

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

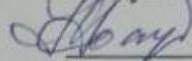
Факультет біотехнології і біотехніки

Кафедра біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології

«На правах рукопису»
УДК 58.084.1: 633.112.1

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

 Наталія ГОЛУБ

«15» травня 2023 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

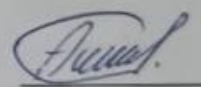
за освітньо-науковою програмою «Біотехнології»

зі спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

на тему: «Вплив магнітного поля та наночастинок Fe_3O_4 на пророщування
зернових культур»

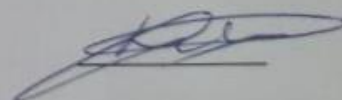
Виконав:

студент 2 курсу, групи БМ-01 мнв
Гудзовський Артем Олександрович



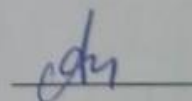
Науковий керівник:

Асистент каф. біоенергетики,
біоінформатики та екобіотехнології, к.т.н.
Дем'яненко Ірина Володимирівна



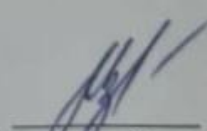
Консультант з розділу: економічна частина

Доц. каф. економіки і підприємництва, к.е.н., доц.
Погребняк Анна Юріївна



Рецензент:

заступник декана ФБМІ, доктор філософії,
доцент кафедри трансляційної медичної біоінженерії
Мотроненко Валентина Василівна



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

Студент 

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-наукова програма «Біотехнології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 Наталія ГОЛУБ

«___» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема дисертації «Вплив магнітного поля та наночастинок Fe_3O_4 на пророщування зернових культур», керівник роботи Дем'яненко Ірина Володимирівна кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від «09» 05 2023 р. № 1710-с

2. Термін подання студентом дисертації 18 травня 2023р

3. Об'єкт дослідження – протеоми *Triticum aestivum* L., *Zea mays*, *Hordeum vulgare* L., *Helianthus annuus* L., *Glycine max* L., *Solanum tuberosum*, *Brassica napus*, *Brassica oleracea*, *S. lycopersicum*, та амінокислотні послідовності білків магнітосомного острівця магнітотаксисної бактерії *M. gryphiswaldense* MSR-1; насіння пшениці твердої *Triticum durum* Харківська 36, кукурудзи звичайної *Zea mays* L. Надія та жита посівного *Secale cereale* L. Соняшник; рослини пшениці твердої *Triticum durum*; наномагнетит Fe_3O_4 ; постійне магнітне поле індукцією 30 мТл.

4. Вихідні дані – концентрації розчинів Fe_3O_4 : 1 мг/мл; 0,1 мг/мл; 0,075 мг/мл; 0,05 мг/мл. Індукція магнітного поля: 30 мТл. Час дії магнітного поля: 1хв, 2хв, 3хв, 4хв, 5хв. Рослини: пшениця тверда *Triticum durum*, кукурудза звичайна *Zea mays* L., жито посівне *Secale cereale* L.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: методами порівняльної геноміки дослідити здатність сільськогосподарських рослин до біомінералізації; визначити оптимальний час впливу магнітного поля індукцією 30 мТл на пророщування насіння пшениці твердої *Triticum durum*, кукурудзи звичайної *Zea mays* L. та жита посівного *Secale cereale* L.; порівняти вплив на ріст та розвиток рослин пшениці

твердої передпосівної підготовки двох типів впливу: оброблення магнітним полем індукцією 30 мТл та наномagnetиту; розробити стартап проект.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: презентація.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

1. Гудзовський А.О., Дем'яненко І.В. Вплив магнітного поля на пророщування насіння та ріст рослини пшениці твердої *Triticum Durum*// II Міжнародна науково-практична інтернет-конференція (Бердянськ, 2021) – БДПУ, 2021 – с. 6-7.
2. Гудзовський А.О., Дем'яненко І.В. Дослідження короткотривалого впливу постійного магнітного поля на пророщування насіння та ріст рослини пшениці твердої *Triticum durum*//XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Біотехнологія XXI століття» (Київ, 2022) – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – С.136.
3. Гудзовський А.О., Дем'яненко І.В. Дослідження впливу постійного магнітного поля та наночастинок магнетиту на пророщування насіння та ріст рослини пшениці твердої *Triticum durum* //XVII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Біотехнологія XXI століття» (Київ, 2023) – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – С.136.

8. Консультанти розділів дисертації

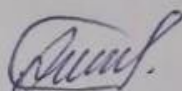
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап проекту	Погребняк А. Ю. к.е.н., доцент каф. економіки і підприємництва	01.04.23 	26.04.23 

9. Дата видачі завдання 26 березня 2021р

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Визначення предмету дослідження	26.03.2021 - 11.06.2021	<i>Def.</i>
2	Характеристика об'єктів Дослідження	11.06.2021 - 30.08.2021	<i>Def.</i>
3	Огляд літератури	30.08.2021 - 02.02.2022	<i>Def.</i>
4	Визначення матеріалів і методів Дослідження	02.02.2022 - 01.05.2022р	<i>Def.</i>
5	Виконання експериментальної Частини	01.09.2022 - 01.02.2023р	<i>Def.</i>
6	Аналіз отриманих результатів	01.02.2023 - 01.04.2023р	<i>Def.</i>
7	Розробка стартап-проекту	01.04.2023 - 26.04.2023р.	<i>Def.</i>
8	Оформлення магістерської Дисертації	26.04.2023р - 8.05.2023р	<i>Def.</i>

Студент



Артем ГУДЗОВСЬКИЙ

Науковий керівник



Ірина ДЕМ'ЯНЕНКО

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить 114 сторінок, 34 таблиці, 16 рисунків та перелік посилань з 115 найменувань.

Мета даного дослідження – дослідити вплив магнітного поля індукцією 30 мТл та наночастинок магнетиту на пророщування насіння рослин пшениці твердої *Triticum durum*, кукурудзи звичайної *Zea mays L*, жита посівного *Secale cereale L* та ріст рослин пшениці твердої *Triticum durum*.

Об'єкт дослідження – наномагнетит Fe_3O_4 , постійне магнітне поле індукцією 30 мТл та насіння обраних зернових рослин: пшениці твердої, кукурудзи звичайної та жита посівного.

Предмет дослідження – морфологічні зміни рослин пшениці твердої *Triticum durum*, кукурудзи звичайної *Zea mays L* та жита посівного *Secale cereale L* під впливом різного часу опромінення постійним магнітним полем та дії різних концентрацій наночастинок Fe_3O_4 . Методи дослідження: методи порівняльної геноміки, методи морфологічного аналізу.

У роботі було досліджено вплив різного часу обробки постійним магнітним полем індукцією 30 мТл на схожість насіння та довжину стебла паростків *Triticum durum*, *Zea mays L* і *Secale cereale L*. Також вплив різного часу обробки постійним магнітним полем та різної концентрації наночастинок магнетиту на довжину стебла і кореню висаджених рослин *Triticum durum*.

Визначено оптимальний час впливу магнітного поля на проростання насіння та довжину стебла паростків. Для кукурудзи звичайної та жита посівного він становить 5 хвилин, для пшениці твердої 1 хвилина. Також було визначено оптимальну концентрацію наномагнетиту в 0,1 мг/мл для підвищення показників довжини кореня та стебла рослин пшениці твердої.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МАГНІТНЕ ПОЛЕ, НАНОМАГНЕТИТ, TRITICUM DURUM, ZEA MAYS L, SECALE CEREALE L, БІОМІНЕРАЛІЗАЦІЯ, СХОЖІСТЬ НАСІННЯ, МОРФОЛОГІЯ СТЕБЛА, МОРФОЛОГІЯ КОРЕНІВ.

ABSTRACT

The master's thesis contains 114 pages, 34 tables, 16 figures, a list of references by 115 name.

The purpose of this study is to investigate the effect of a 30 mT induction magnetic field and magnetite nanoparticles on the germination of seeds of durum wheat plants *Triticum durum*, common corn *Zea mays L*, seeded rye *Secale cereale L* and the growth of durum wheat plants *Triticum durum*.

The object of the study is nanomagnetite Fe_3O_4 , a permanent magnetic field by induction of 30 mT, and the seeds of selected grain plants: durum wheat, common corn, and seed rye.

The subject of the research is the morphological changes of plants of durum wheat *Triticum durum*, common corn *Zea mays L* and seed rye *Secale cereale L* under the influence of different times of irradiation with a permanent magnetic field and the effect of different concentrations of Fe_3O_4 nanoparticles. Research methods: methods of comparative genomics, methods of morphological analysis.

The work investigated the effect of different times of treatment with a constant magnetic field induction of 30 mT on seed germination and the length of sprouts of *Triticum durum*, *Zea mays L* and *Secale cereale L*. Also, the influence of different times of permanent magnetic field treatment and different concentrations of magnetite nanoparticles on the length of the stem and root of planted *Triticum durum* plants.

The optimal time of the influence of the magnetic field on the germination of seeds and the length of the stem of sprouts was determined. It is 5 minutes for common corn and seed rye, 1 minute for durum wheat. The optimal concentration of nanomagnetite was also determined at 0.1 mg/ml for increasing the root and stem length of durum wheat plants.

KEY WORDS: MAGNETIC FIELD, NANOMAGNETITE, TRITICUM DURUM, ZEA MAYS L, SECALE CEREALE L, BIOMENERALIZATION, SEED SIMILARITY, STEM MORPHOLOGY, ROOT MORPHOLOGY.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	9
ВСТУП.....	10
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	14
1.1 Влив постійного магнітного поля на рослини	14
1.2 Вплив наномагнетиту на рослини.....	16
1.3 Аналіз досліджень впливу МН на культурні рослини.....	18
1.3.1 Пшениця (<i>Triticum aestivum</i> L.)	19
1.3.2 Кукурудза (<i>Zea mays</i>).....	22
1.3.3 Ячмінь (<i>Hordeum vulgare</i> L.).....	24
1.3.4 Соняшник (<i>Helianthus annuus</i> L.).....	25
1.3.5 Соя (<i>Glycine max</i> L.)	26
1.3.6 Картопля (<i>Solanum tuberosum</i>).....	27
1.3.7 Ріпак (<i>Brassica napus</i>).....	29
1.3.8 Капуста (<i>Brassica</i> L.)	30
1.3.9 Помідор (<i>S. lycopersicum</i>).....	31
1.4 Характеристика обраних культур як модельних рослин.....	34
1.4.1 Систематика і походження	34
1.4.2 Генетичні особливості обраних рослин	36
1.4.3 Морфологічні і фізіологічні особливості.....	39
1.4.4 Значення обраних рослин для людини	40
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	43
2.1 Матеріали досліджень	43
2.2 Методи досліджень.....	44
2.2.1 Пошук гомологів білків біомінералізації БМН.	44
2.2.2 Методика приготування магнетиту.....	44
2.2.3 Методика приготування поживних розчинів	46
2.2.4 Методика пророщування обраних зернових культур	46
2.2.5 Методика вирощування пшениці твердої.....	47

2.2.6 Оцінка схожості та морфологічних показників культивованих рослин	47
РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ	49
3.1 Біоінформаційний аналіз розглянутих культурних рослин як потенційних продуцентів БМН	49
3.2 Вплив магнітного поля на пророщування насіння обраних зернових рослин	53
3.3 Вплив постійного магнітного поля та наночастинок Fe ₃ O ₄ на етапі передпосівної підготовки на ріст рослин <i>Triticum durum</i>	58
РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	62
4.1 Резюме: конкретизація бізнес-ідеї, мети стартапу, об'єкту дослідження об'єкту дослідження, місця розробки у інноваційному ланцюжку цінності.....	62
4.2 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартап-проекту. Ключові фактори успіху.....	66
4.3 Визначення ключових факторів успіху проекту	73
4.4 Визначення потенційних споживачів	75
4.5 Ціна інноваційної пропозиції на ринку.....	80
4.5.1 Основні фонди підприємства	80
4.5.2. Оборотні фонди підприємства.....	82
4.5.3 Розрахунок капіталовкладень і собівартості виробництва.....	84
4.6 Концепція бізнес-моделі проекту та карта бізнес-процесів реалізації проекту.....	88
4.7 Ризики стартап – проекту та методи управління ними.....	93
ВИСНОВКИ	101
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	103

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГМП – геомагнітне поле;

МП – магнітне поле;

VSM –індукційна магнітометрія;

ICP-MS – комбінована плазмо-мас-спектроскопія;

МДА – малоновий диальдегід;

БМН – (біогенні) магнітні наночастинки;

NCBI – National Center for Biotechnology Information;

BLAST – basic local alignment search tool;

МТБ – магнітотаксисна бактерія;

SE – стандартна помилка.

ВСТУП

Передпосівна обробка насіння використовується в сільському господарстві вже досить давно. Історичні записи та дослідження свідчать про те, що вже з давніх часів фермери застосовували різні методи обробки насіння для покращення врожайності та здоров'я рослин [1].

Зараз передпосівна обробка насіння широко застосовується у сучасному сільському господарстві. Залежно від регіону та культури, методи обробки можуть варіюватися. Багато фермерів і сільськогосподарських підприємств використовують передпосівну обробку насіння, оскільки вона допомагає забезпечити більшу життєздатність насіння, захистити його від шкідників та захворювань, забезпечити кращий старт для рослин та підвищити врожайність.

Передпосівна обробка поділяється на види в залежності від мети її використання. Здебільшого її використовують для захисту від шкідників, захисту від захворювань чи покращення врожайності. Проте, у засобів, що зараз використовуються для передпосівної обробки насіння є і недоліки. Це, наприклад, вартість, адже використання дорогих хімічних препаратів може значно підвищити загальні витрати на вирощування. Ризик резистентності, бо часте застосування хімічних препаратів може знизити ефективність обробки. Деякі засоби, що використовуються для передпосівної обробки насіння, можуть мати негативний вплив на довкілля. Наприклад, інсектициди можуть бути токсичними для комах, птахів та інших живих організмів, а деякі фунгіциди можуть мати негативний вплив на корисні мікроорганізми ґрунту [2]. Згідно зростаючому попиту на сільськогосподарські продукти виробництва, особливо у країнах, що розвиваються та перерахованим вище недолікам актуальним стає питання можливості використання нових засобів передпосівної обробки.

З розвитком науково-технічного прогресу стало можливим застосовувати нанотехнології в різних галузях господарства. Нанотехнології мають перспективу покращити сільське господарство та харчову промисловість за допомогою нових інструментів впливу, – наночастинок [3]. Наприклад, показано, що додавання в

грунт наночастинок магнетиту сприяє підвищенню вмісту хлорофілу та ефірних олій [4], загального вмісту вуглеводів [5], швидкості росту та дозріванню насіння [6], а також зростанню маси сухої речовини, висоти рослини та навіть кількості листя [7]. Доведено, що додавання даних наночастинок зменшує гальмування росту та активує захисні механізми рослин, що були схильні до впливу важких металів [8]. Зважаючи на всі ці властивості наночастинок магнетиту, а також не високу вартість синтезу можна запропонувати його як засіб передпосівної обробки насіння.

Також одним з економічно вигідних методів є використання магнітного поля, яке сприяє підвищенню врожайності, зміні біохімічних показників, зменшенню захворюваності рослин [9]. Це пов'язано зі здатністю магнітного поля широко впливати на різноманітні біологічні процеси в живих клітинах тварин та рослин [10].

Отже **метою роботи** є визначення впливу магнітного поля на етапі передпосівної обробки насіння на морфологічні параметри досліджуваних рослин.

Згідно мети сформульовано такі **завдання**:

1. методами порівняльної геноміки дослідити здатність сільськогосподарських рослин до біомінералізації;
2. визначити оптимальний час впливу магнітного поля індукцією 30 мТл на пророщування насіння пшениці твердої *Triticum durum*, кукурудзи звичайної *Zea mays L* та жита посівного *Secale cereale L*;
3. порівняти вплив на ріст та розвиток рослин пшениці твердої передпосівної підготовки двох типів впливу: оброблення магнітним полем індукцією 30 мТл та наноманетиту;
4. розробити стартап проект.

Предмет дослідження:

Морфологічні зміни рослин пшениці твердої *Triticum durum*, кукурудзи звичайної *Zea mays L* та жита посівного *Secale cereale L* під впливом різного часу опромінення постійним магнітним полем та дії різних концентрацій наночастинок Fe_3O_4 .

Об'єкт дослідження:

- протеоми *Triticum aestivum* L., *Zea mays*, *Hordeum vulgare* L., *Helianthus annuus* L., *Glycine max* L., *Solanum tuberosum*, *Brassica napus*, *Brassica oleracea*, *S. lycopersicum*, та амінокислотні послідовності білків магнітосомного острівця магнітотаксисної бактерії *M. gryphiswaldense* MSR-1;
- насіння *Triticum durum* Харківська 36;
- насіння *Zea mays* L Надія;
- насіння *Secale cereale* L Соняшник;
- рослини пшениці твердої *Triticum durum*;
- наномагнетит Fe₃O₄;
- постійне магнітне поле індукцією 30 мТл.

Методи дослідження:

Методи порівняльної геноміки використано для вирівнювання білків магнітосомного острівця (МО) МТБ *Magnetospirillum gryphiswaldense* MSR-1 та білків обраних сільськогосподарських рослин України. Методи морфологічного аналізу.

Наукова новизна роботи:

Вперше визначили оптимальний час впливу магнітного поля індукцією 30 мТл на пророщення насіння пшениці твердої, кукурудзи звичайної та жита посівного.

Практичне значення одержаних результатів:

Отримані результати сприятимуть накопиченню нових знань в галузі розробки нових методів передпосівної обробки культурних рослин.

Апробація:

1. Гудзовський А.О., Дем'яненко І.В. Вплив магнітного поля на пророщування насіння та ріст рослини пшениці твердої *Triticum Durum*// II Міжнародна науково-практична інтернет-конференція (Бердянськ, 2021) – БДПУ, 2021 – с. 6-7.

2. Гудзовський А.О., Дем'яненко І.В. Дослідження короткотривалого впливу постійного магнітного поля на пророщування насіння та ріст рослини пшениці твердої *Triticum durum*//XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Біотехнологія XXI століття» (Київ, 2022) – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – С.136.
3. Гудзовський А.О., Дем'яненко І.В. Дослідження впливу постійного магнітного поля та наночастинок магнетиту на пророщування насіння та ріст рослини пшениці твердої *Triticum durum* //XVII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Біотехнологія XXI століття» (Київ, 2023) – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – С.136.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Влив постійного магнітного поля на рослини

ГМП є природним компонентом нашого середовища. Рослини, як відомо, відчують різні довжини хвилі світла, реагують на гравітацію, реагують на дотик і електричні сигнали, тому також не можуть уникнути і впливу ГМП.

Одними з перших про вплив МП на рослини повідомили Крилов і Тараканова у 1960 році. Вони запропонували ауксиноподібний ефект МП на проростаюче насіння, назвавши цей ефект магнітотропізмом. Ауксиноподібний ефект МП також був запропонований для пояснення дозрівання плодів томатів [11]. Існували докази того, що реакція росту коренів була не безпосередньо геліотропною, а радше магнітотропною або геомагнітотропною. Спостереження за корінням низки інших рослин дало припущення, що певний внутрішній фактор у межах виду або навіть у межах родини також може бути задіяним до того, як тропізм стане явним [12].

Зараз наукова література повідомляє про широкий спектр можливостей щодо використання магнітного поля для зміни властивостей рослинних клітин [13]. Поле впливає на метаболізм і поділ клітин, активізує ріст рослин, формує якісні характеристики рослин. МП мають суттєвий вплив на ефективність фотосинтезу [14], показники біомаси [15] та накопичення енергії [16]. Обробка рослин постійним МП прискорює утворення та накопичення активних форм кисню [17]. Водночас вплив МП зумовлює високу активність антиоксидантних ферментів, що знижує оксидативний стрес [18]. Постійні МП мають сильний вплив на форму клітини та структуру клітинної мембрани. Збільшують проникність і впливають на різноманітну діяльність метаболічних шляхів, дифузії біологічних частинок у розчинах за допомогою механізму сили Лоренца або напруги Максвелла, а також на біохімічні процеси за участю вільних радикалів [19].

Використання магнітних обробок рослин викликає більший вміст білків, вуглеводів, розчинних і відновлюючих цукрів [20], а в деяких випадках, ліпідів,

зміну складу жирних кислот. МП впливає на поглинання макро- і мікроелементів та різні рівні експресії генів [21].

Слабке магнітне поле (СМП) характеризується низькими нестабільними параметрами порівняно з іншими типами МП, що полегшує його застосування в біологічних системах [22]. Дослідники зосереджуються на пошуку механізму, що пояснює таку взаємодію, і на розробці техніки, за допомогою якої можна формувати біологічну активність клітини. Завдяки своїй природі МП можуть легко проникати в тканини і безпосередньо впливати на функцію клітин. Різні клітинні компоненти та органели, включаючи мітохондрії, клітинні мембрани, білки та ДНК, змінюють свою електромагнітну поведінку під впливом СМП, таким чином впливаючи на різні фізіологічні та біохімічні реакції в клітинах [23]. Слабке поле з «дуже малими силами» може змінити швидкість руху електрона. В свою чергу обертання молекул, що несуть прецесію магнітного моменту, може ініціювати подальші біофізичні процеси. Це так звані неспецифічні реакції на МП, що включають ріст клітин і експресію генів у рослинах. Плазматична мембрана є основним структурним елементом клітини, яка безпосередньо піддається впливу МП. Індуковані таким чином структурні зміни в клітинній мембрані можуть впливати на властивості клітин, такі як зміни форми та розміру клітин, активація іонів і дипольна поляризація в живих клітинах [24].

У рамках досліджень також робилися спроби пояснити механізми взаємодії МП з біоструктурами. Поки що такий механізм експериментально не перевірений. З цього приводу було запропоновано кілька рішень, включаючи механізм пари радикалів, тристоронній механізм і механізм змішування рівнів, заснований на квантовій біофізиці [25].

В останні роки вчені все більше досліджують використання МП для покращення росту рослин і загальної продуктивності. Магнітне опромінення — це техніка, яка може екологічно та дешево індукувати нові властивості рослин. Вона також може сформувати стійкість рослин до захворювань і шкідників для підвищення продуктивності.

Проте попри величезну кількість досліджень магнітне поле не має широкого застосування в сільськогосподарській практиці, це все ще інноваційна область досліджень, зосереджена на лабораторних тестах. Тому необхідно провести детальні дослідження для більш глибокого розуміння можливостей модифікації властивостей рослинних клітин і досягнення бажаних ефектів за допомогою магнітного поля.

1.2 Вплив наночастинок магнетиту на рослини

Нанотехнології мають потенціал для ефективного вирішення зростаючих проблем сталого виробництва та продовольчої безпеки в галузі сільського господарства. Адже наночастинки представляють великий науковий інтерес, в контексті подолання розриву між сипучими матеріалами та атомними або молекулярними структурами. За останні два десятиліття було проведено значну кількість досліджень в галузі нанотехнологій, з численним наголошенням на їх застосуванні у секторах сільського господарства. Серед них, багато присвячено впливу наночастинок металів, а саме оксидів заліза на рослини [26].

Оксиди заліза — це хімічні сполуки, які мають різні поліморфні форми, включаючи $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (маггеміт), Fe_3O_4 (магнетит) і FeO (вюстит). Серед них найбільш вивченими є $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ і Fe_3O_4 , оскільки вони володіють надзвичайними властивостями, завдяки нанорозмірності (такими як суперпарамагнетизм, висока питома поверхня, біосумісність тощо), оскільки в цьому масштабі квантові ефекти впливають на поведінку матерії та оптичні, електричні і магнітні властивості. В нанорозмірі ці матеріали стають ідеальними для функціональної модифікації поверхні в різних застосуваннях, таких як пристрої зберігання даних, магнітно-резонансна томографія, датчики, ферорідини, спінтроніка, магнітна цільова доставка ліків і магнітні носії запису, біомедичне застосування та відновлення навколишнього середовища [27, 28].

