

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології**

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
В.о. завідувача кафедри
_____ Наталія ГОЛУБ
« ____ » _____ 2021 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Біотехнології»

зі спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

**на тему: «Біотехнологія вирощування гороху посівного на середовищах з
магнітними наночастинками»**

Виконала:

студентка VI курсу, групи БМ-01мп
Новосад Анна Сергіївна _____

Науковий керівник:

д.т.н., професор кафедри біоенергетики,
біоінформатики та екобіотехнології
Горобець Світлана Василівна _____

Консультант з розробки стартап проекту:

к.е.н., доцент кафедри економіки
та підприємництва
Ткаченко Тетяна Петрівна _____

Рецензент:

д.ф-м.н., професор Інституту хімії
поверхні ім. О. Чуйка
Горбик Петро Петрович _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.
Студентка _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Освітньо-професійна програма «Біотехнології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Наталія ГОЛУБ

«___» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Новосад Анні Сергіївні

1. Тема дисертації «Біотехнологія вирощування гороху посівного на середовищах з магнітними наночастинками», науковий керівник дисертації Горобець Світлана Василівна, д.т.н., професор кафедри біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології, затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження – рослини гороху посівного *Pisum Sativum*, та окремі їх частини: насіння, корені, зелена біомаса.
4. Предмет дослідження – морфологічні показники та біомаса рослин гороху посівного *Pisum Sativum* в залежності від концентрації магнетиту та внесених важких металів у ґрунт.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: провести вирощування *Pisum sativum* (гороху посівного) на звичайному ґрунті, збагачених магнетитом ґрунтах та ґрунтах, збагачених наночастинками магнетиту, із додаванням

солей важких металів; раціоналізувати режим внесення наночастинок магнетиту при вирощуванні рослин гороху посівного з урахуванням етапів органогенезу гороху посівного; якісно оцінити рівень накопичення іонів Fe(III), у листках гороху посівного, за допомогою реакції Перлса; порівняти морфологічні показники рослин, які були вирощені з додаванням важких металів в комбінації з магнетитом, та рослин контрольної групи; розробити стартап-проект.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій

1. Gorobets S.V., Novosad A.S. Accumulation of iron ions in pea plants *Pisum Sativum*, when grown on media with the addition of magnetic nanoparticles / С. В. Горобець, А. С. Новосад // Proceedings of IX International Scientific and Practical Conference, Madrid, Spain. – 2021. 37-38 с.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проекту	Ткаченко Тетяна Петрівна к.е.н., доцент		

9. Дата видачі завдання 01.09.2021

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Визначення предмету дослідження	01.09.21-07.09.21	Виконано
2	Характеристика об'єкту дослідження	08.09.21-15.09.21	Виконано
3	Огляд літератури	16.09.21-01.10.21	Виконано
4	Визначення матеріалів і методів дослідження	02.10.21-07.10.21	Виконано
5	Виконання експериментальної частини	02.10.21-30.11.21	Виконано
6	Аналіз отриманих результатів	02.10.21-30.11.21	Виконано
7	Розробка стартап-проекту	10.11.21-20.11.21	Виконано
8	Оформлення магістерської дисертації	10.11.21-30.11.21	Виконано

Студент

Анна, НОВОСАД

Науковий керівник

Світлана, ГОРОБЕЦЬ

РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить 91 сторінку, 27 таблиць, 21 рисунок та перелік посилань з 47 найменувань.

В наш час гострою проблемою у світі є забруднення ґрунтів і нанотехнології є новим напрямком для вирішення цих проблем. Останнім часом значна увага привертається до використання нанодобрив як ефективного джерела підживлення ґрунту. Наночастинки особливо варті уваги, оскільки їх вплив на рослину може змінити процеси, що відбуваються в ній, і таким чином стимулювати розвиток рослини. Це питання є актуальним при вирощуванні технічних культурних рослин, наприклад, для бобових рослин, а саме гороху посівного *Pisum Sativum*. Горох вирощується у великих масштабах в цілях сидерації ґрунту, для збагачення його азотом, а також органічними речовинами.

Мета даного дослідження – порівняти морфологічні характеристики гороху посівного *Pisum sativum* при вирощуванні на чистих ґрунтах, на ґрунтах з магнітними наночастинками та на ґрунтах з магнітними наночастинками із додаванням важких металів.

Предмет дослідження: морфологічні показники та зелена біомаса рослин гороху посівного *Pisum Sativum* в залежності від концентрації внесеного магнетиту та внесених важких металів у ґрунт.

Об'єкт дослідження: рослини гороху посівного *Pisum Sativum*, та окремі їх частини: насіння, корені, зелена біомаса.

У роботі застосовано такі методи дослідження: методи морфологічного аналізу, методика вирощування рослин, методи статистичного аналізу, проведення реакції Перлса, мова програмування Python та пакет Opencv .

У даній роботі проводилось вирощування рослин *Pisum Sativum* протягом 9 тижнів, яке показало, що з трьох концентрацій наночастинок магнетиту (0,05 мг/мл, 0,075 мг/мл та 0,1 мг/мл) концентрація 0,1 мг/мл здійснює позитивний та стимулюючий вплив на ріст та розвиток рослини

Pisum Sativum. Порівняння морфологічних показників рослин, які були вирощені з додаванням в ґрунт солі кадмію CdCl_2 в комбінації з наночастинками магнетиту показало, що магнетит проявляє захисні механізми, із збільшенням його концентрації в ґрунті.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: НАНОЧАСТИНКИ МАГНЕТИТУ, ГОРОХ ПОСІВНИЙ, КАДМІЙ, ВАЖКІ МЕТАЛИ, ФІТОРЕМЕДІЦАЦІЯ.

ABSTRACT

Thesis contains 91 pages, 27 tables, 21 figures and a list of references from 47 titles.

Nowadays, soil pollution is an acute problem in the world and nanotechnology is a new direction to solve these problems. Recently, much attention has been paid to the use of nanofertilizers as an effective source of soil nutrition. Nanoparticles are especially noteworthy because their effects on the plant can change the processes occurring in it, and thus stimulate plant development. This issue is relevant in the cultivation of industrial crops, such as legumes, namely peas sown *Pisum Sativum*. Peas are grown on a large scale in order to green the soil, to enrich it with nitrogen and organic matter.

The purpose of this study was to compare the morphological characteristics of *Pisum sativum* seeds when grown on clean soils, on soils with magnetic nanoparticles and on soils with magnetic nanoparticles with the addition of heavy metals.

Subject of research: morphological indicators and green biomass of pea plants sowing *Pisum Sativum* depending on the concentration of magnetite and heavy metals introduced into the soil.

Object of research: *Pisum Sativum* pea plants, and their separate parts: seeds, roots, green biomass.

The following research methods were used: morphological analysis methods, plant growing methods, statistical analysis methods, Perls reaction, Python programming language and Opencv package.

In this work, *Pisum Sativum* plants were grown for 9 weeks, which showed that of the three concentrations of magnetite nanoparticles (0.05 mg/ml, 0.075 mg/ml and 0.1 mg/ml), the concentration of 0.1 mg / ml has a positive and stimulating effect on the growth and development of the plant *Pisum Sativum*. Comparison of morphological parameters of plants that were grown with the addition of cadmium salt CdCl_2 in combination with magnetite nanoparticles

showed that magnetite exhibits protective mechanisms, with an increase in its concentration in the soil.

KEY WORDS: MAGNETITE NANOPARTICLES, SOWING PEAS, CADMIUM, HEAVY METALS, PHYTOREMEDIATION.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	11
ВСТУП.....	12
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	15
1.1. Характеристика рослини гороху посівного <i>Pisum Sativum</i>	15
1.2. Вплив наночастинок магнетиту на рослини.....	17
1.3. Вплив важких металів на рослини.....	19
1.3.1. Надходження важких металів у рослину.....	20
1.3.2. Транспорт важких металів по рослині.....	21
1.4. Фіторемедіація	21
1.4.1. Ризофільтрація	23
1.4.2. Фітодеградація	24
1.4.3. Фітоекстракція	25
1.4.4. Вплив магнітних наночастинок, на рослини вирощені на грунтах із важкими металами	26
1.4.5. Сорбційна здатність магнітних наночастинок до важких металів	28
2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	31
2.1. Матеріали і методи	31
2.1.1. Методика вирощування гороху посівного	31
2.1.2. Методика приготування магнетиту	33
2.1.3. Методика проведення реакції Перлса	34
2.2. Результати та обговорення.....	35
2.2.1. Аналіз впливу наночастинок магнетиту на проростання та ріст рослин <i>Pisum Sativum</i>	35
2.2.2. Аналіз впливу одночасного додавання наночастинок магнетиту та важких металів на морфологію рослин <i>Pisum Sativum</i>	41
2.2.3. Аналіз накопичення іонів заліза в висушених зразках рослин <i>Pisum Sativum</i>	44
3 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	49
3.1. Резюме: конкретизація бізнес-ідеї, мети стартапу, об'єкту дослідження, місця розробки у інноваційному ланцюжку цінності	49

3.2. Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартап- проекту. Ключові фактори успіху	53
3.3. Визначення ключових факторів успіху проекту	60
3.4. Визначення потенційних споживачів	62
3.5. Ціна інноваційної пропозиції на ринку	67
3.5.1. Основні фонди підприємства	68
3.5.2. Оборотні фонди підприємства	69
3.5.3. Розрахунок капіталовкладень і собівартості виробництва	71
3.6. Концепція бізнес-моделі проекту та карта бізнес-процесів реалізації проекту	74
3.7. Ризики стартап – проекту та методи управління ними	78
ВИСНОВКИ	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	87

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

НЧ – наночастинки;

ВМ – важкі метали;

КБП – коефіцієнт біологічного поглинання;

TCLP – метод вилуговування токсичних речовин;

СОД – супероксиддисмутаза;

GSH – глутатіон;

GSSG – окиснений глутатіон.

ВСТУП

Актуальність. В наш час гострою проблемою у світі є забруднення ґрунту, адже він є цінним і не відновлюваним ресурсом, необхідним для проростання насіння, виживання та росту рослин, підтримуючи, таким чином, кожен живу форму [1]. Однак у сучасному світі численні забруднювачі ґрунту обмежують ріст рослин. Фактори абіотичного стресу, включаючи солоність, посуху, екстремальні температури, хімічну токсичність та окислювальний стрес із навколишнього середовища, є основними причинами втрати врожаю у всьому світі, що становить серйозну загрозу для сільськогосподарської продукції і нанотехнології є новим напрямком для вирішення цих проблем.

Останнім часом значна увага привертається до використання нанодобрив як ефективного і менш шкідливого джерела підживлення. Наночастинки особливо варті уваги, оскільки їх вплив на рослину може змінити процеси, що відбуваються в ній, і таким чином стимулювати розвиток рослини. Це питання є актуальним при вирощуванні технічних культурних рослин, наприклад, для бобових рослин, а саме гороху посівного *Pisum Sativum*. Горох вирощується у великих масштабах в цілях сидерації ґрунту, для збагачення його азотом, а також органічними речовинами.

Сидерація – це процес заорювання в ґрунт зеленої маси рослин (зеленого добрива) з метою його збагачення азотом і органічними речовинами. Сидерати являють собою зелене добриво, яке вирощують спеціально для нормалізації стану ґрунту [2]. Після того як сидерати скошують, їх залишають на поверхні ґрунту або закладають у нього, а корінці що залишилися в ґрунті після того як перегнивають, насичують ґрунт і підґрунтя поживними речовинами. До числа сидератів відносяться рослини, які є швидкозростаючим, а саме горох посівний. Тому важливим є використання нанодобрив на основі магнітних наночастинок, для пришвидшення врожайності цієї культури.

Метою даного дослідження є порівняння морфологічних характеристик гороху посівного *Pisum sativum* при вирощуванні на чистих ґрунтах, на ґрунтах з магнітними наночастинками та на ґрунтах з магнітними наночастинками із додаванням важких металів.

Завдання:

1. Провести вирощування *Pisum sativum* (гороху посівного) на звичайному ґрунті, збагачених магнетитом ґрунтах та ґрунтах, збагачених наночастинками магнетиту, із додаванням солей важких металів;
2. Рационалізувати режим внесення наночастинок магнетиту при вирощуванні рослин гороху посівного з урахуванням етапів органогенезу гороху посівного;
3. Якісно оцінити рівень накопичення іонів Fe(III), у листках гороху посівного, за допомогою реакції Перлса;
4. Порівняти морфологічні показники рослин, які були вирощені з додаванням важких металів в комбінації з магнетитом, та рослин контрольної групи;
5. Розробити стартап-проект.

Предмет дослідження:

- Морфологічні показники та зелена біомаса рослин гороху посівного *Pisum Sativum* в залежності від концентрації внесеного магнетиту та внесених важких металів у ґрунт.

Об'єкт дослідження:

- Рослини гороху посівного *Pisum Sativum*, та окремі їх частини: насіння, корені, зелена біомаса.

Методи дослідження:

- Морфологічні методи аналізу;
- Методика вирощування рослин;
- Методи статистичного аналізу.
- Проведення реакції Перлса;
- Мова програмування Python та пакет Opencv.

Наукова новизна:

- Показано збільшення рівня накопичення заліза в листках рослин *Pisum Sativum* за допомогою реакції Перлса при збільшенні концентрації наночастинок магнетиту, внесених в ґрунт;
- Раціоналізовано режим внесення наночастинок магнетиту в ґрунт при вирощуванні рослин гороху посівного з урахуванням етапів органогенезу гороху посівного *Pisum Sativum*.

Практичне значення одержаних результатів.

Отримані результати дозволяють розробити нанодобриво на основі магнітних наночастинок, для підвищення врожайності та нейтралізації важких металів.

Апробація результатів дисертації:

1. Gorobets S.V., Novosad A.S. Accumulation of iron ions in pea plants *Pisum Sativum*, when grown on media with the addition of magnetic nanoparticles / С. В. Горобець, А. С. Новосад // Proceedings of IX International Scientific and Practical Conference, Madrid, Spain. – 2021. 37-38 с.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Характеристика рослини гороху посівного *Pisum Sativum*

Бобові – велике сімейство класу дводольних. Воно включає більше 20 тисяч видів. Серед бобових є трави, чагарники і дерева. Ряд представників трав'янистих бобових рослин є цінними продуктами харчування людини (соє, боби, квасоля, горох, сочевиця, нут та ін.). Головними ознаками, за якими різних представників бобових об'єднують в одне сімейство, є будова їх квітки та плоду [3].

Горох найпоширеніша бобова рослина, використовується людиною в їжу з давніх часів, а також в якості технічної культури в якості корму для тварин, а також сидерації ґрунту. Його насіння проростає при температурі трохи вище нуля, однак воно вимагає багато вологи (так як і сама рослина). Горох – цінна культурна рослина, якій і буде присвячена дана робота.

Систематичне положення:

Домен: Еукаріоти (Eukaryota), Царство: Зелені рослини (Viridiplantae), відділ: Вищі рослини (Streptophyta), надклас: Покритонасінні (Magnoliophyta), клас: Еудікоти, підклас: Розиди (Rosids), порядок: Бобовоцвіті (Fabales), родина: Бобові (Fabaceae), підродина: Метеликові (Faboideae), рід: Горох (*Pisum*), вид: горох посівний (*Pisum sativum*) [4].

Горох посівний – це однорічна трав'яниста рослина. Корінь стрижневий, проникає в ґрунт до 1,5 м. На коренях в симбіозі живуть азотфіксуючі бактерії з роду *Rhizobium*.

Стебло чотиригранне, порожнисте, просте. Розгалуження стебла буває двох типів: біля основи і пазушне уздовж стебла. Лист складний, зазвичай складається з черешка, 2-3 пар листочків і непарного числа вусиків (3-5, іноді 7). Зустрічаються інші типи листа: акацієвидний, коли лист не має вусиків і закінчується непарним листочком; вусатий (безлисточковий), коли замість листочків утворюються непарноперисті вусики. Прилистники у гороху крупніші листочків, мають напівсерцеподібну форму.

Плід – боб, складається з двох ступок, за будовою яких розрізняють лущильні і цукрові форми гороху (рис.1.1). У перших ступки бобу мають пергаментний шар і при дозріванні легко розтріскуються. У других пергаментний шар відсутній, і насіння погано обмолочується. Боби мають різну форму і розмір, зазвичай циліндричні, опуклі під час наливу, з коротким зігнутим дзьобиком, голі [5].



Рис. 1.1. Горох посівний: 1 – пагін з квітками; 2 – пагін з плодами; 3 – корінь; 4 – насіння різних сортів; 5а – плід цукрового сорту; 5б – плід лущильного сорту [5]

Горох посівний – це рослина помірного клімату. Ярова, вологолюбна, досить холодостійка культура. Мінімальна температура проростання $1-2^{\circ}\text{C}$, оптимальна - $18-25^{\circ}\text{C}$. Сходи можуть переносити короткочасні заморозки до $4-6^{\circ}\text{C}$. Нормальна температура для формування вегетативних органів $12-16^{\circ}\text{C}$, для генеративних - $16-20^{\circ}\text{C}$, для зростання бобів і наливу насіння $16-22^{\circ}\text{C}$. При 25°C ріст рослин сповільнюється, а при температурі повітря вище 35°C припиняється. Вегетаційний період 45-120 і більше діб (рис.1.2). Кращі ґрунти – суглинні слабко-кислі або нейтральні з хорошою аерацією. Оптимальна вологість 80% повної вологості ґрунту [6].



Рис. 1.2. Життєвий цикл росту гороху посівного [6]

1.2. Вплив наночастинок магнетиту на рослини

Нанотехнології сприяли впровадженню широкого спектру нових застосувань у сільському господарстві, вони підвищують ефективність застосування добрив, зменшують забруднення ґрунтів та екологічні ризики хімічних добрив. Наночастинки магнетиту є одними з найважливіших сполук для росту та розвитку рослин, необхідних рослинам у невеликих кількостях [7]. Синтезовані НЧ Fe_3O_4 характеризуються розмірами 3 – 23 нм. Середній розмір НЧ (d_0) залежить від умов синтезу і становить 10 – 15 нм. Питома поверхня синтезованого магнетиту, залежно від середнього розміру частинок, становить 90–180 $\text{м}^2/\text{г}$ [8].

