

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій
Кафедра біотехнології, шкіри та хутра

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

«Використання наночасток металів у рослинній біотехнології»

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 162 Біотехнології та біоінженерія

Освітня програма Біотехнологія високомолекулярних сполук

Виконала: студентка групи МгБТ-22

Нетяга Ю. М.

Науковий керівник: к.т.н., доц. Волошина І. М.

Рецензент: к.б.н., доц. Шидловська О.А.

Київ 2023

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Факультет	<u>хімічних та біофармацевтичних технологій</u>
Кафедра	<u>біотехнології, шкіри та хутра</u>
Спеціальність	<u>162 Біотехнології та біоінженерія</u>
Освітня програма	<u>Біотехнологія високомолекулярних сполук</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БШХ

_____ Олена МОКРОУСОВА
«__» _____ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Нетяга Юлія Миколаївна

1. Тема кваліфікаційної роботи: **Використання наночасток металів у рослинній біотехнології**
2. Науковий керівник роботи Волошина Ірина Миколаївна к. т. н., доц. затверджені наказом КНУТД від «12» вересня 2023 року №210-уч.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: завдання на кваліфікаційну роботу; наукова література щодо властивостей наночасток металів, застосування у сільському господарстві та застосування наночасток для оброки насіння ; матеріали науково-дослідної та переддипломної практик.
4. Зміст кваліфікаційної роботи: вступ, огляд літератури, методи та матеріали, експериментальна частина, висновки, список використаних джерел, додатки.
5. Дата видачі завдання 12.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапу кваліфікаційної роботи	Орієнтовний терміни виконання	Примітка про виконання
1	Вступ	08.09.2023	
2	Розділ 1 Огляд літератури	15.09.2023	
3	Розділ 2 Методи та матеріали	25.09.2023	
4	Розділ 3 Експериментальна частина	02.10.2023	
5	Висновки	11.10.2023	
6	Оформлення кваліфікаційної роботи (чистовий варіант)	25.10.2023	
7	Подача кваліфікаційної роботи науковому керівнику для відгуку	10.11.2023	
8	Подача кваліфікаційної роботи для рецензування (за 14 днів до захисту)	13.11.2023	
9	Перевірка кваліфікаційної роботи на наявність ознак плагіату та текстових співпадінь (за 10 днів до захисту)		
10	Подання кваліфікаційної роботи на підпис завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту)		

З завданням ознайомлений:

Студент _____ Юлія НЕТЯГА

Науковий керівник роботи _____ Ірина ВОЛОШИНА

АНОТАЦІЯ

Нетяга Ю.М. Використання наночастинок металів в рослинній біотехнології. – Рукопис

Кваліфікаційна робота за спеціальністю 162 – Біотехнології та біоінженерія. – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2023 рік.

У кваліфікаційній роботі проаналізовано сучасні літературні джерела щодо використання наночастинок різних металів за допомогою «зеленого» синтезу. Також представлено інформацію стосовно застосування наночастинок у рослинній біотехнології, сільському господарстві, медицині.

Кваліфікаційну роботу присвячено визначенню впливу наночастинок металів на рослини синтезованих зеленим синтезом використовуючи супернатант культуральної рідини *L. acidophilus* УКМ В-2691. Показано, що наночастки таких металів як: Ag, Cu, Fe Mn, Zn можна використовувати у аграрній промисловості для передпосівної обробки насіння зернових культур (кукурудзи, пшениці). Також за результатами досліджень можна з впевненістю сказати, що наночастки при певних концентраціях проявляють досить високі результати на вплив розвитку рослин.

Ключові слова: метали, наночастки, CuNPs, ZnNPs, FeNPs, MnNPs, AgNPs, *Lactobacillus acidophilus*, біотехнологія.

ABSTRACT

Netyaga Yu. M. Application of metal nanoparticles in plant biotechnology. – Manuscript

Qualifying master's thesis on specialty 162 – Biotechnology and bioengineering. – Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, 2023.

In the qualification work, modern literary sources on the use of nanoparticles of various metals with the help of "green" synthesis are analyzed. Information on the use of nanoparticles in plant biotechnology, agriculture, and medicine is also presented.

The thesis is devoted to the determination of the impact of metal nanoparticles on plants synthesized by green synthesis using the supernatant of the culture liquid of *L. acidophilus* UKM B-2691. It is shown that nanoparticles of such metals as: Ag, Cu, Fe Mn, Zn can be used in the agricultural industry for pre-sowing treatment of grain crops (corn, wheat). Also, according to the results of research, we can say with confidence that nanoparticles at certain concentrations show quite high results on the influence of plant development.

Key words: metals, nanoparticles, CuNPs, ZnNPs, FeNPs, MnNPs, AgNPs, *Lactobacillus acidophilus*, biotechnology.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1	9
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	9
1.1 Роль мінерального живлення	9
1.1.1 Вміст мінеральних елементів у різних рослинах та їх органах	9
1.2 Макро-мікро- та ультрамікроелементи, їх фізіологічна роль	10
1.2.1 Макроелементи	11
1.2.2 Мікроелементи	15
1.2.3 Ультрамікро елементи	18
1.3 Використання НЧ металів у рослинній біотехнології	18
2.1 Наночастки срібла	20
2.2 Наночастки марганцю	22
2.3. Наночастки міді	24
2.4. Наночастки цинку	27
Висновки до розділу 1	29
РОЗДІЛ 2	30
МЕТОДИ ТА МАТЕРІАЛИ	30
2.1 Характеристика ґрунтово-кліматичних умов	30
2.2 Методика проведення дослідження	32
2.3 Вимірювання розміру рослини	34
2.4 Вимірювання абсолютно сухої маси рослини	34
2.5 Отримання екстрактів рослини	35
2.6 Визначення каратиноїдів	35
2.7 Визначення хлорофілу а	36
2.8 Визначення хлорофілу b	37
2.9 Визначення загального вмісту хлорофілів	38
2.10 Статистичний аналіз	38
Висновки до розділу 2	38
РОЗДІЛ 3	40
ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	40

3.1 Вплив нітрату срібла та наночасток на пророщування зернових культур	40
3.1.1 Вплив срібла на ріст та розвиток кукурудзи.....	41
3.1.2 Вплив срібла на ріст та розвиток пшениці	42
3.2 Вплив міді на ріст та розвиток кукурудзи.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.3 Вплив марганцю на ріст та розвиток кукурудзи...	Ошибка! Закладка не определена.
3.4 Вплив заліза на ріст та розвиток кукурудзи.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.5 Вплив цинку на ріст та розвиток кукурудзи	Ошибка! Закладка не определена.
Висновки до розділу 3	43
ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	46
ДОДАТКИА.....	58

ВСТУП

Значна частина населення планети страждає від захворювань, викликаних значним дефіцитом життєво важливих мікроелементів. Наприклад, дефіцит заліза і селену відчуває до 1 мільярда людей, хрому – до 3, міді – 3, 6-3, 8, цинку – до 4, 5 мільярда. Відновлення балансу може стати «ключем, який відкриває велику скриню», яка містить рецепти для багатьох проблем зі здоров'ям, що зрештою призведе до кращої якості та довшого життя, захищаючи при цьому інтелектуальну власність. Зрозуміло, що дефіцит мікроелементів пояснюється незбалансованістю харчування людини і тому є прямим наслідком недоліків у живленні сільськогосподарських рослин і тварин. З іншого боку, врожайність рослинної продукції та продуктивність сільськогосподарських тварин також обмежуються мікроелементним раціоном [1].

Мінеральне живлення – це поглинання рослинами необхідних мінеральних елементів і включення їх в обмін речовин. Більшість цих елементів засвоюється вищими рослинами через кореневу систему, тому такий вид живлення ще називають кореневим живленням. Це один з основних факторів, що регулюють ріст, розвиток і продуктивність рослин.

Мінеральне живлення можливе завдяки автотрофності рослин, тобто їх здатності використовувати неорганічні речовини для утворення тканин і органів. Більшість органічних речовин утворюється в процесі фотосинтезу за рахунок вуглекислого газу в повітрі, води та сонячної енергії. При цьому інтенсивність фотосинтезу значною мірою визначається рівнем забезпеченості рослин елементами мінерального живлення, оскільки вони беруть безпосередню участь у синтезі основних сполук (білків, амінокислот, хлорофілу та ін.). кількість і якість врожаю [2].

Через низьку продуктивність тваринництва на багатьох полях України органічні добрива тривалий час не застосовуються, а з мінеральних (і то не завжди) лише азотні, фосфорні та калійні. Відмічено, що коли у рослин починають з'являтися ознаки дефіциту мікроелементів, тобто дефіциту

елемента, якого потрібно лише кілька грамів на гектар, усі зусилля та вкладення фермера чи агронома марні [3].

Тому мінеральне живлення макро- і мікроелементами дуже важливе для росту і розвитку рослин. Ефективне мінеральне живлення є однією з основ успішного вирощування сільськогосподарських культур.

Актуальність теми роботи полягає в дослідженні впливу на ріст та розвиток рослин різних наночасток металів отриманих за допомогою *Lactobacillus acidophilus* УКМ В-2691.

Наукова новизна роботи полягає у підборі параметрів (концентрацій, температури) для вирощування рослин (зернових культур) за допомогою наночасток різних металів синтезованих за допомогою *Lactobacillus acidophilus* УКМ В-2691.

Метою роботи є дослідження впливу та стимуляції росту наночасток металів синтезованих за допомогою *Lactobacillus acidophilus* УКМ В-2691.

Об'єкт дослідження роботи – наночастки та солі металів (Ag, Fe, Cu, Mn, Zn), клітини *Lactobacillus acidophilus* УКМ В-2691.

Предмет дослідження – зернові культури, наночастки металів синтезованих з бактерії *Lactobacillus acidophilus* УКМ В-2691.

Для досягнення мети були поставлені наступні **завдання**:

1. Обробити зернові культури пшениці та кукурудзи різними наночастками Ag, нітратом срібла та культуральною рідиною *L.acidophilus* УКМ В-2691. Посадити у ґрунт та визначити їх ростові параметри.

2. Перевірити як впливають наночастки Fe, Mn, Cu, Zn та їх солі на проростання та ріст пшениці.

3. З пророщених рослин зробити екстракти та визначити накопичення хлорофілів та каротиноїдів у рослині (кукурудза та пшениця).

4. Оформити результати та зробити висновок щодо можливого використання наночасток металів у сільськогосподарському виробництві.

Методи дослідження: біологічні, мікробіологічні, біотехнологічні, спостереження, спектрофотометричні, аналіз та узагальнення результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у встановленні умов біосинтезу наночастинок міді за допомогою *Lactobacillus acidophilus* УКМ В-2691.

Публікації. Результати досліджень подано оглядову статтю в журнал *Biopolym. Cell.* (Scopus) та опубліковано в трьох збірниках матеріалів науково-практичних міжнародних конференцій:

1. Voloshyna I. M., **Netiaha Yu.M.**, Nechaiuk Ya.V., Khomenko V.G., Shkotova L. V. The influence of metal nanoparticles on plants // *Biopolymers and Cell* (довідка додається) Scopus (Додаток А)

2. **Нетяга Ю.М.**, Волошина І.М. Використання наночастинок металів для сільського господарства // Проблеми та досягнення сучасної біотехнології: матеріали III міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (24 березня 2023 р., м. Харків). – Електрон. дані. – Х.: НФаУ, 2023. – С. 287-288 (Додаток Б) та сертифікат (Додаток В).

3. **Нетяга Ю.М.**, Давидюк Т.Є., Волошина І.М. Використання наночастинок металів для сільського господарства // актуальні питання біотехнології, екології та природокористування: матеріали міжнародної наукової конференції, 27-28 квітня 2023 року, Харків: ДБТУ, 2023. – С. 106-108 (додаток Г), сертифікат (додаток Д).

4. Voloshyna I.M., Shkotova L.V., **Netiaha Y.**, Lastovetska L. Green biosynthesis of nanoparticles using *Lactobacillus* //The International research and practice conference “Nanotechnology and nanomaterials” (NANO-2022). Abstract Book of participants of the International research and practice conference, 25–27 August 2022, Lviv. Edited by Dr. Olena Fesenko. – Kyiv: LLC APF POLYGRAPH SERVICE, 2022. – P. 286. (Додаток Ж).

Структура і обсяг кваліфікаційної роботи. Основна частина кваліфікаційної науково-дослідницької роботи викладена на 77 сторінках, і включає три основні розділи та висновки. В роботі представлено список використаних джерел, що налічує 94 найменування публікацій вітчизняних та зарубіжних дослідників, шість додатків на 12 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Роль мінерального живлення

1.1.1 Вміст мінеральних елементів у різних рослинах та їх органах

Для нормального життєвого циклу рослинного організму необхідні такі елементи: вуглець, водень, кисень, азот, фосфор, калій, кальцій, магній, сірка, залізо, марганець, мідь, цинк, молібден, бор, натрій, кремній, кобальт., хлор тощо. Багато з них є чисто мінеральними і поглинаються рослинами в основному у вигляді іонів із ґрунтового розчину. Такі елементи, як вуглець, водень і кисень, надходять в рослину в основному у вигляді CO_2 , H_2O і O_2 .

Майже всі органічні речовини обов'язково містять чотири елементи: вуглець, водень, кисень і азот, які називаються органогенами. Майже половина сухої речовини, що залишається в організмі рослини після тривалого висушування при 102-105 °С, складається з вуглецю. Кисень становить 42 % його маси, водень – 6, 5 %, азот – 1, 5 %. Решта елементів, що належать до групи золи, становить у середньому близько 5% [4].

При спалюванні рослин органічні елементи у вигляді відповідних сполук: H_2O , CO_2 , H_2S , NH_3 виділяються в атмосферу в газоподібному вигляді, а решта утворюють мінеральну частину рослин у вигляді оксидів і золи. Вміст золи в різних органах і частинах рослин неоднаковий. Мінімум у деревині – близько 1%, у коренях і стеблах – 4-5%, у листі – 10-15%, у корі – близько 7%, а в насінні – 3%. Різні рослини містять різну кількість золи. Наприклад, на листі картоплі – 5-13%; буряк – 11-12; ріпа – 8-15%. Мінеральний склад рослин визначається умовами їх вирощування, віком і стадією розвитку.

За кількісним вмістом усі хімічні елементи поділяються на три групи.

Десять найнеобхідніших (від 10 до 0,01% сухої маси рослини) відносяться до групи макроелементів. Це такі елементи: вуглець, водень, кисень, азот, калій, фосфор, магній, кальцій, сірка, залізо. Елементи, які містяться в рослині в значно менших кількостях (від 0,001% до 0,00001),

складають групу мікроелементів. Серед них бор, марганець, цинк, молібден, кобальт та інші.

Третю групу складають ультрамікроелементи. зольність рослинного походження не перевищує 10^{-6} – 10^{-12} відсотків. Це свинець, срібло, літій, ртуть, миш'як та ін.

Поділ елементів на три зазначені групи досить умовний, оскільки їх кількість може істотно відрізнятись. Точніше класифікувати елементи за їх біологічним значенням і фізіологічними функціями.

Вуглець, водень, кисень, азот, фосфор і сірка є основними компонентами органічних речовин; Такі елементи, як калій, кальцій, магній, марганець і хлор, відіграють регулюючу роль, беручи участь в осмотичній регуляції, електронному балансі та проникності мембран. Багато рослин мають здатність накопичувати окремі елементи мінерального живлення у великих кількостях. Цю особливість слід враховувати при вирощуванні сільськогосподарських культур, оскільки вона визначає харчову та технологічну цінність отриманого врожаю [5].

1.2 Макро-мікро- та ультрамікроелементи, їх фізіологічна роль

Макроелементи містять елементи, вміст яких становить від 0, 01 до 10% свіжої маси рослин. Це N, P, K, Ca, Mg.

Більшість елементів присутні в малих або дуже малих кількостях, лише між 0,00001 і 0,001%. Це мікроелементи: Fe, Cu, Zn, B, Mn, Mo, Se.