Залізо — нерозчинний елемент, який у великих кількостях міститься в земній корі; однак лише деякі форми заліза можуть використовуватися рослинами [29].

Завдяки знанням цього виникла актуальність досліджень впливу на рослини оксидів заліза.

В 2008 році було виявлено, що наномагнетит накопичувався та транспортувався в рослинних тканинах гарбуза [30]. З іншого боку, група дослідників показали, що гарбуз і райграс не накопичують наночастинок [31]. При цьому слід зазначити, що автори першої роботи припустили, що різні види рослин по-різному реагують на вплив наномагнетиту [30]. Пізніше було показано, що наномагнетит може накопичуватися в *Lepidium sativum* і *Pisum sativum*. Автори припустили, що накопичення наночастинок залежало від дози в ростовому розчині та інших середовищах [27]. Деякі звіти вказували, що різні наночастинки, включаючи наномагнетит, можуть мати позитивний, негативний вплив та/або не впливати на проростання насіння, подовження коренів і ріст рослин [32, 33, 34, 35]. Наприклад, показано, що наномагнетит при більш високих концентраціях значно пригнічує масу кореня рослин: вплив НЧ у концентрації 720–3600 мг/л у гідропонній системі спричинив зменшення свіжої біомаси пшениці [36]. Але в дослідженні [37] наночастинки магнетиту або наночастинки TiO_2 не спричинили жодних шкідливих наслідків для помідорів.

Питання виникають також щодо механізмів впливу наномагнетиту на життєдіяльність та розвиток вищих рослин. В роботах, що мають підтвердження позитивного впливу, в основі механізму його дії виділяють нанорозмірність, що впливає на доступність заліза [38,39]. Вказується і його перевага перед традиційними залізовмісними добавками, в їх адсорбційній здатності відносно середовища, що відкриває можливість тривалішої доступності заліза для рослини [40]. А в роботах, що демонструють негативний вплив високих концентрацій наномагнетиту, причиною такого впливу здебільшого вказується окисний стрес рослин, згідно з вмістом гормонів окисного стресу[31,34,41].

Проте є ще одна концепція взаємодії наномагнетиту з рослинами, яка пов'язана з процесами біомінералізації. Біомінералізація — це процес, за допомогою якого біологічні системи використовують аморфні та кристалічні мінерали для створення широкого спектру органічно-неорганічних гібридних

матеріалів, які мають різноманітні функції від навігації, механічної підтримки, фотоніки, до захисту м'яких частин тіла [42]. Прикладами таких біомінералів на основі заліза є радіальні зуби хітонів, які містять кристалічні оксиди заліза, такі як магнетит і лепідокроцит, а також внутрішньоклітинні ланцюги наночастинок магнетиту, синтезовані магнітотаксисними бактеріями [43–45]. Відповідно до концепції робіт [46,47] рослини також здатні синтезувати БМН, а процес біосинтезу є генетично запрограмованим та єдиним для представників всіх доменів живих організмів. У 2018 році це було експериментально доведено методами скануючої зондової мікроскопії. В роботі [48] відзначено наявність БМН у тканинах тютюну (*Nicotiana tabacum*), картоплі (*Solanum tuberosum*) та гороху посівного (*Pisum sativum*). Припускається, що біомагнітні явища, через наявність магнітних наночастинок, є невід'ємними рушіями фізіологічних процесів організмів. У рослин магнітні взаємодії можуть брати участь у транспорті та акумуляції гранул і везикул, через формування ланцюжків БМН у провідних тканинах рослин, а саме у флоемі, в ділянках ситоподібних трубок. А отже додавання штучного наномагнетиту може повпливати на дані процеси. Негативний вплив наночастинок, з точки зору такого підходу, полягає у здатності останніх утворювати кластери і закупорювати рослинні судини.

1.3 Аналіз досліджень впливу МН на культурні рослини

З огляду накопиченої наукової літератури, можна зробити висновки про те, що вплив наномагнетиту на рослини поки, що недостатньо вивчений. Але такі дослідження безумовно мають потенціал. Адже в умовах швидкого росту населення планети, постає необхідність удосконалення підходів до ведення сільського господарства. А використання добрив на основі наночастинок, може цю необхідність задовільнити. Нижче представлено короткий аналіз наявних досліджень на тему впливу наномагнетиту на культурні рослини.

1.3.1 Пшениця (*Triticum aestivum* L.)

В роботі [49] описано вплив наночастинок магнетиту та їх розміру на ріст і фізіологію рослин пшениці. Також поглинання та транслокацію наночастинок в їх тканинах [49]. Для цих цілей були використані різні розміри наночастинок: 8–10, 20–40 та 30–50 нм. Всі вони були застосовані для рослин пшениці в гідропонній системі.

В результаті, видно що наночастинки збільшують довжину кореневої системи рослини, висоту, біомасу та вміст хлорофілу (Рисунок 1.1, 1.2).

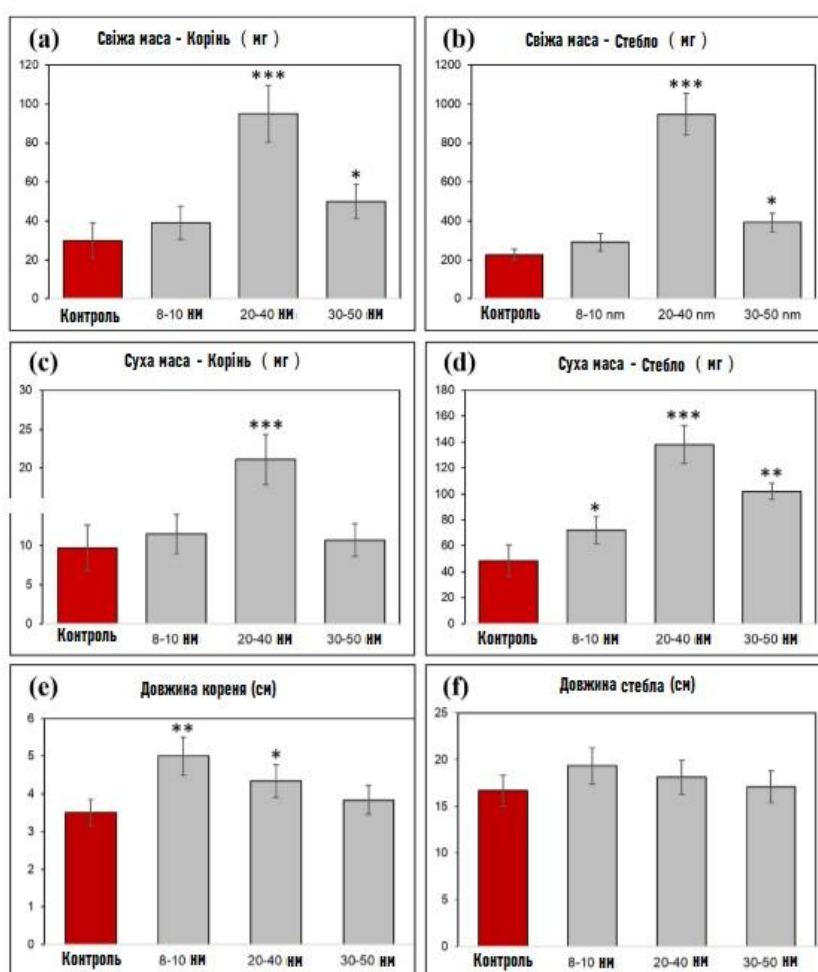


Рисунок 1.1 – Свіжа маса (a, b), суха маса (c, d) і довжина (e) кореневих і (f) тканин стебла, з оброблених наночастинками і необроблених (контрольних) сіянців. Межі помилок показують стандартне відхилення ($n = 10$) [49]

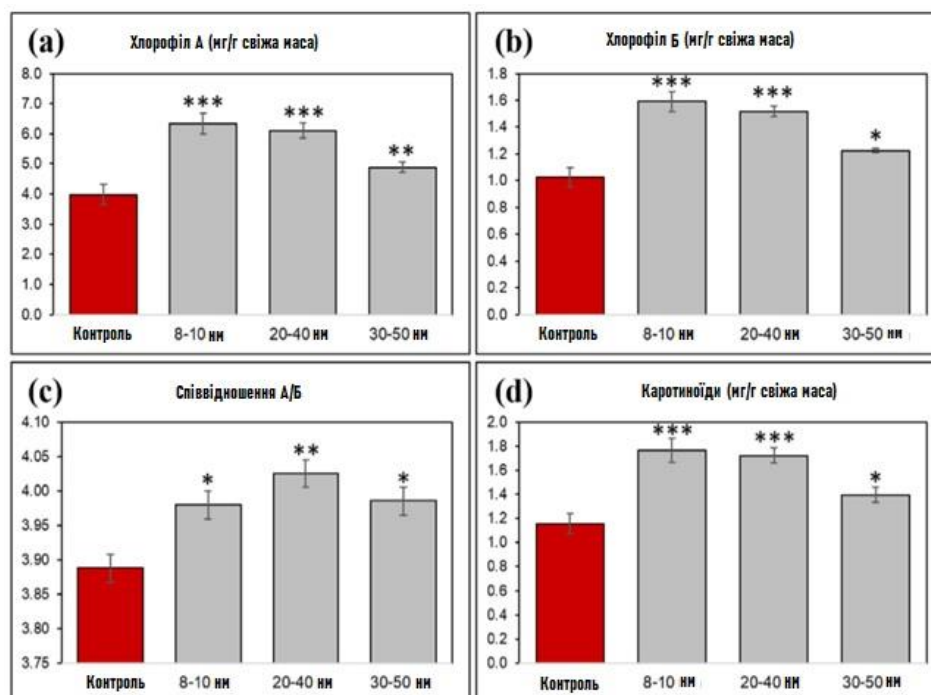


Рисунок 1.2 – хлорофіл а, хлорофіл б, їх співвідношення(а/б) і загальний вміст каротиноїдів у листі пшениці після трьох тижнів обробки наночастинками різного розміру. Стрічки помилок показують стандартне відхилення ($n = 3$) [49]

Також було показано, що наночастинки викликають пошкодження клітин верхівки кореня без видимих токсичних симптомів. При цьому всі випробувані наночастинки були використані рослиною пшениці і перемістилися у листя. Це доведено методом VSM та за допомогою індуктивного аналізу тканин листя ICP-MS методом [49]

В 2020 році було проведено дослідження впливу наномагнетиту, поглинутого рослиною на біоаккумуляцію та токсичність індивідуальних та спільних рівнів забруднення Cd^{2+} та Cr^{6+} [50].

Виміряними кінцевими точками були проростання насіння, довжина коренів і пагонів, а також накопичення важких металів. Наномагнетит демонстрував дуже низьку токсичність, при поглинанні та розподілу наночастинок в коріння і пагони проростків пшениці [50] (Рисунок 1.3).

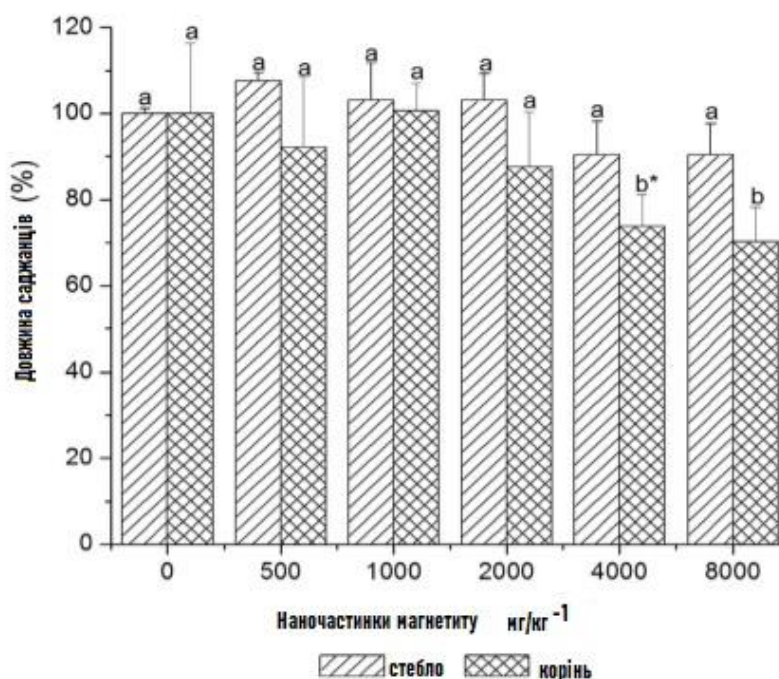


Рисунок 1.3 – Вплив покритих цитратом НЧ магнетиту на ріст проростків пшениці. Значення являють собою відсотки контрольного середнього значення $\pm$ стандартне відхилення чотирьох повторів. Обробки з тією ж буквою суттєво не відрізняються від контрольних [50]

Авторами дослідження [50] продемонстровано, що насіння і довжина пагонів були недостатньо чутливими, тоді як довжина кореня була більш чутливою кінцевою точкою токсичності.

Довжина кореня пшениці у сходів, що піддалися впливу окремих важких металів, зменшилися на 50% при обробці Cd^{2+} (2,67 мг/кг⁻¹) і Cr^{6+} (5,53 мг/кг⁻¹). Однак, при додаванні наночастинок магнетиту (1000 мг/кг⁻¹), довжина коренів рослин збільшилася на 25 і 50% [50].

Cd^{2+} і Cr^{6+} виявляли подібну та неінтерактивну спільну дію, але сильно погіршували сходи пшениці. У контрасті, при додаванні наночастинок магнетиту спостерігався інтерактивний антагоністичний ефект. Таким чином, накопичення кадмію і хрому в рослинних тканинах було значно зменшено, а також зменшилась токсичність [50].

Аналізуючи ці роботи, можна зробити деякі висновки щодо дії наномангнетиту на рослини пшениці. Перш за все це позитивний вплив на довжину

коренів, стебла, вміст хлорофілу [49], а також значний вплив на накопичення рослиною важких металів [50]. Продемонстровано, що магнетит не лише накопичується у корінні рослини, а також потрапляє до стебла через ситоподібні трубки [49]. В цілому можна говорити про позитивний вплив наночастинок на фізіологічні та хімічні показники рослини, проте зі збільшенням концентрації виникає зворотній ефект. За поясненням авторів, це пов'язано з підвищенням рівню окислювального стресу у рослин. Загалом є можливість застосування наномангнетиту як добрива і засобу проти дії важких металів. Але лише після проведення дослідження щодо дії таких засобів на кінцевих споживачів.

1.3.2 Кукурудза (*Zea mays*)

Авторами [51], було проведено дослідження, щодо поглинання та розподілу наномангнетиту та його впливу на проростання насіння. Визначена активність антиоксидантного ферменту, вміст МДА та хлорофілу.

Згідно отриманих результатів, концентрація 0,02 мг/мл наночастинок значно сприяла подовженню коренів (на 11,5%) та підвищила індекс схожості і індекс міцності проростків на 27,2% та 39,6% відповідно (Таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Вплив наномангнетиту на швидкість проростання, енергію проростання, індекс проростання та індекс енергійності, виміряні через 3 дні після інкубації [51]

Концентрація наночастинок мангнетиту (мг/мл)	Коефіцієнт схожості насіння (%)	Енергія проростання (%)	Індекс проростання (%)
0	86,7 ±5,7a	76,6 ±5,8a	18,5 ±0,21c
0,02	87,5 ±5,0a	85,0 ±5,8a	23,53 ±0,31a
0,05	87,5 ±15,0a	70,0 ±18,3a	21,99 ±0,95b
1	70,0 ±14,0a	62,5 ±15,0a	18,26 ±1,08c

При додаванні наночастинок концентрацією 0,05 і 0,1 мг/мл зменшилася довжина кореня (на 13,5% і 12,5% відповідно). Спричинений окислювальний стрес виявляється виключно в корені. Особливо високий рівень окислювального стресу в коренях кукурудзи був у зразків оброблених концентрацією 0,1 мг/мл. Він був у 5 - 7 разів вище, ніж у контрольних зразків (Рисунок 1.4) [51].

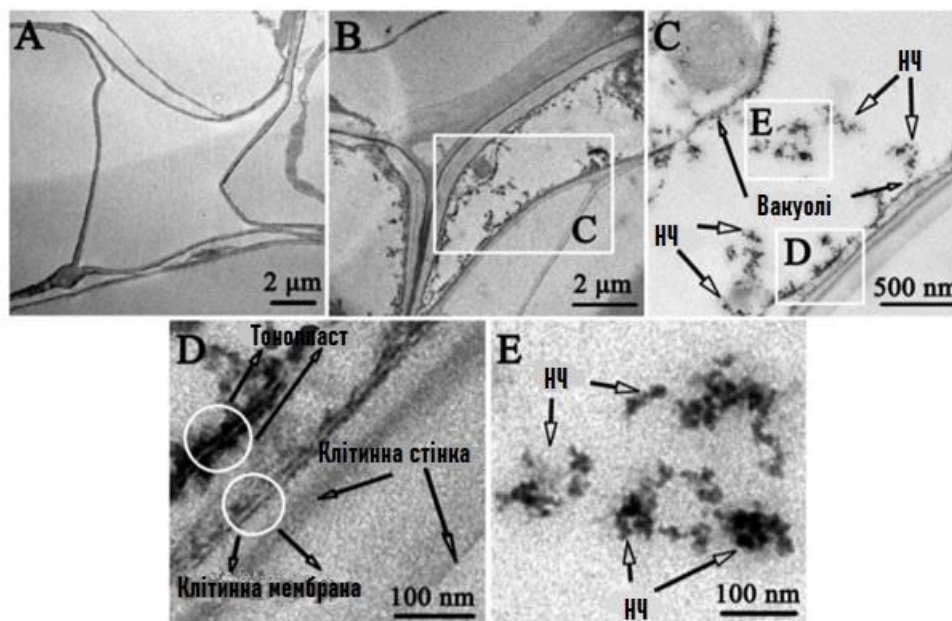


Рисунок 1.4 – TEM-зображення кореневої клітини проростків кукурудзи, під впливом магнітних наночастинок або без нього протягом 2 тижнів: (А) контрольна група та (В) група, оброблена 0,02 мг/мл [51]

Продемонстровано, що наночастинок можуть апопластично мігрувати від епідермісу до ендодерми та накопичуватися у вакуоль. Але було виявлено, що в основному вони існували навколо епідермісу кореня і транслокації від коренів до пагонів в більшості не спостерігалось.

Можна судити про позитивний вплив наномангнетиту на рослини кукурудзи. Відбулося якісне збільшення таких показників як довжина коріння та схожість проростків. Проте важливим уточненням являється концентрація наночастинок в розчині. Зі збільшенням концентрації рослини піддаються окислювальному стресу та мають гірші показники не тільки відносно інших дослідних груп але й відносно контролю. Загалом частинки здатні до міграції з коріння до інших органів рослини,

але здебільшого залишаються в першочерговому місці скупчення. Це може бути пов'язано з розміром наночастинок, або індивідуальними особливостями рослини.

1.3.3 Ячмінь (*Hordeum vulgare* L.)

В роботі [52] проведено дослідження поглинання та транслокації наночастинок магнетиту та його вплив на фотосинтетичні гени ячменю. Саджанці вирощували в гідропонній культурі протягом трьох тижнів для включення наночастинок. В експерименті використовувалися чотири різні концентрації магнітної рідини (0,125 мг/мл, 0,25 мг/мл, 0,5 мг/мл і 1 мг/мл).

Всі групи рослин, що зазнали впливу наномагнетиту мали більші показники приросту свіжої маси тканин листя та кореня. Дослідна група рослин з концентрацією 0,5 мг/мл мала найбільший приріст свіжої маси тканин листя та кореня відповідно на ~19% і ~88% (в порівнянні з контролем). Фітотоксичного ефекту не було зафіксовано навіть при обробці високими дозами наночастинок [52].

Включення наночастинок магнетиту збільшило такі параметри, як хлорофіл, загальний розчинний білок, кількість хлоропластів і суха маса, по відношенню до контролю. Найкращі показники в середньому серед цих параметрів мав зразок з концентрацією 0,5 мг/мл [52].

Спостереження TEM показали, що наночастинок проникали та знаходились в клітинах кореня. У листі вони здебільшого існували в околицях клітинної стінки, що свідчить про їх переміщення від кореня до пагону без проникнення в клітини. Подальший аналіз за допомогою VSM підтвердив їх знаходження в листках, що призводить до різких змін генів фотосистеми (PetA, psaA, BSA і psbA) [52].

Відповідно до результатів роботи [52] можна зробити висновок, що рослини ячменю поглинають та переміщують наномагнетит, що сприяє зростанню рослин. Наночастинок збільшують такі фізико-хімічні показники: хлорофіл, загальний розчинний білок, кількість хлоропластів, суха маса. Спостерігається уже відома залежність між концентрацією наночастинок та їх дією на рослини. Хоча авторами

дослідження [52] продемонстровано перевагу середньої концентрації (0,5 мг/мл). Проте низькі концентрації (0,125 мг/мл) за деякими параметрами, наприклад, активність каталази та загальний розчинний білок мали перевагу серед інших. На відміну від попередніх рослин, у ячменю (*Hordeum vulgare* L.) за високих концентрацій не було помічено окислювального стресу, в цілому дослідні групи показували себе краще ніж контрольні, проте ці значення знижуються з плином часу. Тому можна говорити про в цілому негативний вплив високих концентрацій наномагнетиту.

1.3.4 Соняшник (*Helianthus annuus* L.)

Вплив наночастинок магнетиту, на пророщування насіння соняшнику, ранній ріст паростків, та концентрацію виділених елементів у проростках було визначено в 2020 році авторами [53]. Досліджено, також, вплив постійних магнітних полів у системах з і без наномагнетиту. Експерименти проводили в умовах постійного магнітного поля (0, 5, 25 і 120 мТл) протягом 7 днів у присутності розчину, що містить різні концентрації (0, 0,05 мг/мл або 0,5 мг/мл) наночастинок магнетиту.

Суттєвого впливу наночастинок та магнітного поля на проростання насіння та ріст проростків не виявлено. У більшості випадків спостерігалось зниження параметрів схожості [53].

Також для більшості зразків, переважно для зразків з впливом наночастинок, було продемонстровано відносне зниження концентрацій елементів. Цікаво, що спостерігалось значне зниження концентрацій саме тривалентних (у тому числі заліза) та токсичних хімічних елементів у зразках, що містять магнетит, порівняно з контрольними зразками. Автори припускають, що в цьому випадку мало місце зв'язування (адсорбція) цих елементів у коренях та насінні соняшнику наночастинами магнетиту. Цим пояснюється менший вміст заліза в розсаді, ніж у насінні до посіву [53].

Виходячи з наявних даних [53] можна стверджувати, що наномагнетит суттєво не впливає на ріст та розвиток рослини соняшника (*Helianthus annuus* L.).

Важливим моментом залишається вплив наночастинок на концентрацію важких металів. Що дозволяє припустити про можливе використання наномагнетиту для зниження токсичної дії важких металів на рослину. Також помітний деякий синергізм у дії наночастинок магнетиту та магнітного поля, що натякає на подальші дослідження в цій сфері. Наприклад, авторами [54] показано стимулюючу дію постійного магнітного поля на насіння *Helianthus annuus*. Попередні дослідження інших культурних рослин несуть деяку кореляцію між концентрацією наномагнетиту та розвитком дослідних рослин, що наштовхує на проведення аналогічних досліджень з іншими концентраціями наночастинок.

1.3.5 Соя (*Glycine max* L.)

