

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет Коструювання та дизайну

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету

Конструювання та дизайну

(назва факультету)

(підпис)

Ружилю З.В.

(ПІБ)

«___» _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Технологій конструкційних матеріалів і
матеріалознавства

(назва кафедри)

(підпис)

Лопатько К.Г.

(ПІБ)

«___» _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Дослідження ефективності використання форм мікроелементів при вирощуванні рослинної продукції»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітня програма Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва

(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо - професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор, кафедри

конструювання машин і обладнання

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Ромасевич Юрій Олександрович

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

д.т.н., проф.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Лопатько Костянтин Георгійович

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Асаула Олександр Миколайович

(ПІБ)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
Факультет Конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри Технології конструкційних
матеріалів і матеріалознавства**

д.т.н, професор _____ Лопатько К. Г.
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)
— ” _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

_____ Асаула Олександра Миколайовича _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(код і назва)

Спеціалізація Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва
(назва)

Тема магістерської роботи «Дослідження ефективності використання форм мікроелементів при вирощуванні рослинної продукції»»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «25» листопада 202 р. № 1855 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи

Електроіскровий синтез наночастинок біогенних металів; технологічний комплекс для електроіскрової обробки струмопровідного шару металевих гранул; конструкція розрядної камери; техніко - економічні показники процесу отримання колоїдної форми мікроелементних добрив.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Вивчити закономірності надходження катіонів та аніонів у рослину.
2. Особливості взаємодії між катіонами металів та аніонами органічних сполук.
3. Розробити методику отримання колоїдної форми металевих мікроелементів.
4. Провести польові випробування металевих форм мікроелементів на рослинах сої
5. Провести економічну оцінку використання металевих мікроелементів.

Дата видачі завдання — _____ ” _____ 20__ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

К. Лопатько
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

О. Асаула
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ВИРОЩУВАННІ РОСЛИННОЇ ПРОДУКЦІЇ

1.1.

1.2.

1.3 Висновки за розділом

РОЗДІЛ 2. ОТРИМАННЯ МЕТАЛЕВИХ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ РОСЛИННИЦТВА ЕЛЕКТРОІСКРОВИМ ДИСПЕРГУВАННЯМ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Методика отримання металевих мікроелементів у колоїдній формі

2.6 Методика біотехнологічних досліджень

РОЗДІЛ 3. УЧАСТЬ МЕТАЛІВ У ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ПРОЦЕСАХ РОСТУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

3.1 Магній та його вплив на рослину

3.6 Молібден та його вплив на рослину

РОЗДІЛ 4. ПОЛЬОВІ ВИПРОБУВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО МЕТАЛОВМІСНОГО ПРЕПАРАТУ НА РОСЛИНАХ СОЇ (*GLYCINE*)

4.1 Соя як важлива технічна культура

4.3 Економічна ефективність використання колоїдної форми мікроелементів при вирощуванні рослинної продукції, зокрема сої

4.4 Розрахунок цехової собівартості отримання колоїдів металів

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

РЕФЕРАТ

У роботі розглянуто питання використання мікроелементів при вирощуванні рослинної продукції на прикладі важливої технічної культури – сої. Робота складається із чотирьох розділів та списку літератури, що налічує ...джерел. У роботі наведено ...таблиць та ... рисунків. Загальний обсяг магістерської роботи сторінок.

Актуальність роботи пов'язана із оригінальним способом отримання металеві (колоїдної) форми мікроелементів, зокрема наночастинок молібдену для обробки посівів сої на різних фазах вегетації. Молібден сприяє розвитку клубенькових бактерії (*Rhizobium*) – які виступають як симбіотичні мікроорганізми для більшості бобових культур. Вони утворюють бульбочки на коренях рослин, де відбувається фіксація атмосферного азоту та перетворюють його у фізіологічно доступну форму для рослин, що додатково сприяє їх росту і розвитку, коли ґрунтового азоту або недостатньо, або він є недоступним (при нестачі ґрунтової вологи).

Мета роботи – перевірка ефективності електроіскрових колоїдних розчинів молібдену та інших біогенних металів, на рослинах сої за біологічними показниками.

Об'єкт досліджень – колоїдна форма мікроелементів біогенних металів та колоїдного розчину молібдену, отриманих електроіскровою обробкою.

Предмет досліджень – біологічна функціональність молібдену та інших біогенних металів, вплив молібдену на ростові процеси та вміст білку.

ВСТУП

Останні два десятиліття у зв'язку з пошуком нових технологічних та екологічних рішень а також ресурсних проблем, у всьому світі почав «набирати обертів» новий науковий напрямок, пов'язаний з інтеграцією сучасних нанотехнологічних розробок у різних галузях, зокрема приладобудування, мікро- та оптоелектроніка, хімічні процеси та технології, медицина й біотехнологія.

На сьогоднішній день накопичено значний науковий потенціал щодо методів та способів отримання наноматеріалів біогенних металів та їх сплавів, та цілеспрямованого створення композитних матеріалів з особливими властивостями, проводяться дослідження фізичних та хімічних властивостей наноматеріалів, постійно збільшується експериментальна база практичних результати застосування наноматеріалів та препаратів на їх основі в медицині та біотехнологіях. Використані сфери застосування наноматеріалів доволі різноманітні – від машинобудування до біології та медицини, але безсумнівно є загальні, особливі для нанорозмірного стану речовини характеристики, що дозволяють реалізувати їх корисні властивості та істотно скоротити використані ресурси. Прикладом раціонального використання наявних ресурсів може бути продемонстрована на вирішенні проблеми екологізації сучасного виробництва, яка з кожним роком стає все актуальнішою, особливо в базових галузях агропромислового комплексу, зокрема у рослинництві. Наявний дефіцит хімічно незабрудненої рослинної продукції в умовах імовірної продовольчої кризи.

Надмірне та не контрольоване застосування токсичних хімікатів та антибіотиків у виробничих процесах призводить до включення їх у природні цикли, що призводить до подальшого погіршення агро-екосистем. У зв'язку з чим застосування сучасних методів та препаративних форм для регулювання дисбалансу мінеральної складової біосфери та забезпечення її цілісності, стає

однією з альтернатив забезпечення якості продуктів харчування і вирішення екологічних проблем.

РОЗДІЛ 1. ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ВИРОЩУВАННІ РОСЛИННОЇ ПРОДУКЦІЇ

Класичний підхід до вивчення поглинання мікроелементів клітинами за останні роки зазнав значних змін. Оскільки більша частина даних, що викладаються в відомій літературі, належить до класичного підходу, але стосовно цілої рослини, то становить інтерес короткий виклад нового підходу до вивчення поглинання елементів у зв'язку зі традиційною методикою.

Наводимо короткий виклад деяких положень, висловлених у відомих дослідженнях. У відомих роботах (,,,,,) та інших фізіологів приводиться, що іони рухаються під впливом градієнтів електрохімічних потенціалів та відмінність у градієнтах концентрацій не може приводити в рух іони, як це має місце для не електrolітів. Електрохімічний потенціал є критерієм того, активно чи пасивно транспортується іон. Вважається, що наявність більш високої концентрації будь-якого іона у середині клітини, не є ще доказом активного перенесення іона. Тільки наявність цього іона всередині клітини за більш високого електрохімічного потенціалу, ніж зовні, доводить, що цей іон надходив у результаті активного процесу.

Для деяких клітин, очевидно, що іони низько-валентних металів постійно надходять у клітини з більш низьким градієнтом електрохімічного потенціалу та виділяються з клітин з більш високим градієнтом електрохімічного потенціалу за допомогою певного активного механізму перенесення. Спрямований назовні механізм діє, спарено з калієвим механізмом поглинання.

Рослинні клітини мають складні структури. Можна очікувати, що різниця потенціалів між окремими органелами клітин рослин і зовнішнім розчином, є алгебраїчною сумою потенціалів на межах тонопласта і

плазмалемі. Приймається також, що підсумовується потенціал біля стінок клітини, а іноді й нерухомого шару зовнішнього розчину, що знаходиться в безпосередньому контакті зі стінками клітини. Різниця потенціалів може бути виміряна мікроелектродами. Різниця потенціалів між вакуолями і зовнішнім середовищем деяких клітин *Nitellopsis*, згідно з проведеними вимірами, досягала приблизно - 120 мВ. Були проведені обчислення для потенціалів рівноваги на підставі внутрішньої і зовнішньої концентрацій (всередині вакуолей. Для натрію ця величина дорівнювала 15 мВ. Відповідно, калій перебував в електрохімічній рівновазі, і можна вважати, що він рухається пасивно. Обчислені потенціали при порівнянні з істинним потенціалом показали, що надходження натрію має бути більшим, ніж витікання, і що витікання Cl має бути набагато більшим, ніж надходження.