Абсолютно есенціальним називається елемент, який при виключенні з поживного розчину порушує процеси життєдіяльності та структуру тканин рослини, припиняє ріст або рослина гине і не може бути замінений іншим елементом. З макроелементів – це N, P, K, Ca, Mg, S. З мікроелементів – Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, B. Отже, якщо рослина не отримує N, P, K, Ca, оскільки Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, B (необхідні поживні речовини) рослина або не росте, і не плодоносить.

Потреба та вміст мінеральних елементів у рослинах піддається сильним коливанням залежно від умов вирощування, виду рослини та особливостей

сортів. Наприклад, зернові містять менше мінеральних речовин, ніж бобові та овочі. Найбільше азоту накопичується в люцерні та сої, а фосфору – у сої та цукрових буряках. Велика кількість калію міститься в цукровому буряку, картоплі і помідорах, а кальцію – в бобових, гречці і картоплі.

Найбільше мінеральних елементів зосереджено в клітинах і тканинах, де дуже активно протікають обмінні процеси (освітні тканини, листя, молоді пагони, які поглинають зони коренів).

Фізіологічне значення кожного елемента суворо специфічне [6, 7].

1.2.1 Макроелементи

Азот. Поживна речовина, яка має найбільший вплив на продуктивність рослин. Це найпоширеніший макроелемент, найпоширеніший будівельний матеріал рослин, який збільшує зелену (вегетативну) масу рослин і тим самим їх урожайність. Азот бере участь в утворенні білків, як важливий компонент міститься в нуклеопротеїнах і нуклеїнових кислотах, входить до складу молекули хлорофілу, вітамінів і алкалоїдів. З усіх мінеральних добрив азотні добрива найбільш небезпечні при передозуванні. Надлишок азоту може накопичуватися в овочах у вигляді нітратів і нітритів, шкідливих для здоров'я людини. Нітрати накопичуються в рослинах не тільки при надлишку азоту, але і при нестачі молібдену і заліза, що сприяє відновленню нітратного азоту (NO_3) до аміачної форми (NH_4). Симптомами нестачі азоту є пригнічення росту рослин. У овочевих рослин старе листя набуває жовто-зеленого забарвлення, а у плодових — червоніє. Після зав'язування плодів частина опадає, а решта зморщується щільною м'якоттю.

Якщо дефіцит азоту супроводжується протягом усього вегетаційного періоду, урожайність може значно знизитися. Природно, це позначається на якості продукції, особливо на руйнуванні білкових сполук при формуванні зерна. Потреба в азоті для різних рослин різна.

Рослини споживають азот, розчинений у воді. Тому важливу роль у цьому плані відіграють погодні умови сезону. У сухих умовах рослини не можуть засвоювати азот та інші поживні речовини, навіть якщо вони є в

грунті. З іншого боку, надмірна кількість опадів і зрошення можуть призвести до витоку азоту, особливо на легких ґрунтах. Щільність ґрунту також впливає на ріст коренів, ускладнюючи засвоєння рослинами азоту та інших поживних речовин у таких ґрунтах [5-6].

Фосфор. В живих організмах нерозривно пов'язаний з енергетичним обміном, спадковою інформацією, ферментативним каталізом, проникністю клітинних мембран та іншими важливими функціями. Фосфор – основа життя на полях.

У більшості ґрунтів, особливо піщаних, фосфор міститься в невеликих кількостях: його загальний вміст коливається від 500 до 800 мг/кг сухого ґрунту. Серед мінеральних сполук фосфору в ґрунті переважають ортофосфати - в основному фосфати кальцію і фосфати, що складаються з полуторних оксидів - алюмінію і заліза. Органічні сполуки фосфору в мінеральних ґрунтах становлять 70-80% усіх їх запасів, але органічний фосфор стає доступним рослинам лише після його мінералізації ґрунтовими мікроорганізмами, які розщеплюють неорганічні фосфати за допомогою ферменту фосфатази. Фосфатаза виробляється також корінням вищих рослин.

Рослини поглинають лише розчинний фосфор в окисленій формі ортофосфату (H_2PO_4 або HP_042^-). Рівень рН ґрунту відіграє вирішальну роль у забезпеченні рослин фосфором.

Якщо коренева система буріє, погано розвивається, кореневі волоски відмирають, ріст рослини припиняється, краї листя скручуються, з'являються фіолетові та червоні плями, то спостерігається нестача фосфору. Більш чутливі до його дефіциту рослини на ранніх стадіях розвитку. При нестачі фосфору ріст овочевих рослин припиняється, молоді стебла і листя набувають темно-зелене або синьо-зелене забарвлення. Дефіцит фосфору характеризується тим, що стебла й окремі листки плодів рослин набувають сіро-рожевого або буро-зеленого забарвлення [8].

Сірка. Сірка потрібна рослинам майже стільки ж, скільки фосфор. Вміст загальної сірки у верхніх горизонтах незасолених ґрунтів коливається від 0, 01-0, 02% до 0, 2-0, 4%. Сірка міститься в ґрунтах у вигляді органічних і мінеральних сполук. Органічні сполуки сірки становлять 70-80% у верхніх гумусових горизонтах ґрунту і майже 100% усіх запасів сірки в торфових ґрунтах. Найбільш поширеною мінеральною формою сполук сірки в ґрунті є сульфати, головним чином сульфати кальцію, натрію та магнію (CaSO_4 , Na_2SO_4 , MgSO_4). В умовах перезволоження він знаходиться в ґрунті у вигляді відновлених і важкорозчинних сполук, таких як сірка, FeS , FeS (пірит), які недоступні для рослин. Основним кінцевим продуктом анаеробного перетворення сірки є сірководень (H_2S), який надає ґрунту неприємний запах і за відсутності умов для його подальшого перетворення може накопичуватися в токсичних для рослин кількостях.

Рослини поглинають сірку в її окисленій формі: аніон сірчаної кислоти. Можливим джерелом сірки є SO_2 , який потрапляє в листя з атмосфери через пори. У нормі вміст SO_2 в атмосфері становить 0, 3 мг/м³, але підвищення його концентрації до 0, 5-1 мг/м³ вже є токсичним для рослин, а подальше підвищення концентрації може спричинити некроз листя та зупинку росту.

Хлор. Хлор дуже поширений у природі і може бути легко отриманий рослинами. Необхідність хлору для рослин була доведена не так давно, але після того, як при вирощуванні водних рослин були видалені всі реактиви і сліди хлору в повітрі. Невеликих кількостей хлору, які зазвичай містяться в реагентах і як домішки в повітрі, було достатньо для здорового росту рослин.

У природі дефіцит хлору практично відсутній, оскільки Cl^- в достатній кількості міститься в атмосфері, дощовій і поливній воді. Рослини легко поглинають хлориди і можуть накопичувати надлишок [8].

Кремній. У більшості ґрунтів і ґрунтових шарів елемент кремній поступає за масою та кількістю. Мінеральні сполуки кремнію представлені в ґрунтах діоксидом кремнію SiO_2 , а солі кремнієвих кислот —

силікатами і алюмосилікатами. Розчин середовища містить мономерну ортосаліцилову кислоту ($H_4SiO_4=Si(OH)_4$). $Si(OH)_4$ залишається розчинним у широкому діапазоні рН (2-9).

Було виявлено, що рослини можуть рости і жити повний життєвий цикл без Si, але в цьому випадку ріст буде поганим. Si відіграє в рослині роль мікроелемента, але він всюдисущий, тому його кількість у рослинах така ж, як і інших макроелементів.

Калій. Середній вміст лужного калію в ґрунті досягає 1, 36%. Запаси калію в ґрунті перевищують запаси азоту в 5-50 разів, а запаси фосфору в 8-40 разів. Калій є основним катіоном рослин, і вони потребують його у великих кількостях; Його вміст у тканинах дорівнює 1-5% сухої маси. Рослини швидко і ефективно засвоюють калій і можуть накопичувати його в кількості, що в 100 і більше разів перевищує його вміст у зовнішньому середовищі. Рослини поглинають калій через спеціальні K^+ канали та які, здатні транспортувати Ca^{2+} і Na^+ .

Основною функцією калію в клітині є стимуляція АТФази плазмалеми. При дефіциті калію порушується водний режим і ріст. Потім хлороз і некроз виникають у старих листках, дозволяючи калію переходити до молодих органів росту.

Натрій. Натрій міститься в достатній кількості в усіх ґрунтах, його середній вміст досягає 0, 63%. Натрій входить до складу мінеральних речовин ґрунту, що містяться в ґрунтовому сорбційному комплексі та ґрунтовому розчині. Розчинні солі натрію можуть переважати на солончаках і засолених ґрунтах посушливих районів.

Na^+ потрапляє в рослини шляхом полегшеної дифузії через канали з низькою специфічністю, тобто ці канали також пропускають катіони інших видів. Коріння деяких рослин має здатність виділяти Na^+ у навколишнє середовище, що може відігравати важливу роль у стійкості рослин до засоленних ґрунтів.

Кальцій. У більшості ґрунтів помірної зони вміст кальцію перевищує катіони інших макроелементів, його середній вміст досягає 36, 4 г/кг. Кальцій представлений різними мінералами: силікатами, алюмосилікатами, карбонатами, сульфатами, фосфатами та ін. Багато з них важко розшифрувати.

Функції кальцію в рослинах дуже різноманітні. Меристематичним клітинам потрібен кальцій з двох причин: він регулює веретеноподібний апарат і утворює пектат кальцію в новій клітинній стінці між двома клітинами, що діляться. При дефіциті кальцію багатоядерні клітини виникають в результаті неповного поділу. Вплив кальцію на ріст найлегше помітити на коренях: якщо кальцію немає, коріння зупиняється в рості та гине через кілька днів.

1.2.2 Мікроелементи

Мікроелементи впливають на найважливіші фізіологічні процеси рослин: ріст, розвиток, розмноження, стійкість до несприятливих умов тощо. Використовуючи мікроелементи як добрива, слід враховувати, що між ними дотримується певне співвідношення, а також те, що дія мікроелементів на рослини відбувається лише за умови повного забезпечення рослин макроелементами.

Залізо. За поширенням у земній корі залізо займає четверте місце після кисню, кремнію та алюмінію. Валовий вміст заліза в ґрунті коливається від 1 до 10%, але поширені погано розчинні сполуки.

Залізо може надходити в рослину у формі Fe^{3+} або Fe^{2+} , переважно у формі Fe^{2+} , оскільки воно більш розчинне. Оскільки розчинність заліза низька, його мобілізація підтримується корінням рослин.

Залізо в рослині виконує дуже важливі функції. Оскільки залізо у водному розчині існує у двох формах: Fe^{2+} , Fe^{3+} , його основною функцією є перенесення електронів у процесах дихання, фотосинтезу, відновлення азоту та сірки.

Дефіцит заліза в рослині викликає хлороз: швидку втрату хлорофілу і дегенерацію структур хлоропластів. Хлороз проявляється у вигляді отворів між жилками на молодих листках, потім жилки світлішають і весь лист стає білим.

Залізо є хорошим прикладом речовини, яку ґрунт часто містить у надлишкових кількостях. Однак рослини можуть мати дефіцит заліза і можуть навіть проявляти візуальні симптоми гострого дефіциту. Це пояснюється тим, що доступність заліза рослинам значною мірою залежить від рН ґрунту. Якщо цей рівень нейтральний або кислий, рослина успішно використовує запаси ґрунту, але в лужних ґрунтах залізо міцно зв'язане з частинками ґрунту, тому в цих випадках для правильного росту також необхідно вносити залізовмісні добрива [10].

Молібден. Більшість ґрунтів містять молібден у достатній для рослин кількості, за винятком кислих ґрунтів із високим вмістом заліза, які сильно поглинають молібден. Нормальна концентрація молібдену в сільськогосподарських ґрунтах становить 0, 8-3, 3 мг/кг. Потреба рослин у молібдені найменша порівняно з іншими мікроелементами.

Застосовуючи молібденові добрива, слід мати на увазі, що при збільшенні їх доз небезпека отруєння рослин відсутня, але підвищення вмісту молібдену в кормах шкодить жуйним тваринам.

Присутній у рослині молібден є частиною ферментативного комплексу, пов'язаного із засвоєнням і перетворенням азоту рослиною. Встановлено потребу в молібдені для росту рослин. При дефіциті молібдену нітрати накопичуються в тканинах рослин за рахунок гальмування перетворення цієї форми азоту в білкові сполуки.

Молібден бере участь в обміні вуглеводів в рослині, а також в засвоєнні фосфору і його участі в синтезі вітамінів і хлорофілу, впливаючи на інтенсивність окисно-відновних реакцій. Молібден входить до складу ферментів нітрит- і нітратредуктази, відповідальних за перетворення азоту в

рослині, тому молібден дуже важливий для бобових культур, які можуть фіксувати азот в атмосферному повітрі за допомогою бульбочкових бактерій.

Дефіцит молібдену викликає глибокі порушення обміну речовин рослин. Найбільш чутливі до дефіциту молібдену культури: зернові, бобові та плодові культури.

Необхідність підживлення рослин молібденом виникає, як правило, на кислих ґрунтах, де він менш доступний.

Візуально дефіцит молібдену проявляється у вигляді світло-зеленого і навіть жовто-зеленого кольору листя, при цьому самі листя зморщуються і відмирають, краї скручуються всередину. Черешки листя червоно-бурі [11].

Бор. Загальна концентрація бору в ґрунті становить 20-200 мкг/кг сухої маси, але мінерали, що містять бор, важко розчиняються. У водних розчинах при рН 4-8 бор знаходиться у вигляді незв'язаної борної кислоти - $B(OH)_3$ або H_3BO_3 , в кількості 0,5-2,0 мг В/л.

Бор необхідний для розвитку меристеми і тому необхідний протягом вегетаційного періоду. Бор відіграє важливу роль у поділі клітин, синтезі білків і є необхідним компонентом клітинних мембран. Під впливом бору в рослинах посилюється синтез і рух вуглеводів, їх накопичення. За нестачі бору цукри накопичуються в листках і погано переходять до товарної частини врожаю. Характерними ознаками дефіциту бору є: відмирання точок росту, утворення порожнин у коренях, порушення судинної тканини рослин, порушення формування органів розмноження. Дослідження показали, що однодольні (цілі зерна) менш сприйнятливі до дефіциту бору, ніж дводольні, а квіти мають найвищий вміст бору в рослині.

Бор сприяє кращому засвоєнню кальцію в обмінних процесах рослин. Хоча його вміст у ґрунті цілком достатній, часто саме нестача бору перешкоджає надходженню кальцію в рослини. Крім того, встановлено, що накопичення бору в рослинах збільшується в ґрунтах з високим вмістом калію. Дефіцит бору спричиняє не тільки зниження врожаю, а й погіршення якості. Зовнішні ознаки нестачі: затримка росту, хлороз на кроні з

подальшим повним відмиранням точки росту, осипання квіток, порожня квітка, опадання зав'язі.

Бор є елементом, який погано перерозподіляється між старим і молодим листям, тому оптимальний вміст бору в рослинах бажано підтримувати протягом вегетаційного періоду за допомогою позакореневого підживлення. Найбільш чутливі культури: цукровий буряк, ріпак, соняшник, овочі, фрукти, виноград. Менш чутливі: кукурудза, бобові.

Нікель. Нікель входить до складу двох ферментів: уреазі і бактеріальної гідрогенази. Уреаза дуже поширена і каталізує розкладання сечовини в рослинах до NH_3 і CO . Уреаза особливо важлива, якщо сечовина використовується як добриво. Уреаза особливо важлива для бобових, оскільки сечовини утворюються під час фіксації азоту в коренях, які транспортуються через ксилему. Надлишок сечовини токсично діє на рослини, тому всі вони потребують активної уреазі та нікелю [12,13].