В статті [55] було продемонстровано, поглинання та розподіл покритих лимонною кислотою наночастинок магнетиту у тканинах сої та їх вплив на ріст рослин. Бобова культура була пророщена в горщиках, що містять вермикуліт, до якого додали розчин Хогланда без (контроль), з наномагнетитом (50 і 100 мг/мл), або з такою ж кількістю розчинного заліза, що подається, як Fe-EDTA (Fe50, Fe100). Наночастинки та залізо додавали один раз перед посівом. Потім рослини поливали стандартним поживним розчином.

Спостереження суперпарамагнітних сигналів у тканинах коренів під час збору врожаю (через 26 днів після появи сходів) вказували на поглинання наночастинок. Далі в стебла та листя ці частинки переміщені не були. Додавання обох джерел заліза призвело до збільшення маси коренів; однак лише додавання наномагнетиту призвело до позитивної зміни поверхні кореня; вага пагона також значно зросла [55].

Згідно результатів дослідження [55] загальною тенденцією було підвищення вмісту хлорофілу в рослинах, з додаванням заліза, найбільше збільшення спостерігалось з концентрацією наночастинок в 50 мг/мл. Хоч вони впливали на збільшення каталази, у рослин не зустрічались симптоми окисного стресу.

Висновком експерименту [55] стало те, що покриті лимонною кислотою частинки магнетиту поводяться як стимулятори росту рослини. Ростові параметри рослини були якісно покращені. Знову зберігається тенденція з залежністю позитивного впливу наночастинок від зменшення їх концентрації. Негативного впливу попри величину меншої із дослідних концентрацій (50 мг/мл), в порівнянні з дослідом над іншими рослинами, не було. Частинки не перемістилися в інші органи рослини крім кореня. Це можна пояснити їх великою концентрацією, а отже, можливою конденсацією всередині коріння, або індивідуальними особливостями рослини.

1.3.6 Картопля (*Solanum tuberosum*)

У картоплі (*Solanum tuberosum* L.) продемонстровано посилення бульбоутворення шляхом впливу біосумісними наночастинами магнетиту та MnO_2 [56].

Взаємодія наночастинок з вузловими експлантами значно пришвидшувала ранню індукцію бульб і ріст бульб при застосуванні наномагнетиту (0,004 мг/мл) і MnO_2 (0,001 мг/мл) порівняно з необробленими тканинами картоплі [56].

Молекулярний аналіз тканин картоплі виявив посилення експресії первинних бульбоіндукуючих генів, а саме: активність ферменту кальцій-залежної протеїнкінази (StCDPK), кальмодуліну (StCaM1) і ліпооксигенази (StLOX). Ці результати вказують на позитивну кореляцію індукції бульб з додаванням наночастинок (Рисунок 1.5).

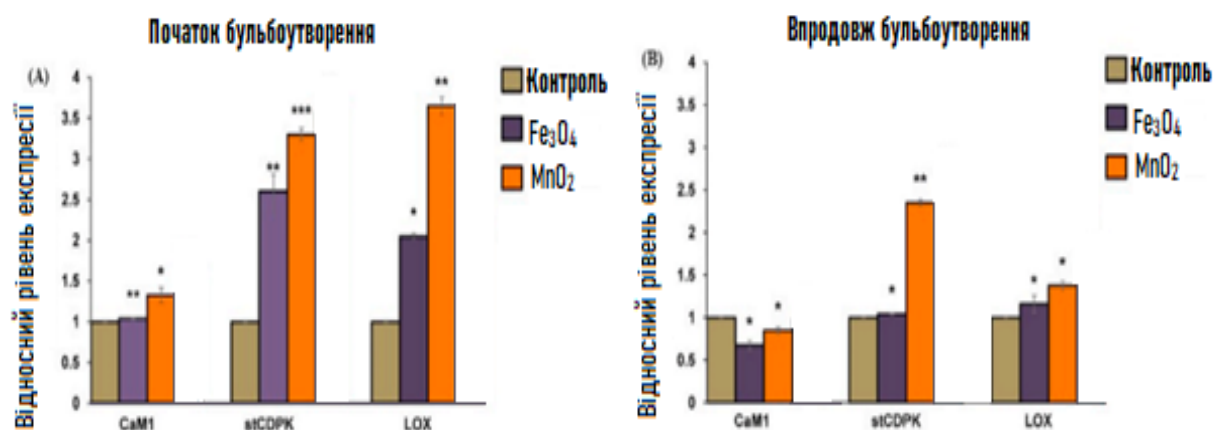


Рисунок 1.5 – Аналіз експресії генів CaM1, StCDPK та LOX у столонах та початкових тканинах бульб картоплі під час розвитку бульб [56]

Відповідно збільшення експресії генів, збільшилась і кількість ферментів, що впливають на бульбоутворення (Рисунок 1.6).

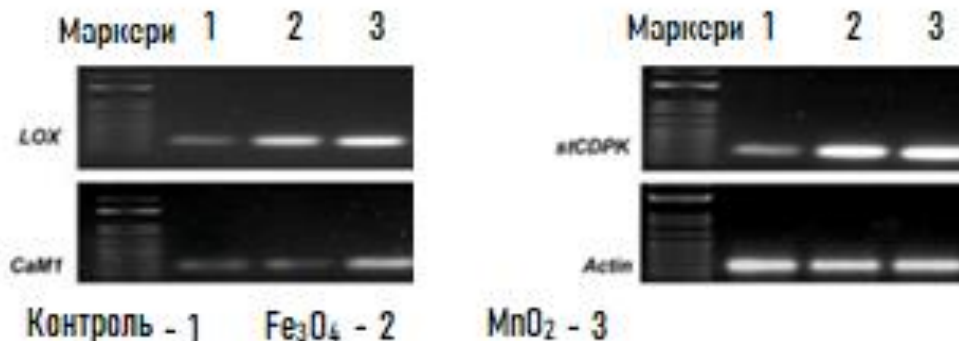


Рисунок 1.6 – ПЛР-аналіз експресії генів у початкових тканинах бульб [56]

Отже, можна судити про позитивний вплив наночастинок магнетиту на бульбоутворення картоплі та застосування наночастинок оксидів металів як нано-поживної речовини для посилення виробництва мікробульб картоплі.

Хоча в дослідженні [56] оксид мангану, як наноматеріал має кращі результати, проте застосування наномангетиту не можна виключати як перспективний напрямок, адже його можна отримати за допомогою екологічного, швидкого біосинтезу [57], навіть, за допомогою самої картоплі.

Щодо взаємодії наночастинок з картоплею, зберігається кореляція між концентрацією та впливом, хоча в даному випадку найкращий вплив мала середня концентрація наночастинок, а не найменша. Та це може бути обумовлено низькими дослідними концентраціями (0,001 мг/мл, 0,002 мг/мл, 0,004 мг/мл, 0,006 мг/мл).

1.3.7 Ріпак (*Brassica napus*)

Вплив наноманетиту на швидкість пророщування насіння та рослин було визначено і для не менш важливого в сільському господарстві ріпаку.

Автори роботи [58] пророщували насіння ріпаку у чашках Петрі з додавання розчину наноманетиту різної концентрації (1; 0,1; 0,05; 0,03 мг/мл). Результати пророщування представлені нижче (Таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Пророщування насіння при додаванні розчинів з різними концентраціями наночастинок манетиту [58]

	1 мг/мл	0,1 мг/мл	0,05 мг/мл	0,03 мг/мл	Контроль
Відсоток схожості насіння, (%)	100%	100%	100%	100%	100%
Середня довжина пагонів, (мм)	10±1	18±1,8	22±2	25±2	15±1,5
Відсоток подібності пагонів, (%)	40%	60%	90%	100%	80%

Паростки культивували 14 днів на закритому ґрунті з додаванням розчину наноманетиту (замість звичайної води) при тих самих концентраціях, паралельно з контролем, що не піддавався впливу наночастинок. Після вимірювання висоти вирощених у ґрунті дослідних рослин, встановлено позитивний вплив наночастинок на ріст та розвиток ріпаку, знайдено оптимальну концентрацію 0.03 мг/мл яка показала в рази більшу ефективність в порівнянні з контролем та більш високими концентраціями (Таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 – Висота рослин ріпаку озимого при обробці різними концентраціями наномагнетиту [58]

	1 мг/мл	0,1 мг/мл	0,05 мг/мл	0,03 мг/мл	Контроль
3 доба	1±0,2	0,9±0,1	1,6±0,2	1,7±0,3	1,6±0,1
7 доба	1,2±0,2	1,1±0,1	2,6±0,2	2,8±0,3	2,1±0,1
14 доба	—	—	6±0,2	8±0,3	5,8±0,1

При концентрації 1 мг/мл відбулась закупорка судин, що після інтенсивного сходження викликало пригнічення та подальшу загибель рослинних зразків. Такий же ефект був і при концентрації 0.1 мг/мл але з часовим відривом у 48 годин [58].

Можна зробити висновок, що високі концентрації наночастинок негативно впливають на рослину, що унеможлиблює їх використання в якості добрив. Але низькі концентрації (0,03 мг/мл) показують перспективні результати.

1.3.8 Капуста (*Brassica L.*)

Інформації про дослідження впливу магнетиту на види капусти, що традиційно звикли вирощувати в Україні немає. Проте є дослідження впливу наночастинок на броколі (*Brassica oleracea var. italica L.*).

Проведено польовий експеримент, щоб визначити вплив нанодобрива магнетиту, стабілізованого ЕДТА, на ріст, урожай і вміст поживних речовин у рослин [59]. Використовувались три джерела заліза, з чотирма різними концентраціями (Fe-EDTA: 0,3 мг/мл, FeSO₄·7H₂O: 0,195 мг/мл і наночастинки магнетиту стабілізовані EDTA: 0,006 мг/мл і 0,003 мг/мл) дослід проводили на базі рандомізованого блочного дизайну (RBD) з трьома повторами [59].

Результати показали, що застосування 0,003 мг/мл розчину стабілізованих наночастинок магнетиту для броколі значно збільшило висоту рослини, довжину стебла, загальну врожайність з гектара порівняно з контрольною обробкою.

Аналізуючи роботу [59] можна зробити висновок, що стабілізований наномагнетит, при позакореновому внесенні, є перспективним підходом для

максимізації росту врожаю *Brassica oleracea* var. *italica* L.. Прослідковується уже типова залежність з максимізацією біологічних показників рослин, відносно мінімізації концентрації наночастинок. Вона існує навіть з представленими концентраціями (0,006 мг/мл і 0,003 мг/мл), що сильно нижчі відносно експериментів з іншими рослинами. Також цікаво, що результати їх впливу 0,006 мг/мл і 0,003 мг/мл мають мінімальні відмінності. Можна припустити, що обидві знаходяться нижче порогу максимально дієвої кількості наночастинок, після якого результати не будуть сильно різнитись. А отже тоді доцільно говорити, що застосування нижчої концентрації може бути продиктовано з точки зору економічної вигоди.

1.3.9 Помідор (*S. lycopersicum*)

Цікаві результати отримали автори [60], щодо впливу наномангнетиту на схожість насіння, довжину коренів, біомасу, строки утворення квіток і плодів *S. lycopersicum*. В першій частині роботи у три чашки Петрі висівали по 30 насінин томату, та додавали по 2 мл розчину наномангнетиту з різними концентраціями (0,1 і 1 мг/мл) та контроль. Після пророщування, рослини томату культивували, при поливі 2 рази на тиждень відстояною водою + розчинами наномангнетиту (0,1 і 1 мг/мл) по 5 мл підкоренево.

Перший етап виявив вплив мангнетиту на пророщування насінин томату, – обидві вибрані концентрації наночастинок мали кращі показники довжини коріння, ніж у контролю. Але попри гарні показники середньої довжини коріння у проростків, концентрація 1мг/мл мала нижчі показники схожості насіння (Таблиця 1.4).

Таблиця 1.4 – Результати пророщування насіння томату, обробленого розчинами з різною концентрацією магнетиту [60]

№ з/п	Концентрація наночастинок магнетиту (мг/мл)	Схожість насіння (%)	Середня довжина коренів $\pm$ SE (мм)
1	0 (контроль)	70	11,14 $\pm$ 1,08
2	0,1	76,7	15,47 $\pm$ 2,01
3	1	70	17,67 $\pm$ 1,69

На другому етапі дослідили вплив наночастинок магнетиту на приріст біомаси, вміст води у рослинах (найкращі показники у 0,1 мг/мл: 2,75 $\pm$ 0,07 г висушена біомаса та 88,65 % води) та врожайність (Рисунок 1.7).

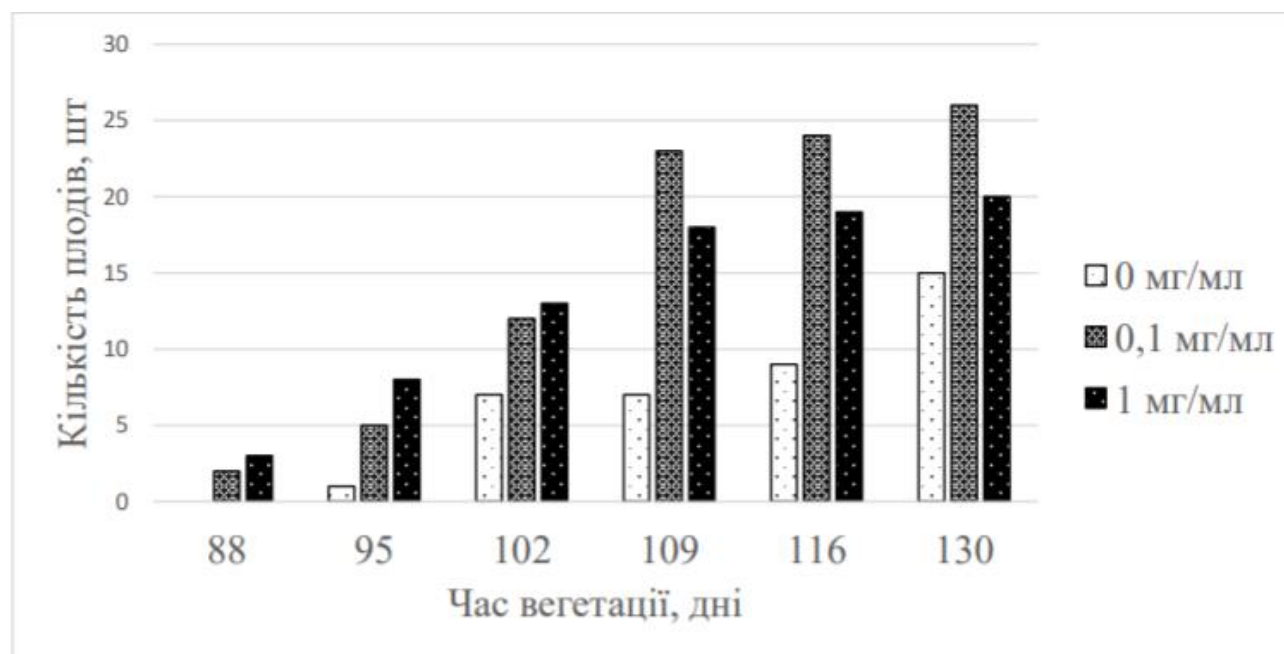


Рисунок 1.7 – Зміна кількості плодів у рослин, вирощених з додаванням різних концентрацій магнетиту [60]

На діаграмі видно, що залежність між концентрацією наночастинок зберігається навіть для кількості плодів у рослин. Хоча реалізується вона не одразу, адже спочатку концентрація 1 мг/мл дає кращі результати. Подальше відставання можна пояснити надмірним накопичення та кон'югацією частинок.

Важливі також отримані дослідниками [61] дані, щодо впливу наночастинок магнетиту на абіотичний стрес рослин томату під впливом кадмію. Для цього

використали 5 концентрацій наномагнетиту (0; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1 мг/мл) і 3 рівні забрудненості CdCl_2 (0, 100, 200 мкМ).

CdCl_2 в різних концентраціях зменшив свіжу та суху масу рослин, довжину та площу пагонів, коренів і листків більше ніж на 100% в порівнянні з контролем. Також кадмій негативно вплинув на хлорофіл а, b, загальний вміст хлорофілу та каротиноїдів, подекуди більше ніж на 300%. Кадмій, також, значно знизив вміст цукру та білку як у пагоні, так і в корені відносно контролю. Додавання 0,02 мг/мл наномагнетиту покращило всі ці параметри, при чому саме така концентрація мала найкращий лікувальний вплив, який проявився у значному зменшенні негативного впливу CdCl_2 . Це продемонстровано зменшенням концентрації так званих маркерів стресу рослини (Таблиця 1.5).

Таблиця 1.5 – Вплив різних концентрацій CdCl_2 (у відсотках відносно контролю) на вміст маркерів стресу у рослини томату, з додаванням наномагнетиту концентрацією 0,02 мл/мл та без [61]

Параметри оцінки впливу	CdCl_2 (100мкМ)	CdCl_2 (200мкМ)	CdCl_2 (100 мкМ) + Fe_3O_4	CdCl_2 (200 мкМ) + Fe_3O_4
Вміст МДА	+409%	+421,4%	193,3%	271,4%
Вміст H_2O_2	+184,4%	+202,2%	116,8%	125,7%
Вміст проліну	+88,2%	+89,9%	37,5%	52,7%

З усіх розглянутих робіт, можна зробити висновки, про позитивний вплив наночастинок магнетиту на більшість хіміко-фізичних показників рослини *S. Lycopersicum*. Згідно з [60], наночастинок накопичуються у рослині, здебільшого в кореневих волосках, кінчиках коренів, потім у вузловій і середній зоні. Підтверджується припущення про кращу дію низьких концентрацій та наочно демонструється дія наномагнетиту як засобу для послаблення стресу спричиненого важкими металами.

1.4. Характеристика обраних культур як модельних рослин

Для експериментальної роботи було обрано три види рослин з родини злакових: пшениця тверда *Triticum durum*, кукурудза звичайна *Zea mays L.* та жито посівне *Secale cereale*.

Всі представлені вище види є трав'янистими рослинами родини злакових (*Poaceae*). Злакові вважаються економічно найважливішою родиною рослин та є важливими об'єктами для дослідження (Group, 2001). Важливість з точки зору використання цих рослин у якості головних для ведення сільського господарства у світі, роблять обрані види рослин привабливими для експерименту.

1.4.1 Систематика і походження

Систематичне положення обраних рослин є наступним [62]:

Домен: Еукаріоти (*Eukaryota*); царство: Рослини (*Plantae*); підцарство: Судинні рослини (*Tracheobionta*); надвідділ: Насінні (*Spermatophyta*); відділ: Покритонасінні (*Magnoliophyta*); клас: Однодольні (*Liliopsida*); підклас: Комелініди (*Commelinidae*); порядок: Осокоцвіті (*Cyperales*); родина: Злакові (*Poaceae*).

Відрізняються лише роди та види:

- рід: Пшениця (*Triticum*); вид: Пшениця тверда (*Triticum durum*);
- рід: Кукурудза (*Zea L.*); вид: Кукурудза звичайна (*Zea mays L.*);
- рід: Жито (*Secale L.*); вид: Жито посівне (*Secale cereale L.*).

Обрані рослини мають різне походження. Так про походження пшениці твердої існує декілька теорій, які базуються на молекулярних, археологічних та морфологічних дослідженнях.

Згідно з генетичними дослідженнями, пшениця тверда виникла близько 10 тисяч років тому в результаті схрещування між дикими видами *Triticum urartu* і *Aegilops speltoides* в Південно-Західній Азії [63]. Однак, інші дослідження показують, що пшениця тверда може мати більш складне походження з більшою

кількістю видів-предків, включаючи *Triticum dicoccoides*, *Triticum araraticum* та інші [64].

Морфологічні дослідження також вказують на складний характер походження пшениці твердої. І підкреслюють знову ж таки спільні риси з *Triticum dicoccoides* та *Triticum araraticum* [65].

Важливою складовою вивчення походження цього виду є археологічні знахідки. Зокрема, знахідки на початку 20 століття в Карловій Весі та Білій Церкві свідчать про те, що пшениця тверда була відома людству вже в 3-2 тисячолітті до нашої ери [66].

Узагальнюючи, можна сказати, що мутації, які призвели до утворення твердої пшениці, сталися близько 10000 років тому у регіоні, що знаходиться між сучасними Туреччиною та Іраном.

Походження кукурудзи базується також на декількох гіпотезах. Мексиканська гіпотеза припускає, що кукурудза звичайна виникла в Мексиці більше 7000 років тому в результаті довгого процесу домашнього відбору та гібридизації із дикими зерновими травами. Ця гіпотеза підтримується археологічними даними, які свідчать про те, що кукурудза була однією з основних культурних рослин у мексиканських індіанців [67].

За так званою південноамериканською гіпотезою, кукурудза звичайна була приручена в Південній Америці. Дані генетичних досліджень підтверджують, що деякі сорти кукурудзи з Південної Америки мають відмінності від мексиканських сортів, що підтверджує гібридизацію кукурудзи звичайної з дикими травами саме там [68].

Ще існує двопотокова гіпотеза, згідно неї кукурудза має походження від рослин *Zea diploperennis* та *Zea perennis*, які зростали у південній Мексиці та Центральній Америці. Ці рослини є близькими родичами сучасної кукурудзи та мають деякі схожі риси, такі як здатність коренів проникати глибоко в ґрунт для пошуку вологи та поживних речовин. Це свідчить про те, що кукурудза виникла як результат природного схрещування декількох видів *Zea* [69].

На думку науковців, жито посівне виникло близько 8000-9000 років тому на території північного Сходу Близького Сходу (нинішній Іран, Туреччина). Відтоді воно розповсюдилось по всій Європі та Азії [70].

Відомо, що жито посівне вирощувалось у Східній Європі та Азії ще до появи писемності. Наприклад, в Греції його вирощували ще в епоху бронзи, а в Єгипті - біля 2000 років тому [71].

За даними генетичного аналізу, жито посівне має походження від дикорослого жита (*Secale montanum* Guss.) та з внеском генів від дикого родича - дикого жита (*Secale strictum*). Це підтверджується результатами молекулярно-генетичного дослідження, в якому було виявлено деякі місця в геномі рослини, що не відповідають жодному з його близьких родичів [65].

1.4.2 Генетичні особливості обраних рослин

Родина злакових, через їх виняткову значимість у розвитку цивілізації, має багату історію дослідження генетики. Традиційно прийнято вважати рис модельною рослиною у питанні генетичних досліджень родини. Так сталося через простоту геному, в порівнянні з іншими представниками *Poaceae*. Проте генетика всіх обраних рослин на сьогоднішній день також добре вивчена, а *Zea mays* L є також модельним організмом, при чому для вивчення генетики в цілому.

У 2019 році дослідниками було повністю секвеновано та зібрано геном пшениці твердої сорту Svevo [72]. Вона має великий і складний геном із загальним розміром близько 15 Гб. Геном тетраплоїдної рослини складається з 4 наборів хромосом (загальна кількість 28), які за розміром і структурою схожі на хромосоми інших видів пшениці. Однак тверда пшениця має також унікальні структури, за рахунок яких вона є більш стійкою до впливу навколишнього середовища та хвороб [72]. Порівняно з алогексаплоїдною хлібною пшеницею (з 3 геномами), тверда пшениця (тільки з 2 геномами) має вужчу генетичну базу та нижчу генетичну буферність. Однак вона може терпіти хромосомну інженерію і додавання

чужорідних хромосом [73] або заміну своєї хромосоми відповідними хромосомами від своїх диких родичів [74].

Експресія генів у твердій пшениці регулюється складною мережею генетичних та епігенетичних факторів. Також тверда пшениця демонструє високий рівень генетичного різноманіття, з більш ніж 5000 зразками, зібраними та охарактеризованими в генних банках по всьому світу. Це генетичне різноманіття є цінним ресурсом для вдосконалення твердої пшениці шляхом селекції та генної інженерії [75].

