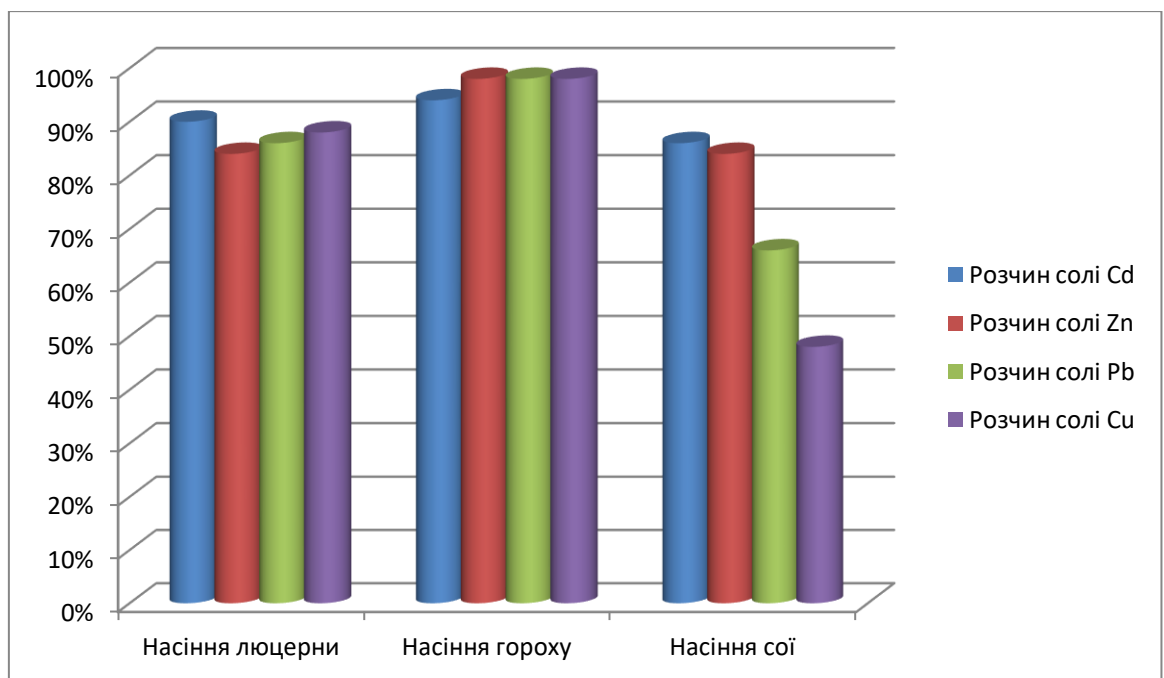


Рис. 3.14. Порівняльна характеристика відсотка проростання (%) насіння бобових при концентрації солей важких металів 1,0 мг/л