Можливим поясненням, є наявність спрямованого назовні натрієвого насоса і спрямованого всередину насоса хлору. Це вважається очевидним доказом активного транспорту. Беручи до уваги, що концентрації калію і натрію в цитоплазмі були такими самими, як їхні концентрації у вакуолі. Зроблено висновок, що натрієвий механізм локалізується в плазмалемі. Місце зниження потенціалу також вказує на плазмалему. Робимо висновок, що спрямований всередину насос хлору знаходиться біля тонопласта, частково у зв'язку з накопиченням органічних кислот у вакуолях клітин вищих рослин. Спрямований назовні натрієвий насос не завжди може бути пов'язаний зі спрямованим всередину калієвим насосом.

Звичайні дослідження поглинання солей, в яких солі накопичуються проти градієнтів концентрації, не дають вказівок на те, який іон з надходить активно. Жодні дослідження антагонізму іонів або поглинання їх залежно від часу, або температури, або від інгібіторів метаболізму не можуть дати прямої відповіді на питання про те, який з іонів надходить активно.

Деякі дослідження, що були проведені у Вашингтонському університеті (Етертон, 1991; Етертон і Хіггінботам, 2000), застосовано до клітин вищих рослин і зроблено аналогічні висновки. Дослідники встановили

вплив концентрації на функціонування калій-натрієвого насоса. Ця взаємодія в загальних рисах була такою:

- 1) за високих зовнішніх концентрацій виділяються як калію, так і натрію;
- 2) за середніх зовнішніх концентрацій натрію виділявся, а калій перебував в електрохімічній рівновазі;
- 3) за низької зовнішньої концентрації натрію був близький до електрохімічної рівноваги, а калій активно накопичувався.

Автори роблять висновок, що в кожному дослідженні процесу поглинання іонів необхідно проводити вимірювання різниць електричних потенціалів, і що спрямований всередину аніонний насос у тонопласта має першорядне значення у фізіології рослинних клітин.

1.1 Взаємодії між катіонами металів й аніонами в рослинах

Фізіологи дотримуються думки, що поглинання рослинами К, Са, Mg або Na здійснюється за допомогою різних механізмів. Вміст кожного з цих елементів у рослинах, очевидно, часто тісно пов'язаний зі вмістом у них інших металів. У багатьох видів рослин і за певних умов сума міліеквівалентів катіонів на одиницю сухої ваги, є постійною величиною. Це вказує на те, що зменшення в рослині концентрації одного з катіонів еквівалентно відшкодовується таким самим збільшенням концентрації іншого, що можна бачити з рис. 1, зокрема на прикладі люцерни. Дійсно, спостерігається збільшення або зменшення вмісту окремих катіонів у загальній сумі катіонів у рослині може пояснюватися зниженням доступності одного катіона в разі, коли поглинання іншого збільшилося. Вважається, що зниження поглинання одного катіона не завжди компенсується збільшенням поглинання іншого.

На рисунку 1 видно, що загальна концентрація катіонів у росички підвищувалася зі збільшенням вмісту калію, а в бавовнику вона підвищувалася зі збільшенням кальцію і магнію. Це дає змогу припускати,

що сталість вмісту катіонів не є загальним явищем. Виявилось можливим змінювати сумарний вміст катіонів у люцерни шляхом збільшення загального вмісту катіонів у поживному розчині.

Сума аніонів у рослинах (рис. 1) була або постійною, або змінювалася, як сума катіонів. З аніонів визначали тільки N, P і S, і вміст кожного з них обчислювали у вигляді NO_3^- , H_2PO_4^-

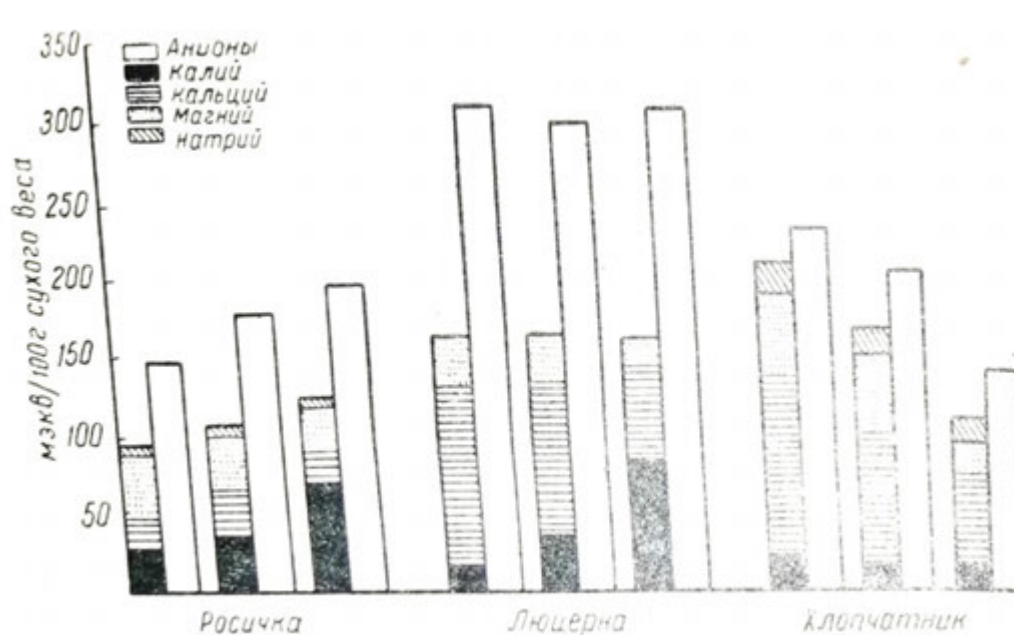


Рис. 1. Сума міліеквівалентів катіонів і аніонів у трьох видів рослин, вирощених за різних концентрацій катіонів.

та SO_4^- у відповідності з формами, в яких вони найімовірніше поглинаються рослинами. Таким чином, дані, наведені на рисунку 1, вказують на те, що, принаймні в деяких видів рослин, зменшення вмісту або надлишок одного з аніонів - NO_3^- , H_2PO_4^- або SO_4^- може впливати на вміст у рослинах кожного іншого. Крім того, слід було припускати, що Cl^- і HCO_3^- чинитимуть таку саму дію. Дані рис. 1 свідчать про те, що така залежність спостерігається не у всіх видів рослин. Результати дослідів показали, що зміна постачання калію і кальцію при вирощуванні люцерни спричиняла зрушення вмісту іншого поживного елемента в рослині. Подібні результати були отримані іншими дослідниками [9]. На підставі аналізу отриманих даних можна зробити такі висновки:

1. Високий загальний вміст катіонів у рослині пов'язаний з високим вмістом азоту і, можливо, високим вмістом білка і фосфору. І, навпаки; низький вміст азоту або низький вміст білка пов'язаний з низьким вмістом мінеральних елементів у рослині.

2. Якщо азот поглинається у формі катіона, він може знижувати поглинання калій, кальцій і магній рослинами, що залежить певною мірою також від рН; Водночас, якщо вміст NO_3 невеликий, буде збільшуватися поглинання P, S і Cl.

3. Антагонізм між катіонами або між аніонами може призводити до виникнення нестачі окремих катіонів або аніонів. Наприклад, нестача магнію може виникати внаслідок внесення великих кількостей калію і так само нестача фосфору може з'явитися за надлишку NO_3^- або інших розчинних аніонів.

4. Другорядні іони, такі, як Na^+ , і надлишок Cl^- , можуть часто сильно впливати на загальний вміст катіонів і аніонів у рослині, і можуть брати участь у явищах антагонізму іонів. Деякі з розглянутих взаємодій мають особливо важливе значення у зв'язку з сезонними змінами у вмісті мінеральних речовин у люцерні.

Є повідомлення про відносно велику кількість взаємодій між поживними елементами **0**. Можна навести такі приклади:

а) внесення азотних добрив збільшувало, або не впливало, або зменшувало концентрацію фосфору у рослинах;

б) калійні добрива знижували або не змінювали концентрацію фосфору у рослинах;

в) внесення магнію збільшувало або не змінювало концентрацію фосфору;

г) внесення NaCl за нестачі в рослин калію призводило до більш високого вмісту фосфору;

д) азотні добрива знижували концентрацію кальцію в рослинах, особливо ефективним у цьому відношенні було внесення NH_4 ;

е) калійні добрива зазвичай знижують концентрацію кальцію;

ж) застосування магнію часто знижувало концентрацію кальцію.

Ці фактори, ускладнюються реакцією ґрунту та умовами навколишнього середовища.

Багато з цих взаємозв'язків можуть бути пояснені загальними взаємодіями іонів, зазначеними вище. Це стає особливо очевидним у разі заміни NO_3^- на NH_4^+ як джерела азоту. За відсутності антагонізму з боку NO_3^- кількість H_2PO_4^- , SO_4^- , Cl^- та інших аніонів у рослинах збільшується. Одночасно спостерігається антагонізм між NH_4^+ і K^+ , Ca^{++} і Mg^{++} . Деякі фізіологічні проблеми, які випливають із цих спостережень, пов'язані з відмінностями в біохімічних шляхах інгібування іонами амонію поглинання іонів калію і навпаки, іонами кальцію іонів калію і навпаки; те ж саме стосується й аніонів NO_3^- та H_2PO_4^- . Отримані результати важко пояснити відомими біохімічними взаємодіями на клітинному рівні, і не завжди вони зумовлені істинним антагонізмом. Наприклад, певна кількість кальцію необхідна для дії механізму накопичення калію O і для вибіркового накопичення калію порівняно з Na O , тоді як за інших концентрацій кальцію затримується поглинання калію.