1.2.3 Ультрамікро елементи

Ультрамікроелементи складають менше 10-12%. Це Se, Co, V, Cr, As, Ni, Li, Ba, Ti, Ag, Sn, Be, Ga, Ge, Hg, Sc, Zr, Bi, Sb, U, Th, Rh. 0, 01% маси клітини. Фізіологічна роль багатьох із цих елементів ще не визначена.

1.3 Використання НЧ металів у рослинній біотехнології

В даний момент у зв'язку з стрімким розвитком та використанням нанотехнологій у сільському господарстві, медицині, біології та інших галузях стає все більш актуальною та перспективною тема вивчення наночасток металів для їх практичного використання.

Нанотехнологія – це галузь науки, яка пов'язана з наноматеріалами, допомагає подолати обмеження розміру та може змінити погляд на світ щодо науки. Взаємодія наноматеріалів з рослинами до кінця не з'ясована. Існують різні та часто суперечливі звіти щодо поглинання, транслокації, накопичення,

біотрансформації та токсичності наночасток для різних видів рослин. Наночастки срібла (AgNPs) є одним із наноматеріалів, вплив яких найчастіше досліджується [15].

Існує два основні методи синтезу наночасток (тобто низхідний і методи знизу вгору), які використовуються для виробництва наноматеріалів відповідний розмір, форму та функціональність [16]. однак, традиційні фізико-хімічні методи створюють екологічні та біологічні небезпеки через токсичні відновники, що використовуються під час процесу. Таким чином, щоб задовольнити зростаючий попит на екологічно стійку технологію виробництва металевих наночасток, біоміметичні або «зелені» методи синтезу з використанням біологічних молекул або цілих організмів були використані як екологічний підхід [17, 18].

Використання культур клітин рослин для біологічного синтезу металу наночастки є напрямом досліджень біонанотехнологій, що швидко розвивається.

Часті спроби застосування наночасток у сільському господарстві пояснюються низкою проблем традиційних методів обробки насіння, наприклад хімічна стерилізація насіння [19]. Традиційно використовувані органічні стерилізатори мають такі вагомні недоліки, як висока витрата, токсичність і здатність патогенів пристосовуватися і витримувати стерилізатори. Вважається, що використання протруйників на основі наночасток металів може стати перспективним застосуванням нанотехнологій у сфері передпосівної обробки насіння [20, 21].

Сьогодні наночастки широко використовуються у всьому світі. Так як вони славляться своїми унікальними фізико-хімічними та біологічними властивостями. Також вони мають ряд переваг порівняно з традиційними розчинами: забезпечують повне змочування поверхні рослин, повністю поглинаються рослинами, не розшаровуються під впливом тепла та світла, не змиваються під дощем та робочий розчин може зберігатися роками, залишаючись активним [22].

Різні дослідження показують що наночастки можуть впливати на рослини на біохімічному, фізіологічному та молекулярному рівнях [23].

Залізо, кобальт, мідь, марганець та інші елементи в нанорозмірному стані можуть сприяти росту та розвитку рослин. Нанорозмірні метали виявляють високу бактерицидну активність, низьку токсичність і не накопичуються в організмі людини [24].

2.1 Наночастки срібла

Наночастинки срібла – це частинки розміром від 2 до 100 нм, що містять близько 20-15000 атомів срібла. Вони використовуються в медицині для лікування ран та опіків та сільському господарстві. Дослідження антимікробних властивостей наночастинок срібла щодо різних патогенів, таких як віруси, гриби та деякі види бактерій підтвердили їх ефективність.

Механізм дії наночастинок срібла пов'язаний з їх накопиченням на мембрані мікроорганізмів та утворенням пор, що веде до зміни проникності клітинної стінки та пригнічення клітинного дихання.

Було показано, що вони мають не тільки антибактеріальну дію, але й здатні пригнічувати зростання таких грибків як *T. mentagrophytes*, *C. albicans*, *C. glabrata*. Також дослідження показали, що колоїдні розчини, що містять наночастинки срібла, можуть пригнічувати зростання видів *Aspergillus*, *Penicillium* та *Trichoderma* [22].

Наносрібло (nAg) характеризується високою ефективністю в усуненні бактеріальних інфекцій [25]. Іони срібла взаємодіють з багатьма процесами на молекулярному рівні в бактеріальних клітинах, що призводить до пригнічення їх росту та навіть смерті [25]. Використання AgNO_3 як джерела срібла для дезінфекції рослинних тканин досить поширене, але використання nAg є більш новим методом. У дослідженнях показано [26, 27], що nAg має таку ж ефективність, як AgNO_3 . А саме, здатність пригнічування розвитку понад 600 різних мікроорганізмів. Нано Ag характеризується не лише

антибактеріальною, а й противірусною та протигрибковою дією [28]. Крім того, правильно підібрана концентрація nAg не має негативного впливу на зростання або розмноження рослин у культурах *in vitro*. Виявили, що nAg має хороший потенціал для видалення бактеріальних забруднень у процедурах культивування тканин рослин тютюну [29].

Наночастинки срібла (AgNPs) є одні з найвідоміших наночасток, вплив яких досліджується. Вплив AgNPs на вищі рослини, очевидно, залежить від виду та віку рослин, розміру та концентрації наночасток, умов експерименту, таких як температура, а також тривалості та методу впливу.

Через зазначені вище властивості частинки наносрібла становлять особливий інтерес. У нанорозмірному стані срібло демонструє різке підвищення каталітичної та біологічної активності [30].

Таким чином, використання наносрібла дозволяє знизити його концентрацію на кілька порядків, зберігаючи рівень бактерицидних властивостей. Наночастки срібла розміром 9–15 нм виявилися найбільш ефективними в елімінації патогенних мікроорганізмів [31].

Також є літературні джерела про дослідження впливу наночасток срібла (AgNPs 10-100 нм), які були синтезовані зеленим методом з використанням екстракту *Verberis luscium* Royle, для підвищення врожайності *Pisum sativum* L. Насіння гороху замочували, а розсаду обприскували на листя 0, 30, 60 і 90 мкМ AgNPs. Було виявлено позитивну дію наночасток срібла при застосуванні їх на *P. sativum*. Висока врожайність сортів гороху була зареєстрована для рослин, оброблених 60 мкМ AgNPs, що вказує на те, що ця концентрація срібла наночастинок є оптимальною для отримання максимального виходу [32].

Також для синтезу наночасток срібла використовували екстракт калюсу *Carica papaya* [33]. Пізніше виробництво біоактивних AgNPs було досягнуто з використанням калюсних екстрактів *Taxus yunnanensis* [34], *Citrullus colocynthis* [35] і *Sesuvium portulacastrum* [36]. Загалом культури рослинних клітин є перспективним джерелом відновників, оскільки вони

характеризуються більш простим і швидким зростанням біомаси порівняно з рослинами. Зелені синтезовані наночастки срібла мають чудову бактерицидну дію, порівнянну з тими, що виробляються за допомогою традиційних хімічних і фізичних методів [37].

2.2 Наночастки марганцю

Марганець (Mn) є важливим мікроелементом, який відіграє багато функціональних ролей у метаболізмі рослин. Марганець діє як активатор і кофактор сотень металоферментів у рослинах. Завдяки своїй здатності легко змінювати ступінь окислення в біологічних системах, Mn відіграє важливу роль у широкому діапазоні реакцій, що каталізуються ферментами, включаючи окисно-відновні реакції, фосфорилування, декарбоксилювання та гідроліз [38].

Основна роль Mn у рослинах пов'язана з тим фактом, що він є центральним замісником комплексу, що розщеплює воду в реакційному центрі фотосистеми II. Крім того, MnSOD (супероксиддисмутаза (SOD)), що детоксикує активні форми кисню (АФК), присутні в мітохондріях. Mn також зв'язаний герміном і герміноподібними білками, які розташовані в клітинних стінках і каталізують виробництво перекису водню (H_2O_2) з оксалату. H_2O_2 сприяє захисту від патогенів як сигнал, як антимікробний агент і як індуктор лігніфікації. Існує декілька ферментів (наприклад, декарбоксилази та дегідрогенази в циклі трикарбонових кислот; фенілаланін-аміак-ліаза в шляху синтезу вторинного метаболіту шикімової кислоти), які не зв'язують Mn, але активуються в присутності Mn [39].

MnO викликав інтерес багатьох дослідників завдяки своєму впливу та електромагнітним характеристикам [40]. Були розроблені різні методи синтезу MnO, такі як самореагуюча мікроемульсія [41], осадження [42] і тверда реакція [43]. Однак використання натуральних продуктів для

відновлення та стабілізації металевого Mn у наночастки є більш екологічним, недорогим і легшим у порівнянні з методами, наведеними вище [44-45].

Наночастки MnONPs були успішно синтезовані методом біосинтезу з використанням екстракту зеленого чаю як стабілізатора та відновника [46]. Синтезовані наночастки MnONPs синтезовані з чаю, були охарактеризовані за допомогою кількох методів, які довели, що вони мали біоактивні групи. Наночастки MnONPs, синтезовані зеленим чаєм, пригнічували розвиток *E. coli*, *K. Pneumoniae* та *P. aeruginosa*. Поєднання наночасток MnONPs з антибіотиками підвищує ефективність антибіотиків проти грамнегативних бактерій. Біосинтез MnONPs можна вважати багатообіцяючим для еволюції останніх протимікробних засобів [47].

Наночастки MnONPs в основному виробляються бактеріями у навколишньому середовищі [48]. В останніх дослідженнях фітоекстракти використовувалися в виробництві наночасток Mn [49-50]. Однак фізіологічний і токсикологічний вплив різних наночасток Mn на сільськогосподарські культури відносно менш відомий. Були проведені дослідження синтезу наночасток оксиду марганцю (MnONPs) з використанням екстракту цибулини.

У дослідженні показано, що екстракт цибулі можна ефективно використовувати для виробництва овальних кристалічних наночастинок Mn_2O_3 (MnONPs) розміром 22 – 39 нм.

Дослідження показало, що наночастки MnONPs значно впливають на хлорофіл і антиоксидантні профілі при 20 мг·л⁻¹. І навпаки, при ≤ 40 мг·л праймування мало значний вплив на профілі фенольної кислоти листя та фітогормонів у сходах кавуна. Проте спостережувані фізіологічні результати обробки насіння наночастками MnONPs у кавуна були специфічними для генотипу та залежали від концентрації. Результати цього дослідження в сукупності продемонстрували, що зелені синтезовані наночастки MnONPs можуть бути безпечнішим агентом для обробки насіння порівняно з масовими аналогами $KMnO_4$ і Mn_2O_3 для підвищення продуктивності врожаю

кавунів за оптимальної ефективної концентрації. Однак необхідні подальші дослідження щодо точного впливу обробки насіння MnONPs на загальну сільськогосподарську продукцію, включаючи його роль у забезпеченні стійкості до різних абіотичних і біотичних стресів для інших садових культур. [51]. Для наночасток, досліджуваних як нанодобрива, також вірно, що вплив на рослину може відрізнятись залежно від способу застосування.

Одне з небагатьох досліджень, які вивчали наночасток MnONPs, виявило, що обприскування пагонів та зерна призвело до більш високого вмісту Mn у пагонах і зернах, та нижчого нітратного азоту в ґрунті та більшого фосфору (P) у ґрунті та пагонах порівняно з внесенням наночасток MnONPs у ґрунт у рослин пшениці. Ці результати вказують на те, що застосування наночасток MnONPs через листя може мати більш інтенсивний вплив на склад поживних речовин у пшениці. Крім того, вплив наноформи MnONPs через ґрунт може впливати на рослини, на відміну від впливу масового або іонного Mn [52].

2.3. Наночастки міді

Останнім часом мідь (Cu), нікель (Ni), цинк (Zn) тощо використовуються для синтезу наночасток замість благородних металів, таких як золото та срібло, оскільки благородні метали рідкісні та дорогі. Наночастки оксиду міді (CuO) мають широкий спектр застосування в різних галузях і використовуються в каталітичних [53], оптичних [54], надпровідникових [55] і магнітоопірних матеріалах [56] і перетворенні сонячної енергії [57]. Наночастки CuO також мають антимікробні [68], протидіабетичні, протиракові [69] та біоцидні властивості [60]. Наночастки CuONPs нетоксичні та мають антимікробну ефективність у боротьбі з хворобами рослин, фотокаталітичну активність для очищення стоків барвників та багато інших екологічних застосувань [61].

Мідь впливає на процеси біосинтезу, фотосинтезу та бере участь у формуванні ДНК, РНК. Також позитивно впливає на процес живлення

рослин та накопичення інших корисних речовин. Збільшує стресостійкість культур до посухи, морозів, надмірної чи недостатньої вологості.

Брак міді негативно позначається на репродукцію рослини. Пилкові зерна утворюються в меншій кількості, а для злакових характерна пуста зернистість колоска. На вигляд нестачу міді можна помітити також по листках, а саме на краях виникають білі плями, листки скручуються в “трубочку”. Загалом уповільнюється ріст та розвиток рослини.

Мідь у надлишку має токсичний вплив на рослини, також перенасичення міддю спричиняє дефіцит заліза. Ріст уповільнюється, а листки вкриваються знизу бурими плямами. Таке поле стає вразливим до хвороб.

В літературі [62] зустрічаються дослідження в яких розглядали біологічно орієнтований процес зеленого синтезу наночасток оксиду міді (CuONPs) з використанням екстракту листа *Morus alba* як відновника.

Саджанці *Brassica oleracea var. botrytis* і *Solanum lycopersicum* піддавалися впливу 10, 50, 100 і 500 мг/л наночасток CuONPs в піщаному середовищі.

Вплив на рослини 100 і 500 мг/л наночасток CuONPs призвело до значного зниження загального вмісту хлорофілу та цукру в двох досліджуваних рослинах, тоді як 10 мг/л наночасток незначно збільшило вміст пігменту та цукру лише в рослинах томатів. Посилення перекисного окислення ліпідів, витоку електроліту та активності антиоксидантного ферменту спостерігалось залежно від дози при впливі на рослини наночасток CuONPs. Спостерігалось відкладення лігніну в коренях обох рослин, оброблених найвищою концентрацією CuONPs.

Можливо, більш активне накопичення наночасток рослинами томатів порівняно з цвітною капустою було пов'язано з різницею в морфології коренів [63].

Про перше дослідження наночасток CuNPs проти грибків повідомили Giannousi та ін. [63]. Відтоді як різноманітні дослідження вказували на

протигрибкову дію Cu. Наночастки CuNPs почали вважатися життєздатним варіантом лікування грибкових захворювань [64-65]. Крім того, наночастки CuNPs мають ряд переваг, наприклад, він дешевий, він високодоступний, а його виробництво у вигляді наночастинок є економічним. Тому існує багато досліджень щодо використання наночасток CuNPs на вплив фітопатогенних грибів [66, 67, 68, 69, 70].

Методи хімічного синтезу включають хімічне відновлення [71, 72, 73], тоді як біологічний синтез з різними екстрактами рослин широко використовується через його натуральність і не токсичність для навколишнього середовища [63, 74]. Нарешті, комерційні наночастки, які є ефективними та легко придбаними, також були оцінені щодо інгібування фітопатогенних грибів *A.flavus*, *A. fumigatesi*, *F.oxysporum* *C. musae* *A.niger*, *A terreus* та інш. [75, 76].

Загалом малі наночастинки мають розмір від 10 до 30 нм і легше проникають через клітинну мембрану, викликаючи розрив і витік вмісту клітини [77, 78]. Щось подібне відбувається в наночастках CuNPs середнього розміру (від 40 до 70 нм). Однак, збільшуючи їх розмір, їх плинність у мембрані робить неможливим ріст і розвиток колоній збудника [74]. В той час як, великі наночастки CuNPs (від 80 до > 100 нм) пригнічують ріст міцелію та спор, демонструючи таким чином свою протигрибкову здатність [79].