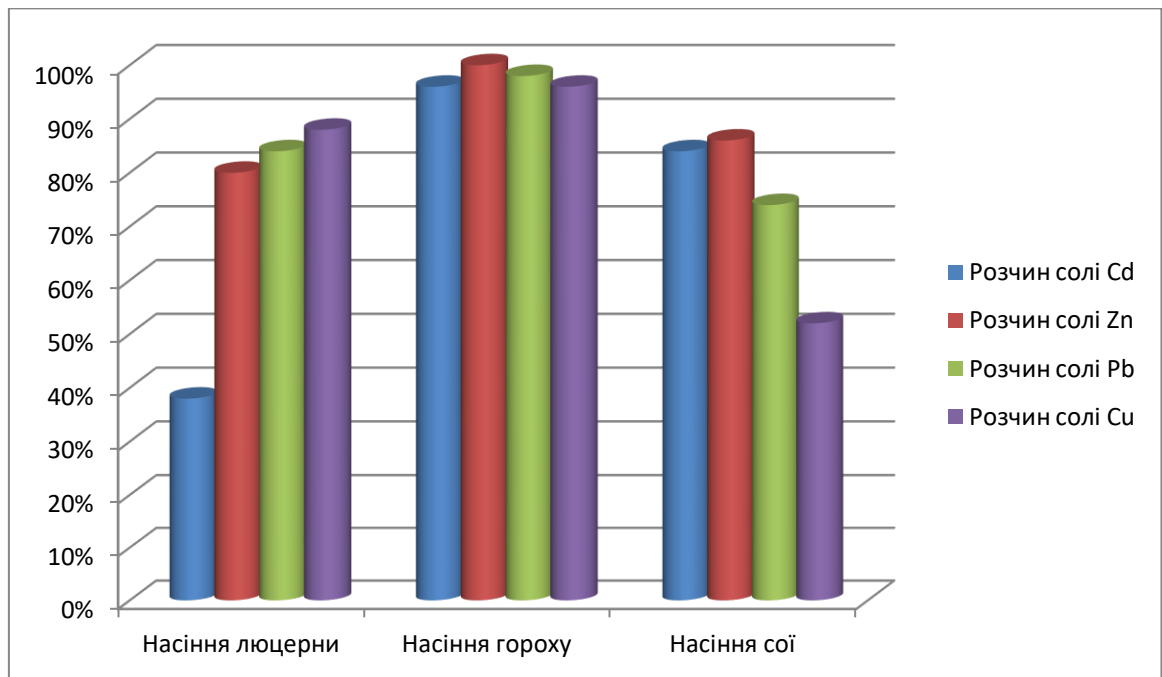


Рис. 3.15. Порівняльна характеристика відсотка проростання (%) насіння бобових при концентрації солей важких металів 10 мг/л

Аналіз отриманих даних показує, що відсоток проростання насіння досліджуваних бобових є високим за низьких концентрацій солей важких металів. Однак насіння сої є чутливим до солей Pb^{2+} та Cu^{2+} , а насіння люцерни – до йонів Cd^{2+} при концентрації 10 мг/л. Найменш чутливим до впливів важких металів виявився горох.

Порівняльна характеристика даних щодо відсотка проростання насіння бобових в області високих концентрацій (рис. 3.16, 3.17) показує, що найбільш стійкими до впливу високих концентрацій солей виявилися горох та соя. Найбільше токсичного впливу солей важких металів зазнає люцерна, насіння якої за високих концентрацій солей металів взагалі не проростає. Токсичний вплив на проростання насіння сої чинять йони Cd^{2+} та Zn^{2+} при концентрації солей 1000 мг/л.