Вплив НЧ на рослини залежить від їх складу, концентрації, розміру та фізичних властивостей, а також від видів рослин. Наприклад, застосування суперпарамагнітних НЧ оксиду заліза (SPION) за результатами дослідження [9] призвело до підвищення рівня хлорофілу в листках сої.

У дослідженні [10] було встановлено вплив НЧ магнетиту на гарбузи (*Cucurbita maxima*) і виявлено, що вони можуть поглинати, витіснити та накопичувати наночастинки в тканинах.

Результати, представлені в дослідженні [11], вказують на те, що навіть концентрації НЧ Fe_3O_4 , такі як 1 мг/л, 2 мг/л і 4 мг/л, можуть впливати на проростання насіння руколи (*Eruca Sativa*), подовження коренів, рівень

хлорофілу *a*. Отримані результати дозволяють зробити висновок, що досліджувані концентрації Fe_3O_4 можуть позитивно впливати на врожайність і якість розсади руколи, і, ймовірно, ці НЧ можуть покращити здатність рослин протистояти стресам навколишнього середовища.

Було встановлено [12], що в експериментальній групі, де була дія магнітних наночастинок оксиду заліза розміром менше 10 нм на насіння пшениці, була найбільша швидкість проростання насіння, а саме на 31% більше, ніж в контрольній групі. Також додавання магнітних наночастинок менше 10 нм зменшило час проростання насіння на 28.5% і збільшило кількість бічних коренів.

Але слід зазначити, що не всі сполуки Fe, мають позитивний вплив на рослини.

Наприклад, у *Hydrilla verticillata* (гідрила мутовчаста) досліджували [13] вплив солі заліза (FeCl_3). В результаті спостерігалось підвищення рівня перекисного окиснення ліпідів, значне збільшення витоку іонів калію (індикатор пошкодження бар'єру проникності) у зовнішній розчин. Крім того, результати показали втрату глутатіону (GSH) і збільшення окисненого глутатіону (GSSG) під впливом Fe, що свідчить про окислювальний стрес. Окислювальний стрес може збільшити утворення вільних радикалів і згодом призвести до перекисного окиснення ліпідів. Крім того, додавання заліза підвищувало активність супероксиддисмутази (СОД), що може бути пов'язано зі збільшенням кількості вільних радикалів кисню та пов'язаним з цим пошкодженням тканин. Збільшення продукту перекисного окиснення ліпідів і витік K^+ є основними реакціями токсичності заліза на пошкодження мембрани.

Дослідження [14] проведене протягом двох послідовних сезонів 2013 та 2014 років показало, що для визначення ефекту листового обприскування саджанців груші (*Pyrus serotina* L. *Pyrus communis* L) наночастинок магнетиту діють як поживна добавка для деяких параметрів росту та деяких хімічні компонентів. Результати показали збільшення параметрів біомаси,

тобто висоти саджанця, діаметра стебла, площі листя та сухої ваги. Крім того, біохімічні речовини листя показали збільшення загального відсотка вуглеводів, загальної кількості амінокислот, вмісту азоту та заліза, загальний та рефракційний вміст хлорофілу та каротиноїдів за допомогою лікування магнетитом порівняно з традиційним лікуванням халатами заліза. Концентрація 25 мг/л магнітних наночастинок виявилися ефективнішою, ніж традиційний хелат заліза в тій же концентрації. Виявилось, що магнітні НЧ мають унікальні фізико-хімічні властивості та суперпарамагнетизм, які посилюють весь метаболізм рослин, на який впливали біомаса та біохімічні властивості.

1.3. Вплив важких металів на рослини

До важких металів відносять хімічні елементи, які мають щільність більше 5 г/см³. З точки зору значущості важких металів для рослин їх можна розділити на дві групи: 1) необхідні в невеликих концентраціях для життєдіяльності рослин (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn), які стають токсичними тільки при значному підвищенні їх вмісту в ґрунті і рослинах і 2) Які не беруть участь у метаболізмі рослин (Cd, Hg, Pb, V) і токсичні навіть в дуже низьких концентраціях [15].

Кадмій. Кадмій – важкий метал, який немає будь-яких метаболічних функцій у вищих рослин. У природних умовах він існує в низьких концентраціях на більшості ґрунтів. Він потрапляє в ґрунт з фосфорними добривами, з осаду стічних вод та повітряних забруднювачів. Він має велику рухливість у ґрунті порівняно з іншими важкими металами і в різній мірі поглинається рослинами. Збільшення кількості кадмію в навколишньому середовищі впливає на різні фізіологічні та біохімічні процеси в рослинах. Зменшення виробництва біомаси та якості поживних речовин спостерігалися на посівах, вирощених на забруднених ґрунтах з помірним рівнем важких металів. Навіть низька концентрація пригнічує ріст рослин і заважає фотосинтезу, метаболізму, засвоєнню сульфатів [16].

1.3.1. Надходження важких металів у рослину

Підвищення вмісту важких металів у навколишньому середовищі призводить до значного збільшення їх концентрації в рослинах. При цьому наземні рослини здатні поглинати токсичні іони з двох джерел - ґрунту і повітря. Механізми надходження металів в рослини з ґрунту кореневим шляхом включають пасивний (неметаболічний) процес перенесення іонів в клітину відповідно до градієнта їх концентрації і активний (метаболічний) процес поглинання клітиною проти градієнта концентрації. У поглинанні і транспорті важких металів в рослини можна виділити наступні етапи: 1) накопичення іонів у вільному просторі кореня; 2) подолання іонами мембранного бар'єру і їх проникнення в симпласт.

Перший етап поглинання важких металів кореневою системою здійснюється за допомогою фізико-хімічної адсорбції, а також за рахунок неметаболічного зв'язування іонів металів активними ділянками клітинної стінки. Наступний етап поглинання металів пов'язаний з витратою енергії за участю іонних каналів і білків переносників. Крім симпластного шляху іони важких металів можуть пересуватися і по апопласту до поясків Каспарі (рис.1.3) [17]. Здатність рослин поглинати важкі метали з ґрунту характеризується коефіцієнтом біологічного поглинання (КБП), що є відношенням вмісту металу в рослині до його вмісту в ґрунті. Наприклад, КБП свинцю для багатьох рослин (овес, кукурудза, горох і т. д.) становить 0,001-0,005, а КБП кадмію для цих же культур 0,01-0,5. Звідси випливає, що одні й ті ж види рослин поглинають значно більше кадмію, ніж свинцю.

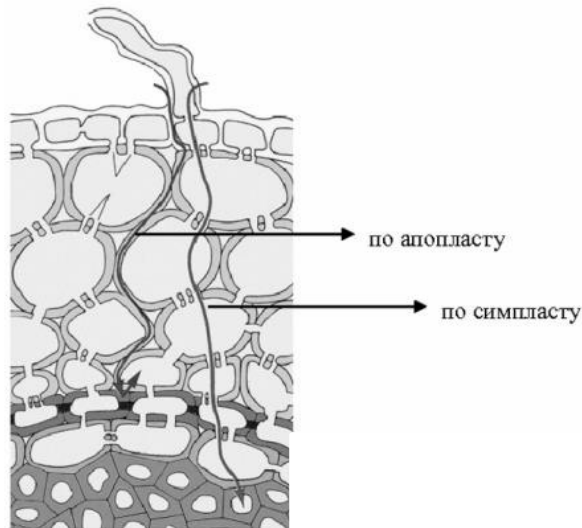


Рис. 1.3. Надходження важких металів в рослини корневим шляхом [17]

1.3.2. Транспорт важких металів по рослині

Основний шлях іонів важких металів в корнях можна представити таким чином: двоетапне поглинання (дифузія і адсорбція), транспорт по апопласту і симпласту до ендодерми і в базальні ділянки кореня. Проникнення їх в центральний циліндр відбувається через молоду ендодерму зі слаборозвиненими поясками Каспарі, а також частково через вибірково проникні мембрани протопласта в ендодерми. З коренів метали транспортуються в надземні органи по судинах ксилеми. Для більшості іонів важких металів передбачається загальний механізм транспорту по ксилемі. Показано, що іони можуть переміщатися по ксилемі в формі катіонів, а також у вигляді комплексів з амінокислотами (аспарагін, глутамін, гістидин) або органічними кислотами (лимонною, фумаровою, маленовою). Дальній транспорт важких металів по рослинах може відбуватися і по судинах флоєми в складі комплексів з цитратами, нікотинамінами або металозв'язчуючими білками [18].

1.4. Фіторемедіація

Фіторемедіація (від грецького “фітон” – рослина та латинського “ремедіум” – відновлювати) – це метод сучасної технології очищення

забруднених ґрунтів із використанням зелених рослин. Фіторе mediaцію визнали ефективним та економічно вигідним методом очищення ґрунтів після того, як було виявлено та вивчено здатність ряду рослин накопичувати в пагонах у десятки-сотні разів більше важких металів у порівнянні з іншими рослинами [19].

В даний час існують дві стратегії використання рослин для «вилучення» важких металів із ґрунтів [20]. Перша з них передбачає використання рослин – наднакопичувачів, таких як *Thlaspi caerulescens* (Талабан альпійський) або *Alyssum bertolonii* (Бурачок муровий). Ці рослини специфічно поглинають один або два метали, накопичення у них невеликої біомаси корелює з дуже високими концентраціями металу у пагонах. Друга стратегія заснована на використанні високопродуктивних рослин, які не є металоспецифічними, та формують велику надземну біомасу, проте кількість важких металів у ній порівняно невисока.

Необхідні властивості рослин-акумуляторів металів наступні [21]:

- Відсутність географічних переваг і швидке зростання;
- висока біопродуктивність;
- здатність утворювати продукцію комплексного застосування;
- сильна коренева система;
- здатність до гіперакумуляції важких металів;
- висока стійкість до важких металів;
- швидкий транспорт металів до надземних органів;
- здатність до акумулювання кількох металів;
- стійкість до хвороб та шкідників.

Здатність рослин очищати ґрунти від іонів важких металів обмежена багатьма факторами. Серед них можна назвати такі як доступність металу в ґрунті для поглинання корінням рослин, швидкість поглинання його корінням, транспорт металу з кореня в пагін, а також стійкість рослини.

Фіторе mediaція включає наступні етапи [22]:

1. Висаджування рослин тих видів, які здатні акумулювати відповідні метали.
2. Забезпечення можливості зростання культур.
3. Збирання зеленої маси з подальшим спалюванням або компостуванням для переробки металів.

Ця процедура може за необхідності повторюватися кілька років, доки рівень забруднення в ґрунті не знизиться до допустимих меж. При спалюванні рослин, золу необхідно розміщувати у могильники для небезпечних відходів.

Сучасні фіторе mediaційні технології можуть ґрунтуватися на різних методологічних підходах – це фітоекстракція, ризофільтрація, фітодеградація. Перш ніж використати ту або іншу технологію, варто провести ретельний аналіз місця, що підлягає відновленню, установити тип токсичного з'єднання [23].

1.4.1. Ризофільтрація

Ризофільтрація – використання кореневої системи рослини для видалення важких металів, радіонуклідів із забруднених стоків, поверхневих або ґрунтових вод. Рослини абсорбують в тканинах коренів, адсорбують на поверхні коренів, осаджують і концентрують токсичні метали в прикореневій зоні. На відміну від фітоекстракції метали не переносяться в наземну частину рослин. Ідеальна рослина для ризофільтрації повинна мати швидкозростаючу кореневу систему зі здатністю поглинати токсичні метали з розчину на протязі тривалого часу [24].

Для зменшення забруднень що вимагає подальшої переробки фіто маси, рослини, використовувані для ризофільтрації, повинні мати низьку здатність до транслокації важких металів в стебла і листя. Ризофільтрацію проводять з використанням наземних рослин, вирощуваних в умовах гідропонних культур (рис.1.4). Рослини спочатку висаджують в лотки, які омиваються чистою водою, або в ґрунт. Після того, як коренева система

досить добре розвинулась, рослини розподіляють в лотках і омивають водою при поступовому підвищенні вмісту забруднень. Метали акумулюються в кореневій системі [25].

Як рослина, успішно апробована в методі ризофільтрації, добре зарекомендував себе горох а також соняшник. При ризофільтрації рослини в змозі поглинути до 40% важких металів від своєї сухої ваги. Ризофільтрація особливо ефективна і економічно доцільна при невеликих концентраціях забруднень і великих обсягах води, що очищається. Разом з тим цей метод можна застосовувати для очищення навіть рідких радіоактивних відходів. Однак часто цей метод виявляється більш дорогим, ніж традиційні методи видалення металів із забруднених вод. Ефективність ризофільтрації можна підвищити, комбінуючи її з використанням мікроорганізмів [26].

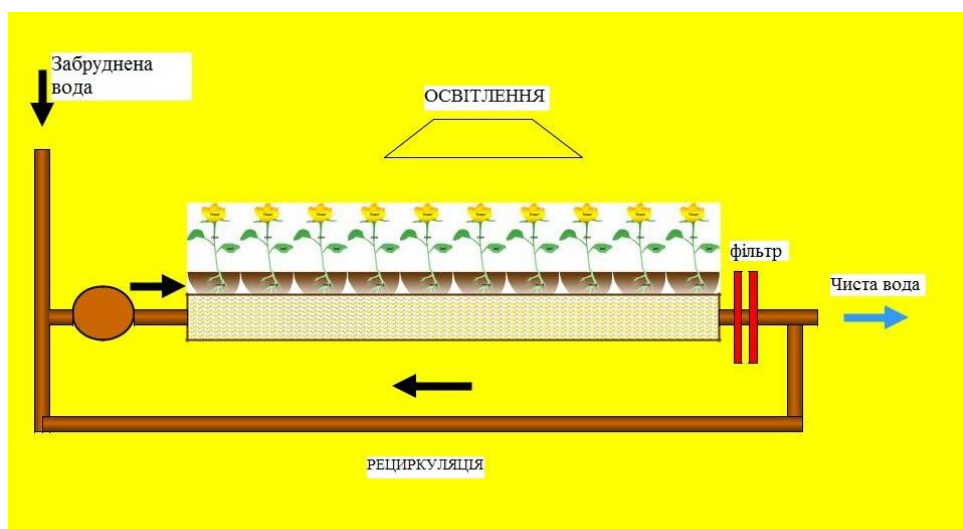


Рис. 1.4. Приклад ризофільтрації [26]

1.4.2. Фітодеградація

Фітодеградація — це поглинання, метаболізм та деградація забруднювачів всередині рослини або деградація забруднення в ґрунті, відкладеннях, підземних водах або поверхневих водах, ферментами, що виробляються і виділяються рослиною. Фітодеградація включає органічні сполуки, такі як хлоровані розчинники, гербіциди та інсектициди, а також

неорганічні поживні речовини. Фітодеградація також відома як фітотрансформація, і є процесом знищення забруднювачів [27]. Є два основних підходи щодо реалізації технології фітотрансформації:

- залучення рослинних ферментів, які здатні перетворювати токсичні компоненти у безпечні субстанції.
- генетична інженерія, тобто створення трансгенних рослин, що здатні перетворювати забруднювачі.

1.4.3. Фітоекстракція

При фітоекстракції забруднення надходять з ґрунту в рослини через кореневу систему, концентруються в їх наземних тканинах (листі і стеблах) і видаляються з навколишнього середовища при зборі врожаю рослин. Забруднену рослинну масу можна потім висушити (на сонці, на повітрі або обігрівом), спалити, переробити (компостуванням, анаеробним зброджуванням, вилуговуванням, екстракцією забруднень розчинниками), витягти корисні компоненти, спресувати і ущільнити, захоронити на спеціальних ділянках. Ефективність фітоекстракції обумовлена [28]:

- здатністю рослини до росту на забрудненому ґрунті,
- здатністю до поглинання важких металів,
- врожайністю рослини,
- фітодоступністю елемента в ґрунті.

При фітоекстракції використовуються рослини – гіперакумулятори важких металів і радіонуклідів (рис.1.5) [29]. Всього до теперішнього часу виявлено близько 400 видів рослин гіперакумуляторів. Більшість з них (близько 300) накопичують Cd. У підвищених концентраціях можуть накопичуватися Zn, Ni, Cu, Co, Pb, Cr, Mn, Se, S, B, F. Однак не кожна рослина – гіперакумулятор здатна до фіторемедіації. Рослина має не тільки відрізнятися здатністю накопичувати забруднення і бути стійким до них, а й давати високий урожай, селективно витягувати забруднення. Рослини, які акумулюють забруднення головним чином в кореневій системі, непридатні

для фітоекстракції, оскільки збір коренів скрутний і вимагає великих витрат. Біомаса з накопиченими забрудненнями повинна бути наземною. Наземна біомаса може бути зібрана за допомогою звичайної сільськогосподарської техніки і перевезена на місця складування і переробки [30].