Дійсно, у живленні рослин спостерігається багато відповідних реакцій, які (принаймні на перший погляд) не узгоджуються з даними, отриманими фізіологами під час дослідження клітин. Деякі з них пов'язані з впливом катіонообмінної ємності коренів (КОЄ) на зміни співвідношення Ca/K у рослинах. На рис. 2 показано, що рослина з низькою КОЄ коренів (росичка) може поглинати набагато більше калію з ґрунту з низьким вмістом доступного калію, ніж люцерна, і добре росте, в той час як люцерна на тому ж ґрунті гине від нестачі калію. Ті види, які здатні поглинати більші кількості кальцій, мають тенденцію накопичувати менші кількості калій, в той час як

рослини, які поглинають невеликі кількості кальцію, легко засвоюють достатні кількості калію.

Це явище можна пояснити на основі доннанівської рівноваги, у зв'язку з відмінностями в КОЕ коріння (0), існуюча точка зору, не відповідає поглядам фізіологів, які займаються клітинним обміном і які вважають, що КОЕ коріння не має жодного відношення до механізму накопичення іонів (0). У доннанівській системі, наведеній нижче, X - активність іона в зовнішньому розчині, Y - активність іона у внутрішньому розчині і Z - концентрація іона в комбінації з недифундуючим аніоном.

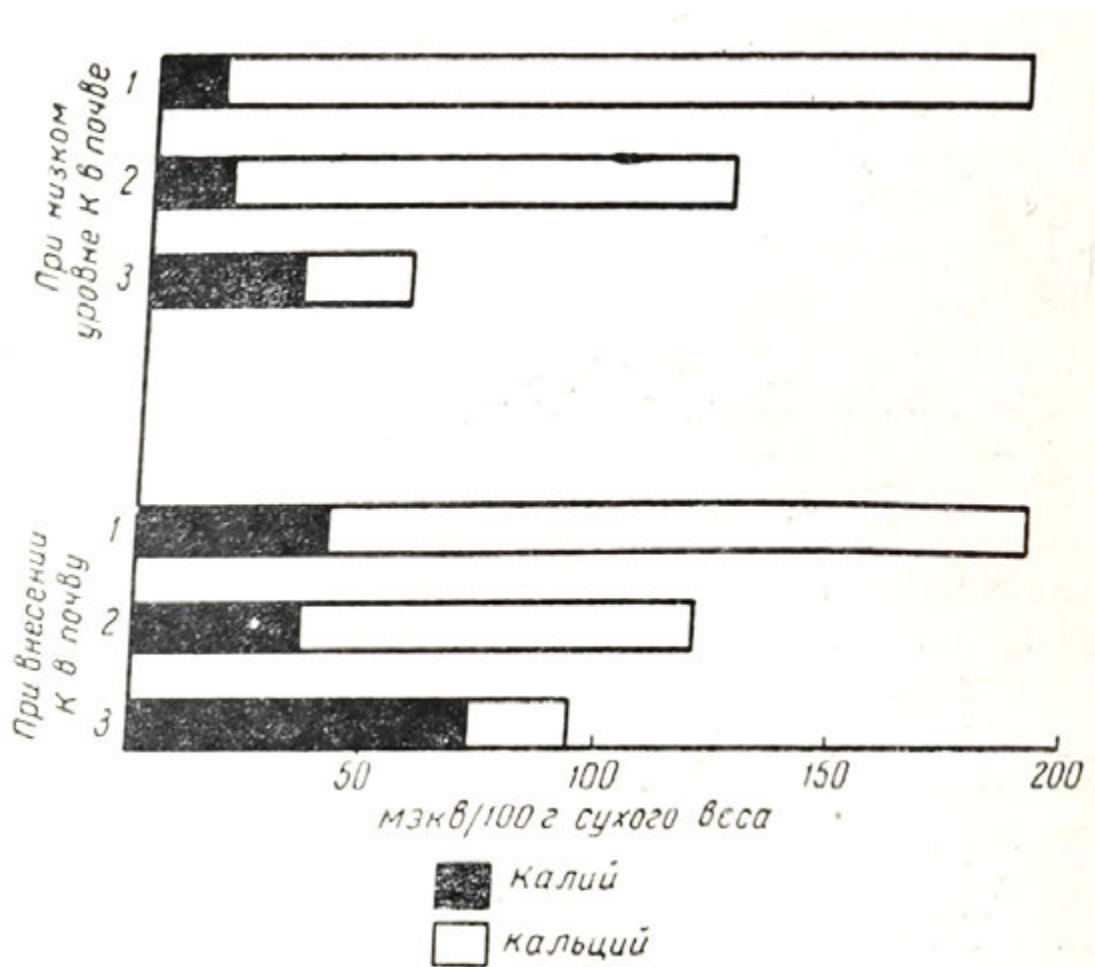


Рис. 2. Вміст К і Са у рослин трьох видів, вирощених у ґрунті з низьким вмістом К і в тому самому ґрунті з внесенням у нього К:

1 - широколистий платан; 2 - люцерна; 3 - росичка.

За рівноваги для КСl:

$$X_{Cl} * X_K = Y_{Cl}(Y_K + Z_K)$$

або

$$\frac{X_{Cl}}{Y_{Cl}} = \frac{Y_K + Z_K}{X_K}$$

При рівновазі для CaCl_2 :

$$X_{CL}^2 * X_{Ca} = Y_{Cl}^2 (Y_{Ca} + Z_{Ca})$$

або

$$\frac{X_{Cl}}{Y_{Cl}} = \left(\frac{Y_{Ca} + Z_{Ca}}{X_{Ca}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Розв'язуючи спільно; отримуємо:

$$\frac{Y_K + Z_K}{X_K} = \left(\frac{Y_{Ca} + Z_{Ca}}{X_{Ca}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Якщо є дві окремі системи, позначені індексами 1 і 2, у яких величини Z різні, але вони мають одну й ту саму кількість катіонів у зовнішніх розчинах у будь-який момент (X_K і X_{Ca} однакові в кожній системі), тоді можна отримати таке відношення шляхом ділення рівних кількостей на рівні величини:

$$\frac{Y_{K1} + Z_{K1}}{Y_{K2} + Z_{K2}} = \left(\frac{Y_{Ca1} + Z_{Ca1}}{Y_{Ca2} + Z_{Ca2}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Величини Y цього рівняння можуть бути використані шляхом прийняття двох припущень - для порівняння відносних кількостей калію і кальцію для двох різних рослин (індекси 1 і 2), що мають різні КОЄ коріння і вирощуються в поживних субстратах постійної активності. Перше припущення полягає в тому, що величина Z еквівалентна КОЄ коренів. Згідно з іншим припущенням, КОЄ вважається величиною дуже малою порівняно з кількостями калію або кальцію, накопиченими в рослин за певний період часу, так що величиною Z можна знехтувати. За цих

припущень рівняння для двох різних рослин зводиться до нижче наведеного, де k і k' -константи, величини яких, очевидно, близькі до одиниці:

$$\frac{KO\epsilon_1}{KO\epsilon_2} = k \left(\frac{K_1}{K_2} \right) = k' \left(\frac{Ca_1}{Ca_2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

У роботах Маттсона (2010), Елгабейля і Уіклендера (2011) та Лундергорда (2015) було встановлено, що висока КОЄ коріння рослин сприяє абсорбціям двовалентних катіонів порівняно з одновалентними катіонами, у той час як у рослин з низькою КОЄ спостерігається більш посилене поглинання одновалентних катіонів порівняно з двовалентними катіонами. У якісному відношенні це означає, що $\frac{Ca_1}{Ca_2}$ та $\frac{K_2}{K_1}$ є функціями від $\frac{KO\epsilon_1}{KO\epsilon_2}$, що для калію не узгоджується з рівнянням (2).

Очевидно, що відношення для калію в рівнянні (2) справедливе тільки для односольових розчинів; у тому ж випадку, коли в одних і тих самих поживних розчинах або ґрунтах наявні одновалентні та двовалентні катіони, буде справедлива точка зору Маттсона та ін. За таких умов, якщо існує кількісне співвідношення, узагальнене рівняння набуває такого вигляду:

$$\frac{KO\epsilon_1}{KO\epsilon_2} = k \left(\frac{K_2}{K_1} \right) = k' \left(\frac{Ca_1 + Mg_1}{Ca_2 + Mg_2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

де k і k' є константами, величини яких, іноді дорівнюють одиниці.