Кукурудза має довгу історію розробки генетичних і геномних засобів і вважається однією з найбільш доступних систем вищих рослин. Вона має невелику кількість хромосом ($n=10$), які добре відрізняються за довжиною, розташуванням центромер тощо. Завдяки повністю секвенованому геному, набору цитогенетичних інструментів, методів прямої та зворотної генетики та охарактеризованих маркерів фенотипу кукурудза піддається вивченню питань, що виходять за межі біології рослин. Основні відкриття в області транспозонів, імпринтингу та біології хромосом стали результатом роботи на кукурудзі [76].

Відкриття геному кукурудзи відбулося в 2009 році [77], а у 2017 році було опубліковано повну послідовність її геному [78]. Кукурудза є природним аутокросинговим видом, та була відома на ранньому етапі завдяки своїм великим мейотичним хромосомам, які легко інтерпретувати, завдяки цьому їх використовували як наочні посібники для вивчення генів [79]. Також рослина тісно пов'язана з іншими основними зерновими, такими як рис, пшениця та сорго, і чіткі закономірності колінеарності геному очевидні. Порівняльне картування видів зернових може бути дуже інформативним для ідентифікації генів-кандидатів і підтвердження їх загальної важливості для багатьох видів [80].

Створена генетична та геномна база даних кукурудзи (MaizeGDB) (<http://www.maizegdb.org>) [81]. Вона слугує онлайн-бібліотекою для дослідників кукурудзи. Там містяться новини про кукурудзу, генетичні карти, інформацію про мутації та алелі, а також прямий доступ до запитів на насіння для генетичних запасів. Кукурудза є однією з кількох основних зернових культур із передовими

ресурсами секвенування та картографування, і порівняльне картографування може бути надзвичайно корисним під час інтерпретації фізичних карт, мутантних фенотипів і кількісних ознак [82]

Посівне жито може мати диплоїдний або тетраплоїдний набір хромосом ($2n=14$, $2n=28$). Повний геном жита посівного поки не був секвенований. Проте як генетична дослідницька система, жито інтригує завдяки своїй високій генетичній мінливості.

Крім того, що жито є економічно важливою культурою для Середньої та Східної Європи, жито забезпечує цінні властивості для інших культур [83]. Також незважаючи на те, що жито є високогетерозиготним, ауткросуючим видом, інбредні лінії часто використовуються селекціонерами та геномними дослідниками [83].

Розмір гаплоїдного геному жита становить понад 8 Гб, що є одним із найбільших серед зернових культур. Крім того, 92% геному складається з повторюваних послідовностей [84]. Враховуючи великий розмір геному та відсутність інформації про послідовність і геномних ресурсів у жита, ідентифікація та цілеспрямована ізоляція генів, що лежать в основі агрономічних ознак, і розуміння функції генів і варіації ознак значно ускладнені. Однак, дослідниками [85] було розроблено TRITEX, обчислювальний робочий процес із відкритим вихідним кодом, який поєднує в собі зв'язане зчитування 10X Genomics із записом конформації хромосоми, щоб побудувати каркаси послідовностей із суміжністю мегаосновного масштабу, впорядкованою в хромосомні псевдомолекули [85]. Згідно з цим, було запропоновано застосування цього нового інструменту для секвенування геномів злакових, серед яких є жито посівне [85]. Тому отримання повної інформації щодо цього виду також не змусить себе довго чекати.

Таким чином можна казати, що всі обрані рослини представляють собою зручні об'єкти для дослідження генів, зокрема гомологічних генів і білків.

1.4.3 Морфологічні і фізіологічні особливості

Злакові рослини мають дуже характерну морфологію, яка включає в себе наступні особливості:

- **Колосок:** це центральна частина квітконосної гілки, яка зазвичай складається з численних дрібних квіток, згрупованих в метелик або колос. Колоски можуть бути різної форми та розміру, залежно від виду злакової рослини [86]. Наприклад, колосок твердої пшениці має циліндричну форму з відростками, а його розмір зазвичай більший ніж у інших злакових. Крім того, зерно твердої пшениці містить більше білка та менше крохмалю порівняно з іншими рослинами родини [87]. У кукурудзи колосок розташовується окремо від китиці, та складається з чоловічих (квіткові пилки) і жіночих (вусики) квіток. Також колоски більші і товстіші, ніж колоски інших злаків [88]. Колосок жита від інших представників родини відрізняється більшою довжиною, густішим розташуванням зерен та складністю. Він має багато гілок, які розгалужуються з основної осі, надаючи йому складну структуру. За рахунок більшої довжини стебла, рослина може мати більшу кількість колосків [89].
- **Листя:** листя злакових рослин зазвичай довге та вузьке, з тупим або гострим кінчиком. Листкова пластина може бути гладкою або жорсткою, залежно від виду злаку [90]. Листя пшениці твердої має більш прямокутну форму з округленими краями, насичений зелений колір та більшу глибину зубців. А також збільшена кількість жилок [91]. Тоді як кукурудза має більш вузьку та довгасту форму, паралельні жилки та має меншу кількість кутикули, що робить листки більш вразливими до втрати вологи [92]. Основними ж відмінностями листків жита є вузька форма з відносно коротким листовим підрізом і гладкими краями та темно-зелений колір [93].
- **Стебло:** злакові рослини мають циліндричне стебло. Для обраних видів рослин, основними відмінностями є висота стебла, його товщина а також волокнистість та розгалуженість [90].

- Корінь: корінь злакових рослин зазвичай має вигляд сильної та міцної системи, яка дозволяє збирати воду та поживні речовини з глибоких шарів ґрунту. Розгалуженість кореневої системи варіюється в залежності від виду рослини, наприклад корені пшениці та жита мають схожу будову, а кукурудза вирізняється більш розгалуженою та складною кореневою системою (довжиною до 2 метрів), з наявністю глибокого та середнього кореню [94].

Обрана група рослин, має ряд особливостей у фізіології, які дозволяють ефективно функціонувати в різних умовах середовища. Наприклад, завдяки довгому та вузькому листю, рослини можуть ефективно збирати сонячну енергію. Крім того, вони мають велику кількість мікроскопічних отворів (стом) на своєму листі, які дозволяють ефективно проводити процес газообміну, включаючи збір вуглекислого газу для фотосинтезу [95].

Сильна та міцна система коренів, дозволяє рослинам збирати воду та поживні речовини з глибоких шарів ґрунту. Крім того, присутня дуже розвинена система внутрішнього транспорту, яка дозволяє переносити воду та поживні речовини. Це збільшує ефективність використання ресурсів та забезпечує високу продуктивність в умовах їх обмеження [96]. Діаметр ситоподібних отворів флоєми для всіх трьох обраних рослин є приблизно однаковим: від 0,02 до 0,06 мм, в залежності від умов вирощування та стадії розвитку рослин [97].

Злакові рослини є вітрозапильними, це сприяє швидкому розповсюдженню пилку на значні відстані. Також вони мають високу стійкість до різних стресових факторів, таких як посуха, низькі температури, хвороби та шкідники [98].

1.4.4 Значення обраних рослин для людини

Злакові рослини мають велике значення для людства. Вони є основою харчування для більшості населення планети. Зокрема, пшениця, рис, кукурудза, жито та інші злаки є основними джерелами вуглеводів та білків, які необхідні для життя і здоров'я людини. Крім того, вони мають важливе значення в галузі

промисловості, особливо виробництва алкогольних напоїв, кормів для тварин, паперу, текстилю та інших матеріалів [99].

Якщо розглядати це питання стосовно кожного обраного виду рослин, то про тверду пшеницю можна сказати, що вона є одним з найважливіших зернових культур в світі і має велике значення для людства. Основні причини її значущості полягають у високій врожайності, легкості зберігання та транспортування, а також у високому вмісті білка, багатому складі вітамінів та мінералів [100]. Застосування цього виду пшениці полягає у виробництві:

- хліба та інших харчових продуктів, таких як паста, крупи, булочки та інша випічка;
- кормів для тварин;
- етанолу та інших біопалив.

Тверда пшениця має велике значення для економіки та займає важливе місце в торгівлі між країнами [101].

Кукурудза має значення для людства з кількох причин. Вона є важливим джерелом харчових продуктів. Крім того, зерно кукурудзи можна використовувати для виробництва крохмалю, крохмалевого цукру, біоетанолу [102].

Рослини цього виду є важливим кормом для тварин. Її листя, стебла та качани можна використовувати для годівлі худоби, свиней та птиці. А кукурудзяний шрот є важливим джерелом білка для виробництва комбікормів [103].

Також кукурудза має важливе значення в екологічному виробництві. Ця рослина може використовуватися як ефективний засіб боротьби з бур'янами [104]. Вона також виступає як модельний організм в генетичних дослідженнях рослин та не тільки [82].

Можливо не таким важливим як попередні рослини проте не менш потрібним є вид *Secale cereale L* (жито посівне). Зерно жита містить багато білків, вуглеводів, вітамінів (особливо групи В) та мінералів (зокрема заліза та магнію), що робить його важливим джерелом живлення [105]. Рослина є одним з основних зернових для виробництва алкогольних напоїв, зокрема горілки [106]. Солома жита може використовуватись як корм для тварин. Не менш важливим є застосування рослин

виду як зелене добриво, яке поліпшує структуру ґрунту та підвищує його родючість [107].

Рослини виду *Secale cereale L* можна використовувати як донор так званих диких генів для модифікації інших важливих злакових, наприклад пшениці або ячменю [83].

Обрані рослини є життєво важливими для харчових та інших потреб людства. Не менш важливим є і те, що всі ці культури успішно вирощуються в Україні [108]

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1. Матеріали досліджень

Для виконання біоінформаційного дослідження в якості матеріалу виступали протеоми *Triticum aestivum* L.; *Zea mays*; *Hordeum vulgare* L.; *Helianthus annuus* L.; *Glycine max* L.; *Solanum tuberosum*; *Brassica napus*; *Brassica oleracea*; *S. lycopersicum*, та амінокислотні послідовності білків магнітосомного острівця магнітотаксисної бактерії *M. gryphiswaldense* MSR-1 отримані з бази даних NCBI.

При проведенні експериментів були використані наступні матеріали і обладнання:

- насіння *Triticum durum* Харківська 36;
- насіння *Zea mays* L Надія;
- насіння *Secale cereale* L Соняшник;
- пісок кремнієвий;
- розчин вітамінів та макро- і мікро елементів (за рецептом р-ну Мурасіге-Скуга);
- чашки Петрі пластикові для пророщування рослин;
- ємності пластикові для вирощування рослин об'ємом 10 л;
- розчин аміаку – NH_4OH ;
- гексагідрат хлориду заліза (III) – $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$;
- гептагідрат сульфату заліза (II) – $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$;
- перхлорна кислота (2 М);
- вода дистильована;;
- ваги аналітичні;
- мішалка механічна;
- мікропробірки пластикові типу Eppendorf;
- установка постійного магнітного поля індукцією 30 мТл.

2.2. Методи досліджень

2.2.1 Пошук гомологів білків біомінералізації БМН

Для пошуку гомологів БМН у протеомах рослин використано методи попарного та множинного вирівнювання з використанням програми “BLAST” Національного центру біотехнологічної інформації. За допомогою BLAST, можна порівняти наявну послідовність з послідовностями, представленими у базі даних і визначити наявні гомологи [109].

При оцінці ступеня подібності використовуються такі показники:

1. Ident (%) – кількість ідентичних амінокислотних залишків білків, що порівнюються, при оптимальному вирівнюванні.

Показник в більше ніж 45% характеризує, що білки мають дуже схожі структури та з великою ймовірністю однакові чи спільні функції; при величині показнику в 25% білки не мають аналогічної структури, проте механізми фолдингу є подібними, – гомологія білків не виключена; 18-24% – допускається гомологія, але необхідним є проведення її додаткової перевірки [110].

2. E-число – показник, який відображає статистичну значимість вирівнювання. Зниження цього показнику вказує на менший рівень прояву фактору випадковості при співпадінні амінокислотних залишків білків, які порівнюють. Нижчий показник E-числа відповідає вищій вірогідності не випадковості співпадіння.

Для аналізу використано наступні межі показника:

- ($\leq 10^{-10}$), послідовності повністю гомологічні;
- в межах ($10^{-10} - 10^{-5}$), гомологія не може бути виключеною;
- ($\geq 0,05$), виявлене співпадіння має випадковий характер [110].

2.2.2 Методика приготування магнетиту

Для приготування наномагнетиту використовували метод співосадження солей заліза (дво- та тривалентного) концентрованим розчином аміаку [111].

Обладнання і матеріали: лабораторні ваги аналітичні, електромагніт з горизонтальним напрямком магнітного поля в робочому зазорі, магнітна мішалка, центрифуга, лабораторний посуд, сульфат заліза (II-валентного), хлорид заліза (III валентного), концентрований розчин аміаку, розчин перхлорної кислоти, H_2O дистильована.

Синтез виконували за таким порядком дій:

1. В колбу об'ємом 100 мл додавали 50мл дистильованої води. Потім спочатку додавали 4,39 г $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, а потім – 7,99 г $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Розчин підігрівали для покращення розчинення солей.
2. В колбу місткістю 100 мл додали 15 мл розчину аміаку (концентрацією 25%-го) та помістили у зазор між магнітами, з напруженістю поля 2000 Е. До розчину тонкою цівкою при постійному перемішуванні наливали попередню суміш солей. Отриманий розчин тримали в постійному магнітному полі протягом 15 хв. В результаті отримали осад чорного кольору (Fe_3O_4).
3. Після цього, вимкнувши електромагніт, поміщали під дно стакану магніт, для відстоювання розчину. Після цього зливали верхній шар розчину солей з аміаком.
4. Отриманий осад порошку магнетиту заливали H_2O дист. з перемішуванням на магнітній мішалці. Кожні 10 хв зливали воду та повторювали процес енну кількість разів поки рН розчину не стане ≈ 7 .
5. Після промивання до осаду додавали 25 мл розчину перхлорної кислоти (2 М), з перемішуванням протягом 30 хв. Після того як розчин відстоявся перхлорну кислоту злили та додали 50 мл води з повторним перемішуванням (30 хв).

2.2.3 Методика приготування поживних розчинів

Для приготування поживних розчинів макро-, мікроелементів та вітамінів використовували стандартний рецепт концентрацій інгредієнтів поживного середовища Мурасіге-Скуга [112].

Приготування виконували в двох колбах об'ємом 1 л. Наважки солей для розчину макро- і мікроелементів та розчину вітамінів, завантажували у колби куди потім додавали дистильованої води рівно 1 л та добре перемішували.

Розчин макро- та мікроелементів:	Розчин вітамінів:
- Нітрат амонію NH_4NO_3 – 1650 мг;	- Інозитол В8 – 100 мг;
- хлорид кальцію CaCl_2 – 440 мг;	- нікотинова кислота РР – 0,5 мг;
- сульфат магнію MgSO_4 – 370 мг;	- піридоксин В6 – 0,5 мг;
- гідрофосфат калію KH_2PO_4 – 170 мг;	- тіамін В1 – 0,1 мг;
- нітрат калію KNO_3 – 1900 мг;	- гліцин – 2 мг;
- борна кислота B(OH)_3 – 6,2 мг;	- гетероауксин 1 – 30 мг;
- хлорид кобальту CoCl_2 – 0,025 мг;	- цитокінін – 10 мг.
- сульфат купруму CuSO_4 – 0,025 мг;	
- сульфат марганцю MnSO_4 – 22,3 мг;	
- йодид калію KI – 0,83 мг;	
- молібдат натрію NaMo – 0,25 мг;	
- сульфат цинку ZnSO_4 – 8,6 мг.	

2.2.4 Методика пророщування обраних зернових культур

При проведенні експериментів дотримувались стандартних методик і рекомендацій [113].

Експеримент з пророщуванням проводили паралельно для трьох зразків з однієї дослідної групи (10 насінин в одному зразку), дослідні групи відрізнялись часом впливу магнітного поля та контроль. Таке рішення було прийнято задля збільшення статистичної вибірки даних. Для постановки експерименту обрали

наступні часові параметри: 1 хв, 2, хв 3 хв, 4 хв, 5 хв. Вибір часу пов'язаний з можливістю використовувати даний метод під час промислової підготовки посівного матеріалу.

На етапі пророщування було підготовлено 18 стерильних чашок Петрі з фільтрувальним папером, зволоженим шляхом додавання 3 мл дистильованої води у кожен ємність. Висівали по 10 насінин пшениці (попередньо дезінфікованих у розчині спирту 70% впродовж 2 хвилин) в кожен чашку. Процес пророщування проводили протягом 9 діб.

2.2.5 Методика вирощування пшениці твердої

Вплив обох факторів визначався окремо. Експеримент з впливом наночастинок магнетиту було підготовлено згідно з попередньою методикою пророщування. Для постановки експерименту обрали наступні концентрації наночастинок: 0,05 мг/мл, 0,075 мг/мл, 0,1 мг/мл, 1 мг/мл.

При проведенні експерименту дотримувались стандартних методик і рекомендацій [113].

Після пророщення насіння, молоді паростки пересаджували (по 15 найкращих рослин з однієї експериментальної групи) у горщики об'ємом 10 літрів. Для росту рослин, в якості середовища обрали пісок, збагачений розчинами вітамінів та макро- і мікро елементів (за рецептом Мурасіге-Скуга). Такий вибір обґрунтований можливим небажаним впливом різних ґрунтів на досліджувані показники. Цими ж розчинами здійснювався полив (два рази на тиждень по 150 мл), для забезпечення кількісного співвідношення поживних речовин. Висаджені рослини культивували протягом 8 тижнів. Режим освітлення: ~ 15 000 люксів, 12-годинний світловий день.

2.2.5 Оцінка схожості та морфологічних показників культивованих рослин

Під час експериментів з пророщуванням кожних 3 доби знімали показники довжини стебла та кількість пророщеного насіння. Також наочно порівнювали

розгалуженість кореневої системи.

Пророщене насіння оцінювали через 9 днів після посіву. Відсоток схожості насіння обраховували за наступною формулою:

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

де n – кількість насіння, що проросло;

m – загальна кількість насіння в чашці Петрі.

Вимірювання довжини стебла проводили за допомогою електронного штангенциркуля. З отриманих результатів для кожної дослідної групи обраховували середнє і стандартну помилку за формулою:

$$SE = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{\sum (x - x_{\text{сер}})^2}{n}},$$

де n – кількість стебел,

x - довжина n -ного стебла,

$x_{\text{сер}}$ - середня довжина стебла.

Морфологічні показники (висота стебла) рослин, що культивувались у горщику (експеримент з твердою пшеницею) знімали кожного тижня. А показники довжини коріння було отримано наприкінці вирощування. Вимірювання довжин проводили за допомогою електронного штангенциркуля. З отриманих результатів для кожної дослідної групи обраховували середнє і стандартну помилку за формулою.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

3.1. Біоінформаційний аналіз розглянутих культурних рослин як потенційних продуцентів БМН

Пошук гомологів білків біомінералізації дозволив виявити потенційних продуцентів БМН серед сільськогосподарських рослин України, представлених у даному дослідженні. Результати наведені нижче (Таблиця 3.1).

Таблиця 3.1. — Результати вирівнювання досліджуваних рослин

Організм	Повнота геному	Назва білку					
		Е-число					
		Ident (%)					
		Query Cover (%)					
		Білки <i>Magnetospirillum gryphiswaldense</i> MSR-1					
		MamA	MamB	MamM	MamO	MamE	MamK
<i>Triticum aestivum</i> <i>L.</i>		UDP-N-acetylglucosamine--peptide N-acetylglucosaminyltransferase SEC	etal tolerance protein 2-like	hypothetical protein CFC21_061668	protease Do-like 1, chloroplastic	protease Do-like 1, chloroplastic	actin-1-like
		2e-07	4e-38	1e-25	1e-06	7e-33	0.011
		23.93%	29.51%	27.87%	22.75%	43.29%	21.83%
		76%	93%	82%	25%	20%	55%

Продовження таблиці 3.1

<i>Zea mays</i>		putative UDP-N- acetylgluco samine-- peptide N- acetylgluco saminyltra nsferase SEC	uncharact erized protein LOC1002 77920 isoform X1	Metal tolerance protein C1	uncharac terized protein LOC100 279259 isoform X2	uncharact erized protein LOC100 279259 isoform X2	actin
		4e-09	1e-20	7e-14	3e-08	8e-34	0.002
		23.93%	29.34%	37.36%	23.43%	43.90%	22.84%
		76%	86%	48%	26%	20%	55%
<i>Hordeum vulgare</i> <i>L</i>		UDP-N- acetylgluco samine-- peptide N- acetylgluco saminyltra nsferase SEC	metal tolerance protein 2	metal tolerance protein 2	protease Do-like 1, chloropla stic	protease Do-like 1, chloropla stic	actin-1
		6e-08	9e-20	6e-14	3e-07	4e-33	0.004
		23.75%	28.09%	36.08%	22.75%	43.90%	21.83%
		77%	96%	79%	25%	29%	55%

Продовження таблиці 3.1

<i>Helianthus annuus L</i>		anaphase-promoting complex subunit 8	metal tolerance protein 2	metal tolerance protein 2	protease Do-like 1, chloroplastic	protease Do-like 1, chloroplastic	actin-7
		3e-11	2e-31	3e-25	1e-06	3e-34	0.012
		24.16%	28.62%	30.04%	24.57%	45.06%	22.41%
		76%	93%	81%	26%	27%	49%
<i>Glycine max L</i>		Anaphase-promoting complex subunit 8	hypothetical protein JHK82_02668	hypothetical protein JHK82_026683	hypothetical protein JHK86_051924	hypothetical protein JHK86_051924	actin
		8e-08	2e-23	7e-16	2e-06	9e-34	0.009
		22.15%	28.74%	31.4%	23.43%	43.90%	22.05%
		70%	84%	54%	26%	20%	55%
<i>Solanum tuberosum</i>		hypothetical protein KY289_019293	metal tolerance protein 2 isoform X2	hypothetical protein KY285_037785	protease Do-like 1, chloroplastic	protease Do-like 1, chloroplastic	actin-65
		2e-11	2e-28	2e-24	5e-07	5e-34	6e-04
		24.16%	27.06%	29.72%	24.57%	45.06%	21.40%
		85%	93%	81%	26%	27%	60%

Продовження таблиці 3.1

<i>Brassica napus</i>		anaphase-promoting complex subunit 8 isoform X1	metal tolerance protein C1-like	metal tolerance protein C1-like	protease Do-like 8, chloroplastic	protease Do-like 1, chloroplastic	actin-2
		2e-07	5e-39	5e-24	2e-07	9e-35	0.007
		22.86%	29.77%	27.93%	26.94%	45.12%	21.61%
		66%	94%	86%	28%	29%	56%
<i>Brassica oleracea</i>		peroxisome biogenesis protein 5-like	hypothetical protein Bca52824_042485	unnamed protein product	protease Do-like 8, chloroplastic	hypothetical protein HID58_023804	hypothetical protein DY000_02060575
		5e-06	6e-37	5e-22	4e-07	2e-34	0.008
		26.04%	29.73%	27.93%	27.03%	45.12%	25.35%
		75%	93%	86%	26%	20%	20%
<i>S. lycopersicum</i>		anaphase-promoting complex subunit 8	metal tolerance protein 2 isoform X1	metal tolerance protein 2 isoform X1	protease Do-like 1, chloroplastic	protease Do-like 1, chloroplastic	actin-58
		8e-09	1e-28	8e-13	1e-07	1e-34	0.001
		22.82%	27.06%	30.25%	24.57%	45.06%	21.83%
		67%	93%	78%	26%	27%	55%

Виходячи з отриманих даних, можна припустити, що всі досліджені сільськогосподарські рослини здатні до синтезу БМН. За отриманими результатами можна також визначити тип БМН, які потенційно синтезуються. Згідно з роботою [114], формування магнітних наночастинок в середині клітин рослин контролюється комплексом білків. За відсутності деяких з білків формування БМН стає неможливим, або наночастинок синтезуються позаклітинно. Тобто можна

судити про класифікацію БМН залежно від наявності тих чи інших білків. За допомогою такої класифікації (Таблиця 3.2) можна визначити тип БМН.