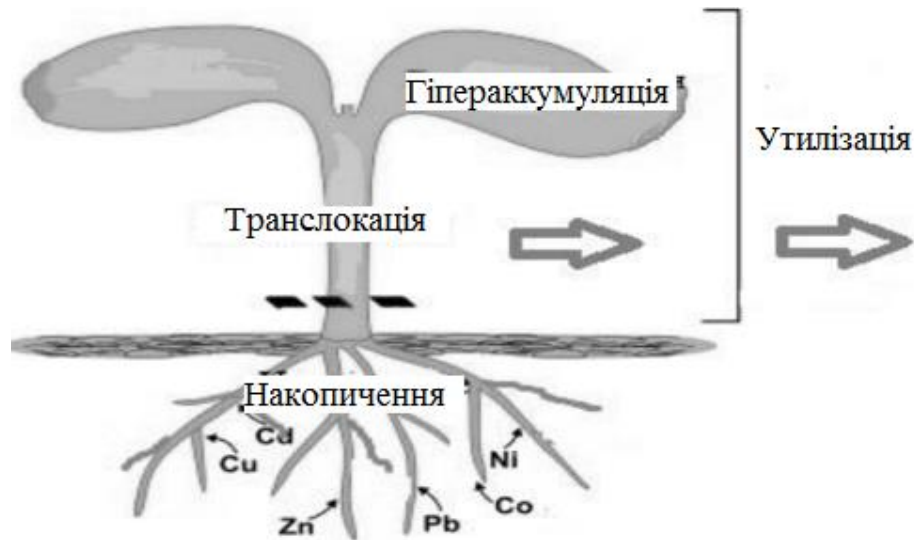


Рис. 1.5. Принцип фітоекстракції [29]

1.4.4. Вплив магнітних наночастинок, на рослини вирощені на ґрунтах із важкими металами

Використання наноматеріалів оксиду заліза в технології захисту навколишнього середовища привернуло велику увагу завдяки їхнім унікальним властивостям: дуже малим розмірам, високому відношенню площі поверхні до об'єму, здатності до модифікації поверхні, підвищеним магнітним властивостям та чудовій біосумісності [31].

Келебі та ін. [32] використовували наночастинок заліза з нульовою валентністю (nZVI) для видалення іонів Ba^{2+} і Боперей [33] для видалення іонів Cd^{2+} , відповідно.

Для усунення забруднення води Cr^{6+} , використовували нанокомпозити магнетиту, модифікованих аморфним сплавом FeB ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-FeB}$) [34].

Видалення слідів Pb^{2+} і Cd^{2+} з молока, людської сечі та плазми крові за допомогою селективної іонної рідкої ферорідини проводили у дослідженнях в Індії [35].

Дослідження [36] показали, що наночастинки Fe_3O_4 діють як сорбент і відновник, коли вони використовуються для нейтралізації Ni^{2+} у воді.

У дослідженнях в США [37] використовували модифіковані полімером наночастинки магнетиту для видалення іонів важких металів (Cd^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} і Cu^{2+}) з водного розчину.

Лью та ін. [38] використовували НЧ Fe_3O_4 , покриті гуміновою кислотою (Fe_3O_4/HA), при цьому видалили з води більше 99% Hg^{2+} і Pb^{2+} і більше 95% Cu^{2+} і Cd^{2+} .

Для оцінки іммобілізації миш'яку проводили експеримент [39], у якому ґрунтові проби обробляли НЧ магнетиту в різних дозах (0,2%, 1%, 2% та 5%). Наявність миш'яку тоді перевіряли за допомогою тесту TCLP (метод вилуговування токсичних речовин) та процедури послідовного вилучення Тессеє. Помітні результати щодо іммобілізації миш'яку були досягнуті при дозі 1% НЧ (зниження на 42,5% миш'яку, тест TCLP), хоча найкращий результат був отриманий при найвищій дозі 5% (на 92,3% зменшення миш'яку, тест TCLP). Обробка не мала негативного впливу на такі параметри ґрунту, як рН ґрунту та електропровідність. У свою чергу, збільшення кількості Fe після застосування НЧ було незначним, тоді як фітотоксичність ґрунту, оцінена за допомогою тесту, була зменшена.

Були проведені експерименти [40] для дослідження фізіологічних механізмів наночастинок магнетиту для пом'якшення токсичності важких металів (Pb, Zn, Cd і Cu) в проростках пшениці *Triticum aestivum* L. Додавання магнітних наночастинок (2000 мг/л) у кожен розчин важкого металу (1 мМ) значно зменшив інгібування росту та активував захисні механізми для зменшення стресу, викликаного важкими металами в проростках пшениці (рис.1.6). Пом'якшувальну дію магнітних НЧ пов'язано з їх адсорбційною здатністю до важких металів

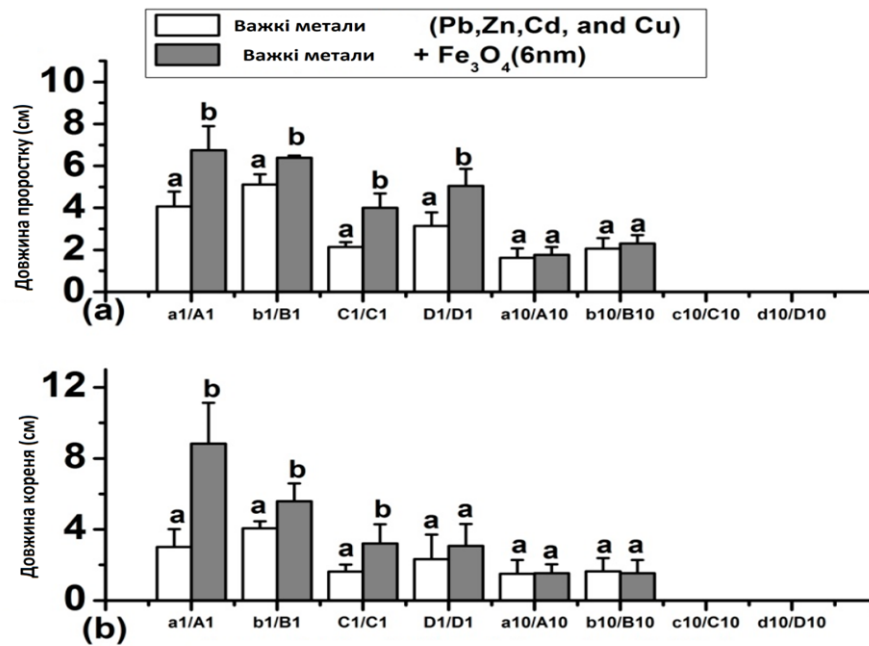


Рис. 1.6. Одночасний вплив нано-Fe₃O₄ та важких металів на ріст пшениці *Triticum aestivum* L. [40]

1.4.5. Сорбційна здатність магнітних наночастинок до важких металів

В 1 г Fe₃O₄ міститься N наночастинок.

Об'єм 1 наночастинки Fe₃O₄ становить:

$$V_1 = \frac{4}{3} \pi r_0^3 \quad (1)$$

де r_0^3 - радіус наночастинки магнетиту, який становить 13,24 нм [41]

Об'єм N частинок магнетиту становить:

$$V = NV_1 \quad (2)$$

$$m = \rho V \quad (3)$$

де m – це маса, яка становить 1 грам; ρ – густина Fe₃O₄.

Підставимо формули (1),(2) в (3):

$$m = \rho N \frac{4}{3} \pi r_0^3 \quad (4)$$

Звідки визначимо кількість наночастинок Fe₃O₄ в 1 г:

$$N = \frac{m}{\frac{4}{3} \pi r_0^3} \quad (5)$$

S – площа поверхні наночастинок в 1 грамі Fe₃O₄.

Площа однієї частинки магнетиту:

$$S_1 = 4\pi r_0^2 \quad (6)$$

$$S = 4\pi r_0^2 N \quad (7)$$

Підставимо формулу кількості наночастинок Fe_3O_4 в 1 г (5) в формулу (7):

$$S = \frac{4\pi r_0^2 m}{\frac{4}{3}\pi r_0^3} = \frac{3m}{\rho r_0} \quad (8)$$

Тепер визначимо масу металу, який сорбує 1 грам Fe_3O_4 :

$$Q_e \cdot 10^{-3} \text{ грам} = Q_{e \text{ мг}}$$

Маса металу, сорбованого 1 м² поверхні наночастинок Fe_3O_4 :

$$\frac{Q_e}{X} = \frac{S \text{ (м}^2\text{)}}{1 \text{ м}^2} \quad (9)$$

$$X = \frac{Q_e \text{ (мг)}}{S \text{ (м}^2\text{)}} \quad (10)$$

Отже сорбційна здатність 1 м² площі поверхні наночастинок Fe_3O_4 становить:

$$X = \frac{Q_e \rho r_0}{3m} \quad (11)$$

де Q_e – це кількість адсорбованих металів, мг/г. Становить 39,216 мг/г для Cd(II) [41]

У наночастинках Fe_3O_4 радіус $R_0 \approx 10\text{--}15$ нм.

В 1 г Fe_3O_4 міститься N_0 штук частинок:

$$N_0 = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi R_0^3} \quad (12)$$

Площа 1 г наших наночастинок:

$$S = \frac{3m}{\rho R_0} \quad (13)$$

Отже, 1 грам наночастинок сорбує Cd(II):

$$Q_0 = X \cdot S_0 = \frac{Q_e \rho r_0}{3m} \cdot \frac{3m}{\rho R_0} = Q_e \frac{r_0}{R_0} = 39,216 \frac{13,24 \text{ нм}}{(10\text{--}15) \text{ нм}} = 34,6\text{—}51,9 \text{ мг}$$

Щоб розрахувати скільки було внесено Fe_3O_4 за весь час вирощування, потрібно оцінити максимальну кількість мг іонів металу, який може сорбувати магнетит.

Всього рослини поливалися 14 разів по 5 мл.

Розраховується кількість Fe_3O_4 концентрацією 0,1 мг/мл:

$$M_1 = 0,1 \text{ мг/мл} \cdot 14 \cdot 5 \text{ мл} = 7 \text{ мг}$$

Розрахуємо кількість Fe_3O_4 концентрацією 0,3 мг/мл:

$$M_2 = 0,3 \text{ мг/мл} \cdot 14 \cdot 5 \text{ мл} = 21 \text{ мг}$$

Тому, 7 мг Fe_3O_4 (0,1 мг/мл) сорбує 0,24 – 0,36 мг Cd(II) .

21 мг Fe_3O_4 (0,3 мг/мл) сорбує 0,72 – 1,08 мг Cd(II) .

2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1. Матеріали і методи

2.1.1. Методика вирощування гороху посівного

Матеріали: насіння гороху посівного *Pisum sativum*, ґрунт універсальний, горщики для посадки рослин об'ємом 0,5 л, відстояна вода, магнетит в трьох концентраціях (0,05 мг/мл, 0,075 мг/мл, 0,1мг/мл), $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$.

На першому етапі необхідно визначити коефіцієнт проростання насіння. Для цього необхідно провести наступні дії:

Для експерименту необхідно взяти 40 насінин. Перевірити виживаність насіння методом поплавця. Опустити насіння в 3-5% розчин солі (в 1 л води розчинити 5 г солі). Насінини які залишаться на поверхні розчину необхідно прибрати. Інші підходять для посадки чи пророщування.

Для пророщування необхідно підготувати 4 стерильні чашки Петрі з фільтрувальним папером, зволоженим шляхом додавання 2 мл дистильованої води у кожную ємність. Перед пророщуванням насінини гороху замочували у теплій воді 35-40°C протягом 12 годин, потім зерна гороху пророщували в чашках Петрі, по 10 насінин, протягом 3 днів в приміщенні з оптимальною вологістю та природним освітленням за температури 20-22°C.

Було відібрано по 8 насінин, що добре проросли, тобто всього 32 насінини. Висадка відбувалася по 2 насінин в кожен горщик, горщики об'ємом 0,5 л. Було висаджено 16 горщиків. Перший полив здійснили дистильованою водою відразу після посадки.

Рослини вирощували в приміщенні з температурою 20-22°C з штучним освітленням (режим освітлення: ~ 15 000 люкс, 12-годинний світловий день) однакової інтенсивності для всіх досліджуваних об'єктів.

Експеримент проводили в 2 етапи.

Етап 1:

Всі рослини було поділено на 4 групи, в результаті ми мали 16 горщиків:

- 1) Контрольна група (К) – рослини, які підливали водою;
- 2) Експериментальна група 1 (ЕГ1) – рослини, які вирощували з додаванням магнетиту, концентрацією 0.05 мг/мл;
- 3) Експериментальна група 2 (ЕГ2) – рослини, які вирощували з додаванням магнетиту, концентрацією 0.075 мг/мл;
- 4) Експериментальна група 3 (ЕГ3) – рослини, які вирощували з додаванням магнетиту, концентрацією 0.1 мг/мл.

Полив водою здійснювався для всіх досліджуваних рослин одночасно, раз в 3 дні, в кількості 25 мл води на горщик протягом всього часу експерименту. Поливали горщики відстояною водою + розчинами магнетиту по 5 мл підкоренево кожних 3 дні.

Внесення магнітної рідини відбувалось з 14 дня вирощування рослин (14.09.2021) та до закінчення експерименту (27.10.2021).

Етап 2:

Було пророщено нові рослини, які висаджувались у горщики, і які було поділено на 3 групи:

- 1) Контрольна група (К) – рослини, які підливали водою + 1мМ $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$;
- 2) Експериментальна група 1 (ЕГ1) – рослини, які вирощували з додаванням магнетиту, концентрацією 0,1 мг/мл + 1мМ $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$;
- 3) Експериментальна група 2 (ЕГ2) – рослини, які вирощували з додаванням магнетиту, концентрацією 0,3 мг/мл + 1мМ $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$.

Полив водою здійснювали для всіх досліджуваних рослин одночасно, раз в 3 дні, в кількості 25 мл води на горщик протягом всього часу експерименту. Внесення магнітної рідини з дати початку експерименту (01.11.2021) та до закінчення експерименту (30.11.2021).

Починаючи з 3 тижня, до рослин додавалися важкі метали наступним чином:

1. Були відібрані по 5 рослин з контрольної групи та двох експериментальних груп.

2. До відібраних рослин прикоренево додався 1 мМ розчин $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ протягом 7 днів

2.1.2. Методика приготування магнетиту

Для приготування магнітної рідини використовували метод співосадження солей заліза II- та III- валентного концентрованим розчином аміаку [42].

Обладнання і матеріали: аналітичні ваги, склянки місткістю 350 та 500 мл, магніт, піпетки, резинова груша, капілярна трубка, скляна паличка для перемішування, механічна мішалка, порцелянова чашка, паперові фільтри, лакмусові папірці, центрифужні пробірки, центрифуга, гептагідрат сульфату заліза (II) $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, гексагідрат хлориду заліза (III) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, розчин аміаку 25% – NH_4OH , олеат натрію.

Синтез виконували наступним чином:

1) В 50 мл дистильованої води додавали 6 г $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ і 12 г $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Розчин підігрівали для покращення розчинення солі.

2) Отриманий розчин фільтрували для відділення механічних домішок.

3) В чисту склянку наливали 75 мл розчину аміаку. Операцію проводили під витяжною шафою.

4) Розчин солей заліза по краплі додавали до розчину аміаку при постійному перемішуванні. При цьому коричнево-помаранчевий розчин утворював суспензію чорного кольору.

5) Після завершення реакції додавали 100 мл дистильованої води, розмішували суспензію і на 30 хвилин встановлювали на постійний магніт.

6) П. 5 повторювали до тих пір, доки рН розчину не встановлювався у межах 7 – 7,5.

7) Після досягнення потрібного рівня рН, зливали надосадову рідину на 2/3, суспензію переносили на паперовий фільтр.

8) Магнетит з фільтру переносили у порцелянову чашку, додавали 3,75 г олеату натрію. Гріли суміш при температурі 80 °С і постійному перемішуванні до отримання субстанції потрібної консистенції («патока»).

9) Охолоджували субстанцію до кімнатної температури, додавали 25 мл дистильованої води і центрифугували на 5 тисячах обертах протягом 5 хвилин для осадження великих частинок. Отриману надосадову рідину зливали в флакони з непрозорого темного скла.

2.1.3. Методика проведення реакції Перлса

Для знаходження іонів Fe (III) на зразках листя гороху, була використана реакція Перлса для рослин [43].

Обладнання та матеріали: ступка, скляні піпетки, пробірки, предметне скельце, світловий мікроскоп, сито, солянокислий спирт, HCl (2%-й розчин), гексаціаноферат тригідрат, дистильована вода, досліджувані рослини.

Протокол проведення реакції:

1. Необхідно взяти висушену рослину та перетерти її в ступці.
2. В отриманий порошок потрібно додати солянокислий спирт до знебарвлення.
3. Отриману суспензію необхідно нанести на предметне скельце та зробити мазок. Після цього закріпити препарат над полум'ям.
4. На предметне скельце додають краплю 2% розчину HCl. Витримати 30 хв.
5. Після витримки, на предметне скельце додають 2% розчин гексаціанферрату тригідрату (жовтої кров'яної солі), ретельно перемішують. Витримати 10 хв.
6. Висушити отриманий препарат.
7. Розглянути препарат під світловим мікроскопом.

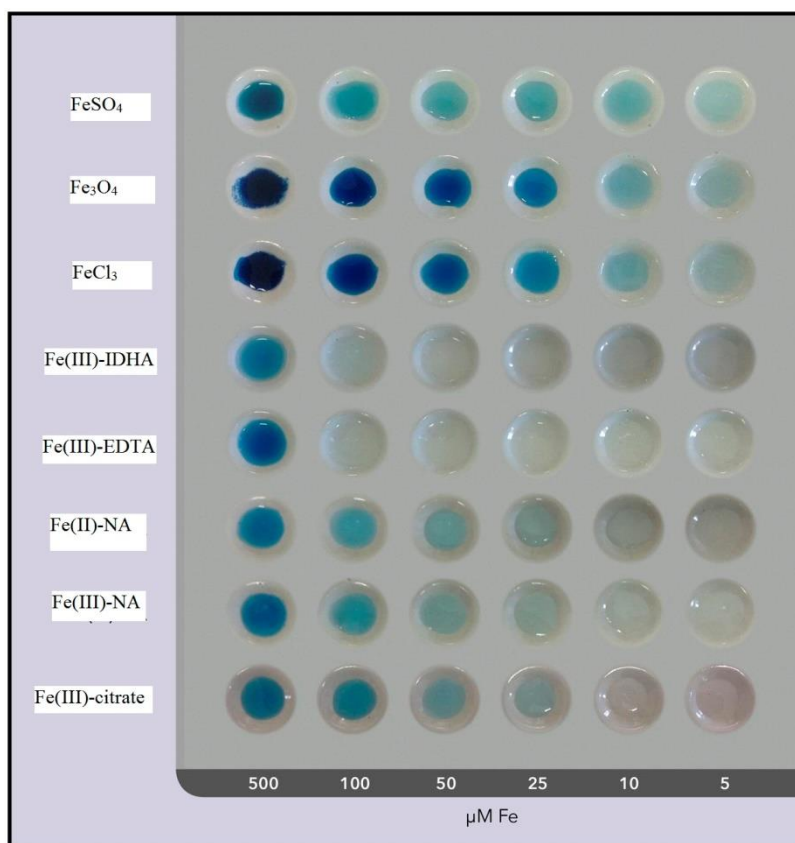


Рис. 2.1. Зображення фарбування за Перлсом різних сполук Fe із різною концентрацією, які є основою добрив для рослин [44]

2.2. Результати та обговорення

2.2.1. Аналіз впливу наночастинок магнетиту на проростання та ріст рослин *Pisum Sativum*

Було пророщено 40 насінин, по 10 у кожній чашці Петрі. Після появи корінців у насінин був порахований коефіцієнт проростання, тобто який відсоток насінин проросло та внесено дані в таблицю. Відсоток схожості насіння обраховували за наступною формулою:

$$\text{Схожість}(\%) = \frac{n}{t} \cdot 100\% ,$$

де n – кількість насіння, що проросло,

t – загальна кількість насіння в чашці Петрі.