Іншим визначальним фактором у пригніченні росту фітопатогенних грибів є концентрація наночастинок CuNPs. На сьогоднішній день різні концентрації (наприклад, низькі, середні та високі) були оцінені на фітопатогенних грибах. Наприклад, низькі концентрації наночастинок CuNPs були оцінені проти *F. oxysporum* при 0,1, 0,25 і 0,5 мг/л. Хоча найнижча концентрація (0,1 мкМ) сприяла сильному окисному стресу в міцелії, найвища концентрація (0,5 мкМ) показала протигрибкову здатність проти *F. oxysporum* [80].

Крім того, вони мають протигрибкову дію в середніх концентраціях (наприклад, 5, 10 і 20 мг/л). Наночастинки CuNPs продемонстрували значну протигрибкову активність проти *F. oxysporum* і *P. capsici*, які пригнічувалися збільшенням часу інкубації різних концентрацій. Щоб навести інший приклад, дози 5, 15, 25 і 35 мкМ використовували проти *R. solani*, *F. oxysporum*, *F. redolens*, *P. cactorum*, *F. hepática*, *G. frondosa*, *M. giganteus* і *S. crispa*, демонструючи протигрибкову здатність наночастинок CuNPs в концентрації 35 ppm. У цьому випадку не було ні росту міцелію, ні розвитку досліджуваних збудників [81]. Нарешті, для найвищих концентрацій наночастинок CuNPs було оцінено три різні дози (300, 380 і 450 мкМ). Застосовувалися проти *Fusarium* sp., демонструючи відмінну протигрибкову здатність при найвищій дозі 450 мкМ [82]. Інше дослідження було проведено при чотирьох різних високих дозах (тобто 50, 100, 500 і 1000 мкМ) проти *B. cinerea*, *A. alternata*, *M. fructicola*, *C. gloeosporioides*, *F. solani*, *F. oxysporum*. У цьому дослідженні наночастинки CuNPs показали токсичну активність у всіх концентраціях, а при найвищій концентрації 1000 мкМ вони інгібували всі фітопатогени [83]. Загалом, наночастинки CuNPs виявляють протигрибкову здатність, впливаючи на фітопатоген внутрішньо- та позаклітинно. Таким чином, наночастинки міді є чудовим варіантом для контролю та лікування різних захворювань, що мають агрономічне значення.

2.4. Наночастки цинку

Цинк (Zn) є важливим мікронутрієнтом, необхідним для нормального метаболічного функціонування живих організмів [84].

Цинку належить важлива роль у метаболізмі рослин, бо він є компонентом більш ніж 300 ферментів. Без цинку не відбувається синтез нуклеїнових кислот, оскільки він активує РНК- та ДНК-полімерази, порушується також загальний синтез білків. Цинк підвищує стійкість рослин до посухи, жару, холодів. За нестачі цинку в різних частинах рослин іде накопичення фенольних сполук, які негативно впливають на рослину,

знижують стійкість до захворюваності рослин [85]. Крім того, дефіцит Zn призводить до зниження різних метаболічних процесів, таких як ріст і, зрештою, врожайність [86].

Добрива в нанодіпазоні (1–100 нм) значно підсилюють точки ефекту через їх скорочений об'єм, який у результаті обертання може покращити контакт і поглинання мікроелементів під час удобрення сільськогосподарських культур [87]. Екзогенне внесення нанодобрих підтвердило свою ефективність, оскільки вони забезпечують живлення культур у стабільному та встановленому режимі замість консервативного удобрення [88, 89].

Наночастки можуть поглинатися листям і переноситися в усі тканини рослин через надземні органи та клітинні структури [90]. Застосування ZnONPs є одним із найефективніших варіантів значного підвищення врожайності сільського господарства в усьому світі за стресових умов. ZnONPs можуть змінити сільськогосподарську та харчову промисловість за допомогою кількох інноваційних інструментів для усунення симптомів окисного стресу, спричинених абіотичним стресом. Крім того, належним чином досліджено вплив ZnONPs на фізіологічну, біохімічну та антиоксидантну активність у різних рослинах. [91].

У дослідженнях показано що екологічно чистий синтез ZnONPs за допомогою екстракту листя *Senna occidentalis*, який функціонував як природний відновник і стабілізатор.

Використання фітосинтезованих наночастинок як нанопраймінга для посилення проростання та метаболічної активності проростаючого насіння рису *Pusa basmati* (*Oryza sativa* L.) як альтернативи традиційному гідропраймінгу. Нанопраймінг можна додатково використовувати як техніку для покращення отримання вмісту цинку в насінні рису, що підвищує його поживну цінність, а також підтримує швидке проростання [92].

Дослідження демонструють, що наночастинки оксиду цинку (ZnONPs) позитивно регулюють стійкість рослин до різноманітних стресів

навколишнього середовища. Однак до теперішнього часу отримано мало інформації щодо ролі ZnONPs у регуляції сольового стресу у рослин [93]. Таким чином, дослідження полягало в тому, щоб дослідити роль ZnONPs у регуляції солепереносності томатів (*Lycopersicon esculentum* Mill.). У зв'язку з цим рослини томатів піддавали сольовому стресу за допомогою NaCl (150 мМ) під час трансплантації 15 днів після посіву. Позакореневе підживлення ZnONPs на різних рівнях, а саме, 10, 50 і 100 мг/л у присутності/відсутності NaCl (150 мМ) проводили при 25 днів після посіву, а відбір проб проводили при 35 днів після посіву. Результати дослідження показали, що позакореневе обприскування ZnONPs значно збільшило довжину пагона і довжину кореня, біомасу, площу листя, вміст хлорофілу та фотосинтетичні властивості рослин томатів за наявності/відсутності сольового стресу. Крім того, застосування ZnONPs пом'якшує негативний вплив сольового стресу на ріст томатів, а також підвищує вміст білка та активність антиоксидантних ферментів, таких як пероксидаза (POX), супероксиддисмутаза (SOD) і каталаза (CAT) в умовах сольового стресу. Також ZnONPs відіграє важливу роль у зниженні токсичності NaCl у рослинах томатів. Отже, ZnONPs можна використовувати для підвищення продуктивності росту та пом'якшення несприятливих ефектів, спричинених NaCl у томатах [94].

Висновки до розділу 1

Проаналізована наукова література, щодо використання наночастинок металів синтезованих зеленим синтезом. Також проаналізовано інформацію стосовно живлення рослин, та необхідних мікро-макроелементів для їх розвитку.

Представлено характеристику наночастинок. Також представлено інформацію стосовно застосування наночастинок металів у рослинній біотехнології, медицині, сільському господарстві.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ТА МАТЕРІАЛИ

2.1 Характеристика ґрунтово-кліматичних умов

Ґрунт різноманітний за своїми генетичними ознаками, фізико – хімічними та водно-фізичними властивостями, умовами залягання тощо.

Тому для проведення горщикового експерименту використовували універсальний субстрат "Поліський" – готова до використання спеціальна суміш виготовлена на основі якісних верхових та низинних торфів з додаванням кварцового піску та мікроелементів (Fe, Mn, Cu, Zn, Mo). Дрібна структура суміші забезпечує високу здатність поглинання вологи, акумуляцію поживних речовин. Агрохімічна характеристика ґрунту "Поліський":

Механічний склад ґрунту – середньо суглинковий;

pH – 5,5-6,5;

Кількість речовин у ґрунті, мг/л ґрунту:

N – 100-200

P₂O₅ – 140-260

K₂O – 120-200

Клімат регіону, де проводився дослід, помірно-континентальний, що проявляється в неоднорідності кліматичних умов. До особливостей клімату відносяться великі коливання погодних умов з року в рік. Крім дощових років, можуть спостерігатися суворі посушливі роки.

Середньорічна температура становить близько 9,4°C, середня температура зимових місяців -5,5°C. Абсолютний мінімум склав -32°C.

Загалом клімат характеризується тривалою, але відносно м'якою і теплою для даного географічного положення зимою та характерним переважанням циклонічного клімату: похмурі, вітряні та прояснені опади. Тривалість і стійкість снігового покриву сильно змінюється від року до року. Весна зазвичай триваліша, супроводжується поверненням холодів і тимчасовими хвилями спеки. Загальна кількість опадів у цьому субрегіоні

коливається від 120 до 140 мм. Літо помірно-жарке, іноді спекотне і сухе. Найбільше опадів випадає влітку, переважно сильні дощі. Залежно від року перша половина осені характеризується малою кількістю опадів і високою сухістю повітря, а друга – переважає похмура і дощова погода.

За сумою середньодобових температур і гідротермічного коефіцієнта, який є показником ступеня забезпеченості вологою за період з температурою вище +10 °С, область відноситься до першої агрокліматичної зони, що характеризується теплий і кліматичний клімат. помірно вологий клімат. Зима характеризується нестійкими погодними умовами. Північні вітри викликають низькі температури, а північно-західні та південні вітри зимового періоду приносять потепління та танення. Теплі південні вітри весняно-літнього періоду викликають сильне випаровування вологи з ґрунту, що сприяє утворенню кірки на поверхні.

В цілому ґрунтово-кліматичні умови є сприятливими для росту, розвитку та формування високого врожаю кукурудзи, пшениці

Таблиця 2.1

**Середньодобова температура повітря в 2023 рік проведення досліджень
(за даними Хмельницької метеостанції)**

Місяць	Середня температура, °С	
	вдень	вночі
Червень	24	14
Липень	24,5	15,5
Серпень	25	14,5
Вересень	18,1	10,5

У другій декаді червня 2023 року погода була жаркою з не великою кількістю опадів. Спостерігалось прискорений вегетативний розвиток культури, але стан посівів переважно був добрий.

Протягом липня стояла спекотна погода, з рясними опадами протягом місяця. Посіви кукурудзи, пшениці знаходяться в задовільному стані.

За вологозабезпеченістю вегетаційний період 2023 року сприятливими, в основному, для початкових фаз росту і розвитку рослин. Так як експеримент проводився у ємностях.

2.2 Методика проведення дослідження

Досліди проводились в 2023 році. Об'єктом дослідження були синтезовані наночастки: срібла (Ag), марганцю (Mn), заліза (Fe), купруму (Cu), та цинку (Zn). Для обробки наночастками обрали насіння зернових рослин (кукурудзи «Свиткорн» та пшениці «Назва»).

Наночастки були отримані на кафедрі біотехнології шкірим та хутра КНУТД за допомогою культуральної рідини молочнокислох бактерій *L. acidophilus* УКМ В-2691. Наночастки мали наступні середні розміри: AgNPs – 34 нм; CuNPs – 97,5 нм; FeNPs – 145 нм; MnNPs – 284 нм; ZnNPs – 141 нм. Слід зазначити, що частки заліза, цинку та марганцю мали в своєму складі невелику кількість до 50% наночастки розміром 100 нм, тому були використані у даному дослідженні.

Таблиця 2.2

Експеримент для дослідження впливу наночасток на рослини

№	Речовина, в якій замочували насіння	Концентрація	Культури які використовувались	
			Пшениця	Кукурудза
1	2	3	4	5
	Контроль 1	Дистильована вода	+	+
2	Контроль 2	КР*** <i>L. acidophilus</i>	+	+
3	AgNPs*	1 мМ	+	+
		5 мМ	+	+
		10 мМ	+	+

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5
4	AgNO ₃ *	1 мМ	+	+
		5 мМ	+	+
		10 мМ	+	+
5	FeNPs**	1 мМ	–	+
		5 мМ	–	+
6	FeSO ₄ **	1 мМ	–	+
		5 мМ	–	+
7	MnNPs**	1 мМ	–	+
		5 мМ	–	+
8	MnSO ₄	1 мМ	–	+
		5 мМ	–	+
9	ZnNPs	1 мМ	–	+
		5 мМ	–	+
10	ZnSO ₄	1 мМ	–	+
		5 мМ	–	+
11	CuNPs	1 мМ	–	+
		5 мМ	–	+
12	CuSO ₄	1 мМ	–	+
		5 мМ	–	+

Примітки: *Вирощування відбувалось у період з 17.06 по 17.07.2023 р. ** Вирощування відбувалось у період з 31.08 по 29.09.2023 р. *** Культуральна рідина.

Сіяли культури при стабільній температурі повітря 25 °С, на глибину 5 см. Для пшениці густота сівби була 30 насінин у ємності, а для кукурудзи – 15 насінин.

Перед тим як висаджувати насіння у ґрунт, замочували його у мильному розчині. Після чого промивали дистильованою водою. Наступним кроком було замочування насіння у розчині 5% білизни на 20 хв. Після чого промили насіння великою кількістю дистильованої води. Наступним етапом було замочування насіння у різних концентраціях солей досліджуваних металів та їх наночасток (1 мМ, 5 мМ, 10 мМ) на 30 хв. Після чого насіння висаджували у ємності з ґрунтом.

Насіння вирощували протягом 30 днів. Протягом цього періоду спостерігали за розвитком та ростом рослин. Спостерігали різну кількість сходів рослин та візуально різні довжини стебел, що свідчило про те що наночастки впливають на ріст рослин.

Полив ємностей здійснювався через день, або кожного дня в залежності від температури. Для поливу використовували дистильовану воду, а не проточну, тому що в ній є різні мікроелементи, які могли впливати на розвиток рослин. На полив для одної ємності використовували 495-550 мл води.

Вегетаційний період та його структура визначались шляхом фенологічних спостережень, які проводились окомірно з врахуванням стану розвитку рослин у ємностях. Відмічались дати фази: від сівби до появи сходів.

Підчас збирання проводили вимірювання довжини зеленої частини та довжини кореневої системи.

2.3 Вимірювання розміру рослини

Після завершення періоду в 30 днів. Робилися заміри довжин зеленої частини та кореневої системи. Для цього спочатку брали по одному горщику та відмивали коріння від землі дистильованою водою. Після чого, вимірювалась довжина зеленої частини та кореневої системи кожної рослини за допомогою лінійки записувались дані, та номерували рослини.

2.4 Вимірювання абсолютно сухої маси рослини

Для визначення абсолютно сухої маси брали наважку. Спочатку насипали у бюкс 1/5 його об'єму сухого прожареного піску (прожарений пісок створює порозність маси і тим самим сприяє найшвидшому видаленню водяної пари) та ставили у термостат. Бюкс разом із піском доводимо до постійної ваги при температурі 100-105°C. Потім поміщаємо у бюкс до 2/3 його об'єму ретельно подрібнений матеріал. Зважуємо бюкс із наважкою на

аналітичних вагах. По різниці ваги бюкса з піском і наважкою і бюкса тільки з піском визначаємо величину наважки, що може бути від 3 до 7 грамів.

Просушування, ставимо бюкс із наважкою у термостат з температурою 50-60°C і сушимо протягом 4-х годин, потім ставимо в термостат з температурою 100-105 °C та сушимо ще 3-4 години, охолоджуємо у ексикаторі та зважуємо на аналітичних вагах.

Доведення до постійної ваги. Ставимо бюкс знову у термостат та сушимо при 100-105 °C дві години. Охолоджуємо у ексикаторі і зважуємо. Повторне двогодинне сушіння з наступним зважуванням проводимо доти, поки різниця між двома останніми вагами стане менше 0,0003 грами.

2.5 Отримання екстрактів рослини

Екстракт – це концентрована витяжка, отримана з рослинної або тваринної сировини за допомогою рідкого розчинника – екстрагента, очищена від домішок і шкідливих речовин. Як екстрагент-розчинник можуть застосовуватися вода, спирт, ефіри, олії та зріджений вуглекислий газ.

Для виділення пігментів з листя кукурудзи та пшениці використовували етанол. Кількісне визначення здійснювали за такою методикою: 0,5 г (точна наважка) подрібненої сировини вміщували в ступку і розтирали з невеликою кількістю кварцового піску додавали 2–3 мл 96 % етанолу та ретельно розтирали протягом 2–3 хв. Одержану витяжку зливали по скляній палочці на фільтр № 3 (накритий кружечком фільтрувального паперу), а фільтрат збирали. Екстракцію пігментів з сировини новими порціями екстрагенту здійснювали доти, доки фільтрат не знебарвлювався. Витяжку з колби кількісно переносили в мірну колбу та доводили до необхідного об'єму 8 мл 96 % етанолом. Одержана витяжка містила суму зелених та жовтих пігментів.