Таблиця 3.2 – Класифікація БМН в основі наявності білків/гомологів МО МТБ [115]

Білки МО МТБ/гомологи білків МО	Зовнішньо- клітинні аморфні БМН	Зовнішньо- клітинні кристалічні БМН	Внутрішньо- клітинні аморфні БМН	Внутрішньо- клітинні кристалічні БМН
MamA	—	+	—	+
MamB	+	+	+	+
MamM	+	+	+	+
MamO	—	—	+	+
MamE	—	—	+	+
MamK	—	—	+	+

Отже можна говорити про потенційну можливість обраних для дослідження рослин синтезувати зовнішньо-клітинні кристалічні БМН. Адже в їх протеомах наявні гомологи всіх білків біомінералізації.

3.2. Вплив магнітного поля на пророщування насіння обраних зернових рослин

Процес пророщування став помітним на другий день від моменту початку експерименту. Повний цикл пророщування було завершено на шостий день. Кінцевий підрахунок проводили на 9 день експерименту.

Насіння проросло приблизно одночасно у всіх зразках, але кількість пророщеного насіння була різною. Також різнилась динаміка кількості пророщеного насіння по дням. В кінці був вирахований відсоток сходження насінин для кожної з піддослідних груп та контролю (Таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Відсоток сходження насінин дослідних груп та контролю

	Дослідні групи рослин					
	К	1 хв	2 хв	3 хв	4 хв	5 хв
Схожість насіння пшениці твердої, %	66,6	90	86,6	83,3	80	80
Схожість насіння кукурудзи звичайної, %	50	56,6	80	83,3	66,6	80
Схожість насіння жита посівного, %	36,6	50	53,3	40	60	66,6

З таблиці видно, що вплив магнітного поля збільшив відсоток схожості насінин для кожної з рослин. Проте результати, щодо відношення кількості пророщених насінин до часу обробки магнітним полем дещо різнились. Для пшениці найбільший відсоток сходження мала група рослин, що оброблялась протягом 1 хвилини, для кукурудзи, – 3 хвилини а для жита, – 5 хвилин. Хоча при цьому різниця між дослідними групами сягала всього в пару насінин.

Проведено морфологічне дослідження паростків, а саме довжини стебла. Результати представлені у вигляді середнього числа з трьох зразків (чашки Петрі) для кожної дослідної групи (Таблиця 3.4).

Таблиця – 3.4 Кінцеві середні показники довжини стебла рослин дослідних груп та контролю, зі стандартною похибкою вимірювання

	Групи насінин за часом обробки постійним магнітним полем					
	К	1хв	2 хв	3хв	4хв	5хв
Середня довжина стебла рослин пшениці твердої $\pm$ SE, см	7,1 $\pm$ 0,79	6,8 $\pm$ 0,91	7,1 $\pm$ 0,50	7,4 $\pm$ 0,75	8,6 $\pm$ 0,44	7,0 $\pm$ 0,33
Середня довжина стебла рослин кукурудзи звичайної $\pm$ SE, см	1,0 $\pm$ 0,32	1,9 $\pm$ 0,09	1,8 $\pm$ 0,13	2,9 $\pm$ 0,21	3,1 $\pm$ 0,31	3,7 $\pm$ 0,24
Середня довжина стебла рослин жита посівного $\pm$ SE, см	3,3 $\pm$ 0,37	5,0 $\pm$ 1,18	7,3 $\pm$ 2,13	7,1 $\pm$ 2,48	7,7 $\pm$ 1,53	9,2 $\pm$ 0,77

Можна зробити висновки про різну дію на довжину стебла проростків досліджуваних рослин опромінення постійним магнітним полем. Для кукурудзи та жита кожна з піддослідних груп рослин мала більші показники довжини стебла ніж у контролю. Прослідковується закономірність: збільшення часу опромінення призводить до збільшення довжини стебла. Час дії поля в 5 хвилин мав найсуттєвішу дію. Тоді як для пшениці група рослин, що піддавалась впливу протягом 4 хвилин мала більшу різницю з контролем та іншими зразками. При чому лише ця група продемонструвала такий результат, інші дослідні групи за довжиною стебла майже не відрізнялись від контролю.

Зміна довжини стебла з часом для кожного виду досліджених рослин представлені у вигляді діаграм (Рисунок 3.1, Рисунок 3.2, Рисунок 3.3).

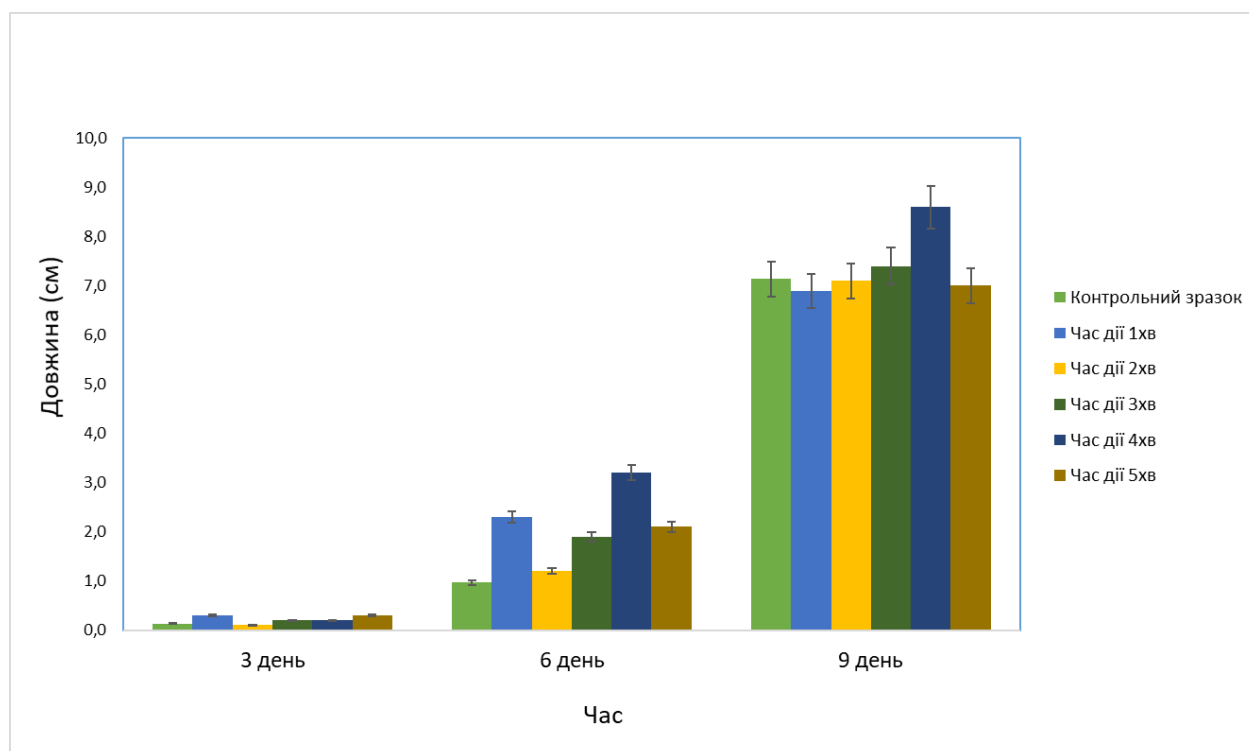


Рисунок 3.1 – Довжина стебла (в середньому) у пророщених рослин пшениці твердої

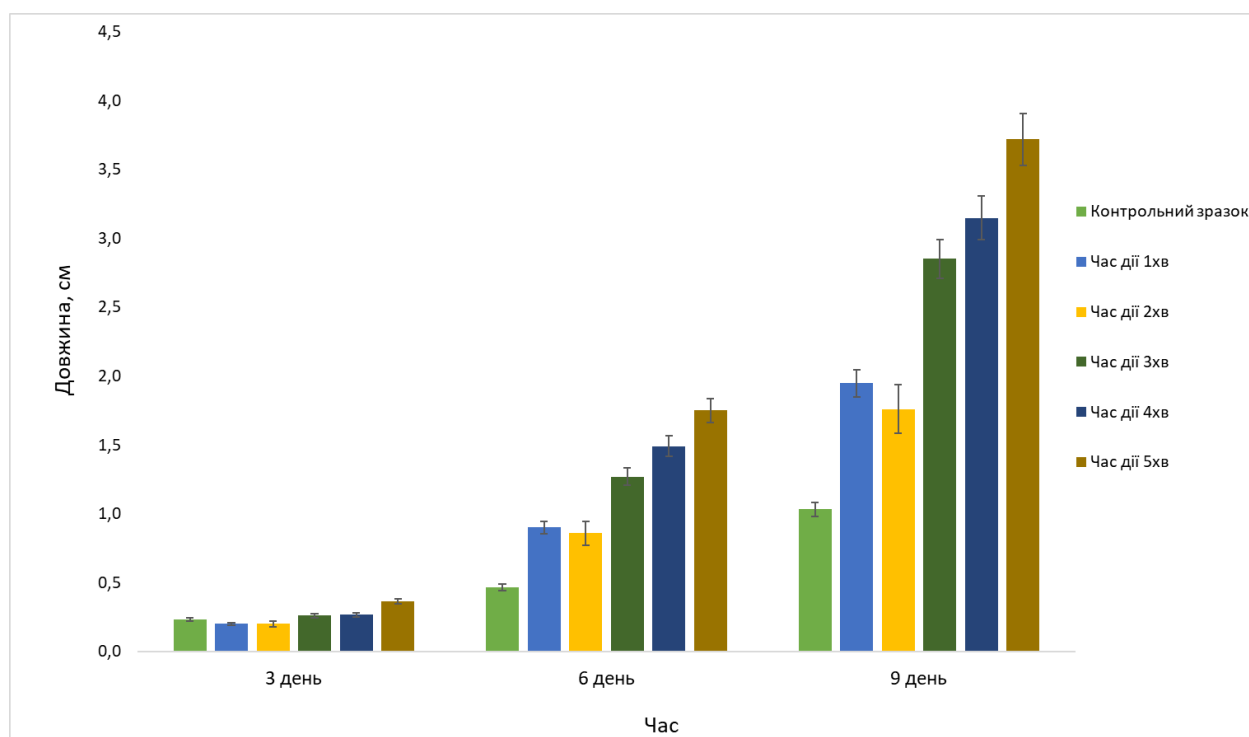


Рисунок 3.2 – Довжина стебла (в середньому) у пророщених рослин кукурудзи звичайної

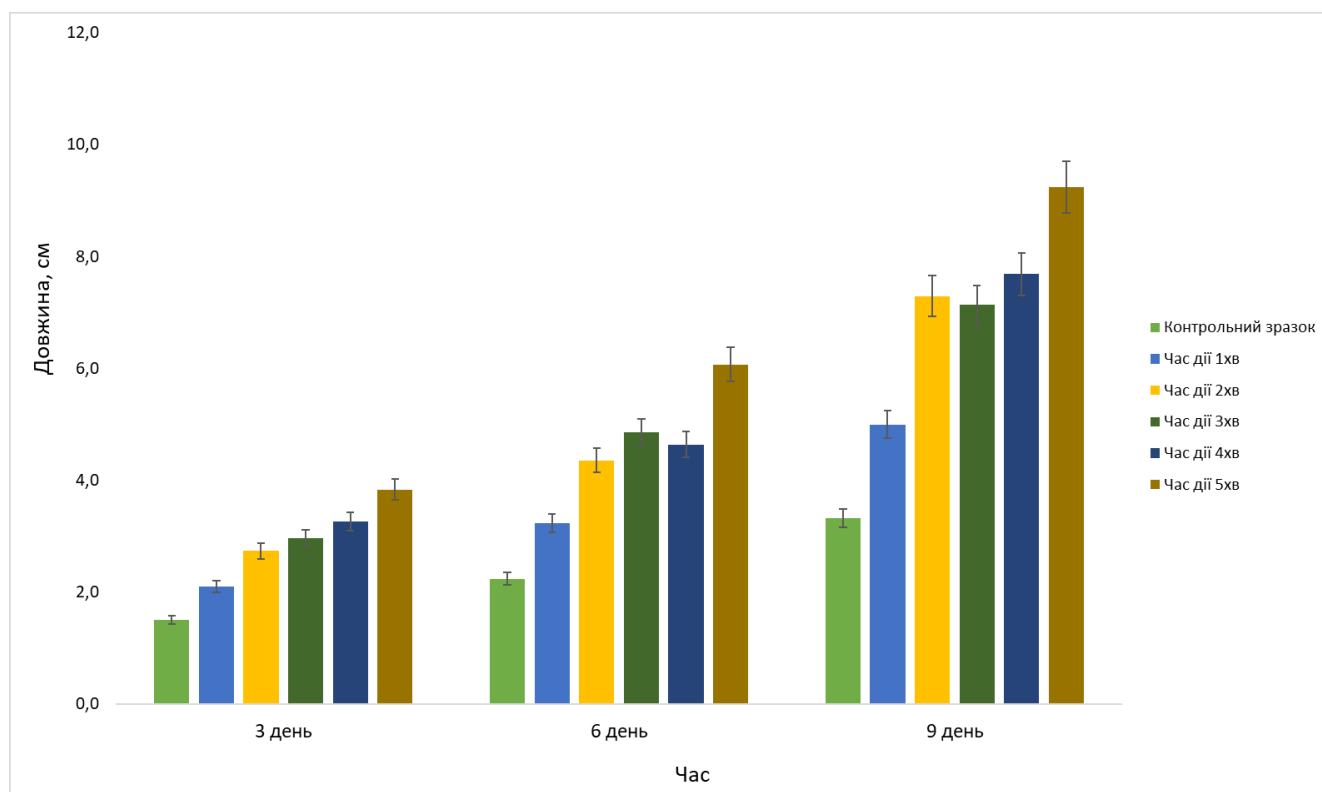


Рисунок 3.3 – Довжина стебла (в середньому) у пророщених рослин жита

Отже, з отриманих експериментальних даних випливають такі висновки:

- Постійне магнітне поле позитивно впливає на швидкість проростання та відсоток проростання насінин досліджених рослин.
- Вплив постійного магнітного поля протягом 5 хвилин індукує збільшення довжини стебла паростків кукурудзи та жита на 270% і 178% відповідно.
- Можна судити про деяку залежність між часом обробки та розвитком проростків жита та кукурудзи. Групи, що підлягали впливу поля довше мали довше стебло. Це свідчить про необхідність подальших досліджень зі збільшенням часу обробки та подальшим культивуванням рослин.

3.3. Вплив постійного магнітного поля та наночастинок Fe_3O_4 на етапі передпосівної підготовки на ріст рослин *Triticum durum*

Об'єктом подальшого дослідження виступили рослини пшениці твердої, що пророщувались в попередньому експерименті, а також паралельно пророщене зерно під впливом наночастинок магнетиту різної концентрації.

Після пророщування було вибрано 15 кращих рослин кожної обраної групи для проведення подальшого культивування, яке тривало протягом 8-ми тижнів. Заміри довжини стебла рослин проводились на початку кожного тижня, результати представлені у вигляді діаграми (Рисунок 3.4).

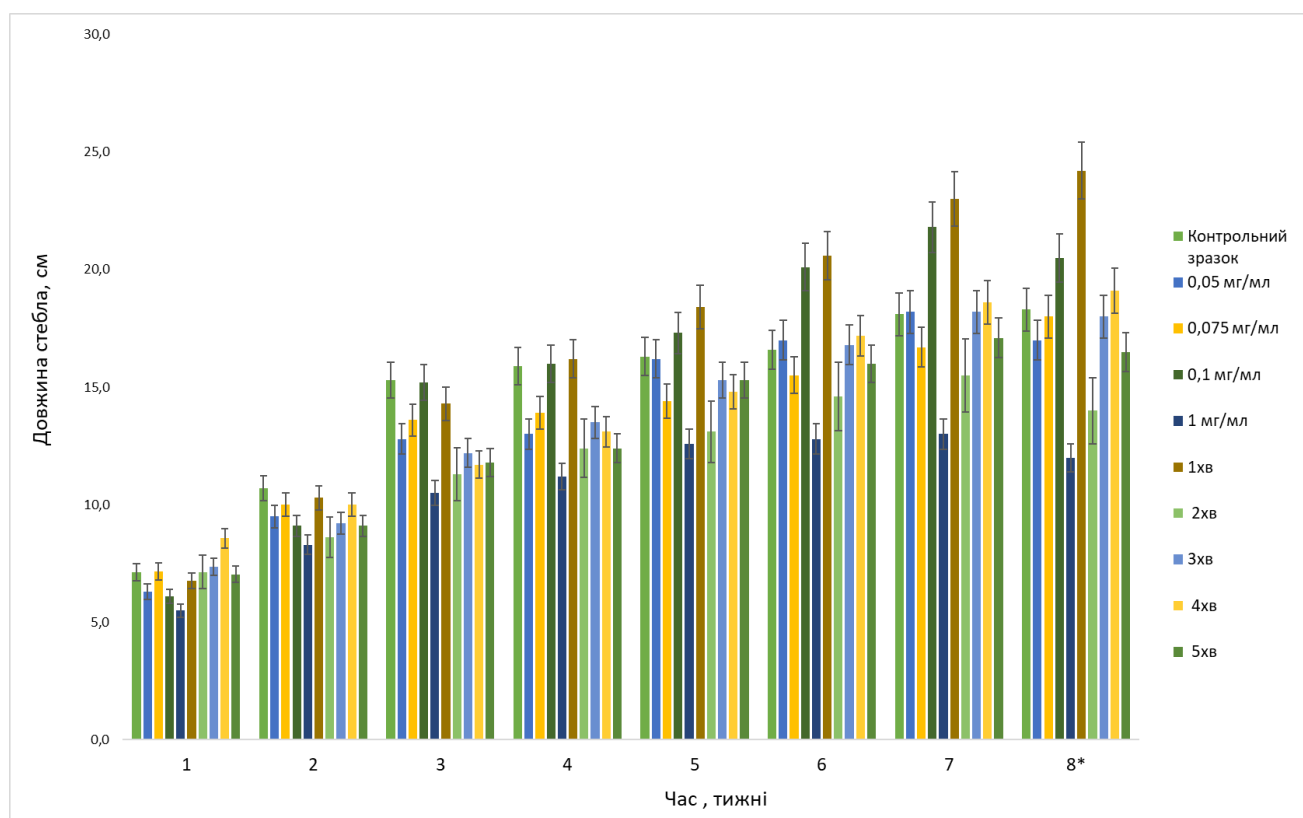


Рисунок 3.4 – Довжина стебла рослин пшениці твердої (в середньому)

Безпосередній розвиток стебла рослин можна прослідкувати з другого тижня експерименту. До четвертого тижня рослини контрольної групи мали довше стебло в порівнянні з дослідними. А після четвертого тижня спостерігався швидкий ріст у всіх дослідних групах, крім тих, що зазнали впливу концентрації наноманетиту в 1 мг/мл. Результати сьомого тижня продемонстрували найбільші показники

довжини стебла у двох дослідних груп, – це концентрація 0,1 мг/мл наночастинок магнетиту та час дії магнітного поля протягом 1 хвилини.

На восьмий тиждень експерименту показники довжини стебла зменшились для деяких дослідних груп, через дію різкого зниження температури. Температура знизилась до 5,1 °С, за умови, що краща температура для культивування пшениці твердої від 15 до 25 °С [113]. Через стрес спричинений стрімким зниженням температури, кількість живих рослин зменшилась в кожній дослідній групі. При цьому дослідні групи рослин втратили в кількості менше ніж контрольна група (Рисунок 3.5).

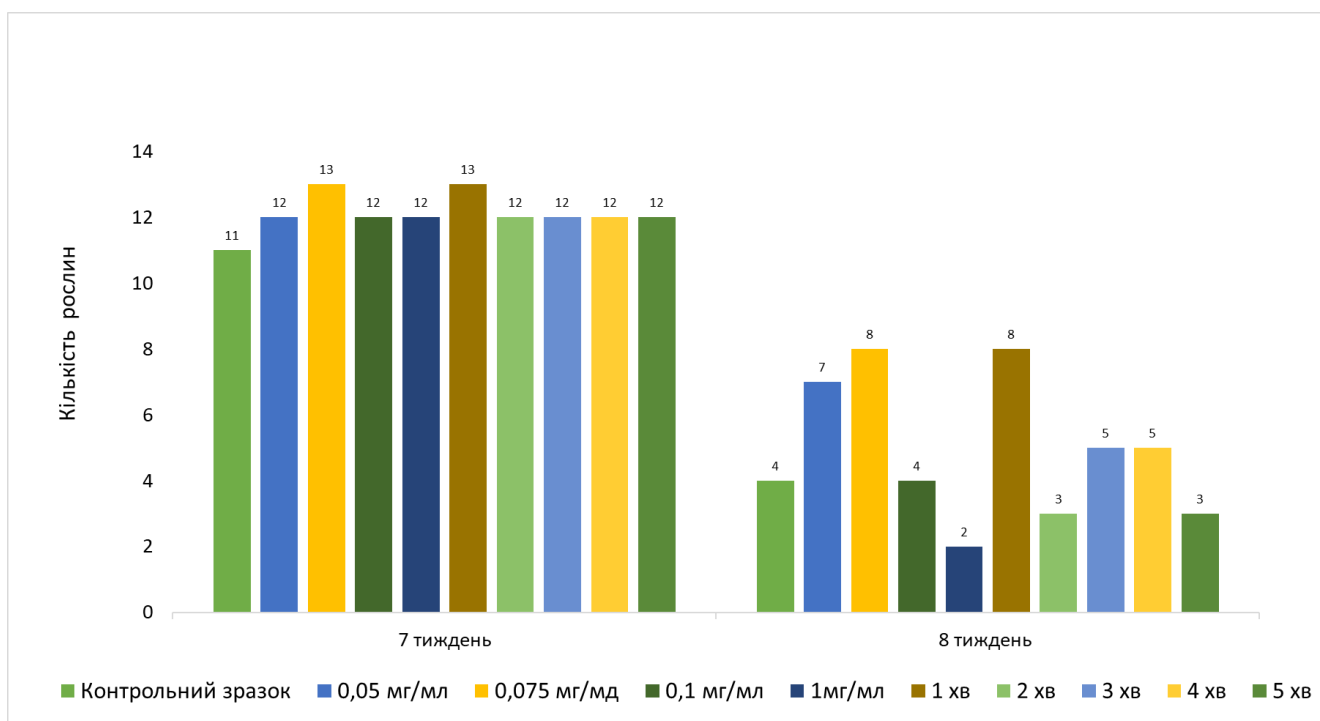


Рисунок – 3.5 Вплив різкого зниження температури на виживаність рослин пшениці твердої

Групи рослин, насіння яких оброблювалось концентрацією наномангнетиту в 0,05 мг/мл, 0,075 мг/мл та магнітним полем протягом 1 хвилини мали значно більшу виживаність (33%, 36% та 36% відповідно) ніж контрольна група.

В кінці експерименту отримали показники довжини кореневої системи рослин, що вижили (Рисунок 3.6).