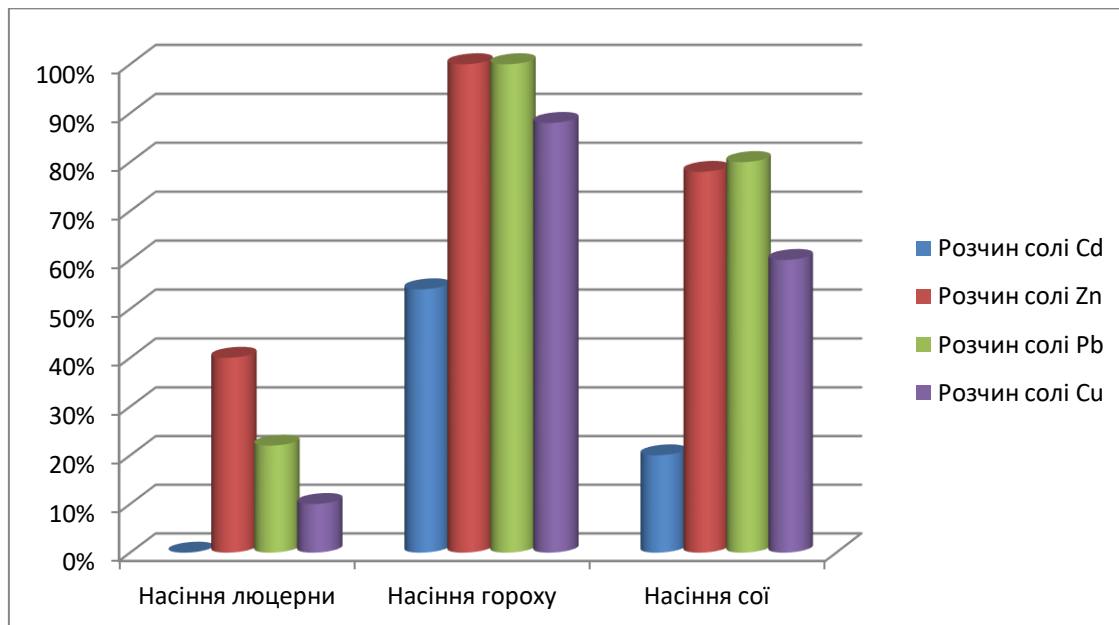


Рис. 3.16. Порівняльна характеристика відсотка проростання (%) насіння бобових при концентрації солей важких металів 100 мг/л

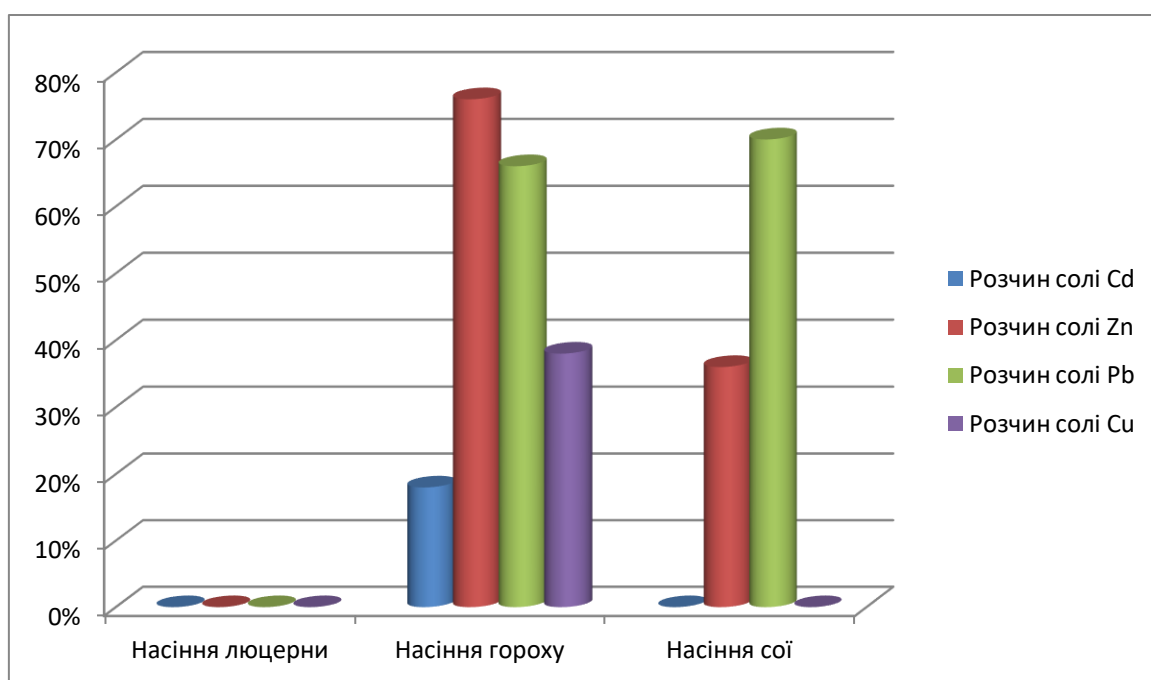


Рис. 3.17. Порівняльна характеристика відсотка проростання (%) насіння бобових при концентрації солей важких металів 1000 мг/л

Отже, результати проведеного дослідження дозволяють стверджувати, що солі важких металів залежно від їхньої концентрації можуть стимулювати проростання насіння бобових культур, використаних в даній роботі, а можуть здійснювати токсичний вплив на цей процес. В роботі встановлено, що найбільш стійким до впливу різних концентрацій солей важких металів виявився горох, який навіть за умови концентрації солей важких металів 1000

мг/л показав досить високий відсоток проростання насіння (66–76 %). Відносно високою стійкістю характеризувалася також соя при концентрації солей важких металів 1000 мг/л (відсоток проростання до 70 % у розчині солі йонів Pb^{2+}). Найменш стійкою до дії високих концентрацій солей важких металів виявилася люцерна, яка за високих концентрацій солей важких металів не здатна проростати.