Для всіх цих величин, крім однієї, підтверджувався зв'язок між $\frac{KUO_1}{KUO_2}$ і $\left(\frac{Ca_1 + Mg_1}{Ca_2 + Mg_2} \right)^{\frac{1}{2}}$ за рівнянням (2) та (3). У більшості випадків відношення КОЄ було тісно пов'язане з відношенням K_2/K_1

Таблиця 1 Зведенні дані наведені у літературних джерелах

Види рослин	$\frac{КОЄ_1}{КОЄ_2}$	$\frac{K_1}{K_2}$	$\frac{K_2}{K_1}$	$\left(\frac{Ca_1 + Mg_1}{Ca_2 + Mg_2}\right)^{\frac{1}{2}}$
Кукурудза/львиний зів	0,73	1,45	0,69	0,71
Хризантема/кукурудза	1,48	0,97	1,03	1,30
Левкої/кукурудза	1,53	0,89	1,13	1,63
Живокіст/львиний зів	2,09	1,45	0,69	0,83
Кукурудза (високий вміст N/низький вміст N)	1,27	0,74	1,34	1,20
Соя (високий вміст N/низький вміст N)	1,11	1,18	0,85	1,12

те, що рівняння (3), можливо, відображає кількісний зв'язок між вищезазначеними величинами. Вміст калію, кальцію і магнію у різних видів рослин, вирощених в однакових умовах, міг бути пов'язаний у більшості випадків з $\frac{КОЄ_1}{КОЄ_2}$ співвідношенням:

$$\frac{КОЄ_1}{КОЄ_2} = \left(\frac{K_2}{K_1}\right) = \left(\frac{Ca_1 + Mg_1}{Ca_2 + Mg_2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

де індекси 1 і 2 позначають різні види рослин. Дані про КОЄ коренів і вміст у рослині калію, кальцію і магнію, отримані під час роботи з великим числом цитрусових, кукурудзи та сої, які вирощують у ґрунті, показали такі нижченаведені коефіцієнти кореляції:

$$КОЄ_1/КОЄ_2 * K_2/K_1 = + 0,88;$$

$$КОЄ_1/КОЄ_2 * (Ca_1 + Mg_1 / Ca_2 + Mg_2)^{1/2} = + 0,64;$$

$$K_2/K_1 * (Ca_1 + Mg_1 / Ca_2 + Mg_2)^{1/2} = + 0,75.$$

Хоча кореляція була значною, відносини є далеко не простими і в деяких випадках мали місце відхилення від цих закономірностей. Наприклад, для рослин, вирощених у піску, спостерігалася менша кореляція зі співвідношеннями двовалентних катіонів через високий вміст у кукурудзі магнію. У деяких випадках відношення КОЄ краще корелювали з K_1/K_2 , ніж з K_2/K_1 . Ці ефекти таким чином можуть пояснити деякі явища, що спостерігалися в живленні рослин:

а) антагонізм існує в змішаних посівах, наприклад бобових і злакових трав (Люцерна з високою КОЄ коренів не витримує конкуренції за калій зі злаковими травами і бур'янами, що мають низьку кореневу КОЄ);

б) підщепа впливає на мінеральний склад листя у дерев; Наприклад, підщепа дикого лимона у цитрусових має вищу КОЄ коренів, ніж у грейпфруту. Для цієї прищепи листя і плоди на підщепі дикого лимона мають менше калію і більше магнію, ніж листя і плоди тієї ж прищепи на підщепі грейпфрута. Було встановлено, що це явище має практичне значення;

в) азот впливає в багатьох відношеннях на вміст катіонів у рослинах, а також, на КОЄ, коренів. Нині є дані, які вказують на те, що між тим і іншим існує певний зв'язок. У тих випадках, коли у рослин спостерігається нестача азоту, збільшення вмісту азоту підвищує КОЄ коренів \uparrow . За високих рівнів азоту може спостерігатися зниження КОЄ коренів \downarrow . Амонійний азот порівняно з нітратним знижував КОЄ коренів. Дослідниками показано, що збільшення концентрації азоту зазвичай було пов'язане (але не завжди) з більшим вмістом у рослинах кальцію та меншим вмістом калію (Уоллес, Кімболл, Меллер і Велч, 1999). Амонійний азот призводить до більшого зниження вмісту Ca і Mg у рослинах, ніж калій, як можна очікувати за низької КУО коренів. Фактори, які підвищують вміст органічних кислот у корінні, також, мабуть, підвищують КОЄ коренів (Джейкобсон та Ордін, 1999);

г) КОЄ коренів впливає на чутливість деяких культур до нестачі поживних елементів. Прикладом такого впливу може слугувати той факт, що рослини з високою КОЄ коренів не можуть добре рости в ґрунтах, бідних на доступний калій (Грей та ін., 1993). КОЄ коренів у межах окремих видів рослин змінювалася залежно від змін у живленні (Хуффакер і Уоллес, 2010).

За останні роки значний інтерес викликає питання про співвідношення катіонів у рослинах і мало уваги приділяється співвідношенням різних аніонів як між собою, так і з катіонами. Насправді ж існує взаємозв'язок між загальною кількістю катіонів і загальною кількістю аніонів у рослинах (Уоллес та ін., 2009). Дані, наведені в таблиці 2, запозичені з того ж джерела, вказують на відсутність у досліджених (рослин люцерни) значного взаємозв'язку між кальцієм і азотом. Повідомлялося також про достовірні обернені кореляції між кальцієм і азотом.

Таблиця 2 Приблизні коефіцієнти кореляцій між катіонами та аніонами в люцерні

Корелюючі фактори	r'	r' + стандартна* похибка
Катіони та аніони	0,84	2,62
Катіони X N	0,77	2,31
Аніони X K	0,78	2,34
N X K	0,77	2,31
Аніони X Ca	0,39	1,17
Катіони X K	0,41	1,23
Катіони X Ca	- 0,23	- 0,69
Аніони X N	0,94	2,84
Mg X P	0,70	2,10
Катіони X P	0,52	1,56
Аніони X P	0,48	1,44
Ca X N	- 0.36	- 1,08

N X P	0,72		2,16
-------	------	--	------

* Величина більше 2 вважається доказом наявності кореляцій.

У літературі є також повідомлення про вплив азоту на співвідношення Ca/K у багатьох культурних рослин. Співвідношення, обчислені на підставі даних Паркера і Труога, дали коефіцієнти +0,882 для Ca X N; + 0,182 для K X N; +0,585 для Mg X N і +0,844 для Ca+K+Mg (мекв.) X N. Недостовірною була тільки кореляція між K X N. Кальцій в такій же мірі корелював з азотом, як і сума всіх трьох катіонів. Зворотна залежність між кальцієм і азотом, засвоєними після внесення одного з добрив, спостерігається частіше, ніж пряма залежність. В одному з пізніших досліджень було доведено як позитивний, так і негативний вплив N на співвідношення Ca/K. Безсумнівно, що дія може бути різною залежно від того, чи є NO_3^- або NH_4^+ основним джерелом доступного азоту. Дуже можливо, що значна частка впливу може бути пов'язана з впливом азоту за тих чи інших умов на КОЄ коренів, яка може або збільшуватися, або знижуватися. Згідно з даними, повідомленими Уоллесом, великі дози азотних добрив для апельсинових дерев знижували вміст калію і збільшували вміст кальцію в листі, що узгоджується зі збільшенням КОЄ коренів. Загальна концентрація катіонів в рослині може залежати від загального вмісту катіонів в живильному середовищі.

Коефіцієнт кореляції між сумою обмінних основ поверхневого шару ґрунту глибиною 15 см, з якого в польових умовах отримали 31 зразок люцерни, і сумою мілієвівалентів катіонів у рослинах люцерни з цих ґрунтів був + 0,64, тобто кореляція була строго доведена (Уоллес, 2009). Це вказує на те, що на насичених ґрунтах з високим вмістом поглинених основ можна отримувати е. кореляція була строго доведена (Уоллес, 2009). Це вказує на те, що на насичених ґрунтах з високим вмістом поглинених основ можна отримувати люцерну з високим вмістом катіонів. Таке ж явище спостерігалось при вирощуванні люцерни в піщаних культурах з різними концентраціями поживних речовин.

Існувала позитивна і істотна кореляція ($r = +0,60$) між сумами міліеквівалентів катіонів і аніонів для згаданих вище зразків люцерни, вирощених в полі, навіть якщо співвідношення між визначеними катіонами і аніонами змінювалося від 0,38 до 0,73. Зазвичай вважається, що низький рН живильного середовища сприяє поглинанню аніонів (N, P, S) і що високий рН сприяє поглинанню катіонів (K, Ca, Mg, Na). Цей фактор, мабуть, впливає на співвідношення між катіонами та аніонами як у піску, так і в ґрунті. Коефіцієнт кореляції між рН поверхневого шару ґрунту глибиною 15 см і співвідношенням між катіонами та аніонами для 31 зразка люцерни був достовірним, але становив лише +0,44. Величини рН ґрунту змінювалися в інтервалі від 5,2 до 7,8.