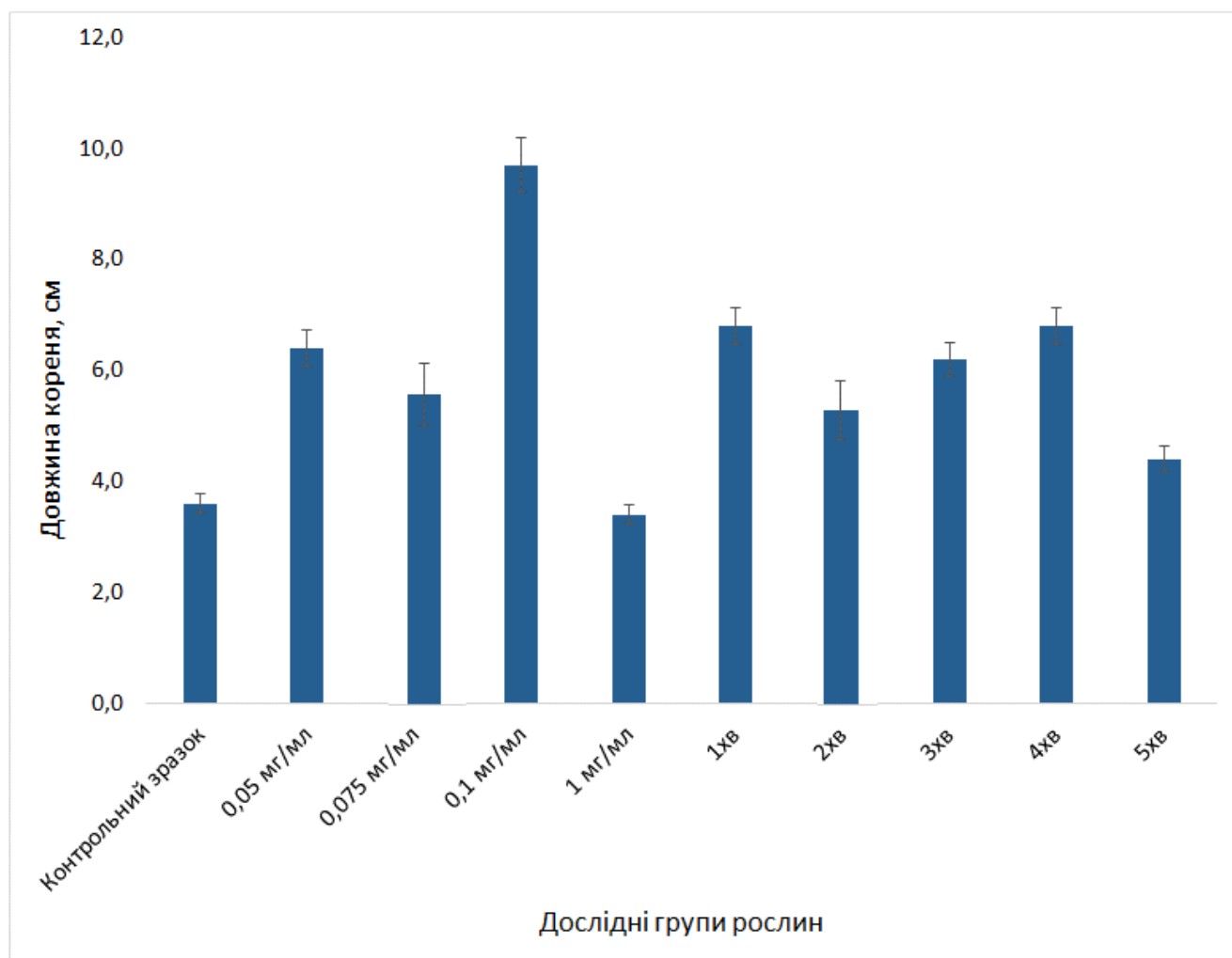


Рисунок – 3.6 Вплив використання на етапі передпосівної підготовки магнітного поля (змінний параметр – час обробки, хв) та наномагнетиту (змінний параметр – концентрація, мг/мл) на довжину коріння рослин пшениці твердої

Коренева система рослин, що піддавались впливу постійного магнітного поля та концентрацій магнетиту, окрім 1мг/мл, краще розвинута ніж в контрольній групі. Найбільшу довжину кореня мали рослини, що оброблялись концентрацією наномагнетиту 0,1 мг/мл.

З отриманих експериментальних даних можна зробити такі висновки:

- Найявний вплив магнітного поля та наночастинок магнетиту на довжину стебла рослин та кореневої системи. Обробка магнітним полем протягом 1 хв призвела до збільшення довжини стебла рослин на 32% та довжини кореня на 88% відносно контрольної групи. Обробка наномагнетитом

концентрацією 0,1 мг/мл призвела до збільшення довжини стебла рослин на 12% а довжини кореня на 169%.

- Вплив магнітного поля та наномagnetиту збільшив виживаність рослин відносно контролю на 36%.

РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

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

Бізнес ідея: розробка препарату для передпосівної обробки насіння на основі наномагнетиту для пришвидшення росту та підвищення стресостійкості зернових культур.

Мета наукової розробки: створення нового ефективного засобу для передпосівної обробки насіння, з ціллю скорочення строків проростання та підвищення стресостійкості зернових культур (пшениці, жита, ячменю і т.д.)

Назва розробки: «Наномаг – 1».

Суб'єкт замовлення: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». Об'єкт дослідження: наночастинки оксиду заліза (II, III).

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

Продукт наукової розробки: препарат для передпосівної обробки насіння з метою скорочення строків проростання та підвищення стресостійкості.

Технологія: отримання наномагнетиту за методом зеленого синтезу.

Доступність сировинної бази: матеріали та реактиви закуповуються в Україні через компанії поставників хімічного обладнання та реагентів (ООО «ХІМЛАБОРРЕАКТИВ»), зелений субстрат закуповується оптом у ринкових постачальників.

Кваліфікація персоналу: У технологічному процесі задіяні висококваліфіковані спеціалісти (хіміки, біотехнологи).

Ринок збуту: оптові постачальники добрив, засобів по догляду за рослинами, роздрібна торгівля добривами, аграрні компанії.

Модель підприємництва: B2B.

Детальне резюме стартап-проекту наведено у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Резюме стартап-проекту

Показник	Характеристика
1. Сутність ідеї	Розробка препарату для передпосівної обробки насіння на основі наномагнетиту для пришвидшення росту та підвищення стресостійкості зернових культур.
2. Наявність аналогів або прототипів ідеї	Аналог – інокулянт для зернових «BINOC Зернові» виробництва ТОВ «ТД «Ензим Агро»
3. Основна потреба, яку задовольнить реалізований стартап	Задовольняє потребу у ефективних екологічних засобах передпосівної обробки для значного (до 30%) збільшення стресостійкості та пришвидшення (до 25%) пророщування.
4. Ступінь розробленості технології реалізації	Завершено лабораторні випробування, розроблено технологію виготовлення препарату.
5. Класифікація продукту стартапу за міжнародною класифікацією товарів	010271 «Добрива»
6. КВЕД, до якого може належати дане виробництво	20.20 «Виробництво пестицидів та іншої агрохімічної продукції» 72.11 «Дослідження й експериментальні розробки в галузі біотехнологій» 46.75 «Оптова торгівля хімічними продуктами»
7. Очікувана потужність стартапу	мале підприємство
8. За масштабом виробництва	масове
9. За рівнем спеціалізації	вузькопрофільне
10. За ресурсами, що споживатимуться	працемістке, матеріаломістке,
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. Шепетівка, Хмельницька обл. 2) м. Шепетівка, Хмельницька обл. 3) Україна 4) Україна
14. Місце ідеї у ланцюжку цінностей інноваційного процесу	Етап розробки
15. Гранична корисність ідеї стартапу	Відсутність негативного впливу на навколишнє середовище порівняно з традиційними препаратами.
16. Бізнес-модель стартапу	B2B
17. Конкуренти вітчизняні (ціна, на якому етапі реалізації знаходяться, основні конкурентні переваги, фактори успіху)	Інокулянт для зернових «BINOC Зернові» виробництва ТОВ «ТД «Ензим Агро». Ціна – 1 529 грн/уп (5л). Реалізується споживачу, нетоксичний та екологічний засіб.
18. Конкуренти іноземні (ціна, на якому етапі реалізації знаходяться, основні конкурентні переваги, фактори успіху)	Інокулянт для зернових «BioniQ» виробництва компанії Novozymes, Данія. Знаходиться на етапі реалізації споживачу, нетоксичний та екологічний засіб. Відсутній на ринку України. Ціна упаковки (80г) – 25 доларів 942 (грн).
19. Ключові фактори успіху стартапу	Ефективність, зручність, екологічність.
20. Планова кількість продукту розробки для першого етапу реалізації	129 000 од.

21. Мінімальна кількість виробництва за методом точки беззбитковості	369 796 од.
22. Споживачі на етапі розвитку	Українські аграрні компанії, оптові постачальники добрив, роздрібна торгівля добривами.
23. Споживачі на етапі зрілості	Міжнародні постачальники добрив.
24. Конкурентна ціна на продукт стартапу	278 грн/од (5 л).
25. Плановий рівень рентабельності при реалізації продукту	33,72 %
26. Капіталовкладення в проект	27 212 120
27. Період повернення капіталовкладень у проект	3,03 років
28. Джерела фінансування	Власні та запозичені
30. Основні компоненти продукції стартапу (їх доля у готовому товарі, ступінь готовності компонентів у наявному виробництві)	Магнітні наночастинки – 10 % Вода – 90 %. Продукція повністю готова.
31. Потенційні постачальники складових компонентів розробки (виділити вітчизняних і закордонних, плановий обсяг замовлень, наявна потужність постачальника)	Постачальник обладнання для лабораторій і сировини: «ХІМЛАБОРРЕАКТИВ», оптові ринкові постачальники зеленої сировини, пакувальні матеріали - ТОВ «Завод полімерних Виробів», Україна.

Продовження табл. 4.1

32. Планове місце реалізації результату розробки (місце, планова доля реалізації продукту через це місце)	Оренда приміщення для виробничого комплексу у м. Шепетівка, Хмельницька обл.
33. Наявність посередників при реалізації (так, ні, орієнтовні посередники, форми оплати їх діяльності)	Ні.
34. Методи просування результатів розробки на ринок	Реклама в спеціалізованих ЗМІ; участь у виставках; організація освітньо-наукових заходів, конференцій; розміщення детальної інформації на сайті компанії-виробника, ведення сторінок у соцмережах.

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

Середовище діяльності підприємства можна охарактеризувати за допомогою схеми, зображеної на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Зовнішнє, зовнішнє оперативне та внутрішнє середовище підприємства (методичка).

Потенційні загрози та можливості зовнішнього середовища наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Аналіз загроз і можливостей зовнішнього середовища

Загрози	Можливості
Політика	
1. Країна знаходиться у правовому режимі воєнного стану; 2. Експорт продукції не завжди можливий.	1. Співпраця із закордонними агрономічними компаніями. 2. Пошук закордонних інвесторів.
Економіка	
1. Інфляція; 2. Підвищення цін на сировину та обладнання; 3. Економічна криза у зв'язку з війною.	1. Стабільний розвиток агрономічної галузі; 2. Збільшення попиту на продукти сільського господарства;
Географія	
1. Логістичні перешкоди (велика відстань до деяких баз сировини).	1. Наявність великої кількості точок збуту продукції, наявність однієї із баз сировини.
Демографія	
1. Міграція населення за кордон через війну та перебування значної частини населення в армії. 2. Зменшення кількості спеціалістів у зв'язку зі скороченням держзамовлення у ВНЗ.	1. Зменшення конкуренції на ринку.

Продовження табл. 4.2

Культура	
1. Підозріле відношення населення до ефективності препаратів на основі нанотехнологій.	1. Використання засобів культурного просвітництва для ознайомлення людей з ефективністю впровадження наукових розробок в сільське господарство.
Науково-технічний прогрес	
1. Винайдення нових ефективних засобів виробниками, що можуть скласти конкуренцію.	1. Можливість вдосконалювати технологію виробництва. 2. Проведення досліджень для ви найдення більш ефективних препаратів.

До факторів зовнішнього оперативного середовища відносять конкурентів, постачальників, посередників (передбачається, що послуги посередників не будуть використовуватись, принаймні на початкових етапах реалізації), споживачів (Таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 – Оцінка факторів зовнішнього оперативного середовища

Переваги	Недоліки
Постачальники	
1. Наявність постачальників сировини і обладнання в Україні.	1. Затримки у поставках сировини і обладнання. 2. Імовірність пошкодження обладнання та сировини при транспортуванні.
Конкуренти	
1. Принцип дії препаратів-аналогів конкурентів відрізняється (інокулянт не володіємагнітними властивостями), що зменшує його ефективність, та ціна продукту конкурентів набагато більша.	1. Конкурент вже давно постачає продукцію і заслугував довіру споживачів.

Продовження таблиці 4.3

Споживачі	
1. Наявність великої кількості точок збуту (роздрібна торгівля, агрокомпанії, оптова торгівля).	1. Недовіра споживачів до нового препарату. 2. Консервативність споживачів при виборі добрив для рослин.

За результатами аналізу факторів зовнішнього і зовнішнього оперативного середовищ було сформовано перелік зацікавлених сторін (Таблиця 4.4)

Таблиця 4.4 – 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 негативно впливати, переманюючи споживачів за рахунок піару власних виробів та негативної реклами в ЗМІ.	Зацікавлений у відсутності проекту або низьких показниках продажу.	0,1
Постачальник	Собівартість продукції залежить від цін на матеріали, встановлених поставщиком.	Зацікавлений у розвитку підприємства та підвищення його купівельної спроможності.	0,2

Продовження табл. 4.4

Споживачі	Купівельна спроможність споживачів безпосередньо впливає на обсяги виготовлення продукції	Зацікавлені у високій якості продукції та низькій ціні	0,2
Суб'єкти зовнішнього середовища			
Суб'єкти економічного середовища	Економічні показники, такі як курс валют, умови кредитування, інтенсивність інвестування коштів, купівельна спроможність споживачів та ін. впливають на стабільність та ефективність продажів.	Зацікавлені у розвитку нового виробника агрономічних препаратів для нових надходжень у бюджет.	0,2
Суб'єкти географії	Розташування постачальників сировини і точок збуту на пряму буде впливати на логістику а тому і на собівартість.	Не є зацікавленими	0,05

Продовження табл. 4.4

Суб'єкти демографії	Зменшення численності населення через міграцію в зв'язку з війною та зменшення кількості потенційних працівників через мобілізацію, можуть призвести до скорочення виготовлення та зменшення попиту на продукцію.	Зацікавлені у зменшенні цін на продукти, через потенційно більші врожаї.	0,1
Суб'єкти культурного середовища	Поширення певної інформації у ЗМІ може чинити як позитивний, так і негативний вплив на продаж продукції.	Зацікавлені у появі нових сенсаційних технологій та/або у сталому розвитку.	0,1
Суб'єкти НТП	Підвищення якості освіти та розробка нових технологій сприятиме розвитку виробництва.	Зацікавлені у розвитку виробництва, як місця працевлаштування спеціалістів та впровадження нових наукових розробок.	0,1

Також було проведено аналіз внутрішнього середовища, що забезпечує визначення сильних та слабких сторін в процесі реалізації стартап-проекту (Таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 – Переваги і недоліки внутрішнього середовища

Складові внутрішнього середовища	Переваги	Недоліки
Реклама	Організація освітньо-наукових заходів, конференцій; розміщення детальної інформації на сайті компанії-виробника; створення і ведення сторінок у соц-мережах	Високі витрати на забезпечення конкурентоздатності у порівнянні із великими компаніями виробниками добрив.
Фінанси	Достатні фінансові ресурси, що забезпечуються кредитом у банку. Можливість скористатися державними програмами розвитку бізнесу.	Обмежений потік зовнішніх інвестицій.
Виробництво	Сучасне обладнання забезпечуватиме високу якість та потужність виробництва.	Необхідність облаштування виробництва «з нуля».
Персонал	Високий рівень підготовки спеціалістів у сфері хімічного виробництва.	Недостатній досвід персоналу у виготовленні магнітних наночастинок.
Організація управління	Залучення до роботи підприємства спеціалістів з бізнес планування та маркетингів.	Невелика чисельність адміністративного персоналу на етапі розвитку.

4.3 Визначення ключових факторів успіху проекту

На підставі аналізу факторів зовнішнього і зовнішнього оперативного середовищ було визначено ключові фактори успіху технології. Ці фактори надано у вигляді діаграми Шонфільда (Таблиця 4.6, Рисунок 4.2). Оцінка показника якості запланованого до виготовлення продукту (препарат для передпосівної обробки зернових «Наномаг–1») і продукту конкурента відбувалась за 5-ти бальною шкалою. Коефіцієнт значущості показника для замовника лежав у межах 0...1.

Таблиця 4.6 – Оцінка характеристик продукції за методом Шонфільда.

Характеристика	Коефіцієнт вагомості	Оцінка показника за 5-бальною шкалою	
		Препарат для передпосівної обробки насіння зернових «Наномаг–1»	Інокулянт для зернових «BINOC Зернові»
Ціна	0,3	5	3
Ефективність готового продукту	0,4	5	5
Безпечність	0,15	4	4
Екологічність	0,15	5	4

З урахуванням коефіцієнту вагомості характеристики визначено бальну оцінку кожної характеристики для запланованої до виготовлення продукції і продукції конкурента (Таблиця 4.7).

Таблиця 4.7 – Бальна оцінка характеристик за методом Шонфільда

Характеристика	Бальна оцінка характеристик	
	« Наномаг–1»	«BINOC Зернові»
Ціна	$0,3 \cdot 5 = 1,5$	$0,3 \cdot 3 = 0,9$
Ефективність	$0,4 \cdot 5 = 2$	$0,4 \cdot 5 = 2$
Безпечність	$0,15 \cdot 4 = 0,6$	$0,15 \cdot 4 = 0,6$
Екологічність	$0,15 \cdot 5 = 0,75$	$0,15 \cdot 4 = 0,6$

На підставі отриманих бальних оцінок побудовано графік порівняння характеристик препарату для передпосівної обробки насіння зернових «Наномаг–1» з конкурентом (Рисунок 4.2).

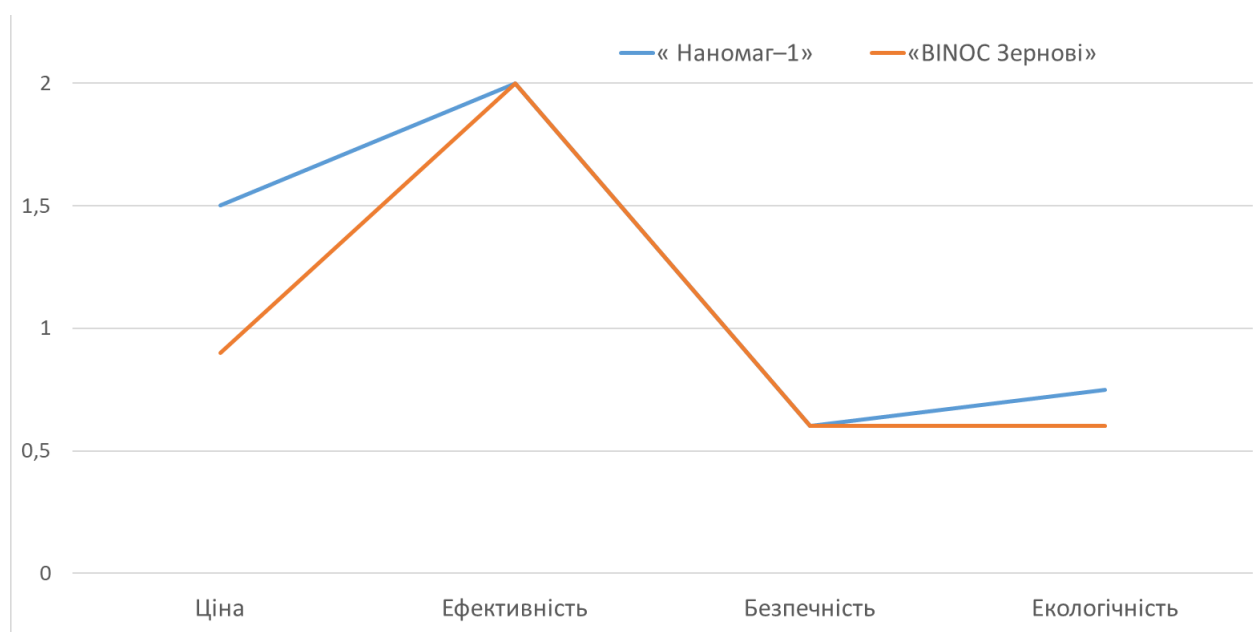


Рисунок 4.2 – Порівняння конкурентних переваг підприємства з конкурентом

З діаграми Шонфільда видно переваги майбутнього препарату за ціною та екологічністю. Причому перевага в ціні є найвагомішою. Ефективність та безпечність не відрізняється від рівня конкурента. Отже для успіху такого продукту необхідно зосередити рекламну кампанію на ціні препарату, що може суттєво вплинути на результат, адже препарат з нижчою ціною але такою ж ефективністю

як у конкурентів матиме попит у споживачів.

На основі аналізу ключових факторів успіху стартап-проекту визначалися можливі варіанти розвитку інноваційної ідеї (Таблиця 4.8)

Таблиця 4.8 – Варіанти розвитку ідеї стартапу

Варіант	Стислий опис можливого розвитку
Продаж технології на етапі розробки іншим компаніям.	Продаж технології як більш дешевої та екологічної.
Встановлення ціни на продукцію нижчої за ціну конкурента.	Приваблення споживачів завдяки продажу більш екологічного продукту за дешевшою ціною.
Популяризація новітніх нанотехнологій у сільському господарстві.	Створення посібників, журналів, блогів, що висвітлюють різні аспекти використання нанопрепаратів для передпосівної обробки насіння зернових.

4.3. Визначення потенційних споживачів

Оскільки компанія проводитиме як оптову, так і роздрібну торгівлю, в якості споживачів розглядалися юридичні та фізичні особи (Таблиця 4.9).

Таблиця 4.9 – Класифікація потенційних споживачів

Критерій	Значення
Юридична особа	
1. Форма власності	Державні та приватні
2. КВЕД	01.61 Допоміжна діяльність у рослинництві. 46.75 Оптова торгівля хімічними продуктами. 47.76 Роздрібна торгівля квітами, рослинами, насінням, добривами, домашніми тваринами та кормами для них у спеціалізованих магазинах.