ВИСНОВКИ

Аналіз опрацьованої науково-методичної літератури та електронних інформаційних ресурсів щодо впливу солей важких металів на процес проростання насіння бобових культур дозволяють запропонувати наступні висновки.

1. Рослини – це найважливіша частина біосфери Землі, яка забезпечує людство продуктами харчування, кормами для сільськогосподарських тварин і різноманітною технічною сировиною.

2. Рослинам, як і будь-яким іншим живим організмам, притаманні загальні функціональні ознаки: обмін речовин, ріст і розвиток, розмноження та подразливість. Однак особливістю зелених рослин є автотрофність живлення.

3. Для нормального росту та розвитку рослинам потрібні поживні речовини, серед яких виділяють макроелементи та мікроелементи. Мікроелементи входять до складу гормонів і вітамінів, забезпечують перебіг ферментативних процесів, беруть участь у процесах дихання.

4. До складу мікроелементів входять металічні елементи, більшість з яких відносять до групи важких металів.

5. Критеріями належності до важких металів є: велике значення відносної атомної маси ($A_r(\text{Me}) > A_r(\text{Fe})$); високе значення густини металу ($\rho > 5 \text{ г/см}^3$); токсичність металу; здатність акумулюватися в компонентах екосистем.

6. До групи важких металів відносять понад 40 металічних елементів. Особливо небезпечними металічними елементами є Нікель (Ni), Манган (Mn), Хром (Cr), Цинк (Zn), Арсен (As), Кадмій (Cd), Плюмбум (Pb), Меркурій (Hg), Купрум (Cu), Ванадій (V).

7. Важкі метали надходять у довкілля різними шляхами. Особливо великі їх кількості, які подекуди перевищують фонові концентрації в сотні й тисячі разів, потрапляють у довкілля під час проведення бойових дій, в результаті чого забруднюються ґрунти, повітря, водойми.

8. Дослідження впливу важких металів на одну з найважливіших фаз онтогенезу рослин – проростання – здійснювали на прикладі насіння бобових культур: люцерни, гороху та сої. Бобові культури, зокрема й відібрані для

дослідження, є їстівними рослинами (горох, соя) та цінною кормовою культурою і медоносом (люцерна), а також сидератами.

9. В роботі досліджено вплив солей важких металів (Cd, Zn, Pb, Cu) різної концентрації на процес проростання насіння люцерни, гороху та сої. Встановлено, що найбільш стійкою культурою до солей важких металів різної концентрації є горох, відсоток проростання насіння якого виявився найбільшим (до 76 %) навіть при концентрації солей важких металів 1000 мг/л.

10. Відносно високою стійкістю характеризувалася також соя при концентрації солей важких металів 1000 мг/л (відсоток проростання до 70 % у розчині солі йонів Pb^{2+}).

11. Найменш стійкою до дії високих концентрацій солей важких металів виявилася люцерна, яка за високих концентрацій солей важких металів не проростала взагалі.

12. Проведені дослідження показали, що дія солей важких металів на проростання насіння люцерни, гороху та сої є різною за різних концентрацій солей: за низьких концентрацій вплив стимулюючий, за високих – токсичний.

13. Отже, токсичними є не самі металічні елементи, а їхні концентрації. Важкі метали у мікродозах (у кількостях мікроелементів) життєво необхідні для функціонування живих організмів, але у кількостях, які перевищують мікродози, вони стають дуже токсичними.