2.6 Визначення каротиноїдів

Каротиноїди – це жовті, жовтогарячі або червоні пігменти, синтезовані вищими рослинами, грибами та бактеріями. Вони відіграють важливу роль у

біохімічних процесах живих істот. Організм людини і тварин не здатний до їх синтезу, а тому має регулярно отримувати ці сполуки з їжею, оскільки вони виконують ряд життєво важливих функцій. Каротиноїдні пігменти більш відомі як провітамін А. Каротиноїдам притаманні протизапальні та ранозагоюючі властивості, вони регулюють процеси обміну речовин, діють як фотопротектори й антиоксиданти, на молекулярному та клітинному рівні запобігають мутагенезу та канцерогенезу.

Визначення вмісту каротиноїдів здійснювали спектрофотометричним методом. Для розрахунку концентрації каротиноїдів у витяжці визначали її оптичну густину спектрофотометрично за довжини хвилі, що відповідає максимумам спектра поглинання досліджуваних пігментів в даному розчиннику. Для каротиноїдів в 96 % етанолі максимум поглинання за довжини хвилі 441 нм. Розчином порівняння був 96 % етанол.

Для визначення вмісту каротиноїдів застосовували формулу:

$$C_{\text{кар}} = 4,695 * E_{441} - 0,268 * (C_a + C_b)$$

$C_a + C_b$ - концентрація хлорофілів а та b, мг/л;

E_{441} – оптична густина екстракту за довжини хвилі 441 нм, одиниці оптичної густини;

2.7 Визначення хлорофілу а

Хлорофіл – це природний пігмент, який присутній в рослинах та відповідає за зелений колір. Хлорофіл поглинає енергію сонячного світла і використовує її для синтезу вуглеводів з води та вуглекислого газу.

Хлорофіл а – основний фотосинтетичний пігмент, присутній у рослинах. Це найбільш поширений тип хлорофілів. Цей кольоровий пігмент здатний вловлювати енергію від сонячного світла та виробляти продукти у фотоавтотрофах.

Визначення вмісту хлорофілу а здійснювали спектрофотометричним методом. Для розрахунку концентрації каротиноїдів у витяжці визначали її

оптичну густину спектрофотометрично за довжини хвилі, що відповідає максимумам спектра поглинання досліджуваних пігментів в даному розчиннику. Для хлорофілу а в 96 % етанолі максимум поглинання – $\lambda=665$ нм. Розчином порівняння був 96 % етанол.

Для визначення концентрації хлорофілів а застосовували формулу:

$$C_a = 13,10 * E_{665} - 5,76 * E_{649}$$

C_a -концентрація хлорофілу а, мг/л;

E_{665} -оптична густина екстракту за довжини хвилі 665 нм, одиниці оптичної густини ;

E_{649} -оптична густина екстракту за довжини хвилі 649 нм, одиниці оптичної густини ;

2.8 Визначення хлорофілу b

Хлорофіл b – це допоміжний фотосинтетичний пігмент, присутній у рослинах. Він допомагає хлорофілу А, збираючи енергію і передаючи її. Подібно хлорофілу А, це зеленого кольору пігмент. Крім того він має структуру, подібну до структури хлорофілу А.

Визначення вмісту хлорофілів та каротиноїдів здійснювали спектрофотометричним методом.

Для розрахунку концентрації хлорофілу b у витяжці визначали її оптичну густину спектрофотометрично за довжини хвилі, що відповідає максимумам спектра поглинання досліджуваних пігментів в даному розчиннику. Для хлорофілу b в 96 % етанолі максимум поглинання – $\lambda=649$ нм Розчином порівняння був 96 % етанол.

Для визначення концентрації хлорофілів b застосовували формули:

$$C_b = 25,80 * E_{649} - 7,60 * E_{665}$$

C_b – концентрація хлорофілу b, мг/л;

E_{665} – оптична густина екстракту за довжини хвилі 665 нм, одиниці оптичної густини;

E_{649} – оптична густина екстракту за довжини хвилі 649 нм, одиниці оптичної густини;

2.9 Визначення загального вмісту хлорофілів

Хлорофіли та каротиноїди є одними з найважливіших рослинних пігментів, значення яких для здоров'я та нормальної життєдіяльності організму людини величезна. Вони беруть участь в окисно-відновних реакціях та нормалізують рівень споживання кисню тканинами.

Для розрахунку концентрації загального вмісту хлорофілів у витяжці визначали її оптичну густина спектрофотометрично за довжини хвилі, що відповідає максимумам спектра поглинання досліджуваних пігментів в даному розчиннику. Для визначення загальної кількості хлорофілу в 96 % етанолі максимум поглинання $\lambda=654$ нм. Розчином порівняння був 96 % етанол.

Розрахунок загальної кількості хлорофілу здійснювали за формулою:

$$C_a + C_b = 25.10 * E_{654}$$

$C_a + C_b$ – концентрація хлорофілів а та b, мг/л;

E_{654} – оптична густина екстракту за довжини хвилі 654 нм, одиниці оптичної густини;

2.10 Статистичний аналіз

Результати, що обраховувались при дослідженні наночасток та їх солей на рослини представлені у вигляді медіани та інтерквартильного розкиду. Статистичну обробку результатів проводили за допомогою програмного забезпечення Microsoft Office Exel 2016.

Висновки до розділу 2

В розділі представлено інформацію стосовно ґрунтово-кліматичних умов у яких проводилось дослідження. Представлено дані стосовно

використання наночастинок та їх солей та концентрації. Наведені методики контролю впливу наночастинок металів. Також наявні методики використання наночастинок металів на зернових культурах (кукурудза, пшениця). А саме використовували методики на визначення вмісту хлорофілу а, б та загального вміст хлорофілу, оскільки наночастки якими оброблялось зерно присутні при фотосинтезі та творені ферментів. Ще одна важлива методика яку використовували це визначення каротиноїдів у рослин. Оскільки каротиноїди являються попередниками вітаміну А.

РОЗДІЛ 3.

ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Вплив нітрату срібла та наночастинок на пророщування зернових культур

Дослідження антимікробних властивостей наночастинок срібла щодо різних патогенів, таких як віруси, гриби та деякі види бактерій підтвердили їх ефективність. Механізм дії наночастинок срібла пов'язаний з їх накопиченням на мембрані мікроорганізмів та утворенням пор, що веде до зміни проникності клітинної стінки та пригнічення клітинного дихання. Ми перевіряли як впливатимуть на проростання зернових культур (пшеницю та кукурудзу) наночастки срібла середнім розміром 34 нм у концентрації 1 мМ, 5 мМ та 10 мМ. Тому для порівняння використовували нітрат срібла у тих самих концентраціях та культуральну рідину *L. acidophilus* УКМ В-2691, щоб визначити чи впливають метаболіти культури на ріст рослин. Оскільки наночастки срібла були отримані за допомогою *L. acidophilus* УКМ В-2691 і метаболіти могли залишитися у золі наночастинок. У якості контролю використовували дистильовану воду.

У процесі росту рослини пристосовуються до мінливих умов рослинності. Цьому сприяють притаманні клітинам біофізичні та біохімічні властивості, що забезпечують життєдіяльність організму, в тому числі ріст у широкому діапазоні температурних, світлових та інших умов для кожного виду рослин. Перший період росту і розвитку рослин настає при живленні молодих сходів пластичними речовинами насіння, і тільки потім характеризується тим, що після появи листя рослина починає поглинати поживні речовини з ґрунту. Найінтенсивніше поглинання поживних речовин із ґрунту відбувається під час формування вторинної кореневої системи. Через це створення сприятливих умови в цей період розвитку значно підвищують продуктивність рослин [83].

3.1.1 Вплив срібла на ріст та розвиток кукурудзи

Вплив нітрату срібла та наносрібла досліджували на насінні кукурудзи «Свиткорн». За допомогою обробки насіння різними концентраціями (1мМ, 5мМ, 10мМ) наночасток срібла (див. розділ 2.2). Потім оброблене насіння висаджували у ємності, та здійснювали регулярний полив. Спостерігали за ростом та розвитком рослин протягом 30 дні. Після чого відмивали коріння від ґрунту та проводили заміри за допомогою лінійки (табл. 3.1).

Результати досліджень показали (табл. 3.1), що кукурудза характеризувалася різним значенням висоти рослини і довжини кореневої системи та кількістю сходів.

Проаналізувавши результати наведені у табл. 3.1 можемо зробити висновок, що найкращі результати за схожістю насіння фіксувались у контролі 1 та досліді, що обробляли 5 мМ AgNPs. Однак, у порівнянні з контролем середній розмір зеленої частини оброблений наносріблом був більшим на 5 %, тоді як довжина коріння оброблена нітратом срібла менша на 15-20 %. Також слід зазначити, що оброблене зерно кукурудзи має кореневу систему на 3% довшу у порівнянні з контролем, 1 мМ AgNPs – майже на 27%. Якщо проаналізувати усю вирощену зелену масу рослин, то видно, що результати зеленої маси однакові у контролі 1 та рослин оброблених 5 мМ AgNPs. Однак коренева система у оброблених 5 мМ AgNPs рослин на 30% більше ніж в контролі. Це свідчить про позитивний вплив наночасток срібла на рослину, тому що коренева система дуже важлива для подальшого розвитку рослини.

Наступним кроком ми перевірили вплив нітрату срібла та наночасток на утворення в зеленій частині рослини хлорофілів (а та б) та каротиноїдів. Для виділення пігментів робили спиртові екстракти як описано у розділі 2.5. Після чого отримані екстракти досліджували за допомогою спектрометричного аналізу при різних довжинах хвиль. Також визначали загальну кількість хлорофілу. Отримані результати представлені у табл. 3.2.

3.1.2 Вплив срібла на ріст та розвиток пшениці

Озима пшениця є цінним продуктом у сівозміні і є хорошим попередником багатьох культур (кукурудза, соняшник, буряк та інші).

Пшениця – холодостійка культура. Її насіння починає проростати при температурі $+1+2^{\circ}\text{C}$. Щоб отримати дружні сходи під час сівби, температура повинна бути $+14...+16^{\circ}\text{C}$. При $+25^{\circ}\text{C}$ і вище утворюються слабкі сходи з тонкими корінцями, які сильно уражаються хворобами. Саме тому було обрано пшеницю для дослідження впливу наночасток срібла на ріст та її розвиток.

Дослідження проводилось у період з 17.06.2023 по 17.07.2023 року. Отримавши наночастки срібла за допомогою культуральної рідини *L. acidophilus* УКМ В-2691 розміром 34 нм використали їх для пророщування зерна пшениці. Насіння замочували у концентраціях (1мМ, 5мМ, 10мМ) та витримувалося протягом 30 хв. Після чого насіння висаджували у ємності з ґрунтом "Поліський" (див. розділ 2.2). Після чого спостерігали за сходами рослин протягом 30 днів. Отримані результати (табл. 3.3) показали, що пшениця має різну кількість сходів та різні довжини зеленої частини та коріння.

Однак проаналізувавши отримані результати наведені в табл. 3.3 ми побачили, що пшениця характеризується різними значеннями висоти і довжини кореневої системи та кількістю сходів. Найбільший результат демонструє зразок AgNPs 5мМ, так як він має середню довжину зеленої частини 34,55 см, що перевищує результат контролю (дистильована вода) на 4,3 см, що складає 14 %. Це вказує на те що наночастки срібла позитивно

Висновки до розділу 3

Дослідження показали що наночастки синтезовані зеленим синтезом використовуючи супернатант культуральної рідини *L. acidophilus* УКМ В-2691 впливають на рослини. Також встановлено, що на вплив наночасток металів впливає концентрація, час обробки наночастками, період висадки насіння. Також продемонстровано, що наночастки металів можна використовувати у аграрній промисловості при предпосівній обробці зернових культур (кукурудза, пшениця).

ВИСНОВКИ

1 Отже, можна з точністю сказати, що наночастки срібла середнім розміром 34 нм позитивно впливають на ріст та розвиток рослин, як пшениці так і кукурудзи. Найкращі результати отримали при замочуванні насіння кукурудзи у AgNPs 5 мМ, а пшениці у AgNPs 10 мМ. Про це свідчать показники рослин, які зійшли, а саме: загальна маса зеленої частини та кореня рослини, а також утворення каротиноїдів та хлорофілів (а, б та загальних).

2 Аналізуючи наночастки міді, можна точно сказати що CuNPs при концентрації 5мМ позитивно впливають на ріст та розвиток рослин кукурудзи. Про що свідчать одержані результати, оскільки за довжиною зеленої частини та кореневої системи одержали показники більші за контроль у 8% та 33-34%. При використанні 5мМ розчину CuNPs збільшується (0,175 мг/г) вміст каротиноїдів у рослині, оскільки у контролі (0,150 мг/г), що на 14% більше. Проте наночастки міді впливають на накопичення хлорофілу а. У рослинах яких обробляли 5мМ розчином CuNPs, значення на 33% більше ніж у контролі. А хлорофілу б – на 18%, та також загальний вміст хлорофілу збільшився на 44%.

3 Вплив наночасток марганцю та сульфатів марганцю є більшим на масу рослин та на довжину зеленої частини і кореневої системи, ніж на накопичування каротиноїдів та хлорофілу а та б. Оскільки спостерігалось, що зразок 5мМ MnNPs демонстрував майже у 4 рази вищу масу зеленої частини ніж у контролі. Так само спостерегли, що маса коріння у даному зразку (4,20 г) більша за контроль (1,27) майже у 4 рази. У рослин спостережали зменшення накопичення каротиноїдів при обробці MnNPs аж на 20-30%, хлорофілу а на 21-28%, хлорофілу б на 42% та загальний вміст хлорофілу у рослин знизився на 31% у порівнянні з контролем. Тому за визначення вмісту каротиноїдів та хлорофілу (загального, а та б) найкращі результати продемонстрував наш контроль (дистильована вода).

4 Найкращі результати були отримані від зразку FeNPs 5 мМ. Оскільки вони впливають на накопичення каротиноїдів, що на 52% більше від контролю. Також на концентрацію хлорофілу а та б, що аж на 63-68%. Також великий вплив на накопичення загального вмісту хлорофілу в рослинах аж на 65% більше за контроль. Найгірші результати одержали від зразка FeNPs 1 мМ, так як за даним зразком не отримали жодних результатів, бо не було взагалі сходів. Також з'ясували, що 1 мМ FeSO₄, має негативний вплив оскільки вміст каротиноїдів був менший на 38% за контроль. Хлорофіл а був ідентичний з контролем. Хлорофіл б у порівнянні з контролем менший на 29%. Також відбувалось пригнічення загального вмісту хлорофілу аж на 8% в порівнянні з контролем.

5 Проаналізувавши вплив наночасток та сульфатів цинку можна з впевненістю сказати, що дана передпосівна обробка насіння, стимулює більше масу та довжину зеленої частини та кореневої частини рослин. Оскільки ZnNPs за концентрацій 1 мМ, 5 мМ та ZnSO₄ 1 мМ стимулюють ріст зеленої частини на 6-7 % більше ніж контроль (дистильована вода). Тоді як вплив на кореневу систему вразі більший аж на 30-38% ніж контроль. Зразок 5 мМ ZnSO₄ пригнічує ріст кореневої системи на 7 % а ніж контроль. Та згубно впливає на зелену частину, що на 1,5% менше контролю. Вміст та концентрація каротиноїдів зменшується у зразках ZnNPs за концентрацій 1 мМ та 5 мМ аж на 10-18%, хлорофілу б- на 18%, хлорофілу а- на 11-12%, та загальний вміст хлорофілу знижується на 12-13 % від контролю.