Продовження табл. 4.9

3. За потужністю	малі, середні, великі
4. За масштабом виробництва	одиничні, серійні, масові
5. За рівнем спеціалізації	Вузькопрофільні, багатoproфільні
6. За ресурсами, що споживаються	Працемісткі, матеріаломісткі
7. За чисельністю персоналу	Малі, середні, великі
8. За сферою діяльності	Сільське господарство Оптова та роздрібна торгівля
9. За приналежністю капіталу і контролю	Національні, іноземні
9. За приналежністю капіталу і контролю	національні, іноземні, спільні багато-національні
10. За географічним розташуванням	Україна, інші країни
11. За віддаленістю органів управління	Національні, іноземні, транснаціональні
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, іноземні
15. За формуванням статутного капіталу	Унітарні, корпоративні
16. За організацією виробничих процесів	періодичні, безперервні
17. За роботою протягом року	Сезонні, позасезонні
18. За географічним розташуванням на території України	Великі міста, обласні та регіональні центри

19. За динамікою розвитку регіону розташування юридичної особи:	У столиці, обласних та регіональних центрах Від 800 тис осіб Приріст населення 1,5-3% щорічно згідно загального українського законодавства
Фізична особа	
1. Вік	18 – 100 років
2. За платоспроможністю	Платоспроможні, середній дохід
3. За соціальним рівнем споживачів	Володіють нерухомістю або земельною ділянкою, рівень зарплати нижче середнього, середній, високий
4. За способом життя (звички, традиції, стереотипи поведінки)	Самотні люди і подружні пари будь-якого віку. Осілий спосіб життя. Прихильники здорового способу життя, вегетаріанці, дрібні фермери, садоводилубителі, екологічно свідомі люди.
5. Тип особистості споживачів	Реалісти, новатори, традиціоналісти
6. За ставленням до товару	Мотивація покупки товару – отримання кращих врожаїв, турбота про навколишнє середовище. Добра інформованість про товар.
7. За сімейними цінностями	Як самотні так і одружені люди, будь-який склад сім'ї
8. За співвідношенням бажання придбати і цінової межі	4000 грн – 25 грн 7500 грн – 25 грн
9. За інтенсивністю споживання товару	Періодичне придбання, систематичне придбання
10. За інформованістю	Самоосвіта, ЗМІ, спеціалізовані джерела

Огляд основних груп потенційних споживачів та їх потреб наведено у Таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Основні групи потенційних споживачів і їх потреби

Категорія (група) клієнтів	Потреби, які він задовольняє за допомогою продукту
Аграрні компанії	Потреби у ефективному препараті для передпосівної обробки насіння, що сприяє підвищення стресостійкості і скорочення термінів сходження зернових культур.
Оптові постачальники	Потреби у новому продукті з попитом на ринку для продажу
Фізичні особи	Потреби у недорогому, ефективному, зручному і безпечному препараті для передпосівної обробки насіння зернових культур.

Визначені відомості щодо груп споживачів та їх потреб, було використано для формування паспорту потенційного клієнта (Таблиця 4.11).

Таблиця 4.11 – Паспорт потенційного клієнта – аграрної компанії

Характеристика	Значення
Організаційно-правова форма	Державна організація, приватна організація.
Чисельність персоналу	25 – 10000 осіб
Розташування	Місто, смт, село
Вид продукту, який потрібен даному споживачеві	Препарат для передпосівної обробки насіння зернових культур.
Призначення придбаного товару	Використання за призначенням.

Продовження табл. 4.11

Кваліфікація персоналу підприємства	Низькокваліфікований (робочі), кваліфікований (робочі, службовці), та висококваліфікований (керівники) персонал.
Потенційний обсяг споживання продукції	100 – 20 000 од./ місяць
Хто приймає рішення про придбання розробки	Начальник відділу організації та забезпечення закупівель

Планування обсягу реалізації продукції у початковому періоді – на перший рік виробництва приведено нижче (Таблиця 4.12). При цьому враховується потенційне збільшення попиту у сезон вирощування рослин (з березня по серпень включно)

Таблиця 4.12 – Запланований обсяг реалізації стартап-продукту за перший рік виробництва.

Період	Запланований обсяг, од.
Січень 2023	5 000
Лютий 2023	8 000
Березень 2023	10 000
Квітень 2023	12 000
Травень 2023	12 000
Червень 2023	12 000
Липень 2023	12 500
Серпень 2023	12 500
Вересень 2023	12 500
Жовтень 2023	12 500
Листопад 2023	10 000
Грудень 2023	10 000
Всього:	129 000

4.5 Ціна інноваційної пропозиції на ринку

Завдяки визначенню потенційного споживача і його особливостей було визначено проектну ціну пропозиції для технології (Таблиця 4.13).

Таблиця 4.13 - Проектні ціни продажу технології

Найменування товару	Планові обсяги продажу		Аналоги, прототипи	
	Кількість, од.	Ціна, грн/од.	Кількість, од.	Ціна, грн/од.
Препарат для передпосівної обробки зернових « Наномат–1»	129 000	278 (5л)	500 000	1 529 (5л)

Для розрахунків ціноутворення обрано витратний метод, що ґрунтується на врахуванні витрат. Ціна розраховується, виходячи із суми постійних і змінних витрат на одиницю продукції 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.

4.5.1 Основні фонди підприємства

До основних фондів підприємства належать будівлі та споруди, обладнання, транспорт, виробничий та господарський нематеріальні активи (Таблиця 4.14).

Таблиця 4.14 – Вартість основних фондів

№	Найменування	К-сть, шт	Вартість, грн	Норма амортизації, %	Амортизаційні відрахування, грн
1	Приміщення	1	396 000	20	79 200
2	Реактор – змішувач з рубашкою, 200 л	2	150 000	20	60 000
3	Центрифуга промислова	1	100 000	20	20 000
4	Установка зворотнього осмосу для очистки води	1	15 000	20	3 000
5	Лінія розливу	1	110 000	20	22 000
	Загальна вартість		771 000		184 200

Очікуваний термін корисного використання біотехнологічного обладнання – 5 років.

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

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

4.5.2. Оборотні фонди підприємства

Нижче представлені дані щодо оборотних фондів підприємства та забезпеченості проекту трудовими ресурсами (Таблиця 4.15, Таблиця 4.16).

Таблиця 4.15 – Забезпеченість проекту оборотними фондами

Група ОБФ	Назва	Норма витрат на рік	Ціна, грн/од	Ціна, грн/рік
Сировина і матеріали	Біомаса полину	20000	125 грн/кг	2 500 000
	FeCl ₃	72000	159 грн/кг	11 448 000
Паливо, електроенергія	Паливо	1000 л	45 грн/л	45 000
	Електроенергія (освітлення та електро-обладнання)	230 000 кВт	7 грн/кВт · год	1 610 000
Паливо, електроенергія, пакування, охорона	Водопостачання та водовідведення	5000 м ³	40 грн за м ³	200 000
	Упаковка	435 000	15 грн	6 525 000
	Договір охорони	-	6 000 грн/міс	72 000
Реклама	-	-	15 000 грн/міс	180 000
Оренда	Договір оренди приміщення		33 000грн/міс	396 000
ФОП	Трудові ресурси (Таблиця 4. 16)	-	-	3 495 120
Всього				26 441 120

Таблиця 4.16 – Забезпеченість проекту трудовими ресурсами

Категорія кадрів	Назва по-сади	Чисель- ність за списком на посаді	Кваліфік а- ційні вимоги	Плановий рівень за- робітної плати	
				За місяць	За рік
Робочі основні	Апаратник	2	Середня спеціальна освіта	13 000	312 000
Робочі допоміжні	Вантажник, водій	3	-	15 000	540 000
	Прибиральник	2	-	10 000	240 000
Спеціалісти	Економіст	1	Вища освіта	15 000	180 000
	Маркетолог	1	Вища освіта	15 000	180 000
	Бухгалтер	1	Вища освіта	15 000	180 000
Молодший науковий персонал	Інженер контролю якості	1	Вища освіта	15 000	180 000
Молодший науковий персонал	Хімік - лаборант	2	Середня спеціальна освіта	15 000	360 000
Старший науковий персонал	Хімік - дослідник	1	Вища освіта	20 000	240 000
Керівники	Директор	1	-	25 000	300 000
	Головний технолог	1	Вища освіта	25 000	300 000

Всього	251 000	3 012 000
Соц. відрахування до Пенсійного фонду (22 %)	55 220	483 120
ФОП	474 260	3 495 120

4.5.3 Розрахунок капіталовкладень і собівартості виробництва

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

$$K = 771\,000 + 26\,441\,120 = 27\,212\,120 \text{ (грн/рік)}.$$

Визначимо собівартість виробництва:

$$C = A + Об.З = 184\,200 + 26\,441\,120 = 26\,625\,320 \text{ (грн/рік)}$$

Продукція випускається у пластикових каністрах об'ємом 5 л, плановий випуск продукції 129 000 од/рік.

Собівартість на одиницю продукції:

$$C/B = 26\,625\,320 / 129\,000 = 206 \text{ (грн/од)}.$$

В таблиці 4.17 приведено обґрунтування собівартості товару

Таблиця 4.17 – Обґрунтування собівартості товару, грн.

Статті витрат	Витрати (грн.)	
	на одиницю	на рік
Амортизаційні витрати	1,43	184 200
Оборотні засоби	204,97	26 441 120
Собівартість	206	26 625 320

Приблизна ціна одиниці продукції становить 278 грн/од.

Прибуток: $\Pi = Ц - C.$

$$\Pi = 278 \times 129\,000 - 26\,625\,320 = 8\,978\,680 \text{ (грн/рік)};$$

Прибуток на одиницю продукції = $8\,978\,680 / 129\,000 = 69,6$ (грн/од).

Отже, за витратним методом прогнозована ціна продукту становитиме:

$$Ц = C + \Pi = 206 + 10,6 = 278 \text{ грн/од.}$$

$$\text{Рентабельність: } P = \Pi/C \times 100\%;$$

$$P = 8\,978\,680 / 26\,625\,320 \times 100\% = 33,72 \, \%.$$

Період повернення капіталовкладень: $T_{нов} = K/\Pi$;

$$T_{нов} = 27\,212\,120 / 8\,978\,680 = 3,03 \text{ (роки).}$$

Фондовіддача виробничих фондів: $\Phi B = (Ц \times B)/O\Phi$;

$$\Phi B = (278 \times 129\,000) / 771\,000 = 46,5 \text{ (грн/грн).}$$

Фондоємність: $\Phi C = 1/\Phi B$;

$$\Phi C = 1/46,5 = 0,021 \text{ (грн/грн).}$$

Коефіцієнт економічної ефективності: $E = \Pi/K$;

$$E = 8\,978\,680 / 27\,212\,120 = 0,33 \text{ грн/грн.}$$

Для перевірки достатності обсягу випуску продукції для формування ефективного прибутку використано метод точки беззбитковості (Рисунок 4.3).

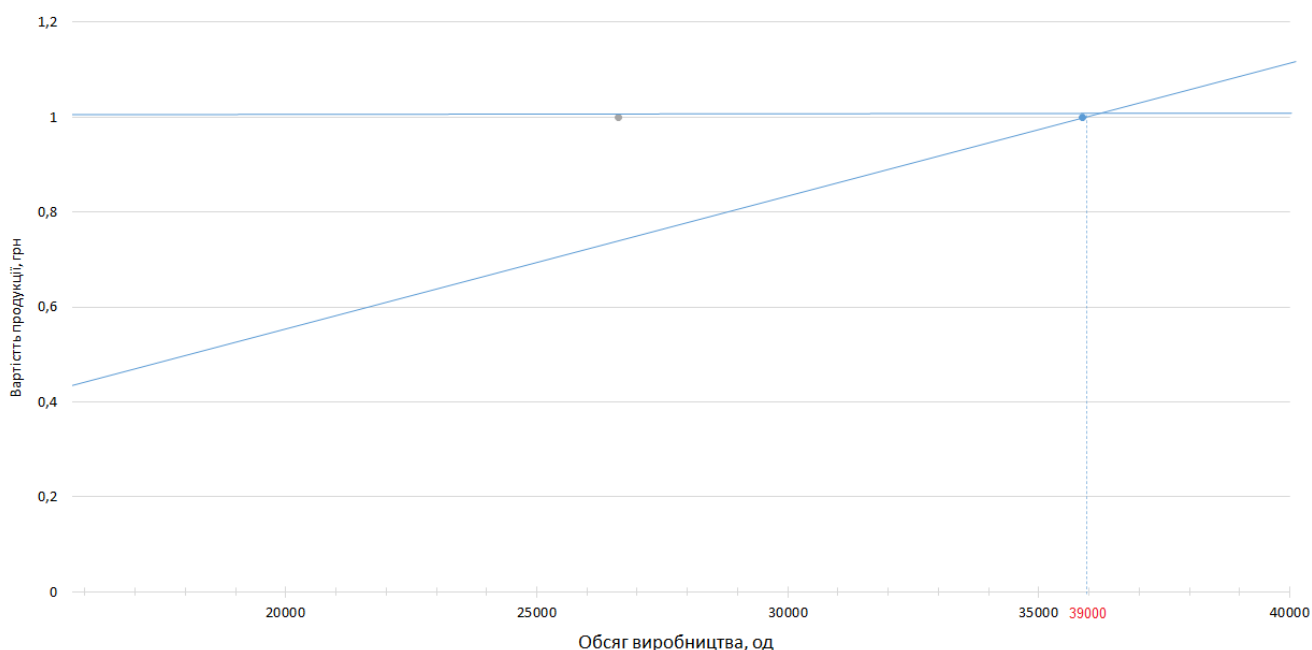


Рисунок 4.3 Визначення точки беззбитковості графічним методом

Для більш точних результатів застосовуємо формулу для розрахунку точки беззбитковості:

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

де Q — точка беззбитковості (обсяг продажів);

FC- сума постійних видатків;

P- ціна за одиницю продукції;

AVC- змінні видатки на одиницю продукції.

$$Q = 26\,625\,320 / (278 - 206) = 369\,796 \text{ од.}$$

Розрахунки показують, що точка беззбитковості досягається після випуску 369 796 од. продукції. Оскільки на рік планований випуск продукції –129 000, слід вважати, що точка беззбитковості досягається після, приблизно, трьох років виробництва.

Для планування залучення коштів розглянуто можливі джерела фінансування стартапу (Таблиця 4.18)

Таблиця 4.18 – Джерела фінансування для підприємства.

Запозичені	Власні
1) Бюджетні інвестиції;, у т. ч.: - державний бюджет; - місцеві бюджети; - гранти.	1) вкладення витрат на удосконалення у собівартість продукції; 2) збільшення собівартості нової продукції на вартість науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт
2) кредити фінансових установ; 3) інші кошти, у т.ч.: - кошти інвесторів - кошти громадських організацій.	3) формування на підприємстві виробництва, фонду розвитку науки і техніки шляхом відрахувань чітко обумовленого відсотку з доходу або прибутку підприємства протягом всього періоду функціонування; 4) амортизаційний фонд підприємства. 5) гранти

Заключним етапом оцінки вартісних показників стартап-проекту був аналіз його за техніко-економічними показниками (Таблиця 4.19).

Таблиця 4.19 – Техніко-економічні показники проекту

Показники	Одиниця виміру	Значення
1. Річний обсяг реалізації ідеї, технології, методики	одиниці	129 000
2. Середньорічна чисельність персоналу за списком	осіб	16
3. у тому числі		
- основних	осіб	7
- інженерно-технічного персоналу		9
4. Середньорічний виробіток робітника	од/особу	8 063
5. Капіталовкладення у проект:		
- всього	грн.	27 212 120
- на одиницю продукції	грн/од	211
6. Повна собівартість		
- всього	грн.	26 625 320
на одиницю продукції	грн/од	206
7. Відносний прибуток		
- всього	грн.	8 978 680
на одиницю продукції	грн/од	69,6
8. Рентабельність	%	33,72
9. Період повернення капіталовкладень	років	3,03
10. Фондовіддача виробничих фондів	грн/грн	46,5
11. Фондоємкість	грн/грн	0,021
12. Продуктивність праці	грн/особу	561 167,5
13. Коефіцієнт економічної ефективності		0.33

4.6 Концепція бізнес-моделі проекту та карта бізнес-процесів реалізації проекту

Таблиця 4.20 – 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	10	-
	Формування команди		100	-
	Аналіз ринку		20	15 000
	Проектування виробництва		110	30 000
	Створення прототипу		120	85 000
	Розробка бізнес-плану		135	18 000
Реалізація ідеї стартапу	Реєстрація суб'єкта господарчої діяльності	Людські, фінансові	60	8 000
	Реєстрація торгової марки		70	2 000

	Отримання дозволу на побудову виробництва		110	800
	Укладення договору з банком		60	1 000
	Укладення договору про намір з мережею збуту		45	2 000
	Укладення договору про намір з постачальниками сировини та обладнання		45	10 000
Впровадженн я у виробництво	Запуск договорів	Людські, фінансові, матеріальні	45	1 000
	Проведення ремонтних робіт та технічного оснащення		460	150 000
	Купівля обладнання та сировини			
			100	1 381 000

Продовження табл. 4.20

	Проведення налаштувальних робіт		70	30 000
	Сертифікація продукції та виробництва		90	8 000
Масова реалізація	Проведення рекламної кампанії	Людські, фінансові	300	200 000
	Підготовка документації для участі у тендерних закупівлях		80	3 000
Всього:			2030	1 944 800

На основі карти бізнес-процесів виконання стартап-проекту, розподілено функції між відповідальними за їх реалізацію працівниками та визначено кадрові потреби стартап-проекту на кожному із етапів (табл. 4.21).

Таблиця 4.21 – Системний аналіз бізнес-процесів стартапу

Функції	Елементи			
	Розробник	Провідні спеціалісти	Виробничий персонал	Спеціалісти з контролю якості
Розробка ідеї	+	-	-	-
Формування команди	+	+	-	-
Аналіз ринку	+	+	-	-

Продовження табл. 4.21

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 табл. 4.21

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 участі у тендерних закупівлях	-	+	-	+

4.7 Ризики стартап – проекту та методи управління ними

Сформовано перелік зовнішніх і внутрішніх ризиків, що можуть загрожувати підприємству (Таблиця 4.22).

Таблиця 4.22 – Ризики інноваційної розробки

Назва процесу / стадії реалізації стартап проекту	Бізнес-процеси	Зовнішні ризики	Внутрішні ризики
Розробка ідеї стартапу	Розробка бізнес-плану	-	Помилки у розробці
	Формування команди	Нестача спеціалістів	Імовірність найняти непрофесійних робітників
Реалізація ідеї	Отримання дозволу на побудову виробництва	-	Відмова у дозволі
	Заклучення договору з банком	Несприятлива економічна обстановка в країні, що веде до зниження фінансування підприємств	Укладення договору на не вигідних умовах

Продовження Таблиці 4.22

	Заклучення договору про намір з постачальниками сировини та обладнання	Здорожчання сировини та обладнання, вихід деяких постачальників з ринку	Нестача фінансових коштів на придбання якісного обладнання
Впровадження у виробництво	Проведення ремонтних робіт та технічного оснащення	Підвищення ціни матеріалів і роботи з ремонту	Неякісне виконання ремонтних робіт
	Виготовлення першої партії продукції	-	Збої у роботі обладнання, помилки робітників
Масова реалізація	Проведення рекламної компанії	Перешкоди конкурентів	Неефективне рекламування продукції

Для кожного з ризиків проведено оцінку імовірності настання та впливу очікуваного результату (Таблиця 4.23).

Таблиця 4.23 – 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, та режиму воєнного стану у країні.	Середня	Високий
Політико-законодавчий ризик	Відмова у дозволі на будівництво	Низька	Високий
Макроекономічний ризик	Несприятлива економічна обстановка в країні, що веде до зниження фінансування підприємств.	Висока	Високий
	Підвищення цін на матеріали і роботу з ремонту	Середня	Середня
	Підвищення цін на ремонтні роботи	Середня	Високий
Внутрішні ризики			
Управлінський ризик	Невірне планування бізнес-процесів	Низька	Високий
	Призначення на посади непрофесійних працівників	Низька	Середній

Ризик зниження фінансових показників	Укладення договору на не вигідних умовах	Низька	Високий
Організаційний ризик	Нестача фінансових коштів на придбання якісного обладнання	Низька	Високий
Техніко-технологічний ризик	Неякісне виконання ремонтних робіт	Низька	Середній
	Збої у роботі обладнання	Середня	Середній
Ризик зниження фінансових показників	Неефективне рекламування продукції	Середня	Середній

Результати оцінювання всіх ризиків за критеріями настання та впливом на очікуваний результат наведено у матриці оцінки ризиків (Таблиця 4.24).

Таблиця 4.24 – Матриця оцінки ризиків

За впливом 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	1) Відмова у дозволі на будівництво 2) Укладення договору з банком на не вигідних умовах 3) Нестача фінансових коштів на придбання якісного обладнання	1) Нестача спеціалістів внаслідок міграції та режиму воєнного стану в країні. 2) Підвищення цін на роботи по ремонту 3) Неякісне виконання ремонтних робіт	1) Неприятлива економічна обстановка в країні, що веде до зниження фінансування підприємств
Середній рівень впливу	2	1) Невірне планування бізнес-процесів 2) Призначення на посади непрофесійних працівників	1) Здорожчання сировини та обладнання 2) Неєфективне рекламування продукції 3) Збої у роботі обладнання	
Низький рівень впливу	1			

Для усіх визначених ризиків розроблено план управління (Таблиця 4.25).

Таблиця 4.25 – План заходів з управління ризиками

Назва ризику	Назва методу управління ризиком	Відповідальні виконавці	Період виконання / застосування методу	Очікувані результати від впровадження методів управління
Нестача спеціалістів внаслідок міграції та режиму воєнного стану у країні	Прийняття ризику	Директор	На усіх стадіях	Активний пошук спеціалістів, створення вигідних умов праці
Відмова у дозволі на будівництво	Попередження ризику	Директор	Стадія реалізації ідеї стартапу	Моніторинг правового середовища
Несприятлива економічна обстановка в країні, що веде до зниження фінансування підприємств	Прийняття ризику	Економіст	Стадія реалізації ідеї стартапу	Самострахування за рахунок резервних коштів

Продовження табл. 4.25

Здорожчання сировини та обладнання	Прийняття ризику	Економіст	Стадії впровадження у виробництво та масової реалізації	Покриття збитку з поточного доходу
Підвищення цін на ремонтні роботи	Прийняття ризику	Економіст	Стадія впровадження у виробництво	Залучення додаткових інвестицій для відновлення роботи
Невірне планування бізнес-процесів	Попередження ризику	Директор	На усіх стадіях	Моніторинг економічного середовища, залучення спеціалістів з бізнес-планування
Призначення посади непрофесійних працівників	Попередження ризику	Директор	На усіх стадіях	Детальне вивчення інформації, тестування знань та навичок працівників
Заклучення договору з банком на не вигідних умовах	Ухилення від ризику	Економіст	Стадія реалізації ідеї стартапу	Відмова від прийняття ризикованих проектів, рішень

Продовження табл. 4.25

Нестача фінансів на придбання якісного обладнання	Прийняття ризику	Економіст	Стадія реалізації ідеї стартапу	Самострахування за рахунок резервних коштів
Неякісне виконання ремонтних робіт	Ухилення від ризику	Спеціаліст з якості	Стадія впровадження у виробництво	Відмова від ненадійних партнерів та постачальників
Збої у роботі обладнання	Передача ризику	Інженер апаратного обслуговування	Стадії впровадження у виробництво та масової реалізації	Отримання гарантій на роботу обладнання від виробників
Неефективне рекламування продукції	Передача ризику	Маркетолог	Стадія масової реалізації	Аутсорсинг ризику

ВИСНОВКИ

1. Методами порівняльної геноміки встановлено здатність рослин виду *Triticum aestivum* L., *Zea mays*, *Hordeum vulgare* L., *Helianthus annuus* L., *Glycine max* L., *Solanum tuberosum*, *Brassica napus*, *Brassica oleracea* та *S. Lycopersicum* до біомінералізації БМН. Згідно з наявними гомологами білків рослини можуть синтезувати внутрішньо- клітинні кристалічні БМН.

2. В результаті проведених досліджень було визначено оптимальний час обробки магнітним полем індукцією 30 мТл культури рослин пшениці твердої *Triticum durum*, який становить 1 хв. Також визначено оптимальний час обробки для кукурудзи звичайної *Zea mays* L та жита посівного *Secale cereale* L він становить 5 хвилин.

3. Найзначиміший час впливу постійного магнітного поля індукцією 30 мТл на насіння пшениці *Triticum durum* є 1 хвилина. За цих параметрів спостерігали збільшення (на 32%) розміру пророслого стебла порівняно з контролем. Серед груп рослин, насіння яких пророщували у розчині наночастинок магнетиту, найбільший вплив на морфологічні показники спостерігали за концентрації наномагнетиту 0,1 мг/ мл. У рослин групи розмір пророслого стебла збільшився, в середньому, на 12 %, а довжина кореня – на 169 %. Проведені дослідження показали, що більш виражений вплив на рослини має додавання наномагнетиту, аніж магнітне поле. Цей вплив залежить від концентрації розчину наномагнетиту, яким оброблюють насіння на етапі допосівної підготовки. Отримані дані щодо впливу магнітного поля на рослини є досить суперечливими і інколи коливаються в межах похибки, тому потребують подальших досліджень та польових випробувань.