14. Бобові культури, стійкі до токсичної дії високих концентрацій солей важких металів, можна рекомендувати вирощувати на забруднених ґрунтах з метою підвищення якості/структури ґрунту та його родючості в світлі біологізації землеробства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білявський Г.О., Фурдуй Р.С. Основи екологічних знань : Підручник. Київ : Либідь, 1995. 288 с.
2. Білявський Г.О., Фурдуй Р.С. Практикум із загальної екології : Навчальний посібник. Київ : Либідь, 1997. 160 с.
3. Брюховецька І. Хімія навколишнього середовища : тексти лекцій. Дрогобич : Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2018. 332 с.
4. Векірчик К.М. Фізіологія рослин : Практикум. Київ : Вища школа, 1984. 240 с.
5. Гандзюра В.П. Продуктивність біосистем за токсичного забруднення середовища важкими металами. Київ : ВГЛ «Обрії», 2002. 248 с.
6. Гулич М.П., Петренко О.Д., Харченко О.О. Визначення вмісту важких металів у сільськогосподарській продукції із регіонів, що зазнали впливу бойових дій: перші результати дослідження. *Environment & Health*. 2025. №1. С. 24-29. URL : <http://www.dovkil-zdorov.kiev.ua/env/114-0024.pdf>
7. Дідур І.М., Шевчук В.В. Підвищення родючості ґрунту в результаті накопичення біологічного азоту бобовими культурами. Сільське господарство та лісівництво. 2020. № 16. С. 48–58. URL : <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/25195.pdf>
8. Екологічна токсикологія : підручник / В.В. Шумейко, І.В. Глуховський, В.М. Овруцький та ін. Київ : АТ «Видавництво «Столиця»», 1998. 204 с.
9. Злобін Ю.А. Курс фізіології та біохімії рослин : Підручник. Суми : ВТД «Університетська книга», 2004. 464 с.
10. Маруненко І. Вплив мікроелементів на життя людини. *Біологія і хімія в школі*. 2010. №3. С. 22–24.
11. Мусієнко М.М. Фізіологія рослин : Підручник. Київ : Либідь, 2005. 808 с.
12. Назарук М. М., Койнова І. Б. Екологічний менеджмент. Запитання та відповіді : навч. посібник. Львів : Еней, 2004. 216 с.
13. Петрак Г.Л., Коновалова І.Г. Біологічний аспект хімії елементів. *Хімія. Основа*. 2015. №7–8 (331–332). С. 73–77.

14. Прошина Ю.І., Чуприна Ю.Ю. Оцінка екотоксикологічного впливу міграції важких металів у поверхневому шарі ґрунту. *Актуальні питання біотехнології, екології та природокористування* : матеріали міжнародної наукової конференції, 25–26 квітня 2024 року. Харків, 2024. С. 134–136.
URL : <https://repo.btu.kharkiv.ua/bitstreams/8b934f39-9f25-4af8-bb52-d1dd89f69668/download>
15. Рудишин С. Важкі метали як екотоксиканти. *Біологія і хімія в рідній школі*. 2016. № 3. С. 17–20.
16. Рудишин С.Д. Основи біогеохімії : навч. посібник [для студ. вищ. навч. закл.]. Київ : ВЦ «Академія», 2013. 248 с.
17. Сухарев С. М., Чундак С. Ю., Сухарева О. Ю. Основи екології та охорони довкілля : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : Центр навчальної літератури, 2006. 394 с.
18. Терек О.І. Ріст рослин : Навчальний посібник. Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2007. 325 с. URL : <https://bioweb.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/11/RIST-ROSLYN-.pdf>
19. Фатєєва Н.Ю. Токсична дія важких металів на живі організми та шляхи її зменшення. *Актуальні питання сьогодення*. 2018. Т.7. С. 107–110. URL : https://www.academia.edu/download/56202918/%D0%A2%D0%BE%D0%BС_7.pdf#page=108
20. Шаламов Р.В., Дмитрієв Ю.В., Подгорний В.І. Біологія : Комплексний довідник. Харків : Веста : Вид-во «Ранок», 2006. 624 с.
21. Шевніков М.Я. Бобові культури – фактор стійкості та біологізації землеробства в сучасних умовах. *Корми і кормовиробництво*. 2008. Вип. 62. С. 84–89. URL : http://www.fri.vin.ua/download_materials/catalogues/62.pdf#page=84
22. Шевченко А. Застосування сполук неметалічних елементів у військовій справі. *Біологія і хімія в школі*. 2010. №6. С. 16–20.