Таблиця 2.1.

Результати пророщування гороху посівного у чашках Петрі.

Дослідна група	Відсоток проростання, %	Середній час проростання насіння, дні
Контрольна	80	3
Експериментальна,1	80	3
Експериментальна,2	80	3
Експериментальна,3	80	3

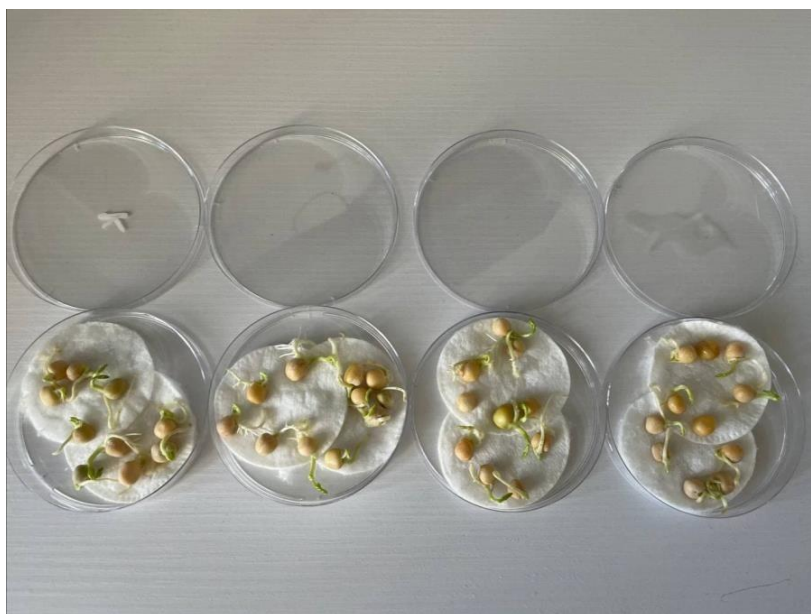


Рис. 2.2. Результати пророщування насіння гороху посівного

Отримані на попередньому етапі паростки гороху було пересаджено у ґрунт з метою дослідження динаміки росту рослин під час ювенільного періоду.



Рис. 2.3. Зовнішні відмінності між рослинами гороху (зліва – направо): контроль, концентрація 0,05 мг/мл, 0,075 мг/мл та 0,1 мг/мл

Спостерігаємо чітку відмінність між коренями отриманих рослин (рис. 2.3).

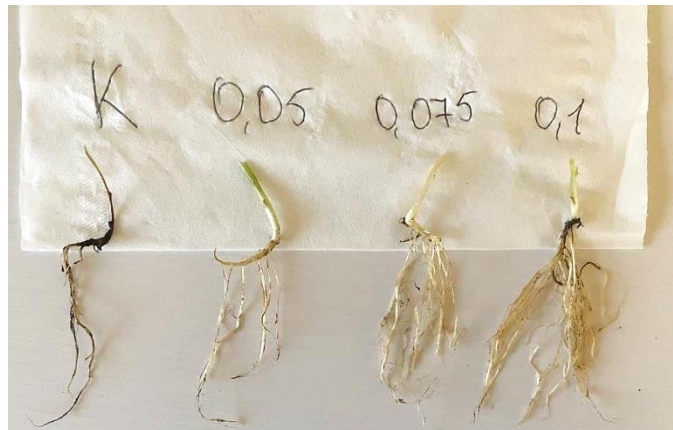


Рис. 2.4. Морфологія коренів гороху посівного *Pisum sativum*. Внесення магнетиту відбувалось починаючи з 14 дня вирощування рослин. (зліва-направо): рослина, вирощена на контрольному ґрунті, рослина з додаванням 0,05 мг/мл магнетиту, рослина з додаванням 0,075 мг/мл магнетиту, рослина з додаванням 0,1 мг/мл магнетиту



Рис. 2.5. Морфологія коренів гороху посівного *Pisum sativum*. Внесення магнетиту відбувалось починаючи з 1 дня вирощування рослин [45] (зліва-направо): рослина, вирощена на контрольному ґрунті, рослина вирощена на ґрунті з додаванням магнетиту з концентрацією 0,1 мг/мл, рослина вирощена на ґрунті з додаванням магнетиту з концентрацією 1 мг/мл

Таблиця 2.2.

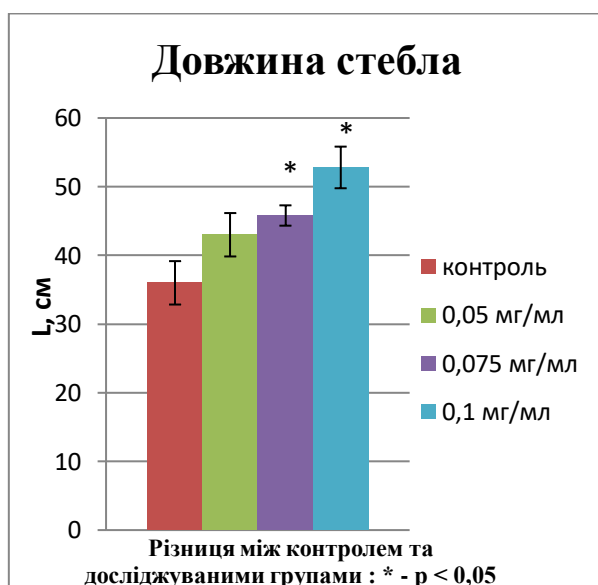
Вплив різних концентрацій магнетиту на морфологію рослин гороху посівного *Pisum sativum*.

Контроль							
Хар-ка рослин	1	2	3	4	5	сер	σ
L стебла	34	32	38	36	40	36	3,16
L кореня	8,3	8,6	9	8,7	9,4	8,8	0,42
L рослини	42,3	40,6	47	44,7	49,4	44,8	3,53
n дод коренів	7	6	9	10	9	8,2	1,64
n листків	22	24	28	26	30	26	3,16
m кореня	0,24	0,22	0,2	0,19	0,25	0,22	0,03
m зеленої біомаси	1,02	1,1	1,05	1,08	1,4	1,13	0,15
Концентрація 0,05 мг/мл							
Хар-ка рослин	1	2	3	4	5	сер	σ
L стебла	42	41	44	40	48	43,00	3,16
L кореня	10	9	9	10,2	9,2	9,48	0,58
L рослини	52	50	53	50,2	57,2	52,48	2,92
n дод коренів	8	10	9	8	8	8,60	0,89
n листків	24	26	32	22	32	27,20	4,60
m кореня	0,28	0,24	0,26	0,22	0,25	0,25	0,02
m зеленої біомаси	1,22	1,18	1,2	1,24	1,44	1,26	0,11

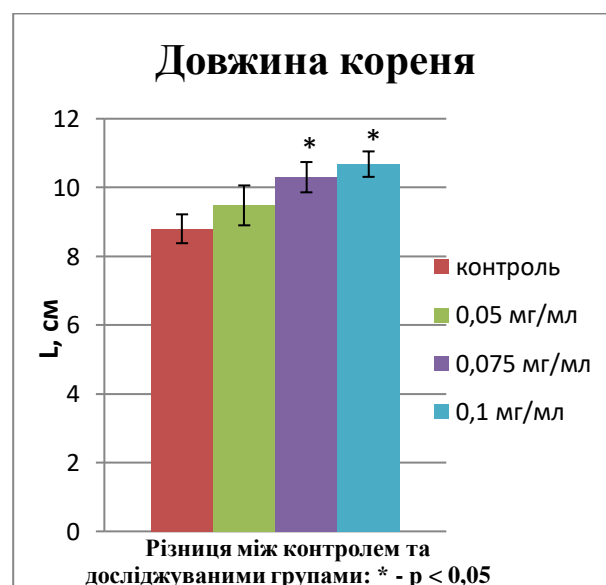
Продовження таблиці 2.2.

Концентрація 0,075 мг/мл							
Хар-ка рослин	1	2	3	4	5	сер	σ
L стебла	44	45	46	46	48	45,80	1,48
L кореня	10	11	10,4	9,9	10,2	10,30	0,44
L рослини	54	56	56,4	55,9	58,2	56,10	1,50
n дод коренів	16	22	20	19	22	19,80	2,49
n листків	38	36	28	34	38	34,80	4,15
m кореня	0,31	0,28	0,25	0,29	0,28	0,28	0,02
m зеленої біомаси	1,28	1,28	1,32	1,3	1,36	1,31	0,03
Концентрація 0,1 мг/мл							
Хар-ка рослин	1	2	3	4	5	сер	σ
L стебла	48	52	54	56	54	52,80	3,03
L кореня	10,1	11	11	10,7	10,6	10,68	0,37
L рослини	58,1	63	65	66,7	64,6	63,48	3,28
n дод коренів	25	24	28	30	32	27,80	3,35
n листків	38	40	38	42	42	40,00	2,00
m кореня	0,32	0,34	0,34	0,3	0,32	0,32	0,02
m зеленої біомаси	1,4	1,37	1,42	1,38	1,44	1,40	0,03

З наведених даних у таблиці, можна побудувати порівняльні діаграми за морфологічними ознаками для представників кожної групи (рис.2.6).



а



б

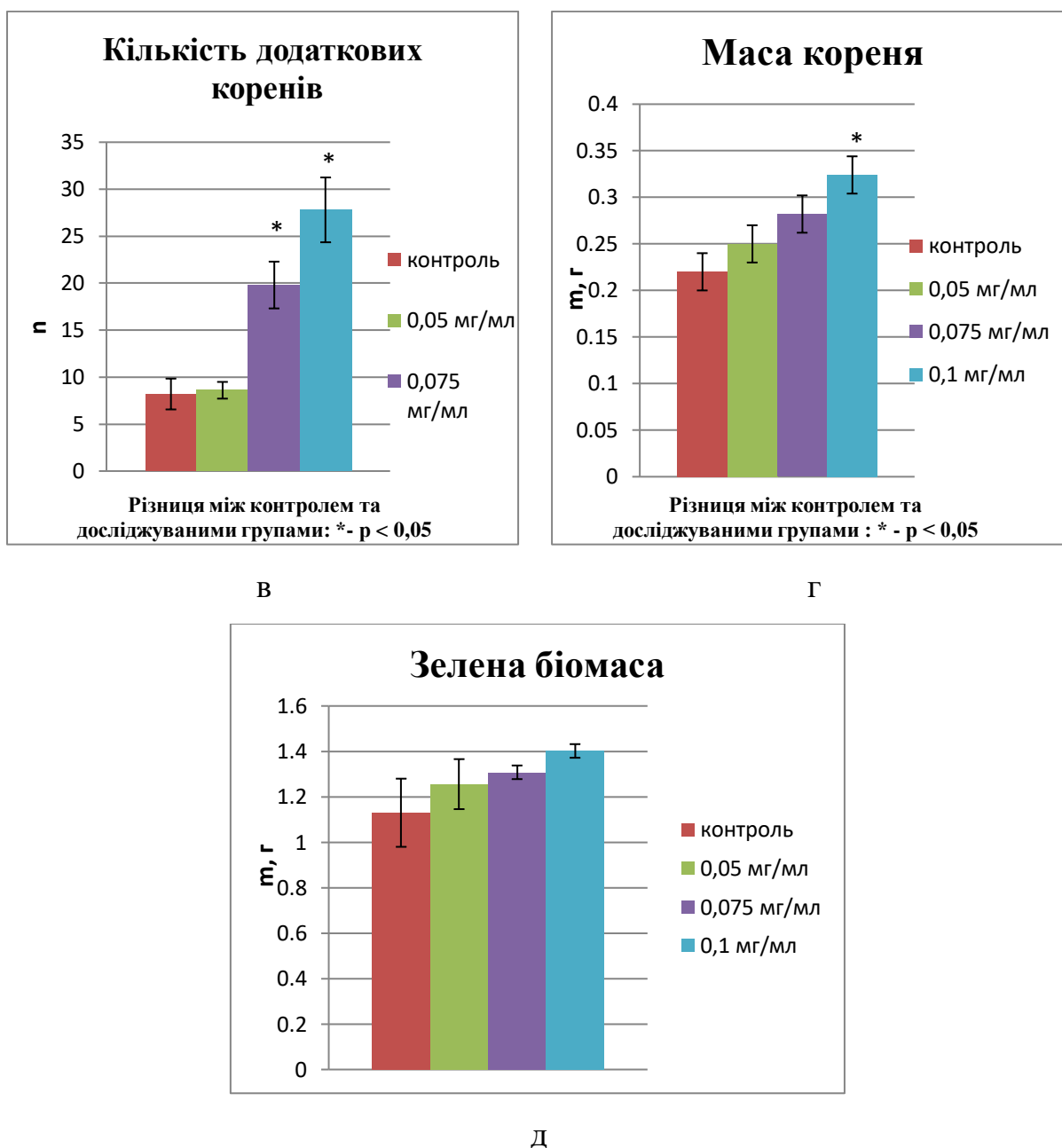


Рис. 2.6. Середня довжина стебла в чотирьох групах (а), середня довжина кореня (б), середня кількість додаткових коренів (в), середня маса коренів (г), середня зелена біомаса (д)

Спостерігаємо чітку відмінність між коренями рослин (рис. 2.4, 2.5). Дані результати можна порівняти з результатами експерименту [45]. В нашому дослідженні корені мають більше бічних коренів, дослід проводився за однаковий проміжок часу. Це можна пояснити тим, що в іншому дослідженні [45] підживлення рослин магнетитом відбувалось з 1 дня

вирощування, а в нашому із 14 дня, так як формування кореня гороху закінчується на 10-14 день вирощування та з'являються перші справжні листки [46].

Рослини, вирощені на ґрунті з додаванням магнетиту концентрацією 0,1 мг/мл мають велику кількість додаткових коренів (рис. 2.6, 41табл. 2.2). При достатній концентрації заліза у ґрунті, активується синтез фітогормону ауксину, що впливає на формування та ріст коренів [47].

Також виявлено що зі збільшенням концентрації магнетиту, збільшується і зелена біомаса рослини. При додаванні магнетиту концентрацією 0,05 мг/мл біомаса збільшилась на 11% порівняно з контролем, при додаванні концентрації 0,075 мг/мл на 16% і при додаванні 0,1 мг/мл на 23% відповідно.

2.2.2. Аналіз впливу одночасного додавання наночастинок магнетиту та важких металів на морфологію рослин *Pisum Sativum*

Для додавання важких металів було пророщено та вирощено окремі рослини, які було поділено на 3 групи (контроль, концентрація магнетиту 0,1 мг/мл та 0,3 мг/мл). Від початку росту магнетит додався відповідно своєї групи, а також починаючи з 3 тижня протягом 7 днів додавався CdCl_2 по 5 мл концентрацією 1 мМ. Морфологічні показники рослин *Pisum Sativum* станом на 28 добу представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3.

Морфологічні показники рослин *Pisum Sativum* з додаванням важких металів та CdCl_2

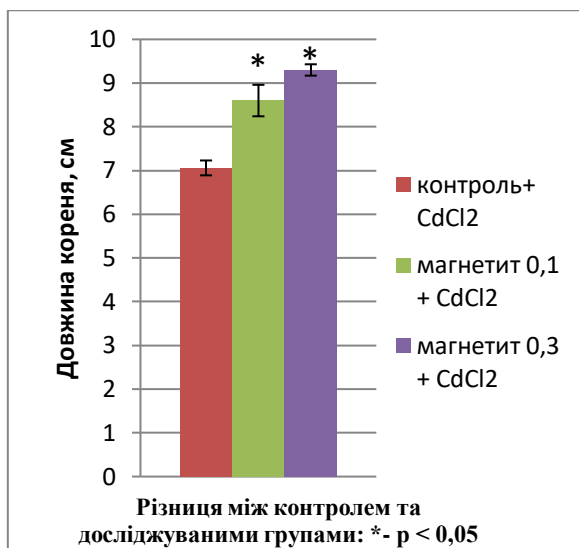
	Показник	28 доба
Контроль+ CdCl_2	Довжина кореня, см	7,06±0,17
	Кількість листя, шт	6±1,41
	Вага зеленої біомаси, г	0,21±0,02
	Вага кореня, г	0,13±0,008

Продовження таблиці 2.3.