4. Розроблено стартап проект створення виробництва нового ефективного засобу для передпосівної обробки насіння, з ціллю скорочення строків проростання та підвищення стресостійкості зернових культур. Для запуску виробництва з

запланованим річним обсягом реалізації продукції в 129000 одиниць необхідні капіталовкладення у розмірі 27 212 120 грн. Рентабельність проекту 33,72% а період повернення капіталовкладень 3,03 роки, згідно з цими економічними параметрами вклад капіталу в проект є доцільним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bobrovsky A. V., Mikhailets M.A., Akbai-Ool A.N. The effect of pre-sowing seed treatment on the elements of the crop structure and the phytosanitary condition of spring wheat seeds of the Novosibirsk 31 variety // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Institute of Physics, 2022. Vol. 1112, № 1.
2. Bozhkov A.I. et al. The effect of pre-sowing seed treatment on seedlings growth rate and their excretory activity // Regul Mech Biosyst. Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, 2020. Vol. 11, № 1. P. 60–66.
3. Shelar A. et al. Recent Advances in Nano-Enabled Seed Treatment Strategies for Sustainable Agriculture: Challenges, Risk Assessment, and Future Perspectives // Nano-Micro Letters. Springer Science and Business Media B.V., 2023. Vol. 15, № 1.
4. Ursache-Oprisan M. et al. Sunflower chlorophyll levels after magnetic nanoparticle supply // Afr J Biotechnol. 2011. Vol. 10, № 36. P. 7092–7098.
5. Rui M. et al. Iron oxide nanoparticles as a potential iron fertilizer for peanut (*Arachis hypogaea*) // Front Plant Sci. Frontiers Media S.A., 2016. Vol. 7, № June2016.
6. Shankramma K. et al. Fe₂O₃ magnetic nanoparticles to enhance *S. lycopersicum* (tomato) plant growth and their biomineralization // Applied Nanoscience (Switzerland). Springer Nature, 2016. Vol. 6, № 7. P. 983–990.
7. Konate A. et al. Magnetic (Fe₃O₄) nanoparticles reduce heavy metals uptake and mitigate their toxicity in wheat seedling // Sustainability (Switzerland). MDPI, 2017. Vol. 9, № 5.
8. Tamez C., Hernandez R., Parsons J.G. Removal of Cu (II) and Pb (II) from aqueous solution using engineered iron oxide nanoparticles // Microchemical Journal. Elsevier Inc., 2016. Vol. 125. P. 97–104.

9. Савченко В. В. С.О.Ю. Вплив магнітного поля на посівні якості насіння жита // “Енергетика і автоматика”, No5, . 2018.
10. Савченко В. В. С.О.Ю. Вплив магнітного поля на дифузію молекул кисню через клітинну мембрану // Енергетика та комп’ютерно-інтегровані технології в АПК. 2014. Р. 31–32.
11. Bae A. A. S.D.K. Effects of Magnetic Fields on Tomato Ripening // Nature. 1963. Vol. 199(4888), № doi:10.1038/199091a0. P. 91–92.
12. Pittman U. J. Growth reaction and magnetotropism in roots of winter wheat (kharkov 22 m.c.). Canadian Journal of Plant Science, 1962. 430–436 p.
13. Saletnik B. et al. The Static Magnetic Field Regulates the Structure, Biochemical Activity, and Gene Expression of Plants // Molecules. MDPI, 2022. Vol. 27, № 18.
14. Maffei M.E. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution // Frontiers in Plant Science. Frontiers Research Foundation, 2014. Vol. 5, № SEP.
15. Iqbal M. et al. Pre-sowing seed magnetic field stimulation: A good option to enhance bitter melon germination, seedling growth and yield characteristics // Biocatal Agric Biotechnol. Elsevier Ltd, 2016. Vol. 5. P. 30–37.
16. Asghar T. et al. Laser light and magnetic field stimulation effect on biochemical, enzymes activities and chlorophyll contents in soybean seeds and seedlings during early growth stages // J Photochem Photobiol B. Elsevier B.V., 2016. Vol. 165. P. 283–290.
17. Shine M.B., Guruprasad K.N., Anand A. Effect of stationary magnetic field strengths of 150 and 200mT on reactive oxygen species production in soybean // Bioelectromagnetics. 2012. Vol. 33, № 5. P. 428–437.
18. Kataria S. et al. Magnetopriming regulates antioxidant defense system in soybean against salt stress // Biocatal Agric Biotechnol. Elsevier Ltd, 2019. Vol. 18.
19. Stange B.C. et al. ELF Magnetic Fields Increase Amino Acid Uptake into Vicia faba L. Roots and Alter Ion Movement Across the Plasma Membrane // Bioelectromagnetics. 2002. Vol. 23, № 5. P. 347–354.

20. Radhakrishnan R. Seed pretreatment with magnetic field alters the storage proteins and lipid profiles in harvested soybean seeds // *Physiology and Molecular Biology of Plants*. Springer India, 2018. Vol. 24, № 2. P. 343–347.
21. Anand A. et al. Hydrogen peroxide signaling integrates with phytohormones during the germination of magnetoprimered tomato seeds // *Sci Rep*. Nature Publishing Group, 2019. Vol. 9, № 1.
22. Teixeira da Silva J.A., Dobránszki J. Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? // *Protoplasma*. Springer-Verlag Wien, 2016. Vol. 253, № 2. P. 231–248.
23. Kleinfeld D., Barbic M. Possible magneto-mechanical and magneto-thermal mechanisms of ion channel activation in magnetogenetics. 2019.
24. Sear R.P. Diffusiophoresis in Cells: A General Nonequilibrium, Nonmotor Mechanism for the Metabolism-Dependent Transport of Particles in Cells // *Phys Rev Lett*. American Physical Society, 2019. Vol. 122, № 12.
25. Binhi V.N. Primary physical mechanism of the biological effects of weak magnetic fields // *Biophysics (Russian Federation)*. Maik Nauka-Interperiodica Publishing, 2016. Vol. 61, № 1. P. 170–176.
26. Prasad R., Bhattacharyya A., Nguyen Q.D. Nanotechnology in sustainable agriculture: Recent developments, challenges, and perspectives // *Frontiers in Microbiology*. Frontiers Media S.A., 2017. Vol. 8, № JUN.
27. Bystrzejewska-Piotrowska G., Golimowski J., Urban P.L. Nanoparticles: Their potential toxicity, waste and environmental management // *Waste Management*. 2009. Vol. 29, № 9. P. 2587–2595.
28. Laurent S. et al. Magnetic iron oxide nanoparticles: Synthesis, stabilization, vectorization, physicochemical characterizations and biological applications // *Chem Rev*. 2008. Vol. 108, № 6. P. 2064–2110.
29. Vijaiyan Siva G., Fany John Benita L. International Journal of Advanced Research in Biological Sciences Iron Oxide Nanoparticles Promotes Agronomic Traits of

- Ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) // Int. J. Adv. Res. Biol. Sci. 2016. Vol. 3, № 3. P. 230–237.
30. Zhu H. et al. Uptake, translocation, and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants // Journal of Environmental Monitoring. 2008. Vol. 10, № 6. P. 713–717.
 31. Wang H. et al. Physiological effects of magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and pumpkin (*Cucurbita mixta*) plants // Nanotoxicology. 2011. Vol. 5, № 1. P. 30–42.
 32. Ma Y. et al. Phytotoxicity and biotransformation of La₂O₃ nanoparticles in a terrestrial plant cucumber (*Cucumis sativus*) // Nanotoxicology. 2011. Vol. 5, № 4. P. 743–753.
 33. Ma Y. et al. Effects of rare earth oxide nanoparticles on root elongation of plants // Chemosphere. Elsevier Ltd, 2010. Vol. 78, № 3. P. 273–279.
 34. Rico C.M., Peralta-Videa J.R., Gardea-Torresdey J.L. Chemistry, biochemistry of nanoparticles, and their role in antioxidant defense system in plants // Nanotechnology and Plant Sciences: Nanoparticles and Their Impact on Plants. Springer International Publishing, 2015. P. 1–17.
 35. Wang H. et al. Physiological effects of magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and pumpkin (*Cucurbita mixta*) plants // Nanotoxicology. 2011. Vol. 5, № 1. P. 30–42.
 36. Chen H. Metal based nanoparticles in agricultural system: Behavior, transport, and interaction with plants // Chemical Speciation and Bioavailability. Taylor and Francis Ltd., 2018. Vol. 30, № 1. P. 123–134.
 37. Giordani T. et al. Response of tomato plants exposed to treatment with nanoparticles.
 38. Ghafariyan M.H. et al. Effects of magnetite nanoparticles on soybean chlorophyll // Environ Sci Technol. 2013. Vol. 47, № 18. P. 10645–10652.

39. Delfani M. et al. Some Physiological Responses of Black-Eyed Pea to Iron and Magnesium Nanofertilizers // *Commun Soil Sci Plant Anal*. 2014. Vol. 45, № 4. P. 530–540.
40. Konate A. et al. Magnetic (Fe₃O₄) nanoparticles reduce heavy metals uptake and mitigate their toxicity in wheat seedling // *Sustainability (Switzerland)*. MDPI, 2017. Vol. 9, № 5.
41. Chen H. et al. Effective methods to reduce cadmium accumulation in rice grain // *Chemosphere*. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 207. P. 699–707.
42. Nudelman F., Sommerdijk N.A.J.M. Biomineralization as an inspiration for materials chemistry // *Angewandte Chemie - International Edition*. 2012. Vol. 51, № 27. P. 6582–6596.
43. Hamm C.E. et al. Architecture and material properties of diatom shells provide effective mechanical protection // *Nature*. 2003. Vol. 421, № 6925. P. 841–843.
44. Doh Y.J. et al. Applied physics: Tunable supercurrent through semiconductor nanowires // *Science (1979)*. 2005. Vol. 309, № 5732. P. 272–275.
45. Talham D.R. Biomineralization: Principles and Concepts in Bioinorganic Materials Chemistry Stephen Mann. Oxford University Press, New York, 2001. // *Cryst Growth Des*. American Chemical Society (ACS), 2002. Vol. 2, № 6. P. 675–675.
46. Gorobets O.Yu. BIOMAGNETISM AND BIOGENIC MAGNETIC NANOPARTICLES // *Visnik Nacional'noi' akademii' nauk Ukraini*. 2015. № 07. P. 53–64.
47. Gorobets S. V et al. Biogenic magnetic nanoparticles in plants.
48. Gorobets S. et al. The Effect of Magnetite Nanoparticles on the Growth and Development of *Nicotiana Tabacum* Plants in Vivo and in Vitro Culture // *Innovative Biosystems and Bioengineering*. Kyiv Politechnic Institute, 2021. Vol. 5, № 3. P. 178–188.

49. López-Luna J. et al. Magnetite nanoparticle (NP) uptake by wheat plants and its effect on cadmium and chromium toxicological behavior // *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 2015. Vol. 565. P. 941–950.
50. Al-Amri N. et al. Size effect of iron (III) oxide nanomaterials on the growth, and their uptake and translocation in common wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Ecotoxicol Environ Saf*. Academic Press, 2020. Vol. 194.
51. Li J. et al. Uptake, translocation and physiological effects of magnetic iron oxide (γ -Fe₂O₃) nanoparticles in corn (*Zea mays* L.) // *Chemosphere*. Elsevier Ltd, 2016. Vol. 159. P. 326–334.
52. Tombuloglu H. et al. Uptake, translocation, and physiological effects of hematite (α -Fe₂O₃) nanoparticles in barley (*Hordeum vulgare* L.) // *Environmental Pollution*. Elsevier Ltd, 2020. Vol. 266.
53. Kornarzyński K. et al. Effect of Fe₃O₄ nanoparticles on germination of seeds and concentration of elements in *Helianthus annuus* L. under constant magnetic field // *Sci Rep*. Nature Research, 2020. Vol. 10, № 1.
54. Afzal I. et al. Magnetic field treatments improves sunflower yield by inducing physiological and biochemical modulations in seeds // *Molecules*. MDPI AG, 2021. Vol. 26, № 7.
55. Iannone M.F. et al. Impact of magnetite iron oxide nanoparticles on wheat (*Triticum aestivum* L.) development: Evaluation of oxidative damage // *Environ Exp Bot*. Elsevier B.V., 2016. Vol. 131. P. 77–88.
56. Joshi N. et al. Synthesis of biocompatible Fe₃O₄ and MnO₂ nanoparticles for enhanced tuberization in potato (*Solanum tuberosum* L.) // *Biocatal Agric Biotechnol*. Elsevier Ltd, 2022. Vol. 39.
57. Yew Y.P. et al. Green biosynthesis of superparamagnetic magnetite Fe₃O₄ nanoparticles and biomedical applications in targeted anticancer drug delivery system: A review // *Arabian Journal of Chemistry*. Elsevier B.V., 2020. Vol. 13, № 1. P. 2287–2308.

58. Дехтяренко Р. А. Вплив магнетиту на пророщування насіння та ріст ріпака озимого *Brassica napus* L. *olifera*. Київ, 2020.
59. Jat R., Suresh P.O. Effect of Stabilized Magnetite Nano Fertilizer on growth, yield and nutrient contents of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* L.) cv. F1 HYB NS-50. 2021. Vol. 19, № 2.
60. Теліженко Валерія Сергіївна. Вплив наночастинок магнетиту на розвиток і морфологію томату звичайного *Solanum lycopersicum*. 2020.
61. Zadeh R.R. et al. Response of tomato plants to interaction effects of magnetic (Fe_3O_4) nanoparticles and cadmium stress // *J Plant Interact*. Taylor and Francis Ltd., 2019. Vol. 14, № 1. P. 474–481.
62. Morrison L.A., W.C.W. Taxonomic Classification of Grain Species // *Encyclopedia of Food Grains*. 2016. P. 31–40.
63. Matsuoka Y. Evolution of polyploid triticum wheats under cultivation: The role of domestication, natural hybridization and allopolyploid speciation in their diversification // *Plant and Cell Physiology*. 2011. Vol. 52, № 5. P. 750–764.
64. Avni R. et al. Wild emmer genome architecture and diversity elucidate wheat evolution and domestication Downloaded from // *Bet Dagan*. 2017. Vol. 357. 93–97 p.
65. Middleton C.P. et al. Sequencing of chloroplast genomes from wheat, barley, rye and their relatives provides a detailed insight into the evolution of the triticeae tribe // *PLoS One*. Public Library of Science, 2014. Vol. 9, № 3.
66. Mueller-Bieniek A., Wasylikowa K., Smogorzewska A. Plant macrofossils from the site of Tell Arbid, Northeast Syria (3rd–2nd millennium BC). Preliminary report // *Polish Archaeology in the Mediterranean*. University of Warsaw, 2016. Vol. XXIV, № 1. P. 657–674.
67. Matsuoka Y. et al. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping.

68. Doebley J. The genetics of maize evolution // *Annual Review of Genetics*. 2004. Vol. 38. P. 37–59.
69. Ranere A.J. et al. The cultural and chronological context of early Holocene maize and squash domestication in the Central Balsas River Valley, Mexico.
70. Badr A. et al. On the Origin and Domestication History of Barley (*Hordeum vulgare*) // *Mol. Biol. Evol.* 2000. Vol. 17, № 4. P. 499–510.
71. Zohary D., Hopf M., Weiss E. Domestication of Plants in the Old World: The origin and spread of domesticated plants in Southwest Asia, Europe, and the Mediterranean Basin // *Domestication of Plants in the Old World: The Origin and Spread of Domesticated Plants in Southwest Asia, Europe, and the Mediterranean Basin*. Oxford University Press, 2012. 1–264 p.
72. Maccaferri M. et al. Durum wheat genome highlights past domestication signatures and future improvement targets // *Nat Genet.* Nature Publishing Group, 2019. Vol. 51, № 5. P. 885–895.
73. Ceoloni C., Jauhar P. Chromosome Engineering of the Durum Wheat Genome. 2006. P. 27–59.
74. Jauhar P.P., Peterson T.S., Xu S.S. Cytogenetic and molecular characterization of a durum alien disomic addition line with enhanced tolerance to *Fusarium* head blight // *Genome*. 2009. Vol. 52, № 5. P. 467–483.
75. Paterson A.H., Freeling M., Sasaki T. Grains of knowledge: Genomics of model cereals // *Genome Research*. 2005. Vol. 15, № 12. P. 1643–1650.
76. Nannas N.J., Kelly Dawe R. Genetic and genomic toolbox of *Zea mays* // *Genetics*. Genetics Society of America, 2015. Vol. 199, № 3. P. 655–669.
77. Schnable P.S. et al. The B73 maize genome: Complexity, diversity, and dynamics // *Science* (1979). 2009. Vol. 326, № 5956. P. 1112–1115.
78. Jiao Y. et al. Improved maize reference genome with single-molecule technologies // *Nature*. Nature Publishing Group, 2017. Vol. 546, № 7659. P. 524–527.
79. Kato A. An Improved Method for Chromosome Counting in Maize.

80. Gale M.D., Devos V I E W P O I N T K.M. Plant Comparative Genetics after 10 Years.
81. Lawrence C. J. H.L.C., S.M.L., S.T.Z., S.T.E., C.D.A. MaizeGDB: The maize model organism database for basic, translational, and applied research. // Int J Plant Genomics. 2008.
82. Monaco M.K. et al. Gramene 2013: Comparative plant genomics resources // Nucleic Acids Res. 2014. Vol. 42, № D1.
83. Haseneyer G. et al. From RNA-seq to large-scale genotyping-genomics resources for rye (*Secale cereale* L.). 2011.
84. Dolezel J. et al. Plant Genome Size Estimation by Flow Cytometry: Inter-laboratory Comparison* // Annals of Botany. 1998. Vol. 82. 17–26 p.
85. Monat C. et al. TRITEX: Chromosome-scale sequence assembly of Triticeae genomes with open-source tools // Genome Biol. BioMed Central Ltd., 2019. Vol. 20, № 1.
86. Wrigley C. Cereal-Grain Morphology and Composition // Cereal Grains: Assessing and Managing Quality: Second Edition. Elsevier Inc., 2017. P. 55–87.
87. Shewry P.R. et al. The structure and properties of gluten: An elastic protein from wheat grain // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 2002. Vol. 357, № 1418. P. 133–142.
88. Kynast R.G. Handbook of maize: genetics and genomics // Ann Bot. Oxford University Press (OUP), 2012. Vol. 109, № 7. P. viii–ix.
89. Cakmak I. et al. Wheat: Prospects for Global Improvement. 1998. 427–435 p.
90. Barker N.P. et al. Phylogeny and Subfamilial Classification of the Grasses (Poaceae) Author(s): Grass Phylogeny Working Group // Source: Annals of the Missouri Botanical Garden. 2001. Vol. 88, № 3. 373–457 p.
91. Zeuli P.L.S., Qualset C.O. Flag Leaf Variation and the Analysis of Diversity in Durum Wheat // Plant Breeding. 1990. Vol. 105. P. 189–202.

92. Wei S. et al. Physiological and proteome studies of maize (*Zea mays* L.) in response to leaf removal under high plant density // *BMC Plant Biol.* BioMed Central Ltd., 2018. Vol. 18, № 1.
93. Laskoś K. et al. Correlation between leaf epicuticular wax composition and structure, physio-biochemical traits and drought resistance in glaucous and non-glaucous near-isogenic lines of rye // *Plant Journal.* John Wiley and Sons Inc, 2021. Vol. 108, № 1. P. 93–119.
94. Kellogg E.A. Update on Evolution Evolutionary History of the Grasses 1. 2001.
95. Furbank R.T. et al. Photons to Food: Genetic improvement of cereal crop photosynthesis // The Author(s). 2020.
96. Siddiqui M.N. et al. Genetics and genomics of root system variation in adaptation to drought-stress in cereal crops.
97. TAYLOR T. Introduction to Vascular Plant Morphology and Anatomy // *Biology and Evolution of Fossil Plants.* Elsevier, 2009. P. 201–222.
98. Lupton F.G.H., Whitehouse R.N.H. Studies on the breeding of self-pollinating cereals i. Selection methods in breeding for yield // *Euphytica.* 1957. Vol. 6. 169–184 p.
99. Wrigley C. The Cereal Grains: Providing our Food, Feed and Fuel Needs // *Cereal Grains: Assessing and Managing Quality: Second Edition.* Elsevier Inc., 2017. P. 27–40.
100. Ranieri R. et al. Marketing Perspectives in the Durum Wheat Trade // *Durum Wheat Chemistry and Technology: Second Edition.* Elsevier Inc., 2012. P. 279–286.
101. Finch H.J.S., Samuel A.M., Lane G.P.F. Cereals // *Lockhart & Wiseman's Crop Husbandry Including Grassland.* Elsevier, 2014. P. 287–336.
102. Eubanks M.W. Corn: Origin, History, Technology and Production // *Econ Bot.* Springer Nature, 2006. Vol. 60, № 2. P. 200–200.
103. Gwirtz J.A., Garcia-Casal M.N. Processing maize flour and corn meal food products // *Ann N Y Acad Sci.* Blackwell Publishing Inc., 2014. Vol. 1312, № 1. P. 66–75.

104. Leblanc M.L., Cloutier D.C. Mechanical Weed Control in Corn (*Zea mays* L.).
105. Wrigley C. The Cereal Grains: Providing our Food, Feed and Fuel Needs // *Cereal Grains: Assessing and Managing Quality: Second Edition*. Elsevier Inc., 2017. P. 27–40.
106. Wang S. et al. Production of Fuel Ethanol from Rye and Triticale by Very-High-Gravity (VHG) Fermentation // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 1998. Vol. 157.
107. Wrigley C., Bushuk W. Rye: Grain-Quality Characteristics and Management of Quality Requirements // *Cereal Grains: Assessing and Managing Quality: Second Edition*. Elsevier Inc., 2017. P. 153–178.
108. Bazhal M., Koutchma T. Ukraine as a food and grain hub: Impact of science and technology development on food security in the world // *Frontiers in Food Science and Technology*. Frontiers Media SA, 2022. Vol. 2.
109. National Center for Biotechnology Information [Electronic resource].
110. Li W. et al. Saturated BLAST: an automated multiple intermediate sequence search used to detect distant homology // *BIOINFORMATICS*. 2000. Vol. 16, № 12. 1105–1110 p.
111. Горобець С. В. М.Л.В., Д.І.В., К.Ю.В. Біосепарація: Методичні вказівки до проведення лабораторних робіт / ed. Горобець С. В. Київ, 2014.
112. Crespel L., Meynet J. Manipulation of Ploidy Level ☆ // *Reference Module in Life Sciences*. Elsevier, 2017.
113. Schillinger W.F. et al. Laboratory method to evaluate wheat seedling emergence from deep planting depths // *Agron J. American Society of Agronomy*, 2017. Vol. 109, № 5. P. 2004–2010.
114. Gorobets O., Gorobets S., Koralewski M. Physiological origin of biogenic magnetic nanoparticles in health and disease: From bacteria to humans // *International Journal of Nanomedicine*. Dove Medical Press Ltd., 2017. Vol. 12. P. 4371–4395.

115. Gorobets O.Yu. G.S.V., S.L. V. Biomineralization and synthesis of biogenic magnetic nanoparticles and magnetosensitive inclusions in microorganisms and fungi // Functional Mater. . 2014. Vol. №21(4). P. 427–436.