Велике значення в живленні рослин надається співвідношенню Ca/K. Деякі дослідники вважають, що кількості окремих елементів мають набагато більше значення, ніж їх співвідношення (Гудолл і Грегорі, 1997). Були обчислені для 31 зразка коефіцієнти кореляції між співвідношеннями обмінних катіонів у ґрунтах і співвідношеннями тих же катіонів у рослинах, вирощених у полі на цих ґрунтах (Уоллес, 1999). Вміст калію та кальцію в ґрунті корелював значною мірою з вмістом цих елементів у рослинах ($r = +0,66$ і $+0,61$ відповідно), але між кількістю магнію ґрунту і магнію у рослинах кореляції не спостерігалось ($r = +0,08$). Однак внесення розчинного магнію значно збільшувало його вміст у люцерні.

Між калієм ґрунту і кальцієм рослини спостерігалася обернена кореляція ($r = -0,87$); цей коефіцієнт був найвищим з усіх отриманих. кальцій ґрунту перебував в оберненій кореляції з калієм у рослинах ($r = -0,52$). Співвідношення Ca/K в ґрунті впливало на вміст калію ($r = -0,80$) і кальцію в рослинах ($r = +0,79$) більшою мірою, ніж абсолютна величина кожного з цих елементів на його вміст в рослинах. Це означає, що на ґрунті з відносно низьким вмістом обмінного калію люцерна часто містить відносно високий (кількість калію, якщо вміст обмінного кальцію був дуже низьким. Подібним чином високий вміст обмінного калію у ґрунті іноді призводив до зниження

кількості калію у люцерні, з огляду на те, що вміст кальцію у ґрунті був також високим.

Питаннями взаємодії між магнієм і фосфором в нашій лабораторії займалися порівняно мало (Ашкрофт, 2007). Досліди проводилися в піщаних культурах, катіони і аніони давалися в поглиненому стані на іонообмінних смолах. Дані, отримані в роботах з диким лимоном, авокадо, ячменем і кушовою квасолею, не показали, що збільшення вмісту магнію в середовищі призводить до збільшення в рослинах вмісту фосфору, хоча це відзначалося у деяких культур з низькою потребою в магнію, але тільки при високому рівні фосфору.

У більш широких дослідженнях з використанням іонообмінних смол вивчалася проблема взаємодії високих і низьких рівнів катіонів відповідно з високим і низьким рівнями аніонів (Уелч та ін., 2009). Взаємодія різних рівнів адсорбованих катіонів і адсорбованих аніонів NO_3^- вивчалася в вегетаційних дослідах. Застосовувалася схема з трьома рівнями катіонів і трьома рівнями азоту. Калію, магній та кальцій вносили в одному і тому ж співвідношенні при всіх трьох рівнях азоту, а вміст P і S був у всіх випадках незмінним. Послідовно були проведені посадки живців лимона, посів вівса і вівса з редисом разом. Дві останні культури висівали спільно у зв'язку з різною КОЄ їх коренів. Виявилось, що адсорбовані іони є прекрасним джерелом живлення для рослин. Були підраховані співвідношення для всіх поживних елементів, поглинених рослинами. Урожаї у другого і третього посівів рослин обмежувалися нестачею як азоту, так і катіонів металів. Катіоном, що обмежував урожай, виявився калій. Поглинання кальцію і магнію затримувалося в міру збільшення кількості в середовищі катіонів внаслідок збільшення поглинання калію.

Вміст катіонів в мілі- еквівалентних дозах на 100 г сухої ваги рослин збільшувався зі збільшенням вмісту катіонів в середовищі для двох посівів вівса, але був більш постійним для рослин лимона і редису. Збільшення вмісту азоту в середовищі призводило до збільшення його поглинання та

загальної кількості аніонів рослинами, але затримувало поглинання фосфору та сірки. Кількість адсорбованого азоту, мабуть, не впливала на загальний вміст катіонів у лимоні та редисі, але відзначався великий вплив на їх вміст вівса, особливо при першому посіві. Рівень катіонів у середовищі, мабуть, не впливав на вміст азоту або на суму міл-ієквівалентів аніонів у рослинах, крім відмінностей, викликаних змінами в урожаєх. Співвідношення між катіонами та аніонами в рослинах були набагато меншими, ніж у живильному середовищі. Збільшення азоту в середовищі мало тенденцію підвищувати вміст калію та магнію в живцях лимона і в рослинах вівса в тих випадках, коли постачання катіонами було високим. Коли рівень катіонів був низьким для рослин вівса і на всіх рівнях катіонів для редису, збільшення вмісту азоту в рослині мало тенденцію знижувати вміст калію. Останній ефект частково пов'язаний з нестачею калію при низьких рівнях катіонів і зі збільшенням врожаю завдяки підвищеним дозам азоту.

Можна зробити висновок, що отримані результати з обмінними смолами спостерігається менший вплив катіонів на аніони і навпаки, ніж це мало місце в дослідях з солями. Заслуговують на увагу співвідношення між калієм та азотом у люцерни, вирощуваної в польових умовах при значних коливаннях кількості доступного калію. Збільшення вмісту калію, впливало на зменшення вмісту азоту і, отже, на вміст білка в вегетативній масі. Деякі найбільш важливі дані представлені в таблиці 3.

Таблиця 3 Вплив доз калійних добрив на врожай і мінеральний склад люцерни

Показники	Дози K ₂ O, кг/га протягом року			
	0	67	134	202
Урожай сіна, кг/га	5520	7930	8849	9600
Вміст K в сухій речовині сіна, %	0,50	0,76	1,11	1,41

Вміст N в сухій речовині сіна, %	3,18	3,01	2,85	2,74
Вміст Cl в сухій речовині сіна, %	0,07	0,21	0,32	0,50
Відсотковий вміст N в коренях	1,67	1,79	2,10	2,49
Сума катіонів в сіні*, мекв/100 г	140	130	129	125
Частка листя в надземній масі, %	58,1	52,0	48,7	45,6
Частка N від суми мекв аніонів, %	85,8	83,6	82,2	79,8
Частка Cl від суми мекв аніонів, %	0,8	2,6	4,1	6,4
Частка N + Cl від суми мекв аніонів, %	86,6	86,2	86,3	86,2

* З катіонів рослинами зазвичай поглинаються: калій (K), кальцій (Ca), магній (Mg) і натрій (Na); з аніонів: нітрати (NO₃); фосфати (H₂PO₄), сульфати (SO₄) і хлориди (Cl).

Застосування розрахунків в еквівалентах дозволяє порівнювати ці елементи на єдиній основі відповідно до їх здатності вступати в сполуки. Сума катіонів і аніонів в люцерні, як правило, буває постійною; так само як і співвідношення між ними. Зазвичай вміст катіонів і аніонів виражається в міліеквівалентах (мекв) на 100 г сухої речовини. Джерелом хлору служили калійні добрива, хлор мав тенденцію бути слабким антагоністом для азоту. Можна внести поправку в процентний вміст азоту для обліку його антагонізму з хлором. Водночас відмічається, що листя містили значну кількість азоту. Рослини з низьким вмістом калію, були невеликими за розміром, мали вищий відсоток листів, ніж рослини з високим вмістом калію.

Таблиця 4 Вплив різних факторів на зміни вмісту азоту в сіні люцерни, вирощеної при різних дозах калію

Факторы	Доза K ₂ O, кг/га за рік				Максимальне відхилення в вмісті загального азоту, %
	0	67	134	202	

	Дійсний вміст азоту, %				0,44
		3,18	3,01	2,85	
Кількість утворених вуглеводів однакова*	Розрахований на основі вимірювань відсоток азоту				0,15
Поглинання хлоридів відсутнє	2,75	2,89	2,76	2,74	0,27
	3,21	3,09	2,98	2,94	
Розподіл азоту між надземною масою і корінням однаковий**	3,18	3,32	3,44	3,55	0,37
	Середнє від ймовірних величин				0,05
	3,05	3,10	3,06	3,08	

* Обчислено шляхом використання різниць у сумі мілі-еквівалентів катіонів як показника їх розведення вуглеводами.

** Цей фактор також компенсує різницю у відсотковому вмісті листя.

Це означає, що в рослини з низьким з вмістом калію надходила набагато більша кількість азоту (у відсотковому відношенні) з коренів, ніж у рослини з високим вмістом калію. Можна зробити поправку для азоту в сіні у зв'язку з неоднаковим розподілом його між коренями і надземною масою, якщо вважати, що зміна сум катіонів при чотирьох рівнях калію викликається різним розведенням мінеральних речовин вуглеводами в рослинах з різним вмістом калію. Мабуть, згадані фактори, дійсно, можуть викликати відмінності в вмісті азоту в люцерні.