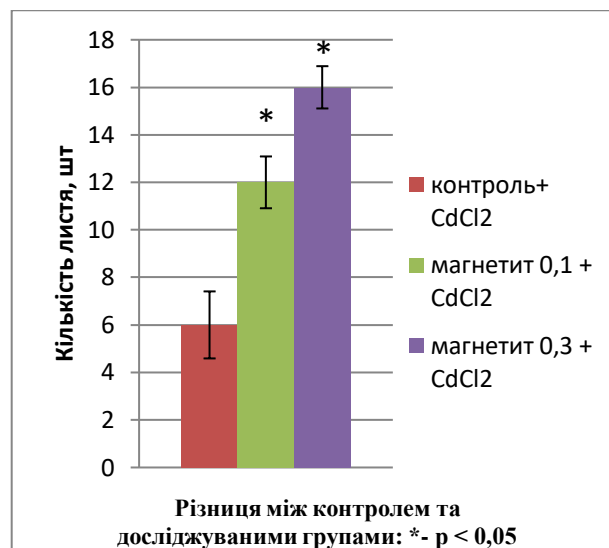
Магнетит 0,1 мг/мл +CdCl ₂	Довжина кореня, см	8,6±0,36
	Кількість листя, шт	12±1,09
	Вага зеленої біомаси, г	0,48±0,02
	Вага кореня, г	0,18±0,01
Магнетит 0,3 мг/мл +CdCl ₂	Довжина кореня, см	9,3±0,13
	Кількість листя, шт	16±0,89
	Вага зеленої біомаси, г	0,68±0,03
	Вага кореня, г	0,25±0,02



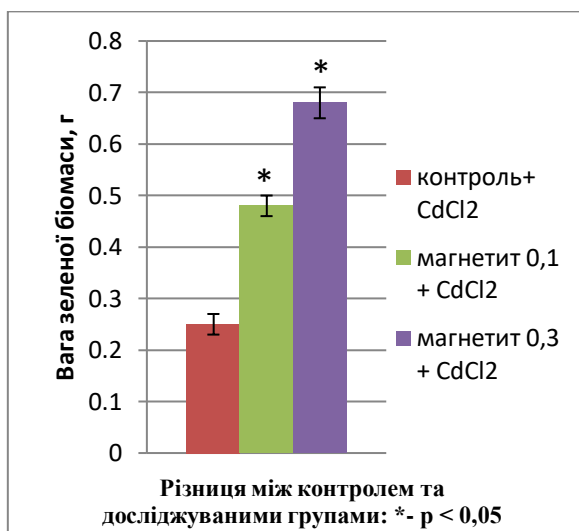
Рис. 2.7. Фото паростків *Pisum Sativum* на 28 добу після вирощування з додаванням CdCl₂ (зліва-направо): рослина, вирощена на контрольному ґрунті + CdCl₂, рослина з додаванням 0,1 мг/мл магнетиту + CdCl₂, рослина з додаванням 0,3 мг/мл магнетиту + CdCl₂



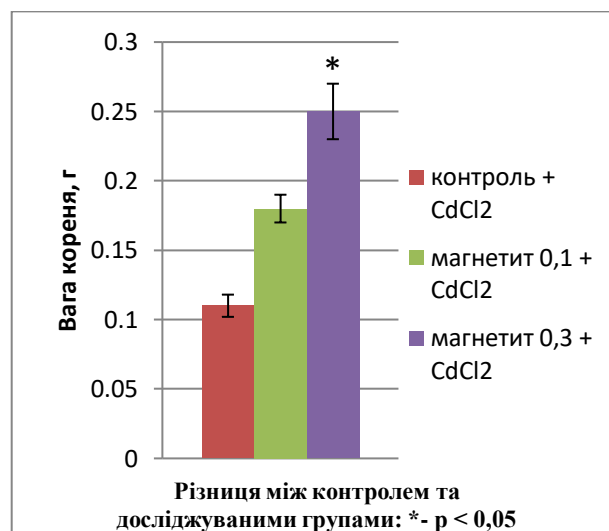
а



б



в



г

Рис. 2.8. Порівняльна діаграма рослин *Pisum Sativum* на 28 добу після проростання з додаванням CdCl₂, середня довжина кореня в трьох групах (а), середня кількість листя (б), середня вага зеленої біомаси (в), середня вага коренів (г)

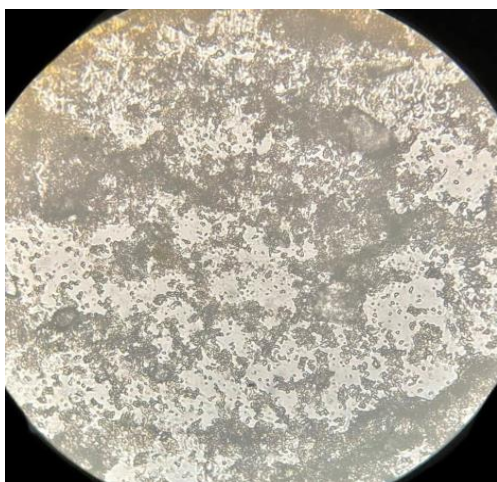
Результати дослідження (рис. 2.7, 2.8) показали, що магнетит має здатність до захисту рослин від токсичності металів. Через це, рослини, до яких додавали комбінацію магнетиту з кадмієм, продовжували розвиватися, а рослини без магнетиту після початку внесення кадмію сповільнили свій ріст та почали жовтіти. Додавання магнетиту 0,1 мг/мл збільшило ріст кореня на

11% порівнюючи з контролем. Додавання магнетиту 0,3 мг/мл покращило ріст коренів на 13%. Магнетит в концентраціях 0,1 мг/мл та 0,3 мг/мл позитивно вплинув на накопичення біомаси рослин при наявності важких металів, та збільшив її на певний відсоток.

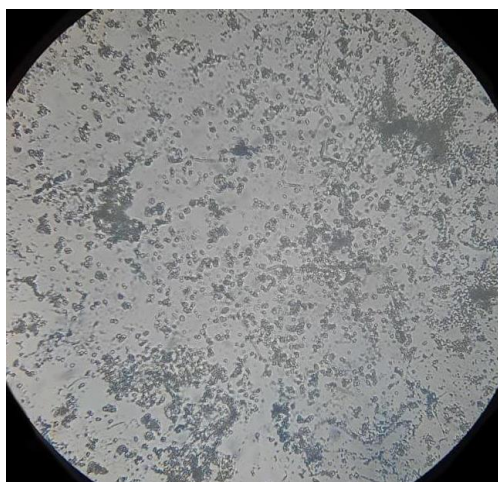
Додавання магнетиту з концентрацією 0,3 мг/мл показало кращі результати через те, що у рослин було внесено більше магнетиту, який абсорбував більше металів і тим самим сповільнив токсичну дію CdCl_2 .

За сім днів додавання CdCl_2 , кількість внесеного Cd(II) становить 64 мг. За весь час експерименту було додано 7 мг Fe_3O_4 (0,1 мг/мл), який може сорбувати 0,24 – 0,36 мг Cd(II) і 21 мг Fe_3O_4 (0,3 мг/мл), який може сорбувати 0,72 – 1,08 мг Cd(II) . Тобто частка сорбованого кадмію магнетитом становить приблизно 3-4% і 4-5% для концентрацій 0,1 мг/мл і 0,3 мг/мл, відповідно. Отже, наночастинки магнетиту підвищують стійкість рослин до іонів кадмію.

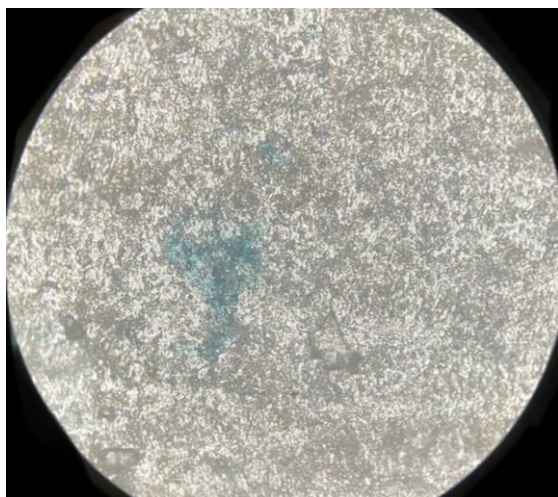
2.2.3. Аналіз накопичення іонів заліза в висушених зразках рослин *Pisum Sativum*



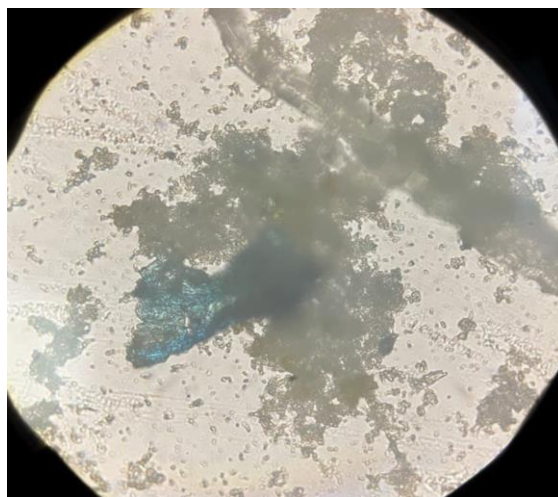
а



б

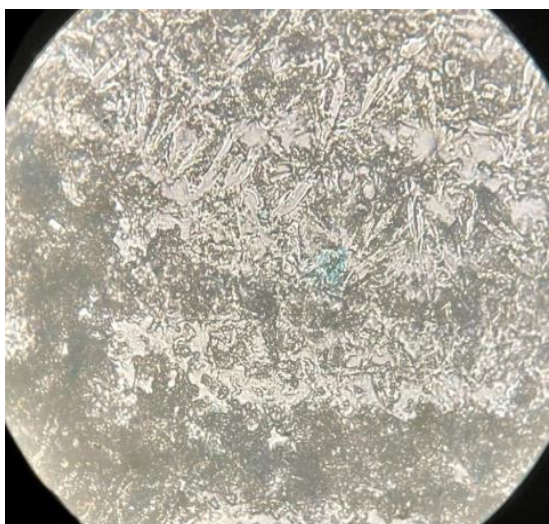


в

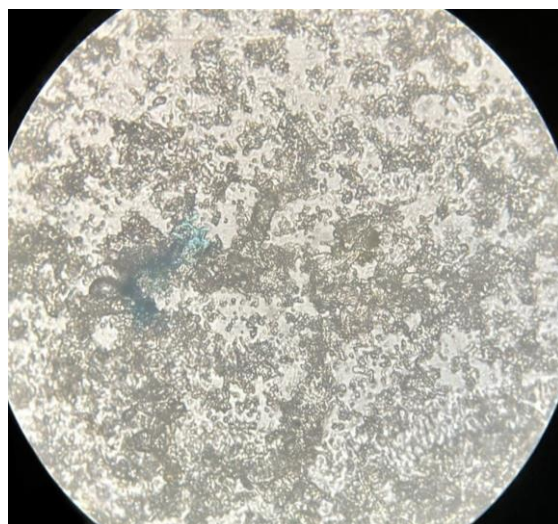


г

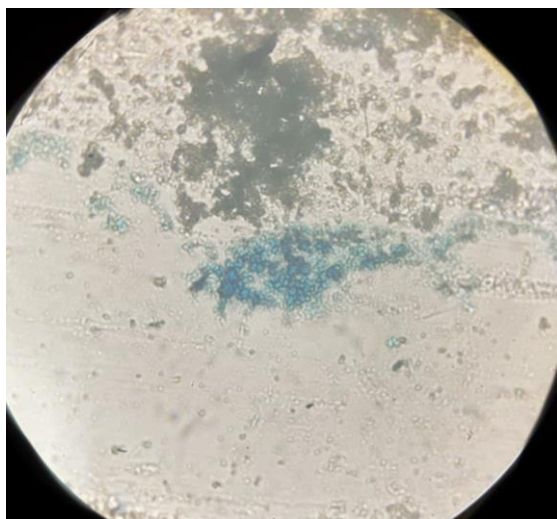
Рис. 2.9. Аналіз динаміки накопичення заліза у листках гороху за реакцією Перлса (14 доба додавання магнетиту): контроль (а), концентрація 0,05 мг/мл (б), концентрація 0,075 мг/мл (в), концентрація 0,1 мг/мл (г)



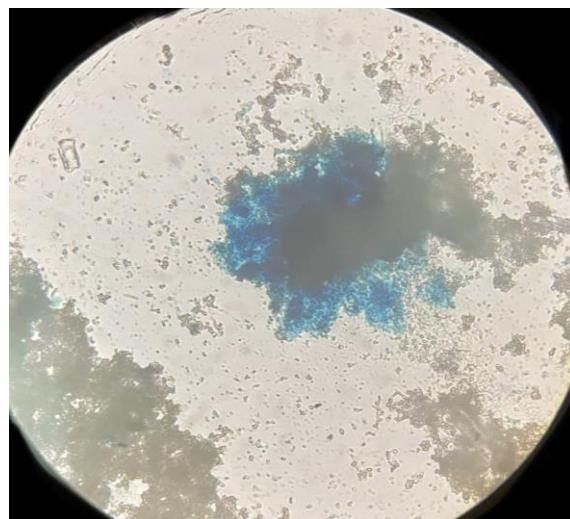
а



б

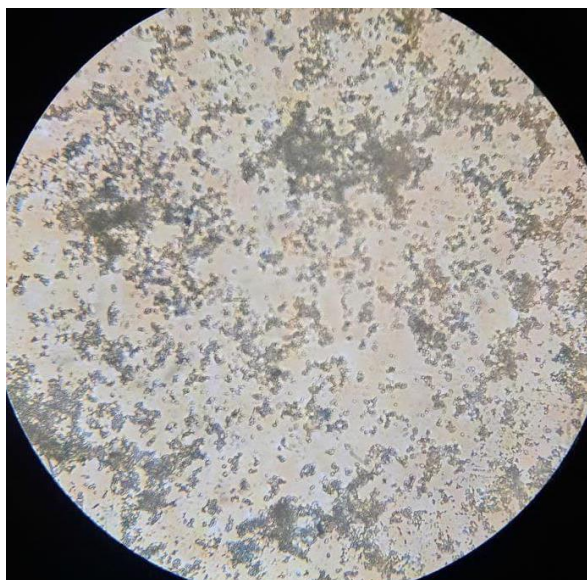


в

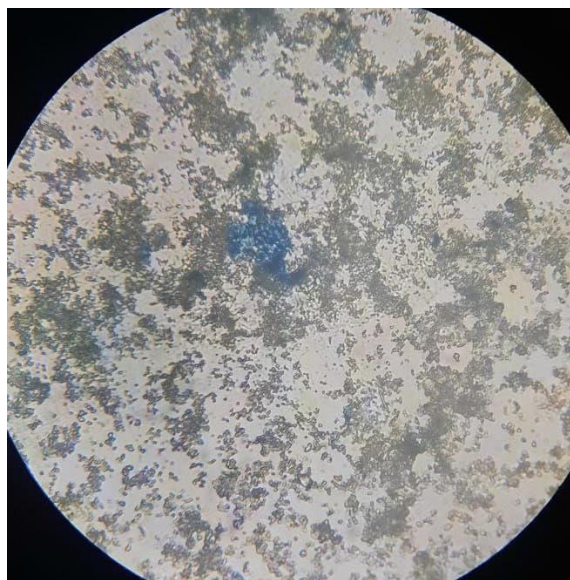


г

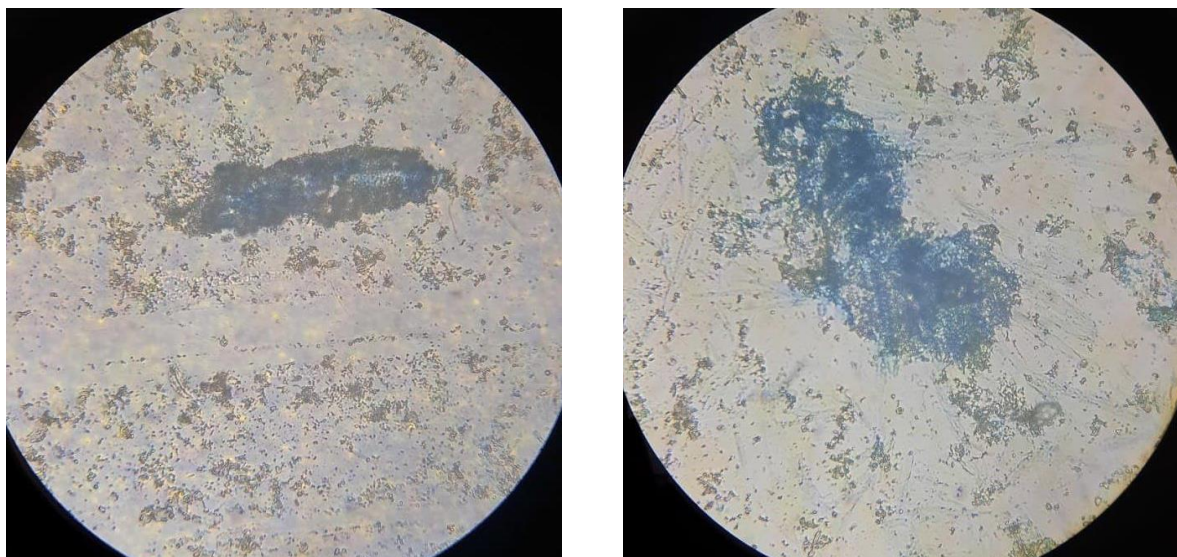
Рис. 2.10. Аналіз динаміки накопичення заліза у листках гороху за реакцією Перлса (28 доба додавання магнетиту): контроль (а), концентрація 0,05 мг/мл (б), концентрація 0,075 мг/мл (в), концентрація 0,1 мг/мл (г)



а



б



В

Г

Рис. 2.11. Аналіз динаміки накопичення заліза у листках гороху за реакцією Перлса (42 доба додавання магнетиту): контроль (а), концентрація 0,05 мг/мл (б), концентрація 0,075 мг/мл (в), концентрація 0,1 мг/мл (г)

Проведена реакція показала, що магнетит має здатність до накопичення. Сині плями вказують на накопичення іонів Fe (III) у вигляді кластерів. На рисунках 2.9 – 2.11 прослідковується динаміка накопичення магнетиту, в залежності від його концентрації та кількості днів внесення у ґрунт. Більш інтенсивне забарвлення у зразку з додаванням більшої концентрації магнетиту (0,1 мг/мл). Це свідчить про те, що чим більше додається концентрація наночастинок магнетиту, то тим більше накопичується заліза.