Зразок ZnSO₄ 5 мМ він один, який демонструє позитивний вплив на вміст каротиноїдів у порівнянні з контролем. Оскільки його значення (0,171 мг/г) що на 12% більше ніж контроль (0,150 мг/г). Проте за іншими показниками пригнічує накопичення хлорофілу а та б.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Green synthesis of silver nanoparticles: An approach to overcome toxicity / N.Roy et al. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2013. Vol.36, no.3. P. 807–812. URL:<https://doi.org/10.1016/j.etap.2013.07.005>
2. Мельничук М. Біотехнологія рослин : підручник. Поліграф Консалтинг, 2003. 520с.
3. Августинович М. Критично важливі мікроелементи для зернових культур. *Пропозиція*, 2021 № 1. С. 48–50
4. Чабан М. Незамінні елементи “меню” для зернових. *Пропозиція*. 2014. № 7. С. 62–65.
5. Адаменко С., Машинник О., Машинник С. Мікроелементи для зернових культур. *Agroexpert* 2014. № 4. С. 24–26.
6. Господаренко Г. Агрохімія. Умань : Профкнига, 2019. 560 с.
7. Господаренко Г. Система застосування добрив : навч. посібник. Київ : ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2015. 332 с.
8. Jin Y., Zhao X. Cytotoxicity of Photoactive Nanoparticles. *Safety of Nanoparticles*. New York, NY, 2008. P. 19–31. URL: https://doi.org/10.1007/978-0-387-78608-7_2
9. Фатеев А. Мікроелементи як складова формування врожайності сільгоспкультур. *Пропозиція*. 2014. № 12. С. 28–37.
10. Мирошник І. Як боротися із залізодефіцитом: залізо є мікроелементом, який рослини споживають у найбільшій кількості. *Овочі та фрукти*. 2012. № 5. С. 62–65.
11. Маренич М. М., Юрченко С. О. Посівні властивості насіння сільськогосподарських культур залежно від застосування стимуляторів росту. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2016. № 1-2. С. 18–21. URL: <https://doi.org/10.31210/visnyk2016.1-2.03>
12. Насіння сільськогосподарських культур: навч. посіб. / І. Поліщук та ін. Миколаїв: МДАУ, 2009. 94с.

13. Panfilova A., Gamayunova V. The productivity of winter wheat varieties depending on the background of nutrition in conditions of Southern Steppe of Ukraine. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: Agronomy*. 2018. Vol. 2018, no. 294. P. 129–136. URL: <https://doi.org/10.31548/agr2018.294.129>
14. Tang S., Zheng J. Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles: Structural Effects. *Advanced Healthcare Materials*. 2018. Vol. 7, no. 13. P. 1701503. URL: <https://doi.org/10.1002/adhm.201701503>
15. Release of silver nanoparticles from outdoor facades / R. Kaegi et al. *Environmental Pollution*. 2010. Vol. 158, no. 9. P. 2900–2905. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.06.009>
16. Tang S., Zheng J. Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles: Structural Effects. *Advanced Healthcare Materials*. 2018. Vol. 7, no. 3. P. 1701503. URL: <https://doi.org/10.1002/adhm.201701503>
17. ‘Green’ synthesis of metals and their oxide nanoparticles: applications for environmental remediation/ J.Singh et al. *Journal of Nanobiotechnology*. 2018. Vol. 16, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s12951-018-0408-4>
18. Knurek J., Buchaj A., Garbacz M. Synthesis of Silver Nanoparticles Using Plant Extracts. *Engineering and Protection of Environment*. 2019. Vol. 22, no. 1. P.63–74. URL: <https://doi.org/10.17512/ios.2019.1.6>
19. Singh P., Mijakovic I. Green synthesis and antibacterial applications of gold and silver nanoparticles from *Ligustrum vulgare* berries. *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11811-7>
20. Ecofriendly synthesis of silver and gold nanoparticles by *Euphrasia officinalis* leaf extract and its biomedical applications / H. Singh et al. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*. 2017. Vol. 46, no. 6. P. 1163–1170. URL: <https://doi.org/10.1080/21691401.2017.1362417>
21. Naraginti S., Li Y. Preliminary investigation of catalytic, antioxidant, anticancer and bactericidal activity of green synthesized silver and gold nanoparticles using *Actinidia deliciosa*. *Journal of Photochemistry and*

Photobiology B: Biology. 2017. Vol. 170. P. 225–234. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.03.023>

22. Pharmacological importance, characterization and applications of gold and silver nanoparticles synthesized by *Panax ginseng* fresh leaves / P. Singh et al. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*. 2016. Vol. 45, no. 7. P.1415–1424. URL: <https://doi.org/10.1080/21691401.2016.1243547>

23. Release of silver nanoparticles from outdoor facades / R. Kaegi et al. *Environmental Pollution*. 2010. Vol. 158, no. 9. P. 2900–2905. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.06.009>

24. Green synthesis of silver nanoparticles toward bio and medical applications: review study / S. M. Mousavi et al. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*. 2018. Vol. 46, sup3. P. S855–S872. URL <https://doi.org/10.1080/21691401.2018.1517769>

25. Sarmast M., Salehi H., Khosh-Khui M. Nano silver treatment is effective in reducing bacterial contaminations of *Araucaria excelsa* R. Br. var. *glauca* explants. *Acta Biologica Hungarica*. 2011. Vol. 62, no. 4. P. 477–484. URL: <https://doi.org/10.1556/abiol.62.2011.4.12>

26. Mehmood A., Murtaza G. Application of SNPs to improve yield of *Pisum sativum* L. (pea). *IET Nanobiotechnology*. 2016. Vol. 11, no. 4. P. 390–394. URL: <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2016.0041>

27. Green-Synthesization of Silver Nanoparticles Using Endophytic Bacteria Isolated from Garlic and Its Antifungal Activity against Wheat Fusarium Head Blight Pathogen *Fusarium graminearum* / E. Ibrahim et al. *Nanomaterials*. 2020. Vol. 10, no.2. P. 219. URL: <https://doi.org/10.3390/nano10020219>

28. Innovative Strategies to Overcome Biofilm Resistance / A. Taraszkievicz et al. *BioMed Research International*. 2013. Vol. 2013. P. 1–13. URL: <https://doi.org/10.1155/2013/150653>

29. Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles Synthesized by the Green Method Using *Rhus coriaria* L. Extract Against Oral Pathogenic Microorganisms /

B. Nazemi Salman et al. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*. 2022. URL: <https://doi.org/10.47176/mjiri.36.153>

30. Biomedical Potentialities of Taraxacum officinale-based Nanoparticles Biosynthesized Using Methanolic Leaf Extract / T. Rasheed et al *Current Pharmaceutical Biotechnology*. 2018. Vol. 18, no. 14. P. 1116–1123. URL: <https://doi.org/10.2174/1389201019666180214145421>

31. Phyto-Fabrication of Silver Nanoparticles Using Typha azerbaijanensis Aerial Part and Root Extracts / A. Mirzaie et al. *Iranian Journal of Public Health*. 2022. URL: <https://doi.org/10.18502/ijph.v51i5.9425>

32. Mehmood A., Murtaza G. Application of SNPs to improve yield of Pisum sativum L. (pea). *IET Nanobiotechnology*. 2016. Vol. 11, no. 4. P. 390–394. URL: <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2016.0041>

33. Antimicrobial and In Vitro Cytotoxic Efficacy of Biogenic Silver Nanoparticles (Ag-NPs) Fabricated by Callus Extract of Solanum incanum L./ I. Lashin et al. *Biomolecules*. 2021. Vol. 11, no. 3. P. 341. URL: <https://doi.org/10.3390/biom11030341>

34. Xia Q., Ma Y., Wang J. Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Taxus yunnanensis Callus and Their Antibacterial Activity and Cytotoxicity in Human Cancer Cells. *Nanomaterials*. 2016. Vol. 6, no. 9. P. 160. URL: <https://doi.org/10.3390/nano6090160>

35. Biomedical potential of silver nanoparticles synthesized from calli cells of Citrullus colocynthis (L.) Schrad / S. K et al. *Journal of Nanobiotechnology*. 2011. Vol. 9, no. 1. P. 43. URL: <https://doi.org/10.1186/1477-3155-9-43>

36. Synthesis of antimicrobial silver nanoparticles by callus and leaf extracts from saltmarsh plant, Sesuvium portulacastrum L. / A. Nabikhan et al. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2010. Vol. 79, no. 2. P. 488–493. URL: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2010.05.018>

37. Ferdous Z., Nemmar A. Health Impact of Silver Nanoparticles: A Review of the Biodistribution and Toxicity Following Various Routes of

Exposure. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. Vol. 21, no. 7. P. 2375. URL: <https://doi.org/10.3390/ijms21072375>

38. The Role of Nanotechnology in the Fortification of Plant Nutrients and Improvement of Crop Production / E. Elemike et al. *Applied Sciences*. 2019. Vol. 9, no. 3. P. 499. URL: <https://doi.org/10.3390/app9030499>

39. Schmidt, Husted. The Biochemical Properties of Manganese in Plants. *Plants*. 2019. Vol. 8, no. 10. P. 381. URL: <https://doi.org/10.3390/plants8100381>

40. Optimisation of green synthesis of MnO nanoparticles via utilising response surface methodology / M. Souri et al. *IET Nanobiotechnology*. 2018. Vol. 12, no. 6. P.822–827. URL: <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2017.0145>

41. Nano MnO₂ Radially Grown on Lignin-Based Carbon Fiber by One-Step Solution Reaction for Supercapacitors with High Performance / C. Guo et al. *Nanomaterials*. 2020. Vol. 10, no. 3. P. 594. URL: <https://doi.org/10.3390/nano10030594>

42. Biosynthesis and antibacterial activity of manganese oxide nanoparticles prepared by green tea extract / W. M. Saod et al. *Biotechnology Reports*. 2022. Vol. 34. P. e00729. URL: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2022.e00729>

43. Nanoforms of essential metals: from hormetic phytoeffects to agricultural potential / Z. Kolbert et al. *Journal of Experimental Botany*. 2021. Vol. 73, no. 6. P. 1825–1840. URL: <https://doi.org/10.1093/jxb/erab547>

44. Shen D. S., Mathew J., Philip D. Phytosynthesis of Au, Ag and Au–Ag bimetallic nanoparticles using aqueous extract and dried leaf of *Anacardium occidentale*. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2011. Vol. 79, no.1. P. 254–262. URL: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2011.02.051>

45. NiO nanoparticles: Facile route synthesis, characterization and potential towards third generation solar cell / P. K. Sharma et al. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 43. P. 3061–3065. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.400>

46. Role of nanoparticles in crop improvement and abiotic stress management / A. Singh et al. *Journal of Biotechnology*. 2021. Vol. 337. P. 57–70. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.06.022>
47. Biosynthesis and antibacterial activity of manganese oxide nanoparticles prepared by green tea extract / W. M. Saod et al. *Biotechnology Reports*. 2022. Vol. 34. P. e00729. URL: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2022.e00729>
48. Zerfa C., Christie-Oleza J. A., Soyer O. S. Manganese Oxide Biomineralization Provides Protection against Nitrite Toxicity in a Cell-Density-Dependent Manner. *Applied and Environmental Microbiology*. 2018. Vol. 85, no. 2. URL: <https://doi.org/10.1128/aem.02129-18>
49. Biological synthesis of manganese dioxide nanoparticles by *Kalopanax pictus* plant extract / S. A. Moon et al. *IET Nanobiotechnology*. 2015. Vol. 9, no. 4. P. 220–225. URL: <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2014.0051>
50. *Sapindus mukorossi* mediated green synthesis of some manganese oxide nanoparticles interaction with aromatic amines / V. Jassal et al. *Applied Physics A*. 2016. Vol. 122, no. 4. URL: <https://doi.org/10.1007/s00339-016-9777-4>
51. Manganese Oxide Nanoparticles as Safer Seed Priming Agent to Improve Chlorophyll and Antioxidant Profiles in Watermelon Seedlings / D. M. Kasote et al. *Nanomaterials*. 2021. Vol. 11, no. 4. P.1016. URL: <https://doi.org/10.3390/nano11041016>
52. Schmidt, Husted. The Biochemical Properties of Manganese in Plants. *Plants*. 2019. Vol. 8, no. 10. P. 381. URL: <https://doi.org/10.3390/plants8100381>
53. Facile dicyandiamide-mediated fabrication of well-defined CuO hollow microspheres and their catalytic application/ S. Yang et al. *Materials Chemistry and Physics*. 2010. Vol. 120, no. 2-3. P. 296–301. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2009.11.005>
54. Yu T., Cheong F.-C., Sow C.-H. The manipulation and assembly of CuO nanorods with line optical tweezers. *Nanotechnology*. 2004. Vol. 15, no. 12. P. 1732–1736. URL: <https://doi.org/10.1088/0957-4484/15/12/005>

55. Green synthesis, characterization, antioxidant, antibacterial, and photocatalytic activity of *Suaeda maritima* (L.) Dumort aqueous extract-mediated copper oxide nanoparticles / P. Peddi et al. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2021. Vol. 19, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s43141-021-00229-9>

56. Green synthesis of copper oxide nanoparticles using *Ephedra Alata* plant extract and a study of their antifungal, antibacterial activity and photocatalytic performance under sunlight / A. Atri et al. *Heliyon*. 2023. Vol. 9, no. 2. P. e13484. URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13484>

57. Eco-biocompatibility of chitosan coated biosynthesized copper oxide nanocomposite for enhanced industrial (Azo) dye removal from aqueous solution and antibacterial properties / S. Sathiyavimal et al. *Carbohydrate Polymers*. 2020. Vol. 241. P. 116243. URL: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116243>

58. Copper nanoparticles with high antimicrobial activity / U. Bogdanović et al. *Materials Letters*. 2014. Vol. 128. P. 75–78. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2014.04.106>

59. A fungal based synthesis method for copper nanoparticles with the determination of anticancer, antidiabetic and antibacterial activities / S. Noor et al. *Journal of Microbiological Methods*. 2020. Vol. 174. P. 105966. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2020.105966>

60. Green synthesis: In-vitro anticancer activity of copper oxide nanoparticles against human cervical carcinoma cells / P. C. Nagajyothi et al. *Arabian Journal of Chemistry*. 2017. Vol. 10, no. 2. P. 215–225. URL: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.01.011>

61. Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: Future perspectives / E. V. R. Campos et al. *Ecological Indicators*. 2019. Vol. 105. P. 483–495. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.038>

62. Effect of biologically synthesized copper oxide nanoparticles on metabolism and antioxidant activity to the crop plants *Solanum lycopersicum* and

Brassica oleracea var. Botrytis / A. Singh et al. *Journal of Biotechnology*. 2017. Vol. 262. P. 11–27. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2017.09.016>

63. Green Synthesis, Characterization and Antimicrobial Activity of Copper Oxide Nanomaterial Derived from *Momordica charantia*/ H.Qamar et al. *International Journal of Nanomedicine*. 2020. Volume 15. P. 2541–2553. URL: <https://doi.org/10.2147/ijn.s240232>

64. Effect of Metalloid and Metal Oxide Nanoparticles on Fusarium Wilt of Watermelon / W. Elmer et al. *Plant Disease*. 2018. Vol. 102, no. 7. P. 1394–1401. URL: <https://doi.org/10.1094/pdis-10-17-1621-re>

65. Elmer W., White J. C. The Future of Nanotechnology in Plant Pathology. *Annual Review of Phytopathology*. 2018. Vol. 56, no.1. P. 111–133. URL: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080417-050108>

66. Biogenic Synthesis of Copper-Based Nanomaterials Using Plant Extracts and Their Applications: Current and Future Directions / J. Vincent et al. *Nanomaterials*. 2022. Vol. 12, no. 19. P. 3312. URL: <https://doi.org/10.3390/nano12193312>

67. Metal Nanoparticles as Novel Antifungal Agents for Sustainable Agriculture: Current Advances and Future Directions / A. R.Cruz-Luna et al. *Journal of Fungi*. 2021. Vol.7, no. 12. P. 1033. URL: <https://doi.org/10.3390/jof7121033>

68. Jagana D., R. Hegde Y., Lella R. Green Nanoparticles - A Novel Approach for the Management of Banana Anthracnose Caused by *Colletotrichum musae*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. Vol. 6, no. 10. P.1749–1756. URL:<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.610.211>

69. Endophytic actinomycetes *Streptomyces* spp mediated biosynthesis of copper oxide nanoparticles as a promising tool for biotechnological applications / S.E.-D. Hassan et al. *JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry*. 2019. Vol. 24, no.3. P. 377–393. URL:<https://doi.org/10.1007/s00775-019-01654-5>

70. Černík M., Thekkae Padil V. V. Green synthesis of copper oxide nanoparticles using gum karaya as a biotemplate and their antibacterial application.