Вивчення складу листя дерева апельсина за сезонами показало, що листя, яке розвинулось в різну пору року, містило різні, але характерні кількості калію, кальцію і магнію протягом усього часу, поки воно ще перебувало на дереві (Камерон та ін., 1992). Досліди з вивчення впливу різної

температури ґрунту на ячмінь і сою показали таку ж тенденцію в зміні співвідношень Ca+Mg/K в межах температур 12-22°, як і для листя цитрусових, які починали з'являтися в той час, коли ґрунт був теплим, співвідношення були зворотними, коли ґрунт був холодним. Деякі з цих даних наведено в Таблиці 5. Водночас, вважалось, що на результати не впливали відмінності в транспірації та вологості ґрунту.

Таблиця 5 Вміст катіонів та їх співвідношення для цілих рослин ячменю та сої, вирощених при різних температурах ґрунту

Температура ґрунту, °С	Калій, мкв/100 г сухої ваги		Кальцій, МЕКВ/1С0 г сухої ваги		Ca +Mg/ K	
	ячмінь	соя	ячмінь	соя	ячмінь	соя
12	46	38	107	132	2,8	6,3
22	58	48	69	115	1,5	4,6
32	53	55	139	101	3,0	3,5

Безсумнівно, що одні види рослин можуть поглинати калій легше, ніж інші. У зв'язку з цим виникає питання, чи потребують такі види більшої кількості калію, ніж вони накопичують. В одному з невеликих досліджень, присвячених цьому питанню, було встановлено, що рослини кущової квасолі досягали максимального розміру, коли вміст калію у зовнішньому розчині був 0,0001 М, а кукурудза досягала максимального розміру, тільки коли вміст калію у живильному розчині досягав 0,005 М. Відповідно вміст калію у цих двох видів при двох рівнях питання становив (у % від сухої ваги) 1,9 і 1,4 при 10^{-4} М і 3,0 і 4,9 при 5×10^{-3} М. На підставі цього досвіду можна, мабуть, зробити висновок, що кукурудза потребує більшої кількості калію.

У питанні про критичні рівні немає достатньої ясності. Великі відмінності в критичних рівнях для К у люцерни, вирощуваної в польових умовах, у порівнянні з люцерною в піщаних культурах є одним з характерних

прикладів, на який вказував Уоллес (2002). Люцерна, що вирощується у водних і піщаних культурах, як правило, містить набагато більше катіонів і аніонів, ніж люцерна того ж віку в польових умовах, що вказує на зв'язок деяких змін у критичному рівні з концентрацією поживних елементів у середовищі. Це підтвердилося в дослідях з люцерною, яку вирощували в розчинах з різною концентрацією поживних речовин, але з постійними співвідношеннями солей.

Середня сума мілі-еквівалентів катіонів у люцерни з польової ділянки в штаті Нью-Джерсі дорівнювала 141, а середня сума міліеквівалентів аніонів - 255. Ці величини відповідають тим, які були отримані для люцерни, вирощеної в живильних розчинах низької концентрації. Люцерна в другому випадку мала нижчу врожайність, ніж при вирощуванні в концентрованих розчинах. Максимальний розмір рослин, отриманих в піщаних культурах, був набагато більший, ніж у середніх рослин в польових умовах. Тому можна припустити, що більша частина рослин, що ростуть в полі, страждає від загального нестачі всіх поживних елементів. Рослини, вирощені в розчині, що містить 0,01 еквівалента поживних елементів на 1 л, утворили на 32,5% менше сухої речовини надземної маси, ніж рослини люцерни, вирощені при оптимальній концентрації розчину, що дорівнює 0,02 еквівалента на 1 л, а рослини, вирощені при 0,0016 еквівалента на 1 л розчину, дали зниження врожаю на 63,0%.

Відповідно до цього, більш висока концентрація солей ґрунтового розчину родючих ґрунтів забезпечує більш високі врожаї, ніж на бідних ґрунтах, що мають низьку концентрацію солей (Скофілд, 2021, Стюард, 2019).

Цей фактор «інтенсивності» живлення, можливо, також частково впливає на відомі коливання критичних рівнів різних поживних елементів. Хорошою ілюстрацією цього може служити люцерна. При вирощуванні люцерни в піщаних культурах її врожаї збільшуються разом з підвищенням в рослинах вмісту калію аж до 3% (Уоллес. і Бер, 2009), тоді як в польових

умовах Люцерна не реагувала на К, якщо його вміст у рослині коливався в межах від 1,0 до 1,5% (Бер і Прінс, 1986); Безсумнівно, в полі спостерігається дія більшої кількості факторів, що обмежують ріст рослин, ніж у піщаних культурах.

У 2019 р. була запропонована гіпотетична крива врожаю для різних рівнів калію, кальцію і магнію, якими забезпечувалися рослини (Уоллес, 2019). Ця крива представлена на рисунку 3.

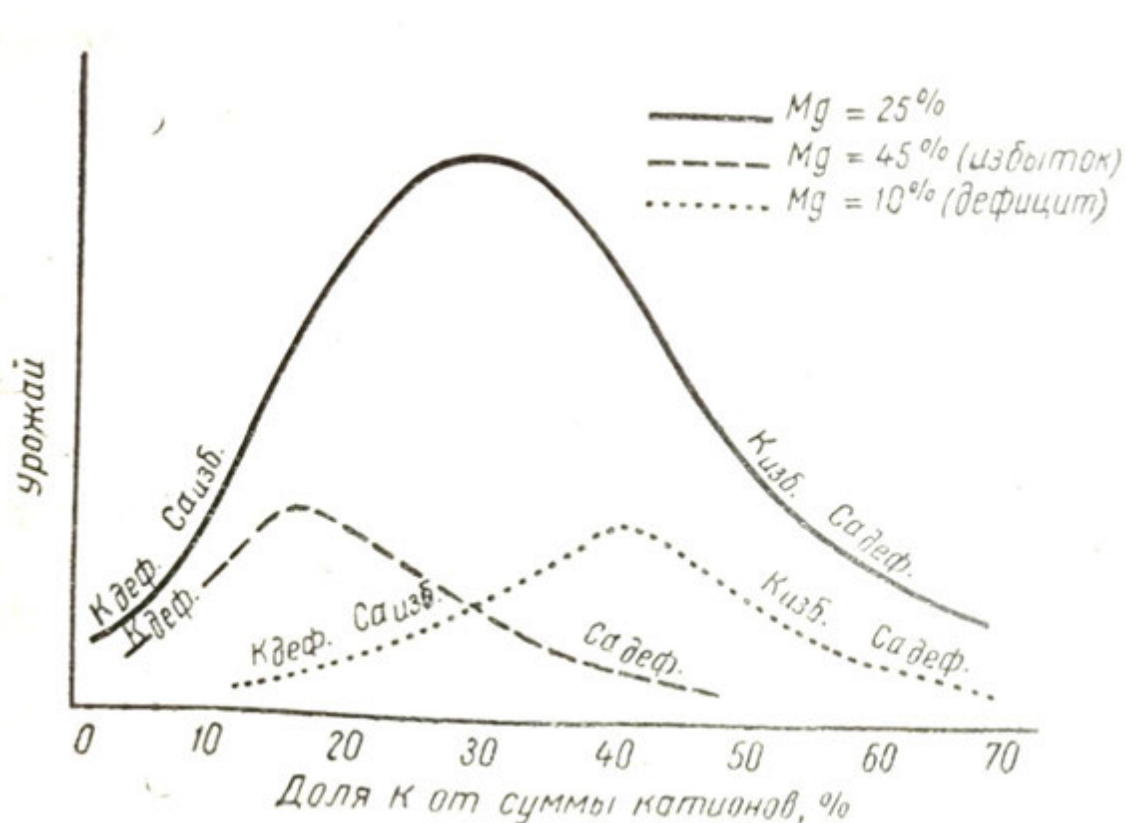
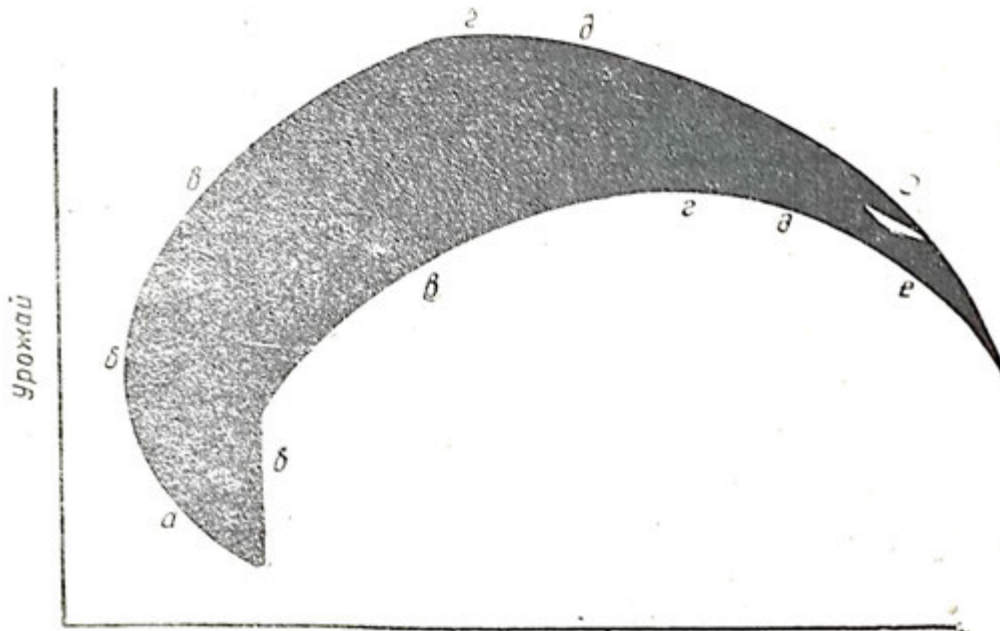


Рис. 3. Зсув критичного рівня калію нижче або вище норми в залежності від концентрацій магнію і кальцію (Уоллес, 2019).