Також за результатами експерименту була проведена обробка результатів у програмі Python, яка визначила відсоток площі синіх плям.

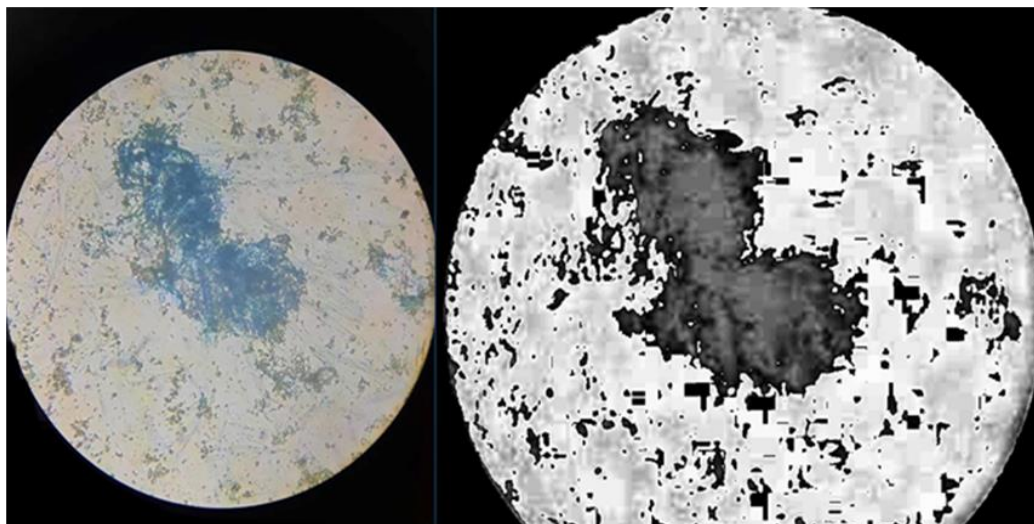


Рис. 2.12. Приклад оптичного зображення листа гороху, магнетит $c = 0,1$ мг/мл

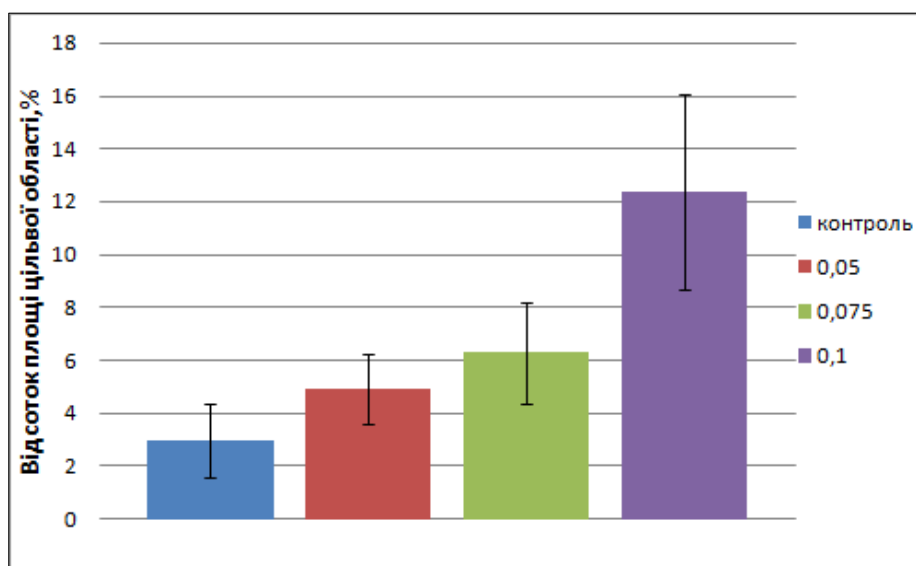


Рис. 2.13. Аналіз середнього відсотка площі цільової області

3 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

3.1. Резюме: конкретизація бізнес-ідеї, мети стартапу, об'єкту дослідження, місця розробки у інноваційному ланцюжку цінності

Бізнес ідея: нанодобриво на основі магнітних наночастинок для нейтралізації важких металів у рослинах.

Мета наукової розробки: створення ефективного нанодобрива для підкореневого підживлення рослин, з ціллю зменшення накопичення важких металів у плодових культур.

Назва розробки: «Нанодобриво Антиметал»

Суб'єкт замовлення: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського».

Об'єкт дослідження: наночастинки Fe (II, III).

Місце розробки в інноваційному ланцюжку цінності: проект знаходиться на етапі впровадження: проведено лабораторні випробування, розроблено технологію виробництва нанодобрива.

Продукт наукової розробки: нанодобриво для зменшення накопичення важких металів у рослинах овочевих культур.

Технологія: синтез магнетиту методом співосадження солей II та III валентного заліза концентрованим розчином аміаку.

Доступність сировинної бази: матеріали та реактиви закуповуються через компанії поставників хімічного обладнання та реагентів в Україні (ТОВ «ОСТХІМ»).

Кваліфікація персоналу: У технологічному процесі задіяний тільки висококваліфікований персонал (інженери, хіміки, біотехнологи).

Ринок збуту: оптові та роздрібні постачальники добрив для рослин, аграрні компанії.

Модель підприємництва: B2B.

Детальне резюме стартап-проекту наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Резюме стартап-проекту

Показник	Характеристика
1. Сутність ідеї	Розробка нанодобрива на основі наночастинок магнетиту для нейтралізації важких металів у рослинах.
2. Наявність аналогів або прототипів ідеї	Аналог – мікродобриво для внесення у ґрунт «Біомаг» виробництва ТОВ «Нагро»
3. Основна потреба, яку задовольнить реалізований стартап	Задовольняє потребу у екологічних добривах для зменшення накопичення важких металів через ґрунт
4. Ступінь розробленості технології реалізації	Завершено лабораторні випробування, розроблено технологію виготовлення нанодобрива
5. Класифікація продукту стартапу за міжнародною класифікацією товарів	010271 «Добрива»
6. КВЕД, до якого може належати дане виробництво	20.15 «Виробництво добрив і азотних сполук» 72.11 «Дослідження й експериментальні розробки в галузі біотехнологій»
7. Очікувана потужність стартапу	мале підприємство
8. За масштабом виробництва	масове
9. За рівнем спеціалізації	вузькопрофільне
10. За ресурсами, що споживатимуться	працемістке, матеріаломістке

Продовження таблиці 3.1.

11. За чисельністю персоналу	мале
12. Органи управління при реалізації стартапу	національні
13. Бажане географічне розташування - потужностей стартапу; - офісу стартапу; - збутової мережі; - постачальників комплектуючих.	1) м. Бровари, Київська обл. 2) м. Київ 3) Україна 4) Україна
14. Місце ідеї у ланцюжку цінностей інноваційного процесу	На етапі впровадження
15. Гранична корисність ідеї стартапу	Поява ефективного нанодобрива, яке не несе шкоди для навколишнього середовища.
16. Бізнес-модель стартапу	B2B
17. Конкуренти вітчизняні (ціна, на якому етапі реалізації знаходяться)	Добриво «Біомаг» виробництва ТОВ «Нагро». Ціна – 54 грн/уп (100мл). Реалізується, як ефективний засіб.
18. Конкуренти іноземні (ціна)	Нанодобриво «Ferrilene» компанії Valargo, Італія. Ціна упаковки (1 кг) – 720 грн.
19. Ключові фактори успіху стартапу	Ефективність, безпечність, екологічність.
20. Планова кількість продукту для першого етапу реалізації	93 000 од.

Продовження таблиці 3.1.

21. Мінімальна кількість виробництва за методом точки беззбитковості	170 463 од.
22. Споживачі на етапі розвитку	Українські аграрні компанії, оптові та роздрібні постачальники добрив.
23. Споживачі на етапі зрілості	Міжнародні аграрні компанії.
24. Конкурентна ціна на продукт стартапу	50 грн/од(100 мл).
25. Плановий рівень рентабельності при реалізації продукту	53,7%
26. Капіталовкладення в проект	3 270 000 грн
27. Період повернення капіталовкладень у проект	2 роки
28. Джерела фінансування	Власні та запозичені
29. Основні компоненти продукції стартапу (їх доля у готовому товарі)	Магнітні наночастинки – 20 % Олеат натрію – 10 % Аміак – 20 % Вода – 50%.
30. Потенційні постачальники складових компонентів розробки (виділити вітчизняних і закордонних, плановий обсяг замовлень)	Постачальник обладнання для лабораторій і сировини: «ОСТХІМ», Україна. Пакувальні матеріали - ТОВ «Лідерпак».

Продовження таблиці 3.1.

31. Планове місце реалізації результату розробки (місце, планова доля реалізації продукту через це місце)	Оренда приміщення для виробничого комплексу у м. Бровари, Київської області.
32. Наявність посередників при реалізації (так, ні, орієнтовні посередники, форми оплати їх діяльності)	Ні.
33. Методи просування результатів розробки на ринок	Реклама в ЗМІ; участь у виставках; організація освітньо-наукових заходів та конференцій; розміщення інформації на сайті компанії.

3.2. Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартап-проекту. Ключові фактори успіху

Середовище діяльності будь-якого підприємства можна охарактеризувати за допомогою схеми, яка зображена на рисунку 3.1.



Рис. 3.1. Зовнішнє, зовнішнє оперативне та внутрішнє середовища

У таблиці 3.2. представлено оцінку потенційних загроз і можливостей зовнішнього середовища підприємства з виготовлення нанодобрива для нейтралізації важких металів у рослинах.

Таблиця 3.2.

Аналіз загроз і можливостей зовнішнього середовища

Загрози	Можливості
Політика	
1. Зміни в законодавстві щодо вимог до рослинних добрив.	1. Перенесення виробництва за кордон і співпраця з закордонними агрономічними компаніями.
Економіка	
1. Підвищення цін на сировину; 2. Економічна криза у зв'язку з пандемією.	1. Стабільний розвиток сільськогосподарської галузі; 2. Збільшення попиту на нанодобрива.
Географія	
1. Мутація рослин, рослини стають більш стійкими до зовнішніх факторів	1. Збільшення попиту в Україні в зв'язку з підвищенням розвитку аграрної галузі.

Продовження таблиці 3.2.

Демографія	
1. Міграція населення за кордон, в пошуках високооплачуваної роботи.	1. Збільшення кількості споживачів
2. Зменшення кількості спеціалістів та науковців.	2. Висока конкуренція серед працівників підприємства.
Культура	
1. Недовіра населення до добрив на основі наночасток для нейтралізації важких металів.	1. Використання сучасних засобів донесення інформації для ознайомлення людей з новим та екологічним нанодобривом на ринку України.
Науково – технічний прогрес	
1. Винайдення нових доступних засобів конкурентами.	1. Можливість вдосконалювати технологію нанодобрива.
2. Недостатня підтримка держави в розвитку аграрної промисловості.	2. Проведення досліджень для винайдення більш ефективних та менш затратних нанодобрив.

Загрози та можливості зовнішнього середовища підприємствам наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3.

Оцінка факторів зовнішнього оперативного середовища

Переваги	Недоліки
Постачальники	
1. Наявність вітчизняних постачальників сировини і обладнання.	1. Велика ймовірність пошкодження матеріалів при транспортуванні.

Продовження таблиці 3.3.

Конкуренти	
1. Принцип дії добрив аналогів конкурентів відрізняється (не впливають на зменшення накопичення важких металів), що зменшує його необхідність.	1. Конкурент вже давно постачає екологічну продукцію по вигідній ціні і здобув довіру у споживачів.
Споживачі	
1. Наявність великої кількості точок збуту (роздрібна торгівля, оптова торгівля).	1. Недовіра споживачів до нової продукції.

За результатами аналізу факторів зовнішнього і внутрішнього оперативного середовищ було сформовано перелік зацікавлених сторін (таблиця 3.4)

Таблиця 3.4.

Аналіз зацікавлених сторін

Зацікавлена сторона	Вплив її на реалізацію проекту	Цікавість її до проекту	Загальний коефіцієнт впливу на проект
Суб'єкти зовнішнього оперативного середовища			
Конкурент	Може переманювати споживачів за рахунок реклами власних засобів, та негативного піару наших засобів	Зацікавлений у зупиненні нашого виробництва та зменшення показників продажу продукції.	0,1

Продовження таблиці 3.4.

Постачальник	Підвищення або зниження цін на собівартість продукції, встановлену постачальником	Зацікавлений у позитивному розвитку виробництва та підвищенні його доходів.	0,2
Споживачі	Купівельна спроможність споживачів впливає на об'єми продажу продукції.	Зацікавлені у високій якості, ефективності та безпечності продукції по низькій ціні.	0,2
Суб'єкти зовнішнього середовища			
Суб'єкти економічного середовища	Економічні показники, такі як курс валют, умови кредитування, купівельна здатність споживачів впливають на кількість та ефективність продажу продукції.	Зацікавлені у розвитку вітчизняного виробника нанодобрих, що надасть додаткових коштів у державний бюджет.	0,2
Суб'єкти географії	Доступність сировини та зручність її транспортування до мереж збуту буде сприяти малій собівартості виробництва.	Не є зацікавленими.	0,05

Продовження таблиці 3.4.

Суб'єкти демографії	Зменшення кількості населення внаслідок міграції за кордон та зниження народжуваності можуть призводити до нестачі висококваліфікованого персоналу на робочих місцях	Зацікавлені у зменшенні кількості важких металів у овочевих культур	0,2
Суб'єкти культурного середовища	Поширення інформації у ЗМІ може чинити позитивний і негативний вплив на обсяг продажу продукції.	Зацікавлені у появі сучасних сенсаційних технологій та методів.	0,1
Суб'єкти НТП	Підвищення якості освіти у вищих навчальних закладах та розробка нових технологій сприятиме розвитку науки.	Зацікавлені у розвитку технологій, як місця для працевлаштування спеціалістів та впровадження сучасних наукових технологій.	0,1

Також проведено аналіз внутрішнього середовища, що забезпечує визначення сильних та слабких сторін в процесі реалізації стартап-проєкту (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5.

Переваги і недоліки внутрішнього середовища

Складові внутрішнього середовища	Переваги	Недоліки
Реклама	Організація виставок та конференцій; ведення сторінок у соціальних мережах	Високі витрати для забезпечення конкурентоспроможності у порівнянні із великими компаніями по виробництву нанодобрих, також високі затрати на рекламу у соціальних мережах
Фінанси	Достатня кількість фінансових ресурсів, що забезпечується кредитами у банках.	Обмежений кількість зовнішніх інвестицій.
Виробництво	Сучасне обладнання та технологія забезпечуватиме високу потужність виробництва.	Необхідність створення виробництва «з нуля».
Персонал	Високий рівень підготовки профільних спеціалістів у сфері хімічного та аграрного виробництва.	Недостатній досвід спеціалістів у виготовленні добрив на основі магнітних наночастинок.
Організація управління	Залучення до роботи виробництва маркетингологів.	Невелика кількість адміністративного персоналу на етапі розвитку підприємства.

3.3. Визначення ключових факторів успіху проекту

Було визначено ключові фактори успіху технології. Ключові фактори успіху надано у вигляді діаграми Шонфільда (табл. 3.6, рис. 3.2). Оцінка показника якості нашого продукту (Нанодобриво «Антиметал») і продукту конкурента відбувалась за 5-ти бальною шкалою. Коефіцієнт значущості показника для замовника лежав у межах $0 \dots 1$.

Таблиця 3.6.

Оцінка характеристик продукції за методикою Шонфільда.

Характеристика	Коефіцієнт вагомості	Оцінка показника за 5-бальною шкалою	
		Нанодобриво «Антиметал»	Нанодобриво «Біомаг»
Ціна	0,2	5	5
Ефективність готового продукту	0,4	5	4
Безпечність	0,2	4	3
Екологічність	0,2	5	5

З урахуванням коефіцієнту вагомості характеристики визначили оцінку кожної характеристики для нашої продукції і продукції конкурента (табл. 3.7).

Таблиця 3.7.

Бальна оцінка характеристик за методикою Шонфільда

Характеристика	Бальна оцінка характеристик	
	Нанодобриво «Антиметал»	Добриво «Біомаг»
Ціна	$0,2 \cdot 5 = 1$	$0,2 \cdot 5 = 1$
Ефективність	$0,4 \cdot 5 = 2$	$0,4 \cdot 4 = 1,6$
Безпечність	$0,2 \cdot 4 = 0,8$	$0,2 \cdot 3 = 0,6$
Екологічність	$0,2 \cdot 5 = 1$	$0,2 \cdot 5 = 1$

На підставі отриманих бальних оцінок побудовано графік порівняння характеристик нанодобрива «Антиметал» з конкурентом (рис.3.2).

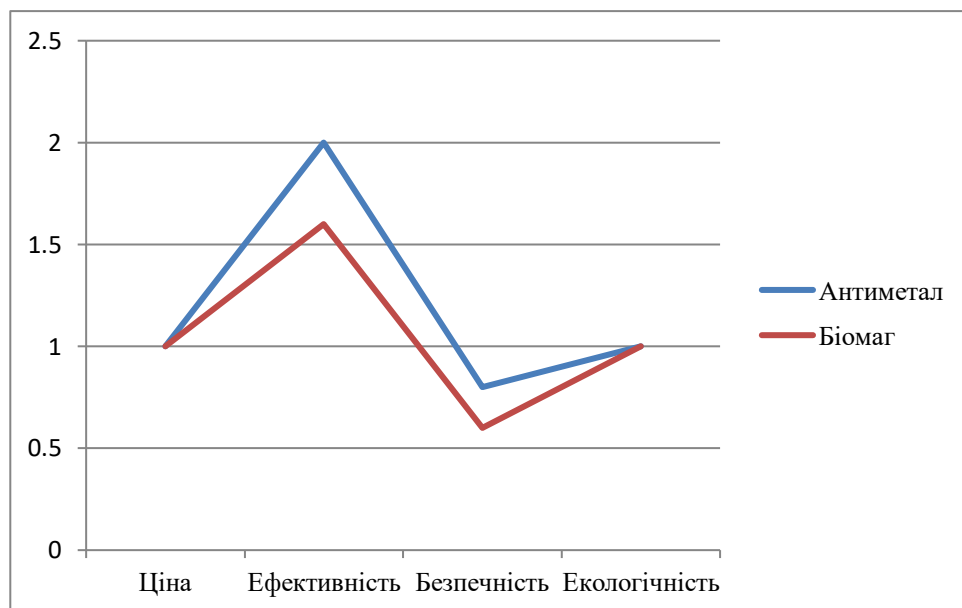


Рис. 3.2. Порівняння конкурентних переваг підприємства з конкурентом

На основі аналізу ключових факторів успіху стартап-проекту визначалися можливі варіанти розвитку інноваційної ідеї (таблиця 3.8).