International Journal of Nanomedicine. 2013. P. 889. URL: <https://doi.org/10.2147/ijn.s40599>

71. Fusarium Antifungal Activities of Copper Nanoparticles Synthesized by a Chemical Reduction Method / P. V. Viet et al. *Journal of Nanomaterials*. 2016. Vol. 2016. P. 1–7. URL: <https://doi.org/10.1155/2016/1957612>

72. Aqueous-phase synthesis of nanoparticles of copper/copper oxides and their antifungal effect against *Fusarium oxysporum* / L. A. Hermida-Montero et al. *Journal of Hazardous Materials*. 2019. Vol. 380. P. 120850. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120850>

73. Fungicidal activity of Cu nanoparticles against *Fusarium* causing crop diseases / K. Bramhanwade et al. *Environmental Chemistry Letters*. 2015. Vol. 14, no.2. P. 229–235. URL: <https://doi.org/10.1007/s10311-015-0543-1>

74. Iron, copper and silver nanoparticles: Green synthesis using green and black tea leaves extracts and evaluation of antibacterial, antifungal and aflatoxin B1 adsorption activity / M. A. Asghar et al. *LWT*. 2018. Vol. 90. P. 98–107. URL: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.009>

75. Malandrakis A. A., Kavroulakis N., Chrysikopoulos C. V. Use of copper, silver and zinc nanoparticles against foliar and soil-borne plant pathogens. *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 670. P. 292–299. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.210>

76. Malandrakis A. A., Kavroulakis N., Chrysikopoulos C. V. Synergy between Cu-NPs and fungicides against *Botrytis cinerea*. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 703. P. 135557. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135557>

77. Green synthesis of copper nanoparticles using *Celastrus paniculatus* Willd. leaf extract and their photocatalytic and antifungal properties / S.C. Mali et al. *Biotechnology Reports*. 2020. Vol. 27. P. e00518. URL: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00518>

78. Ouda S.M. Antifungal Activity of Silver and Copper Nanoparticles on Two Plant Pathogens, *Alternaria alternata* and *Botrytis cinerea*. *Research Journal*

of *Microbiology*. 2014. Vol. 9, no. 1. P. 34–42. URL: <https://doi.org/10.3923/jm.2014.34.42>

79. Green-synthesized copper nanoparticles as a potential antifungal against plant pathogens / N. Pariona et al. *RSC Advances*. 2019. Vol. 9, no. 33. P.18835–18843. URL: <https://doi.org/10.1039/c9ra03110c>

80. Aqueous-phase synthesis of nanoparticles of copper/copper oxides and their antifungal effect against *Fusarium oxysporum* / L. A. Hermida-Montero et al. *Journal of Hazardous Materials*. 2019. Vol. 380. P. 120850. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120850>

81. Effects of copper and silver nanoparticles on growth of selected species of pathogenic and wood-decay fungi in vitro / M. Aleksandrowicz-Trzcińska et al. *The Forestry Chronicle*. 2018. Vol. 94, no. 02. P. 109–116. URL: <https://doi.org/10.5558/tfc2018-017>

82. *Aspergillus niger* / S. Maqsood et al. *Scholars International Journal of Biochemistry*. 2020. Vol. 03, no. 04. P. 87–91. URL: <https://doi.org/10.36348/sijb.2020.v03i04.002>

83. Malandrakis A. A., Kavroulakis N., Chrysikopoulos C. V. Use of copper, silver and zinc nanoparticles against foliar and soil-borne plant pathogens. *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 670. P. 292–299. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.210>

84. Zinc – An Indispensable Micronutrient / A. Sharma et al. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2012. Vol. 19, no. 1. P. 11–20. URL: <https://doi.org/10.1007/s12298-012-0139-1>

85. Combined use of biochar and zinc oxide nanoparticle foliar spray improved the plant growth and decreased the cadmium accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) plant / S. Ali et al. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26, no. 11. P. 11288–11299. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04554-y>

86. Corpas F. J., Gupta D. K., Palma J. M. Production Sites of Reactive Oxygen Species (ROS) in Organelles from Plant Cells. *Reactive Oxygen Species*

and Oxidative Damage in Plants Under Stress. Cham, 2015. P. 1–22. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-20421-5_1

87. Effect of zinc oxide nanoparticles synthesized from *Carya illinoensis* leaf extract on growth and antioxidant properties of mustard (*Brassica juncea*) / A. Geremew et al. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1108186>

88. Zinc oxide nanoparticles alleviates the adverse effects of cadmium stress on *Oryza sativa* via modulation of the photosynthesis and antioxidant defense system / M. Faizan et al. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. Vol. 220. P. 112401. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112401>

89. A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues / M. Kah et al. *Nature Nanotechnology*. 2018. Vol. 13, no. 8. P. 677–684. URL: <https://doi.org/10.1038/s41565-018-0131-1>

90. Dietz K.-J., Herth S. Plant nanotoxicology. *Trends in Plant Science*. 2011. Vol. 16, no. 11. P. 582–589. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.08.003>

91. Zinc oxide nanoparticles help to enhance plant growth and alleviate abiotic stress: A review / M. Faizan et al. *Current Protein & Peptide Science*. 2020. Vol. 21. URL: <https://doi.org/10.2174/1389203721666201016144848>

92. Sharma D., Afzal S., Singh N. K. Nanoprimering with phytosynthesized zinc oxide nanoparticles for promoting germination and starch metabolism in rice seeds. *Journal of Biotechnology*. 2021. Vol. 336. P. 64–75. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.06.014>

93. Zinc, zinc nanoparticles and plants / H. Sturikova et al. *Journal of Hazardous Materials*. 2018. Vol. 349. P. 101–110. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.01.040>

94. Zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs) induce salt tolerance by improving the antioxidant system and photosynthetic machinery in tomato / M. Faizan et al. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 161. P. 122–130. URL: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.002>

Національна академія наук України
Міжнародний науковий журнал
BIOPOLYMERS AND CELL
 Інститут молекулярної біології і генетики
 Вул. Академіка Заболотного, 150, Київ,
 Україна, 03143
 Тел/Факс.: +38 (044) 526-07-89
 j_bpccell@imbg.org.ua, biopolym.cell@gmail.com
 www.biopolymers.org.ua
 ISSN 0233-7657 (друкована версія),
 1993-6842 (онлайн версія)



National Academy of Sciences of Ukraine
 An International Scientific Journal
BIOPOLYMERS AND CELL
 Institute of Molecular Biology and Genetics
 150, Akademika Zabolotnoho Str. Kyiv,
 Ukraine, 03143
 Phone/Fax: +38 (044) 526-07-89
 j_bpccell@imbg.org.ua, biopolym.cell@gmail.com
 www.biopolymers.org.ua
 ISSN 0233-7657 (print),
 1993-6842 (on-line)

Довідка

Огляд «The influence of metal nanoparticles on plants», авторами якого є I.M.Voloshyna, Yu.M.Netiaha, Ya.V.Nechaiuk, V.G.Khomenko, L.V.Shkotova (National University of Technologies and Design, Institute of Molecular Biology and Genetics of NAS of Ukraine), зареєстровано 15 вересня 2023 року та прийнято до розгляду редакцією журналу «Biopolymers and Cell».

Головний редактор
 журналу «Biopolymers and Cell»,
 проф., д.б.н, академік НАН України



М. А. Тукало

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА БІОТЕХНОЛОГІЇ

MINISTRY OF HEALTH OF UKRAINE
NATIONAL UNIVERSITY OF PHARMACY
DEPARTMENT OF BIOTECHNOLOGY

**ПРОБЛЕМИ ТА ДОСЯГНЕННЯ
СУЧАСНОЇ БІОТЕХНОЛОГІЇ**

**PROBLEMS AND ACHIEVEMENTS
OF MODERN BIOTECHNOLOGY**

Матеріали

**III міжнародної науково-практичної
Інтернет-конференції**

Materials

**of the III International Scientific and Practical
Internet Conference**

**ХАРКІВ
KHARKIV
2023**

Використання наночастинок металів для сільського господарства

Нетяга Ю.М., Волошина І.М.

Кафедра біотехнології, шкіри та хутра Київського національного університету
технології та дизайну, м. Київ, Україна
juliahapyy@gmail.com, wim@ukr.net

В умовах бурхливого сучасного розвитку нанотехнологій і широкого різноманіття отриманих наноматеріалів зрозумілий інтерес дослідників до питання про те, як наноматеріали впливають на перебіг у рослинах фізіологічних і біохімічних процесів, на продуктивність і стійкість рослин до стресів. Результати проведених досліджень мають дати відповідь на питання про можливість і доцільність створення нового класу мікродобрив на основі наночастинок різних біогенних мікроелементів. Тому в наш час актуальним є розвиток нанотехнологій, тобто технологій спрямованого отримання та використання речовин або матеріалів у діапазоні до 100 нм. Наночастки підпорядковані законам квантової механіки, а не класичної, ньютонівської. Структура наночастинок залежить від способу їх одержання (технологія електроерозійна, вибухова, випаровування і конденсації тощо), тому вони можуть бути як електронейтральні, так і заряджені, як у вигляді суспензії, так і у колоїдному стані. Розміри часток є дуже малими, тому необхідно дуже ретельно визначати концентрації та дози їх використання, адже, найменші неправильні розрахунки можуть негативно вплинути на організм рослини.

Наночастки впливають на біологічні об'єкти на клітинному рівні, підвищуючи ефективність протікання процесів у рослинах, а також, беручи участь у формуванні мікроелементного балансу, тобто є біоактивними. Отримані варіанти наночастинок таких металів як мідь, цинк і залізо, на відміну від їх солей, потенційно менш токсичні порівняно з їх сірчано-кислими солями. Вони засвоюються поступово, їх іонні форми швидко включаються в біохімічні реакції. Таким чином, досягається пролонгуючий ефект живлення рослин з величезної питомої поверхні (сотні квадратних метрів на 1 грам речовини), що

містить безліч джерел, оточених оболонкою іонів. Препарати вносяться в мікродозах і не забруднюють середовище. Наночастки, беручи участь у процесах переносу електронів, посилюють дію ферментів, перетворюють нітрати в амонійний азот, інтенсифікують дихання клітин, фотосинтез, синтез ферментів та амінокислот, вуглеводний і азотний обмін, і як наслідок безпосередньо впливають на мінеральне живлення рослин.

Маючи високу рухливість, вони взаємодіють один з одним і можуть конгломерувати на поверхні рослин, регулюючи цільові ефекти. Так, наночастки міді, заліза, цинку характеризуються бактерицидними властивостями й можуть доповнювати і підсилювати дію традиційних засобів захисту рослин. Їх дія заснована на тому, що в умовах ґрунту вони поступово окиснюються, створюють на поверхні насіння умови, несприятливі для проживання патогенної мікрофлори. При цьому ушкоджуються (на відміну від рослин і живих істот) енергоємні оболонки клітин бактерій, що позбавляє бактеріальні клітини захисних функцій і доступу кисню.

Таким чином, питання захисту рослин доцільно розглядати в контексті сумісного застосування в сумішах наночасток біогенних елементів і зменшених доз отрутохімікатів. Розширюючи асортимент хімічних елементів, з яких формуються наночастки, можна уповільнювати процеси адаптації шкідників до отрутохімікатів, а також вибірково впливати на популяції, стійкі до традиційних схем захисту рослин. Отже, унікальною особливістю наночасток металів, яка відіграє ключову роль при їх використанні в агропромисловому комплексі, є низька токсичність, що зумовлює перспективність їх використання на ринку нанопродуктів.

Маючи надзвичайно високу активність і розміри, що відповідають розмірам живих клітин, біогенні метали більш ефективно і безпечно сприймаються рослинами в якості мікродобрив. В результаті значно зменшуються норми внесення життєво необхідних мікроелементів та знижується ризик можливих негативних наслідків для довкілля від передозування добрив.



МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ
ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ



НАЦІОНАЛЬНИЙ
ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА БІОТЕХНОЛОГІЇ

СЕРТИФІКАТ

учасника

№324

Цим засвідчується, що

Нетяга Ю. М.

брав(ла) участь у роботі III Міжнародної
науково-практичної інтернет-конференції

**«ПРОБЛЕМИ ТА ДОСЯГНЕННЯ
СУЧАСНОЇ БІОТЕХНОЛОГІЇ»**

(тривалість – 8 год)

24 березня 2023 р., м. Харків, Україна

В.о. ректора НФаУ,
д. фарм. н., проф.

Проректор з НР,
д. фарм. н., проф.

Завідувачка кафедри
біотехнології НФаУ,
д. фарм. н., проф.



Алла КОТВИЦЬКА

Інна ВЛАДИМИРОВА

Наталія ХОХЛЕНКОВА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Державний біотехнологічний університет
Рейн-Ваальський університет прикладних наук, Німеччина
Університет аграрних наук, м. Уппсала, Швеція
Природничий дослідницький центр, м. Вільнюс, Литва
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
Львівський національний університет ветеринарної
медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького
КЗ «Харківський зоологічний парк»

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ, ЕКОЛОГІЇ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

27-28 квітня 2023 р.

Харків
ДБТУ
2023

– Встановлено, що гідролізати крохмалевмісної сировини, які запропоновані в даному дослідженні, можуть бути використані для приготування поживних середовищ в якості джерела вуглецю та енергії при вирощуванні біомаси гриба *Pleurotus ostreatus* НК-35. Найбільша кількість біомаси гриба визначена на гідролізаті гречаного борошна – 2,924 г/100 мл в присутності глютену та на гідролізаті пшеничної мучки – 2,040 г/100 мл в присутності соєвого молока.

– Виявлено, що оптимальним для накопичення біомаси і протеїну було поєднання глютену з гідролізатом гречаного борошна. А також найбільший вихід грибної біомаси *Pleurotus ostreatus* НК-35 та вміст в ній протеїну, спостерігався на середовищі з гідролізату пшеничної мучки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кашевська О. В. Вирощування їстівних грибів: рек. покажч. літ. / укл. О. В. Кашевська, А. А. Ястремська / ред. О. Г. Пустова. – Миколаїв: МНАУ, 2016. – 32 с.
2. Методи експериментальної мікології: Справочник. – К.: Книга по Требуванню, 2014. – 552 с.

ВИКОРИСТАННЯ НАНОЧАСТИНОК МЕТАЛІВ ДЛЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Ю.М. Нетяга, Т.Є. Давидюк, І.М. Волошина

Київський національний університет технологій та дизайну
juliahapyv@gmail.com

В останні десятиріччя стрімко розвиваються технології отримання нових матеріалів, що складаються з наночастинок (НЧ). Відповідно до загальноприйнятої термінології до наночастинок відносять частинки розмірами від 1 до 100 нм (10^{-9} м). Наноматеріали (НМ) – це матеріали хоча б з одним зовнішнім розміром у наномасштабі, або які мають внутрішню чи поверхневу нанорозмірну структуру [1]. Частинки розміром від 1 до 100 нм здатні проходити мембранні бар'єри живих клітин, що дозволяє використовувати їх у біології [1]. Наноматеріали використовуються в таких сферах, як косметика, сільське господарство, медицина, авіація, військова промисловість та електроніка. Вважається, що описано понад 800 продуктів на основі наноматеріалів і нанотехнологій [2].