З того часу робилися неодноразові спроби підтвердити її правильність. Були вказані навіть більш складні взаємовідносини, проте спостерігалися певні зрушення критичних рівнів і криву можна вважати правильною принаймні частково. Шуффелен (приватне повідомлення, 1992) вважає, що калій пригнічує поглинання магнію у набагато більшій мірі, ніж магній

пригнічує поглинання калію. Такі взаємозв'язки заслуговують на обговорення.



Елемент у живленні рослини, %

Рисунок 4 - Гіпотетична крива врожаю: а - ефект Стеенберга; б - мінімальне процентне співвідношення; в - рівень при стані, близькому до нестачі; г - критичний рівень; д - рівне споживання; е - токсичність.

Грунтуючись на результатах інших дослідників, Сміт (1982) склав криву критичних рівнів врожаїв, що має в основному всі характеристики для пояснення результатів, крім одного. Цим єдиним фактором є майже завжди спостережувана мінливість критичного або оптимального рівня, і точна крива врожаю повинна включати це положення. Тому на кривій повинні вказуватися діапазони можливих відхилень кожного окремого результату. Ці зсуви критичних рівнів показані на рисунку 4. Боулд (1982) вважає, що критичний рівень залишається вірним тільки в тих випадках, коли всі інші поживні елементи, крім одного (який досліджується), знаходяться на оптимальних рівнях.

Були проведені лабораторні дослідження з використанням N^{15} для вивчення поглинання NO_3^- в порівнянні з NH_4^+ підвоями дикого лимона (Уоллес і Меллер, 1997). З таблиці 6 можна побачити, що в міру того як відношення між нітратами і аміаком збільшується, з'являється тенденція до зниження поглинання азоту в результаті більш інтенсивного (в порівнянні з нітратами) поглинання аміаку. В середньому для всіх варіантів відношення поглинання аміаку до нітратів - становило 1,84.

Таблиця 6 Вплив трьох різних факторів на поглинання нітратного амонійного азоту підвоями дикого лимона

фактори, що впливають на поглинання	Поглинання азоту, % сухої ваги			Співвідношення між поглинутими NO_3 і NH
	нітратний азот	амонійний азот	загальний азот	
Співвідношення				
$NO_3 : NH_4$ в живильному середовищі:				
20 : 80	0,025	0,101	0,126	20:80
50 : 50	0,038	0,077	0,115	33:67
80 : 20	0,59	0,047	0,106	56: 44
Величина F (критерій Фішера)		33,4*		Не доведено
Рівень достовірності (0,05)		0,013		-
Фон живлення до	0,052	0,078	0,130	40 : 60

експерименту: без

N				
нітратний азот				
	0,046	0,098	0.144	32 : 68
NNO_3				
амонійний азот				
	0,024	0,047	0,071	33 : 67
NNH_4				
Величина F	31,6*			34,0*
Рівень				
достовірності	0,013			0,019
(0,05)				
pH: 3,5	0,040	0,064	0,104	38:62
5,5	0,045	0,075	0,120	38:62
8,0	0,036	0,086	0,122	30:70
Величина F	18,00*			Не доведено
Рівень				
достовірності	0,013			-
(0,05)				

* За даними Уоллеса і Мьоллера, 1997

Існує думка, що поглинання амонію знижується при низькому рН, а поглинання нітратів — при високому рН (Горінг, 2000; Хьюїтт, 2005). Останні результати показали, що ця закономірність була відсутня, коли постачання тієї чи іншої форми азоту було низьким. Вплив рН на поглинання амонійного або нітратного азоту не відбувався при концентрації кожного з них у 2 мекв/л. При концентраціях в 8 мекв/л поглинання нітратів мало тенденцію до зниження зі збільшенням рН, в той час як поглинання амонію в цьому випадку збільшувалося. Літературні дані можуть бути правильними тільки для порівняно високих дозувань. Спостережувана Вейсманом (2012) залежність поглинання нітратів від рН, що проявлялася тільки в присутності

амонійного азоту, також, можливо, була пов'язана з концентрацією. Те, що амоній зазвичай поглинається майже в 2 рази швидше, ніж нітрати, спостерігалось і раніше для таких же рослин. Навпаки, при низькому рН іноді збільшувалося поглинання нітратів, і оскільки H^+ має тенденцію бути антагоністом HN_4^+ , то співвідношення 2:1 між аміаком і нітратами в цих умовах іноді не зберігається.

1.2 Вплив концентрації металів на поглинання рослинами поживних речовин з розчинів

У цьому повідомленні обговорюється тільки одне питання — вплив концентрації поживних солей на їх поглинання або накопичення в рослинах. Як і в інших роботах цієї серії, термін «поглинання» (uptake) означає загальну кількість поглинених поживних речовин за вирахуванням того, що видаляється промиванням і за допомогою обміну з вільного простору*.

Більшість ранніх робіт про вплив концентрації на поглинання солей рослинами стосувалися тривалих впливів з врівноваженими розчинами солей, при яких спостерігалися лише незначні ефекти. Один з авторів даного повідомлення (Уоллес, 1952) мав можливість спостерігати під час одного зі своїх експериментів, як ріст, водний режим і співвідношення поглинених іонів змінювалися залежно від концентрації солей у поживному розчині. За останні 15-20 років у всьому світі було проведено величезну кількість експериментів, в яких визначалося поглинання іонів або солей при різних концентраціях. Однак майже не робилося спроб провести аналіз отриманих результатів, що частково пояснюється їх безсумнівною складністю. Якщо розчинені речовини *надходять* в клітини (influx) і *відтікають* з клітини (efflux) одночасно, то вплив концентрації на *чисте надходження* (net flux) неодмінно буде ускладненим.

Олсен (1990) відзначав, що швидкість поглинання будь-якого іона не залежить від концентрації цих іонів нижче 0,003 мекв/л. Якщо змінюються співвідношення різних іонів у зовнішньому розчині, то зазвичай змінюються

також і співвідношення цих іонів, поглинених рослиною. Олсен встановив, що кількості окремих іонів, поглинених зі складного живильного розчину, значною мірою визначаються не стільки їхньою абсолютною концентрацією, скільки співвідношеннями між цими іонами в живильному розчині. Епштейн (1996) показав, що співвідношення між концентрацією іону в розчині і розмірами його поглинання слідує ізотермі Лангмюра. При нанесенні на трафік обернених величин цих змінних; користуючись методом Лайнуівера і Берка (1994), можна отримати прямі лінії.

*** У всіх дослідях, наведених у цій роботі, при визначенні кількості іонів, засвоєних рослинами, коріння перед аналізом відмивали для видалення всіх іонів і вільного простору.**

У дослідях з дисками дорослої картоплі Уоллес і Джефферіс (1992) спостерігали, що поглинання хелату заліза, етилендіамінди (орто-гідроксифенілацетату) (ЕДДГА), змінювалося залежно від концентрації (с) за рівнянням:

$$\text{Поглинання} = c^{\ln 2}, \quad (1)$$

Коли поглинання вимірювали в мікромолях на зразок і концентрацію в молях на 1 л, то рівняння приймало форму:

$$\text{Поглинання} = 2,105 \times 10^4 c^{\ln 2}, \quad (2)$$

Поглинання наноситься на графік у вигляді прямої лінії відносно $c^{\ln 2}$ (яке є також $2^{\ln c}$ в межах концентрації від 10^{-3} до 10^{-6} М). Це вираження було знайдено емпірично шляхом випробування великої кількості виразів, які могли підходити до цих даних. Цікавим є прогноз на основі цього рівняння, що при 10-кратному збільшенні зовнішньої концентрації поглинання збільшується в 4,93 рази. Середня величина, рівна 4,93, була отримана на основі рівняння регресії поглинання заліза картопляними дисками. Близька

до цієї величина була отримана також для поглинання марганцю кущовою квасолею.