Таблиця 3.8.

Варіанти розвитку ідеї стартапу

Варіант	Стислий опис можливого розвитку
Продаж технології на етапі розробки іншим компаніям	Продаж технології як більш якісної та екологічної
Впровадження у виробництво нових та сучасних технологій	Впровадження у виробництво нових технологій, які будуть ефективними, безпечними та якісними
Встановлення ціни на продукцію нижчої за ціну конкурента	Приваблення споживачів на етапі розвитку завдяки продажу якісного добрива за нижчою ціною

3.4. Визначення потенційних споживачів

Оскільки компанія проводитиме як оптову, так і роздрібну торгівлю, в якості споживачів розглядалися лише юридичні та фізичні особи (таблиця 3.9).

Таблиця 3.9.

Класифікація потенційних споживачів

Критерій	Значення
Юридична особа	
1. Форма власності	Державні та приватні
2. КВЕД	01.1 Вирощування однорічних і дворічних культур 01.61 Допоміжна діяльність у рослинництві 47.76 Роздрібна торгівля квітами, рослинами, насінням, добривами, домашніми тваринами та кормами для них.

Продовження таблиці 3.9.

3. За потужністю	малі, середні, великі
4. За масштабом виробництва	одиничні, серійні, масові
5. За рівнем спеціалізації	Вузькопрофільні, багатoproфільні
6. За ресурсами, що споживаються	Працемістки, матеріаломістки
7. За чисельністю персоналу	Малі, середні, великі
8. За сферою діяльності	Сільське господарство Оптова та роздрібна торгівля
9. За приналежністю капіталу і контролю	Національні
10. За географічним розташуванням	Україна, інші країни
11. За віддаленістю органів управління	Національні, іноземні
12. За характером господарської діяльності	Сільськогосподарські, торгові
13. За рівнем технологічної цілісності	Провідні, дочірні, філії
14. За долею іноземного капіталу	Без іноземних інвестицій, з іноземними інвестиціями
15. За формуванням статутного капіталу	Унітарні, корпоративні
16. За організацією виробничих процесів	Періодичні
17. За роботою протягом року	Позасезонні
18. За географічним розташуванням на території України	Великі міста, обласні центри

Продовження таблиці 3.9.

19. За динамікою розвитку регіону розташування юридичної особи:	У столиці, обласних центрах Від 500 тисяч осіб Приріст населення 2-3% щорічно згідно українського законодавства
— Регіон	
— Чисельність населення	
— Динаміка росту регіону	
Фізична особа	
1. Вік	25 – 100 років
2. За платоспроможністю	Платоспроможні, середній дохід
3. За соціальним рівнем споживачів	Володіють земельною ділянкою, рівень зарплати нижче середнього, середній
4. За способом життя (звички, традиції, стереотипи поведінки)	Самотні люди і подружні пари будь-якого віку. Осілий спосіб життя. Фермери та агрономи, садоводи, люди підтримуючі екологію.
5. Тип особистості споживачів	Новатори, традиціоналісти
6. За ставленням до товару	Мотивація покупки товару – отримання чистих врожаїв без накоплених важких металів, турбота про навколишнє середовище, очищення ґрунту.
7. За сімейними цінностями	Будь-який склад сім'ї
8. За інтенсивністю споживання товару	Сезонна купівля
9. За інформованістю	Самоосвіта, ЗМІ, інтернет-джерела

Огляд основних груп потенційних споживачів та їх потреб наведено у таблиці 3.10.

Таблиця 3.10.

Основні групи потенційних споживачів і їх потреби

Категорія (група) клієнтів	Потреби, які він задовольняє за допомогою нашого продукту
Аграрні компанії	Потреби у ефективному добриві і зменшенні накопичення важких металів у самій рослині
Оптові постачальники	Потреби у сучасному продукті з попитом на ринку для масштабного продажу
Фізичні особи	Потреби у недорогому, і безпечному нанодобриві для підвищення врожайності та нейтралізації важких металів у овочевих культур

Визначені відомості, щодо груп споживачів та їхніх потреб, було використано для формування паспорту потенційного клієнта (таблиця 3.11).

Таблиця 3.11.

Паспорт потенційного клієнта

Характеристика	Значення
Організаційно-правова форма	Товариство з обмеженою відповідальністю (ТОВ)
Чисельність персоналу	15 – 50 осіб
Розташування	Місто, село
Вид продукту, який потрібен даному споживачеві	Нанодобриво для очищення рослин від важких металів
Призначення придбаного товару	Використання за призначенням

Продовження таблиці 3.11.

Кваліфікація персоналу підприємства	Кваліфікований (робочі, службовці), та висококваліфікований (керівники, інженери) персонал
Потенційний обсяг споживання продукції	до 10 000 од./ місяць
Хто приймає рішення про придбання розробки	Начальник відділу організації та забезпечення закупівель.

Проведено планування обсягу реалізації продукції у початковому періоді – на перший рік виробництва (таблиця 3.12). При цьому враховується потенційне збільшення попиту у сезон вирощування рослин (з березня по вересень включно).

Таблиця 3.12.

Запланований обсяг реалізації стартап-продукту за перший рік виробництва.

Період	Запланований обсяг, од.
Січень 2022	2000
Лютий 2022	6000
Березень 2022	10 000
Квітень 2022	10 000
Травень 2022	10 000
Червень 2022	9000
Липень 2022	10 000
Серпень 2022	9000
Вересень 2022	8000
Жовтень 2022	7000
Листопад 2022	6000
Грудень 2022	4000
Всього:	93 000

3.5. Ціна інноваційної пропозиції на ринку

Визначення потенційного споживача і його особливостей при прийнятті рішення про придбання стартап-продукту дозволило визначити проектну ціну пропозиції для технології (таблиця 3.13).

Таблиця 3.13.

Проектні ціни продажу технології

Найменування товару	Планові обсяги продажу		Аналоги, прототипи	
	Кількість, од.	Ціна, грн/од.	Кількість, од.	Ціна, грн/од.
Нанодобриво «Антиметал»	93 000	50	500 000	54

Для розрахунків ціноутворення розглядається 4 методи: агрегатний, витратний, метод беззбитковості та конкурентний метод.

Розглянемо витратний метод. Ціна розраховується, виходячи із суми постійних і змінних витрат на одиницю продукціїй запланованого прибутку з урахуванням нижньої межі ціни.

$$Ц = С + П,$$

де Ц – ціна одиниці товару, грн;

С – собівартість одиниці товару, грн;

П – величина прибутку, яку бажає отримати підприємство від реалізації одиниці товару, грн.

Також розглянемо агрегатний метод ціноутворення. За даним методом ціна розраховується за формулою:

$$Ц = ЦЕ_1 + ЦЕ_2 + \dots + ЦЕ_n$$

За перший елемент візьмемо витратні матеріали для нашого добрива, за другий елемент – вартість основних фондів на одиницю продукції, за третій елемент – змінні витрати, що стосуються людського ресурсу.

Отже, отримуємо наступні розрахунки:

$$Ц = 16 + 0,5 + 32,9 = 49,4 \frac{\text{грн}}{\text{од.}}$$

За методом беззбиткового ціноутворення ціна на нашу продукцію буде дорівнювати повній собівартості товару, що в нашому випадку дорівнює 32,53 грн.

Якщо брати до уваги конкурентний підхід до ціноутворення, тоді слід звернутись до показників з табл. 3.7. З неї ми бачимо, що загальна кількість балів нашого підприємства буде дорівнювати 4,8, а конкурентного підприємства – 4,2. Розрахуємо ціну за формулою:

$$Ц = \frac{\Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{к}}} \times Ц_{\text{к}}$$

Розрахунки за наведеною формулою матимуть такий вигляд:

$$Ц = \frac{4,8}{4,2} \times 54 = 61,7 \frac{\text{грн}}{\text{од.}}$$

3.5.1. Основні фонди підприємства

До основних фондів підприємства належать будівлі та споруди, обладнання, транспорт, виробничий та господарський нематеріальні активи.

Вартість основних фондів приведена в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14.

Вартість основних фондів

№	Найменування	Кількість, шт	Вартість, грн	Норма амортизації, %	Амортизаційні відрахування, грн
1	Приміщення	1	120 000	10	12 000

Продовження таблиці 3.14.

2	Реактор - змішувач, 30 л	1	30 000	20	6000
3	Випаровувач	1	20 000	20	4 000
4	Магнітна мішалка	1	2000	20	400
5	Центрифуга	1	100 000	20	20 000
4	Аквадистилятор	1	10 000	20	2000
6	Фасувально – пакувальна установка	1	10 000	20	2000
	Загальна вартість		292 000		46 400

Очікуваний термін корисного використання біотехнологічного обладнання – 5 років.

Річна норма амортизації = $100 \% : 5 \text{ р.} = 20 \%$

Щоквартальна норма амортизації = $20 \% : 4 = 5\%$

3.5.2. Оборотні фонди підприємства

Таблиця 3.15.

Забезпеченість проекту оборотними засобами

Група ОбФ	Назва	Норма витрат на рік	Ціна, грн/од	Ціна, грн/рік
Сировина і матеріали	$\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	558 кг	4.10 грн/кг	2287
	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1116 кг	80 грн/кг	89 280
	Розчин аміаку	6975 л	14 грн/л	97 650
	Олеат натрію	349 кг	80 грн/кг	27 920

Продовження таблиці 3.15.

Паливо, електроенергія	Паливо	500 л	30 грн/л	15 000
	Електроенергія (освітлення та електро-облад- нання)	100 000 кВт	2,83 грн/кВт · год	283 000
	Водопостачання	150 м ³	25,4 грн	3810
Пакування	Упаковка	93 000	5 грн	285 000
Охорона	Договір охорони	-	1 200 грн/міс	14 400
Реклама	-	-	5 000 грн/міс	60 000
Оренда	Договір оренди приміщення		20 000 грн/міс	240 000
ФОП	Трудові ресурси	-	-	2 004 000
Всього				2 978 000

Таблиця 3.16.

Забезпеченість проекту трудовими ресурсами

Категорія кадрів	Назва посади	Чисель- ність за списком на посаді	Кваліфікаційні вимоги	Плановий рівень заробітної плати	
				За місяць	За рік
Робочі основні	Апаратник змішування	1	Середня профільна освіта	15 000	180 000
Робочі допоміжні	Вантажник, водій	1	Середня освіта	12 000	144 000
	Прибираль- ник	1	Середня освіта	12 000	144 000

Продовження таблиці 3.16.

Спеціалісти	Економіст	1	Вища освіта	16 000	192 000
	Маркетолог	1	Вища освіта	16 000	192 000
	Інженер з контролю якості	1	Вища освіта	18 000	216 000
Молодший науковий персонал	Хімік-лаборант	1	Середня спеціальна освіта	18 000	216 000
Старший науковий персонал	Мікробіолог	1	Вища освіта	18 000	216 000
Керівники	Директор	1	Вища освіта	22 000	264 000
	Головний технолог	1	Вища освіта	20 000	240 000
Всього				167 00	2 004 000

3.5.3. Розрахунок капіталовкладень і собівартості виробництва

Капіталовкладення становлять: $K = OF + Об.З.$;

$$K = 292\,000 + 2\,978\,000 = 3\,270\,000 \text{ (грн/рік)}.$$

Визначимо собівартість виробництва:

$$C = A + Об.З = 46\,400 + 2\,978\,000 = 3\,025\,000 \text{ (грн/рік)}$$

Продукція випускається у пластикових флаконах 100 мл, плановий випуск продукції 93 000 од/рік.

Собівартість на одиницю продукції:

$$C/B = 3\,025\,000/93\,000 = 32,53 \text{ (грн/од)}.$$

В таблиці 3.17 приведено обґрунтування собівартості товару

Таблиця 3.17.

Обґрунтування собівартості товару, грн.

Статті витрат	Витрати (грн.)	
	на одиницю	на рік
Амортизаційні витрати	0,5	46 400
Оборотні засоби	32,03	2 978 000
Собівартість	32,53	3 025 000

Приблизна ціна одиниці продукції становить 50 грн/од.

$$\text{Прибуток: } \Pi = Ц - С.$$

$$\Pi = 50 \times 93\,000 - 3\,025\,000 = 1\,625\,000 \text{ (грн/рік);}$$

Прибуток на одиницю продукції = $1\,625\,000 / 93\,000 = 17,47$ (грн/од).

Отже, за витратним методом прогнозована ціна продукту становитиме:

$$Ц = С + \Pi = 32,53 + 17,47 = 50 \text{ грн/од.}$$

Рентабельність:

$$P = \Pi / C \times 100\%;$$

$$P = 1\,625\,000 / 3\,025\,000 \times 100\% = 53,72 \, \%.$$

Період повернення капіталовкладень:

$$T_{нов} = K / \Pi;$$

$$T_{нов} = 3\,270\,000 / 1\,625\,000 = 2 \text{ (роки).}$$

Фондовіддача виробничих фондів:

$$\Phi B = (Ц \times B) / OF;$$

$$\Phi B = (50 \times 93\,000) / 292\,000 = 16 \text{ (грн/грн).}$$

Фондоємність:

$$\Phi C = 1 / \Phi B;$$

$$\Phi C = 1 / 16 = 0,0625 \text{ (грн/грн).}$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = \Pi / K;$$

$$E = 1\,625\,000 / 3\,270\,000 = 0.49 \text{ грн/грн.}$$

Для перевірки достатності обсягу випуску продукції для формування ефективного прибутку використано метод точки беззбитковості:

$$Q = FC / (P - AVC)$$

$$Q = 2\,978\,000 / (50 - 32,53) = 170\,463 \text{ од.}$$

Розрахунки показують, що точка беззбитковості досягається після випуску 170 463 од. продукції. Оскільки на рік планований випуск продукції – 93 000 на рік, слід вважати, що точка беззбитковості досягається після, 2 років виробництва. Заключний етап оцінки вартісних показників стартап-проекту заключався в аналізі його за техніко-економічними показниками (таблиця 3.18).

Таблиця 3.18.

Техніко-економічні показники проекту

Показники	Одиниця виміру	Значення
1. Річний обсяг реалізації ідеї, технології, методики	одиниці	93 000
2. Середньорічна чисельність персоналу за списком	осіб	10
3. у тому числі		
- основних	осіб	4
- інженерно-технічного персоналу		6
4. Середньорічний виробіток робітника	од/особу	16 700
5. Капіталовкладення у проект:		
всього	грн. грн/од	3 270 000
на одиницю продукції		35,17
6. Повна собівартість		
всього	грн. грн/од	3 025 000
на одиницю продукції		32,53
7. Відносний прибуток		
всього	грн. грн/од	1 625 000
на одиницю продукції		17,47
8. Рентабельність	%	53,72

Продовження таблиці 3.18.

9. Період повернення капіталовкладень	років	2
10. Фондовіддача виробничих фондів	грн/грн	16
11. Фондоємкість	грн/грн	0,0625
12. Коефіцієнт економічної ефективності		0,49

3.6. Концепція бізнес-моделі проекту та карта бізнес-процесів реалізації проекту

Таблиця 3.19.

Карта бізнес-процесів виконання стартап-проекту

Стадія реалізації стартап-проекту	Бізнес-процеси	Характеристики		
		Задіяні ресурси	Орієнтовна тривалість процесу, год	Верхня межа фінансових витрат, грн
Розробка ідеї стартапу	Створення ідеї	Людські, фінансові	20	-
	Формування команди		120	-
	Аналіз ринку		48	10 000
	Проектування виробництва		160	30 000
	Створення прототипу		110	30 000
	Розробка бізнес-плану		120	10 000

Продовження таблиці 3.19.

Реалізація ідеї стартапу	Реєстрація суб'єкта господарчої діяльності	Людські, фінансові	60	3 000
	Реєстрація торгової марки		60	1 000
	Отримання дозволу на побудову виробництва		120	2000
	Укладення договору з банком		20	1000
	Укладення договору про намір з мережею збуту		30	3000
Впровадження у виробництво	Запуск договорів	Людські, фінансові, матеріальні	35	1 000
	Проведення ремонтних робіт та технічного оснащення		500	12 000
	Проведення рекламної кампанії		90	450 000

Продовження таблиці 3.19.

	Проведення налаштувальних робіт		60	40 000
	Сертифікація продукції та виробництва		90	5 000
Масова реалізація	Проведення рекламної кампанії	Людські, фінансові	300	200 000
	Підготовка документації для участі у тендерних закупівлях		90	3000
Всього:			2063	802 000

На основі карти бізнес-процесів виконання стартап-проекту, був проведений розподіл функцій між відповідальними за їх реалізацію працівниками (таблиця 3.20).

Таблиця 3.20.

Системний аналіз бізнес-процесів стартапу

Функції	Елементи			
	Розробник	Провідні спеціалісти	Виробничий персонал	Спеціаліст з контролю якості
Розробка ідеї	+	-	-	-

Продовження таблиці 3.20.

Формування команди	+	+	-	-
Аналіз ринку	+	+	-	-
Проектування виробництва	+	+	-	-
Розробка бізнес-плану	+	-	-	-
Реєстрація суб'єкта господарчої діяльності	+	-	-	-
Реєстрація торгової марки	+	-	-	-
Отримання дозволу на побудову виробництва	-	+	-	-
Укладення договору з банком	-	+	-	-
Укладення договору з мережею збуту	+	+	-	-

Продовження таблиці 3.20.