Для розвитку нанотехнологій непростим завданням є отримання нанобіоматеріалів, які б максимально засвоювались живими організмами та були екологічно безпечними. Та лише за таких умов наноматеріали можна кваліфікувати як функціональні нанобіоматеріали. У випадку їх практичного застосування у сільському господарстві (рослинництві, тваринництві) завдання ще більше ускладнюється, оскільки ці матеріали повинні отримуватись у відповідних масштабах при доступній вартості. У сільському господарстві наноматеріали використовуються як нанодобрива для посилення росту та розвитку рослин. Передпосівна обробка насіння буряка, картоплі та пшениці суспензіями порошку нанокристалічного металу підвищувала врожайність на 20–35 % [3]. За таких умов підвищується адаптивність рослин до стресових умов, покращується якість сільськогосподарської продукції. Нанотехнології застосовували для обробки рослин соняшнику, тютюну та картоплі після збору врожаю, зберігання яблук у певних умовах, озонування повітряного середовища [3].

Відомо, що мікроелементи в рослинах беруть участь у окисно-відновних процесах, каталізі та синтезі на атомарному рівні. Наночастинки, беручи участь у процесах переносу електронів, посилюють дію ферментів, перетворюють нітрати в амонійний азот, інтенсифікують дихання клітин, фотосинтез, синтез ферментів та амінокислот вуглеводний і

азотний обмін, і як наслідок безпосередньо впливають на мінеральне живлення рослин [4]. Маючи високу рухливість, вони взаємодіють один з одним і можуть конгломерувати на поверхні рослин, регулюючи цільові ефекти. Так, наночастки міді, заліза, цинку характеризуються бактерицидними властивостями й можуть доповнювати і підсилювати дію традиційних засобів захисту рослин. Їх дія заснована на тому, що в умовах ґрунту вони поступово окиснюються, створюють на поверхні насіння умови, несприятливі для проживання патогенної мікрофлори. При цьому ушкоджуються (на відміну від рослин і живих істот) енергоємні оболонки клітин бактерій, що позбавляє бактеріальні клітини захисних функцій і доступу кисню (в результаті інгібування ферментів дихальної ланцюга). Активним знешкоджувачем патогенної мікрофлори є наночастинки срібла, що знайшли в цьому напрямку широке комерційне застосування. Діючі дози срібла не замінюють, а доповнюють існуючий агрофон [3, 4].

Таким чином, питання захисту рослин доцільно розглядати в контексті сумісного застосування в сумішах наночасток біогенних елементів і зменшених доз отрутохімікатів. Розширюючи асортимент хімічних елементів, з яких формуються наночастки, можна уповільнювати процеси адаптації шкідників до отрутохімікатів, а також вибірково впливати на популяції, стійкі до традиційних схем захисту рослин.

Дослідження важливих аспектів наноматеріалів йдуть рука об руку з оцінкою їх негативного впливу та запобіганням ризикам їх використання [5]. У нанорозмірі велика кількість речовин набуває нових властивостей і може стати біологічно активним. Це призводить до потенційної токсичної дії таких матеріалів при контакті з живими організмами [6, 7]. Інколи достатньо дії лише мікромолярних концентрацій іонів металів для нормального функціонування рослини. В свою чергу незначний надлишок даного металу може викликати токсичне отруєння рослинного організму. Тому при вивченні особливостей дії наноматеріалів, необхідно, перш за все, відпрацювати методи аналізу їх вмісту в природних об'єктах. На другому етапі, слід отримати такі форми мікродобрив, що можуть повністю поглинатися рослиною, не забруднюючи навколишнє середовище і не завдаючи шкоди живим організмам і людині.

Існуючі дані досліджень про вплив наноматеріалів на живі організми з різними структурними тканинами досить суперечливі. Тому існує потреба продовжувати дослідження наслідків можливого впливу наночасток на живі організми та активізувати розробку нових методів виявлення їх впливу в навколишньому середовищі.

Іншим перспективним напрямом є збагачення через рослинну сировину продуктів харчування, комбикормів, медичних та ветеринарних препаратів селеном, йодом, германієм, кремнієм, кальцієм та іншими елементами в біологічно активних наноформах [8]. У рослинництві застосування нанопрепаратів, суміщених з бактеріоропсином, забезпечує зростання врожайності в 1,5–2,0 рази та підвищення стійкості до несприятливих погодних умов майже всіх продовольчих (картопля, зернові, овочеві, плодово-ягідних) та технічних (бавовна, льон) культур.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Makarov V.V., Love A.J., Sinitsyna O.V., Makarova S.S., Yaminsky I.V., Talianky M.E., Kalinina N.O. // *Acta Naturae*. 2014. 6(1):35-44.
2. Whitesides G.M. // *Nat Biotechnol*. 2003. 21(10):1161-5. doi: 10.1038/nbt872.
3. Meng H., Xia T., George S., Nel A.E. // *ACS Nano*. 2009. 3(7):1620-7. doi: 10.1021/nn9005973.
4. Shah R.A., Frazar E.M., Hilt J.Z. // *Curr Opin Chem Eng*. 2020. 30:103-111. doi: 10.1016/j.coche.2020.08.007.
5. Sozer N., Kokini J.L. // *Trends Biotechnol*. 2009. 27(2):82-9. doi: 10.1016/j.tibtech.2008.10.010.

6. Egbuna C., Parmar V.K., Jeevanandam J., Ezzat S.M., Patrick-Iwuanyanwu K.C., et. al. // J Toxicol. 2021. 2021:9954443. doi: 10.1155/2021/9954443.

7. Yah C.S., Simate G.S., Iyuke S.E. // Pak J Pharm Sci. 2012. 25(2):477-91.

8. Singh N., Manshian B., Jenkins G.J., Griffiths S.M., Williams P.M., Maffei T.G., Wright C.J., Doak S.H. // Biomaterials. 2009. 30(23-24):3891-914. doi: 10.1016/j.biomaterials.2009.04.009.

АНТИМІКРОБНА АКТИВНІСТЬ НАНОЧАСТИНОК МЕТАЛІВ, СТАБІЛІЗОВАНИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ МІКРОБНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Ю.М. Іванченко, Т.П. Пирог

Національний університет харчових технологій
guliaivanchenko@gmail.com

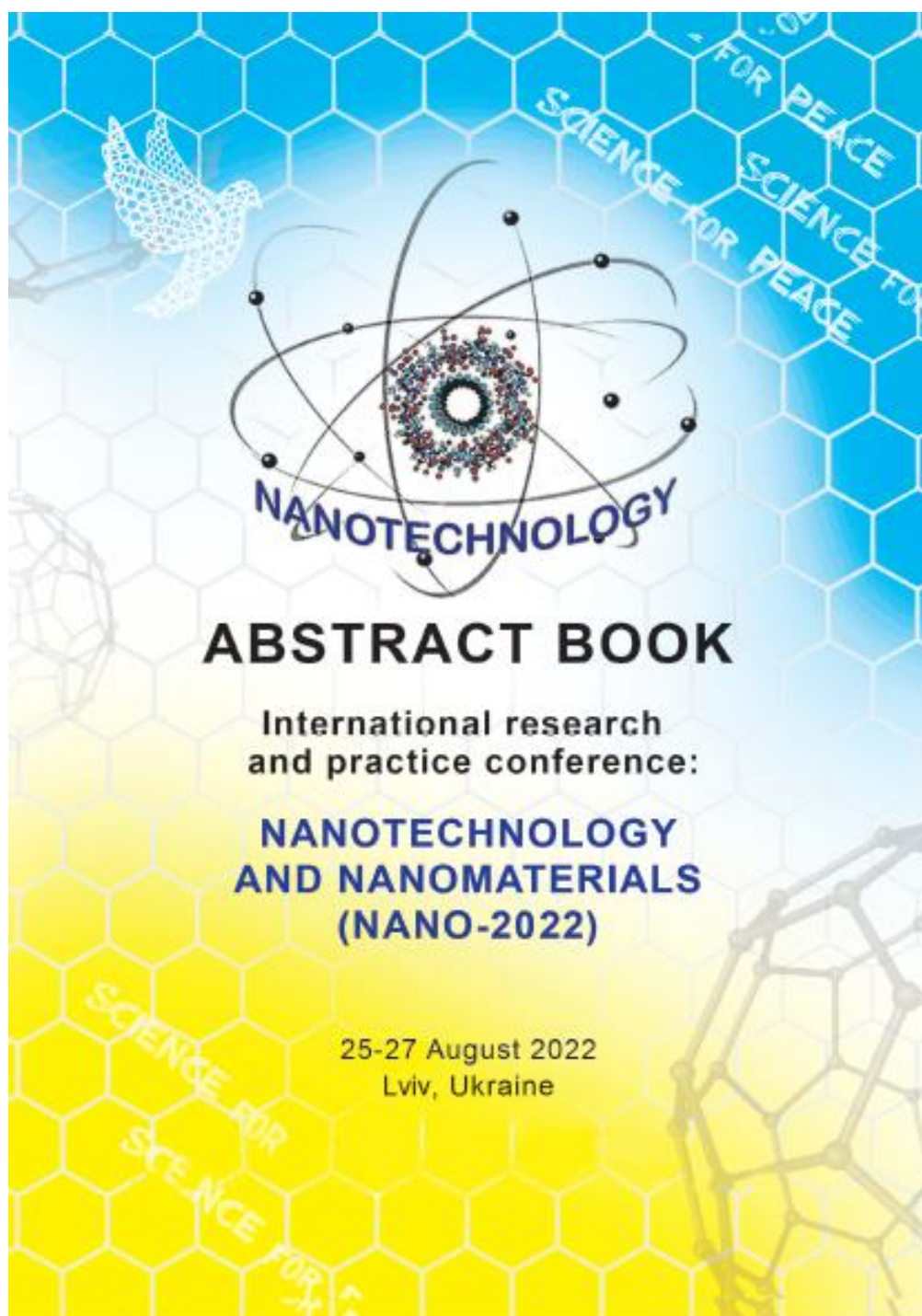
Неконтрольоване застосування синтетичних антимікробних препаратів призвело до розвитку резистентності патогенних мікроорганізмів до антибіотиків. Саме тому нині велику зацікавленість у дослідників викликають препарати на основі наночастинок (НЧ) металів, яким притаманна антибактеріальна, антифунгальна й антивірусна активність. Наночастинки металів одержують хімічними, фізичними, фізико-хімічними та біологічними методами. Останні користуються все більшим попитом завдяки своїй безпечності, екологічності та невеликій собівартості одержаних препаратів НЧ металів. Суть методів «зеленого» синтезу наночастинок металів полягає у використанні біологічно-активних речовин, які завдяки своїй поліфункціональній природі одночасно слугують відновниками та стабілізаторами НЧ. Використання унікальних властивостей мікробних поверхнево-активних речовин (ПАР) дає можливість виключити з технологічної ланки синтезу наночастинок металів використання відновлювальних агентів, які часто є токсичними (наприклад, гідразин) і можуть забруднювати цільовий продукт (зокрема, боргідриди металів). Синтезовані за участю мікробних ПАР наночастинки металів є нетоксичними для людини та довкілля і характеризуються високою антимікробною активністю як щодо грам-позитивних, так і грам-негативних збудників [1–3].

Аналіз антимікробної активності щодо фітопатогенних мікроорганізмів наночастинок металів, синтезованих із використанням мікробних поверхнево-активних речовин як стабілізаторів, проводили шляхом пошуку й аналізу наукових праць за допомогою міжнародних баз даних Google Scholar та PubMed.

Із літературних джерел відомо про утворення біогенних наночастинок металів за участю мікробних поверхнево-активних речовин гліколіпідної (рамноліпідів, софороліпідів, манозилеритритолліпідів) та ліпопептидної (сурфактину) природи. Так, із використанням рамноліпідів одержують наночастинки срібла, заліза, сульфід цинку, оксидів цинку та нікелю. За допомогою софороліпідів синтезують НЧ срібла, золота та заліза. За участю манозилеритритолліпідів проходить синтез наночастинок золота. Ліпопептид сурфактин використовується для одержання наночастинок срібла, золота, заліза та сульфід кадмію.

Аналіз сучасних літературних даних щодо біологічної активності одержаних за допомогою мікробних ПАР наночастинок металів показав, що гліколіпіди є ефективнішими порівняно з ліпопептидами. Наприклад, при дії НЧ срібла, стабілізованих рамноліпідом і сурфактином, зони затримки росту *Escherichia coli* становили 14 і 8 мм, *Staphylococcus aureus* – 19 і 16 мм відповідно. Мінімальні інгібувальні концентрації щодо *Pseudomonas aeruginosa* наночастинок срібла, стабілізованих гліколіпідом і ліпопептидом, становили 1 і 15 мкг/мл відповідно. Порівняння антимікробної активності наночастинок різних металів, синтезованих за участю гліколіпідів, показало, що найвища антибактеріальна активність (як щодо грам-позитивних, так і грам-негативних збудників) притаманна наночастинкам срібла.





Green biosynthesis of nanoparticles using *Lactobacillus*

Yoloshyna I.M.¹, Shkotova L.V.², Netiaha Y.¹, Lastovetska L.¹

¹ Department biotechnology, leather and furs, National University of Technologies and Design, 2 Nemyrovycha-Danchenka Str., Kyiv-01011, Ukraine, E-mail: i_woloschina@yahoo.com.

² Department of Biomolecular Electronics, Institute of Molecular Biology and Genetics, NAS of Ukraine, 150, Zabolotnogo Str, Kyiv-03143, Ukraine.

Among modern various fields, nanoparticles are widely used in the medical and cosmetic industries. There are various ways to synthesize nanoparticles from *Lactobacillus*. Selected strains of microorganisms are effective and environmentally friendly substitutes for the synthesis of nanoparticles. One of the most important examples of the synthesis of nanoparticles is gold, which can be obtained by a simple redox reaction carried out in aqueous solution [1].

Another equally well-known metallic element for the nanoparticle synthesis is titanium oxide (TiO₂). The biosynthesis of TiO₂ is caused by ecological representatives of the human microflora, such as *Lactobacillus* sp. You can also use an alternative mechanism of TiO₂ nanoparticle biosynthesis, in which pH and the partial pressure of hydrogen gas (rH₂) or the redox potential of the culturing solution are one of the important components in the process [2].

One of the vital metals for humanity is silver thanks to its antibacterial properties. Swift and environmentally friendly biosynthesis of silver nanoparticles using lactic acid bacteria is an economical way of finding solution, and any research in this area is promising [3, 4].

Zinc nanoparticles are particularly important for biological applications, as ZnO is listed as a generally accepted safe (GRAS) material [5].

Nanoparticle production is a unique biotechnological practice. This is a complex and multi-stage process. It is important for the development of medicine in the country. Current methods of biosynthesis are truly cost-effective and capable of producing nanoparticles. Optimization of modern methods of nanoparticle production is an urgent task in the field of biotechnology.

1. Lieser K.H., *Nuclear and Radiochemistry: Fundamentals and Applications // 2nd, rev. ed.-2001.- Wiley-VCH, Berlin; New York.*

2. Anal K., Jha K., Kulkarni A.R. *Synthesis of TiO₂ nanoparticles using microorganisms // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.-2009.-71, N 2.-P. 226-229.*

3. Korbekandi H., Iravani S., Abbasic S. *Optimization of biological synthesis of silver nanoparticles using Lactobacillus casei subsp. Casei // J. of Chem. Tech. Biotech.-2012.-87, N 7.-932-937.*

4. Ranganath E., Rathod V., Banu A. *Screening of Lactobacillus spp. for mediating the biosynthesis of silver nanoparticles from silver nitrate // IOSR J. Pharm.-2019.-2, N2.-237-241.*

5. Selvarajan E., Mohanasrinivasan V. *Biosynthesis and characterization of ZnO nanoparticles using Lactobacillus plantarum VITES07 // Mat. Let.-2013.-112.-P. 180-182*