Укладення договору з постачальниками сировини та обладнання	-	+	-	-
Запуск договорів	+	+	-	-
Проведення ремонтних робіт та технічного оснащення	-	-	+	-
Проведення налаштувальних робіт	-	-	+	+
Виготовлення першої партії продукції	-	-	+	+
Сертифікація продукції та виробництва	-	+	-	+
Проведення рекламної кампанії	-	+	-	-
Підготовка документації для тендерних закупівель	-	+	-	+

3.7. Ризики стартап – проекту та методи управління ними

Сформовано перелік зовнішніх і внутрішніх ризиків, що можуть

загрожувати підприємству.

Результати системного аналізу ризиків бізнес-процесу наведено у таблиці 3.21.

Таблиця 3.21.

Ризики інноваційної розробки

Назва процесу / стадії реалізації стартап проекту	Бізнес-процеси	Зовнішні ризики	Внутрішні ризики
Розробка ідеї стартапу	Розробка бізнес-плану	-	Невірне планування ідеї
	Формування команди	Нестача спеціалістів	Імовірність взяти непрофесійний персонал
Реалізація ідеї	Отримання дозволу на побудову виробництва	-	Відмова у дозволі на побудову
	Заклучення договору з банком	Несприятлива економічна ситуація в країні, що веде до зниження фінансування підприємств	Складення договору на не вигідних умовах
	Заклучення договору з поставниками сировини та обладнання	Подорожчання сировини, матеріалів та обладнання	Нестача коштів на покупку якісного обладнання

Продовження таблиці 3.21.

Впровадження у виробництво	Проведення ремонтних робіт та технічного оснащення	Підвищення цін на матеріали і роботу ремонту	Не професійне виконання ремонтних робіт
	Виготовлення першої партії продукції	-	Збої у роботі обладнання, людський фактор
Масова реалізація	Проведення рекламної компанії	Перешкоди від конкурентів	Не якісне рекламування продукції

Для кожного з ризиків оцінювалася імовірність настання та вплив на очікуваний результат (таблиця 3.22).

Таблиця 3.22.

Ризики інноваційної розробки та ймовірність їх настання

Види ризиків	Назва ризику	Ймовірність настання	Вплив на очікуваний результат
Зовнішні ризики			
Демографічний ризик	Нестача спеціалістів внаслідок міграції	Середня	Високий
Політико-законодавчий ризик	Відмова у дозволі на будівництво	Низька	Високий
Макроекономічний ризик	Несприятлива обстановка в країні, що веде до зниження фінансування підприємств	Висока	Високий

Продовження таблиці 3.22.

	Підвищення цін на матеріали і роботу по ремонту	Середня	Середня
	Підвищення цін на ремонтні роботи	Середня	Високий
Внутрішні ризики			
Управлінський ризик	Невірне планування процесів	Низька	Високий
	Призначення на посади непрофесійного персоналу	Низька	Середній
Ризик зниження фінансових показників	Укладення договору на не вигідних умовах	Низька	Високий
Організаційний ризик	Нестача коштів на купівлю якісного обладнання	Низька	Високий
Техніко-технологічний ризик	Неякісне виконання ремонтних робіт	Низька	Середній
	Збої у роботі обладнання	Середня	Середній
Ризик зниження фінансових показників	Не якісне рекламування продукції	Середня	Середній

Результати оцінювання всіх ризиків за критеріями настання та впливом на очікуваний результат наведено у матриці оцінки ризиків (таблиця 3.23).

Таблиця 3.23.

Матриця оцінки ризиків

Вплив ризиків на очікуваний результат	За ймовірністю настання ризиків			
Критерій ризику		Низька ймовірність	Середня ймовірність	Висока ймовірність
	Числове значення	1	2	3
Високий рівень впливу	3	Відмова у дозволі на будівництво Невірне планування процесів Укладення договору на не вигідних умовах Нестача коштів на купівлю якісного обладнання	Нестача спеціалістів внаслідок міграції Підвищення цін на ремонтні роботи	Несприятлива обстановка в країні, що веде до зниження фінансування підприємств
Середній рівень впливу	2	Призначення на посади непрофесійного персоналу Неякісне виконання ремонтних робіт	Підвищення цін на матеріали і роботу по ремонту Збої у роботі обладнання Не якісне рекламування продукції	

Продовження таблиці 3.23.

Низький рівень впливу	1			
-----------------------------	---	--	--	--

Для усіх визначених ризиків розроблено план з управління ними (таблиця 3.24).

Таблиця 3.24.

План заходів з управління ризиками

Назва ризику	Назва методу управління ризиком	Відповідач Виконавці	Період виконання / застосування методу	Очікувані результати відвпровадження методів управління
Нестача спеціалістів внаслідок міграції	Прийняття ризику	Директор	На усіх стадіях	Пошук персоналу, створення сприятливих умов праці
Відмова у дозволі на будівництво	Попередження ризику	Директор	Стадія реалізації ідеї стартапу	Стеження за правовими змінами
Несприятлива обстановка в країні, що веде до зниження фінансування підприємств	Прийняття ризику	Економіст	Стадія реалізації ідеї стартапу	Самостраховування

Продовження таблиці 3.24.

Подорож- чання сировини та обладнання	Прийняття ризиків	Економіст	Стадії впро- вадження у виробництво та масової реалізації	Покриття збитку з наявних доходів
Підвищення цін на ремонтні роботи	Прийняття ризиків	Економіст	Стадія впро- вадження у виробництво	Пошук інвестицій для відновлення виробництва
Невірне планування бізнес- процесів	Попере- дження ризиків	Директор	На усіх стадіях	Спостереження за економічним середовищем, залучення спеціалістів
Призначення на посади не- професійного персоналу	Попере- дження ри- зику	Директор	На усіх стадіях	Детальне вивчення резюме, постійне тестування знань та навичок персоналу
Заклучення договору з банком на невигідних умовах	Ухилення з від ризику	Економіст	Стадія реалізації ідеї стартапу	Відмова від розгляду ризикованих рішень

Продовження таблиці 3.24.

Нестача фінансових коштів на придбання якісного обладнання	Прийняття ризику	Економіст	Стадія реалізації ідеї стартапу	Самострахування
Неякісне виконання ремонтних робіт	Ухилення від ризику	Спеціаліст з якості	Стадія впровадження у виробництво	Відмова від ненадійних робітників та постачальників
Збої у роботі обладнання	Передача ризику	Інженер апаратного обслуговування	Стадії впровадження у виробництво та масової реалізації	Отримання гарантій на роботу обладнання від виробника
Неефективне рекламування продукції	Передача ризику	Маркетолог	Стадія масової реалізації	Відмова від не якісної та не інформативної реклами

ВИСНОВКИ

1. Магнетит з концентрацією 0,1 мг/мл позитивно вплинув на вирощування гороху, кількість додаткових коренів збільшилась на 239% та маса коренів на 45% , в порівнянні з контролем.

2. З двох режимів внесення наночастинок магнетиту при вирощуванні рослин гороху посівного, а саме внесення в 1-ий день після сходження рослини та через 14 днів – на другому етапі органогенезу, другий режим є більш оптимальним тому що збільшується кількість додаткових коренів на 73% в порівнянні з першим режимом.

3. Рівень накопичення наночастинок магнетиту збільшується при збільшенні концентрації магнетиту, внесених в ґрунт, як видно з якісного аналізу на основі реакції Перлса, проведеної на листках рослин гороху.

4. За морфологічними показниками встановлено, що магнетит має здатність до захисту рослин від токсичності металів, тому що при додаванні у ґрунт концентрації магнетиту 0,1 мг/мл і 0,3 мг/мл та 1мМ CdCl_2 , довжина кореня збільшилася на 21% та 31% відповідно, кількість листя на 100% та 166%, вага зеленої біомаси на 128% та 223%, вага кореня на 38% та 93% в порівнянні з контролем, який вирощували без додавання у ґрунт магнетиту та з додаванням 1мМ CdCl_2 відповідно. Розраховано, що при додаванні у ґрунт концентрації магнетиту 0,1 мг/мл (7 мг Fe_3O_4 за весь час внесення), наночастинки магнетиту можуть сорбувати відповідно до їх сорбційної ємності максимум 3-4% (0,24-0,36 мг) внесеної солі кадмію CdCl_2 , а при 0,3 мг/мл (21 мг Fe_3O_4 за весь час внесення) – 4-5% (0,72-1,08 мг). Тому сорбційна здатність не є визначальним механізмом наночастинок магнетиту до підвищення толерантності рослин відносно важких металів.

5. Розроблено стартап-проект, по виробництву нанодобрива, для нейтралізації важких металів у рослинах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горобец О.Ю. Биомagnetизм и биогенные магнитные наночастицы / Вестник НАН Украины. 2015. № 7. 53-64 с.
2. Бердніков О.М., Волкогон В.В., Потапенко Л.В. Науково-методичні рекомендації з ефективного використання сидератів у сучасному землеробстві. Чернігів: ЦНТІ, 2012. 25 с.
3. Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений. М.: Высшая школа, 2005. 736 с
4. Лихочвор В.О. Особливості вирощування гороху / Пропозиція. 2004. 34 – 35 с.
5. Манченко Е.А., Елисеева Л.М., Галкин М.А. Морфолого-анатомаические диагностические признаки гороха посевного *Pisum sativum*. 2008. 22-23 с.
6. Гонтова Т. М., Руденко В. П., Сіра Л. М. Анатомо-морфологічна будова вегетативних органів рослини: метод. вказівки до лабораторної і позааудиторної роботи .2015.43 с.
7. Баранов Д. А., Губин С. П. Магнитные наночастицы: достижения и проблемы химического синтеза. //Росс. Хим. Журнал 2009, №6, с. 23–31.
8. Горбик П.П. Нанокompозити з функціями медико-біологічних нанороботів: синтез, властивості, застосування // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – Т. 11, № 2. – 2013. 323-436 с.
9. Ghafariyan, M. H., Malakouti, M. J., Dadpour, M. R., Stroeve, P. & Mahmoudi, M. Effects of magnetic nanoparticles on soybean chlorophyll. *Env Sci Technol* , 2013. 44-48 p.
10. Zhu, H., Han, J., Xiao, J. Q. & Jin, Y. Uptake, translocation, and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. *J Env Monitoring* 10, 2008. 713–717 p.

11. Mahdavi M., Namvar F., Ahmad M. B., Green biosynthesis and characterization of magnetic iron oxide (Fe_3O_4) nanoparticles using Rocket (*Eruca sativa*) aqueous extract,” *Molecules*, vol. 18, no. 5, 2013.
12. Kornarzyński K., Sujak A., Czernel G.. Effect of Fe_3O_4 nanoparticles on germination of seeds and concentration of elements in *Helianthus annuus* L. under constant magnetic field. *J Env Monitoring* 10, 2020. 13–17 p.
13. Gupta M., Chandra P. Oxidative stress induced by iron in *Hydrilla verticillata* (l.f.) Royle: response of antioxidants. *Env Sci Technol* , 2018.13–17 p.
14. Shahram T., Morteza Z., Effects of magnetic nanoparticles (Fe_3O_4) as Nutritive Supplement on Pear Saplings//*Journal of Plant Nutrition* 40(5):2015.12-14 p.
15. Nel A. Toxic potential of materialsat the nanolevel // *Science*. 2006. – 311 (5). 622–627 p.
16. Серегин И. В., Иванов В. Б. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // *Физиология растений* Т. 48, № 4. 2001. 606–630 с.
17. Башмаков Д. И., Лукаткин А. С. Эколого-физиологические аспекты аккумуляции и распределения тяжелых металлов у высших растений., 2009. 236 с
18. Титов А. Ф., Таланова В. В., Казнина Н. М., Лайдинен Г. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. /Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 172 с.
19. Линдиман А.В., Шведова Л.В., Тукумова Н.В., Невский А.В. Фиторемедиация почв, содержащих тяжёлые металлы // *Экология и промышленность*. 2008. № 9. 45–47 с.
20. Hung-Yu L., Shaw-Wei S., Horng-Yuh G., Phytoremediation and the uptake characteristics of different rice varieties growing in Cd of As-contaminated soils in Taiwan // *Soil Science and Plant Nutrition*. 2010. V. 56. Issue 1. 31–52 p.

21. Glick, B. R. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment / B. R. Glick // *Biotechnology Advances*. 2010. – Vol. 21. – N 5. – P. 383-393.
22. Kramer, U. Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils // *Current Opinion in Biotechnology*. – 2008. – Vol. 16. – N 2. – P. 133-141.
23. Pilon-Smits, E. Phytoremediation of Metals Using Transgenic Plants // *Critical Reviews in Plant Sciences*. – 2014. – Vol. 21. – N 5. – P. 439-456.
24. Ciura J., Poniedzialek M., Sekara A., Jedrszczyk E. The possibility of using crops as metal phytoremediants // *Pol. J. Environ. Stud*. 2005. V. 14. № 1. P. 17–22
25. Zhao F., Wang J., Barker J. The role of phytochelatins in arsenic tolerance in the hyperaccumulator *Pteris vittata*. 2003.403-410 p.
26. Suresh B., Ravishankar G. Phytoremediation - A novel and promising approach for environmental clean-up//*Crit Biotech* 2004. 97-124 p.
27. Ruiz O.N., Hussein H.S., Terry N., Daniell H. Phytoremediation of organomercurial compounds via chloroplast genetic engineering. *Plant Physiol* 2003.1344-1352 p.
28. Kuzovkina Y.A., Knee M., Quigley M.F. Cadmium and copper uptake and translocation in five willow (*Salix L.*) species.// *Int J Phytoremediation* 6:2004.269-287 p.
29. Wu J., Hsu F., Cunningham S Chelate-assisted Pb phytoextraction: Pb availability, uptake, and translocation constraints.// *Environ Sci Tech*. 2006. 1898-1904 p.
30. Robinson B, Fernandez J, Madejon P, Maranon T, Murillo JM, Green S, Clothier B (2003) Phytoextraction: an assessment of biogeochemical and economic viability. *Plant Soil* 249:117-125
31. Huagang H., Tingqiang L., Zhenli H., Heavy metal phytoextraction by *Sedum alfredii* is affected by continual clipping and phosphorus fertilizati/ *Journal of Environmental Sciences* 2012, 376–386 p.

32. Celebi, O., Uzumb, C., Shahwan, T. & Erten, H. N. A radiotracer study of the adsorption behavior of aqueous Ba^{2+} ions on nanoparticles of zero-valent iron. *Journal of Hazardous Materials*.2007, 761–767.
33. Boparai, H. K., Joseph, M. & O'Carroll, D. M. Kinetics and thermodynamics of cadmium ion removal by adsorption onto nano zerovalent iron particles. *Journal of Hazardous Materials*. 2011,pp. 458–465.
34. Shen, W., Mu, Y., Xiao, T. & Ai, Z. Magnetic Fe_3O_4 -FeB nanocomposites with promoted Cr(VI) removal performance. *Chem Eng J* .2016., pp..57–68.
35. Ramandi, N. F. & Shemirani, F. Selective ionic liquid ferrofluid based dispersive-solid phase extraction for simultaneous preconcentration/separation of lead and cadmium in milk and biological samples. *Talanta*. 2015., pp..404–411.
36. Li, X. & Zhang, W. Iron Nanoparticles: the Core–Shell Structure and Unique Properties for Ni(II) Sequestration. *Langmuir* .2006, pp..22.
37. Ge, F., Li, M.-M., Ye, H. & Zhao, B.-X. Effective removal of heavy metal ions Cd^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} from aqueous solution by polymer-modified magnetic nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials* 2012,pp. 211–212.
38. Liu, J. F., Zao, Z. S. & Jang, G. B. Coating Fe_3O_4 Magnetic Nanoparticles with Humic Acid for High Efficient Removal of Heavy Metals in Water. *Environ. Sci. Technol*. 2008. pp..42.
39. Baragaño, D.; Alonso, J.; Gallego, J.R.; Lobo, M.C.; Gil-Díaz, M. Magnetite nanoparticles for the remediation of soils co-contaminated with As and PAHs. *Chem. Eng. J*. 2020.
40. Konate A., Magnetic (Fe_3O_4) Nanoparticles Reduce Heavy Metals Uptake and Mitigate Their Toxicity in Wheat Seedling, *Environ. Sci. Technol*. 2017. pp..211–212.
41. El-Dib, F. I., Mohamed, D. E., El-Shamy, O. Study the adsorption properties of magnetite nanoparticles in the presence of different synthesized surfactants for heavy metal ions removal. *Egyptian Journal of Petroleum*. 2020., No. 1. C. 1–7.

42. Горобець С.В. Біосепарація. Методичні вказівки до проведення лабораторних робіт для студентів / С.В. Горобець, Л.В. Маринченко, І.В. Дем'яненко, Ю.В. Карпенко, 2014. – 99 с
43. Roschztardt, H., Conéjéro, G., Curie, C., and Mari, S.. Identification of the endodermal vacuole as the iron storage compartment in the *Arabidopsis* embryo. *Plant Phisiol.* – 2009.– pp.109.
44. Juan J. , Sandra Carrasco-Gil, Javier A. Using Perls Staining to Trace the Iron Uptake Pathway in Leaves of a *Prunus* Rootstock Treated with Iron Foliar Fertilizers/ *Front. Plant Sci.*, 2016.
45. Gorobets S. Biogenic magnetic nanoparticles in plants / S. Gorobets, O. Gorobets, A. Magerman et al.// arXiv:1901.07212.
46. Сащенко, М.Н. Возрастные изменения растений гороха в онтогенезе / М.Н. Сащенко, О.А. Подвигина // *Зернобобовые и крупяные культуры*– 2014.– No 2(10).– С. 17-26.
47. Ludwig-Müller, J. Auxin conjugates: their role for plant development and in the evolution of land plants. *Journal of Experimental Botany*, 62(6), 2011. 1757–1773.