У 1995 р. Хігінботем і Хансон повідомили, що рівноважна величина для поглинання Rb відповідає рівнянню у формі ізотерми поглинання Фрейндліха:

$$Y = kc^n, \quad (3)$$

де Y - поглинена кількість, c - зовнішня концентрація і k і n - константи. Це рівняння точно відповідає за формою рівнянням (1) і (2), за винятком констант у рівнянні (2). Епштейн (1996) вважає, що дуже важко виразити в одному рівнянні співвідношення між зовнішньою концентрацією іона і його накопиченням в рослині. Саткліфф (1992) вказує, що залежність поглинання від зовнішньої концентрації солі часто (але не завжди) виражається гіперболічною кривою. Можливі відхилення від цього гіперболічного співвідношення, і вони можуть бути пояснені. Рівняння (1), (2) і (3) гіперболічні.

В одній з недавніх робіт нашої лабораторії повідомляється про поглинання калію і HCO_3^- (рослинами квасолі з розчинів різної концентрації $\text{K}_4\text{H}_2\text{C}_6\text{O}_7$ (Хуффакер та ін., 1990). Ці дані, перераховані на основі рівняння (1), представлені в таблиці 7. Згідно з рівнянням (1), 10-кратне зменшення зовнішньої концентрації солей призводить до зменшення поглинання елементів в 4,93 рази. Використовуючи це рівняння, були обчислені теоретичні величини у відсотках до найвищої зовнішньої концентрації, яка була прийнята за 100%. Фактичні величини, також обчислені у відсотках від найвищої зовнішньої концентрації, досить добре узгоджуються з теоретичними величинами як для K, так і для HCO_3^- , особливо при більш високих концентраціях.

1.3 Висновки за розділом

Взаємодія між катіонами та аніонами відіграє велику роль у мінеральному живленні рослин. Рівновага між позитивно та негативно зарядженими іонами і прості явища антагонізму між іонами однакового заряду пояснюють багато явищ. Однак процес поглинання мінеральних солей є більш складним і залежить від таких факторів:

1. Постійність суми еквівалентів катіонів у рослинах;
2. Співвідношення в поглинанні мінеральних катіонів і мінеральних аніонів; вплив другорядних іонів;
3. Вплив КОЄ коренів на співвідношення кальцію і калію у рослинах; взаємодія між катіонами і азотом;
4. Взаємодія між магнієм і фосфором;
5. Рівні кальцію і калію в ґрунті в порівнянні з їх рівнями в рослинах; доступність мінеральних іонів з іонообмінних смол; вплив температури ґрунту на співвідношення катіонів.

Всі ці фактори, а також співвідношення між амонійним і нітратним азотом в живильному розчині є причиною зсувів критичних рівнів.

РОЗДІЛ 2. ОТРИМАННЯ МЕТАЛЕВИХ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ РОСЛИННИЦТВА ЕЛЕКТРОІСКРОВИМ ДИСПЕРГУВАННЯМ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Методика отримання металевих мікроелементів у колоїдній формі

Матеріали і методи. Для отримання відповідної препаративної форми наноматеріалів та забезпечення тривалої хіміко-біологічної активності препаратів використовували спосіб електроерозійного диспергування струмопровідних матеріалів.

Застосування генераторів розрядних імпульсів (ГРІ) для синтезу наночастинок металів дозволяє в короткі проміжки часу отримувати низькотемпературну плазму в каналі розряду, що забезпечує ефективну ерозію матеріалу анода. Відмінною особливістю методу об'ємного електроіскрового диспергування, є наявність струмопровідного шару гранул, розташованих між основними електродами. Процес відбувається в реакційній камері, заповненій слабопровідною рідиною, у нашому випадку - деіонізованою водою. При здійсненні подачі напруги на основні електроди викликає проходження струму по ланцюгу вільно покладених гранул в режимі стохастичною комутації. У наших дослідженнях використовували низькі напруги (до 100 В) і малі міжелектродні проміжки, що дозволяло забезпечувати режими, коли до 85% всієї накопиченої енергії на конденсаторі йде на локальний розігрів поверхонь контактуючих гранул. Для підвищення продуктивності іскроерозійного диспергування замість одного контактного проміжку використовується шар струмопровідних гранул металу з максимальними розмірами у поперечнику (5-10 мм).

Використовуючи тиристорний генератор з ємнісним накопичувачем енергії формували розрядні імпульси, амплітуда напруги яких регулювалась в межах 40 – 100 В, а струму – від 30 до 500 А (Рис.1).

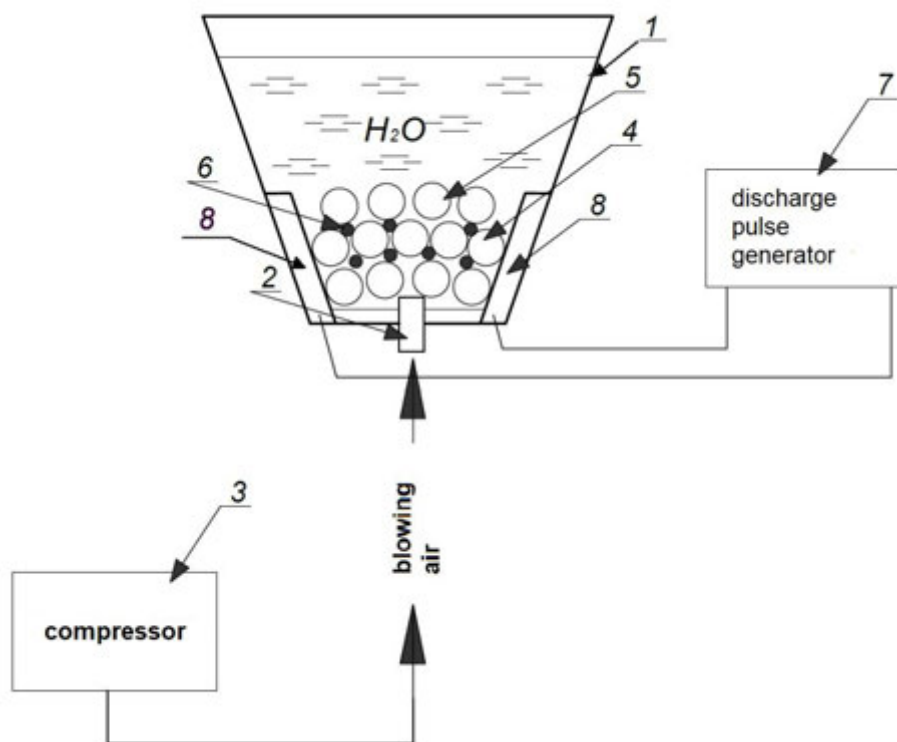


Рисунок... Схема технологічної установки для отримання наночастинок металів

Таким чином, запропонований спосіб забезпечує високі значення температури в локальних зонах утворення плазмового каналу (від 10000 до 14000 °С), що достатньо для плавлення та випаровування бідь якого металу та сплаву.

Система занурених у діелектричну рідину металевих гранул і плазмових каналів та омичних контактів між ними є складним електротехнічним навантаженням, що має суттєвий нелінійний характер та суттєві параметричні залежності від ряду технологічних факторів: частоти розрядних імпульсів, швидкості протоки та температури робочої рідини [5, 6, 7]. Крім того, фізична природа виникнення іскрових розрядів у шарі струмопровідних гранул обумовлює стохастичну міграцію плазмових каналів

по поверхні гранул та перемикання шляхів протікання струму на сусідні пари гранул. Миттєві значення еквівалентного електричного опору такого середовища змінюються у межах: від 0,05 до 100 Ом [8,9].

Іскрові розряди в рідині між металевими гранулами викликають електричні вибухи, внаслідок чого утворюється значний гідродинамічний тиск (10^4 - 10^6 МПа), під дією якого відбувається евакуація рідкого та газоподібного металу з міжелектродного проміжку та з поверхні електродів. В результаті цих процесів утворюються полідисперсні колоїдні системи відповідних металів.

Параметри розрядного ланцюга змінювали в таких межах: ємність робочого конденсатора $C = 25 \div 200$ мкФ, напруга заряду конденсатора $U_z = 50 \div 100$ В, індуктивність розрядного контуру L не перевищувала 1мкГн. Процес диспергування проводили у розрядній камері, яку заповнювали деіонізованою водою (рис.....). Весь технологічний процес здійснювали на технологічному комплексі, у склад якого входили контролюючі та реєструючі прилади.



Рисунок.. Технологічний комплекс для отримання наночастинок металів

1 – генератор розрядних імпульсів;

2 – розрядні камери;

3 – реєструючі пристрої.

2.2 Оптимізація електрофізичних параметрів електроіскрової обробки гранул молібдену

Враховували, що молібден є тугоплавким металом (2620°C) з невисокою теплоємністю ($244 \text{ Дж/кг}\cdot\text{град}$) та питомим електричним опором R ($0,054 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$). Відповідно, теплофізичні параметри та умови електроіскрової обробки для молібдену будуть передбачати значення по напрузі зарядки конденсатору більше $50\text{-}80 \text{ В}$, враховуючи високий питомий опір молібдену. Тривалість розрядних імпульсів варіювали у діапазоні $50\text{-}100 \text{ мксек}$.

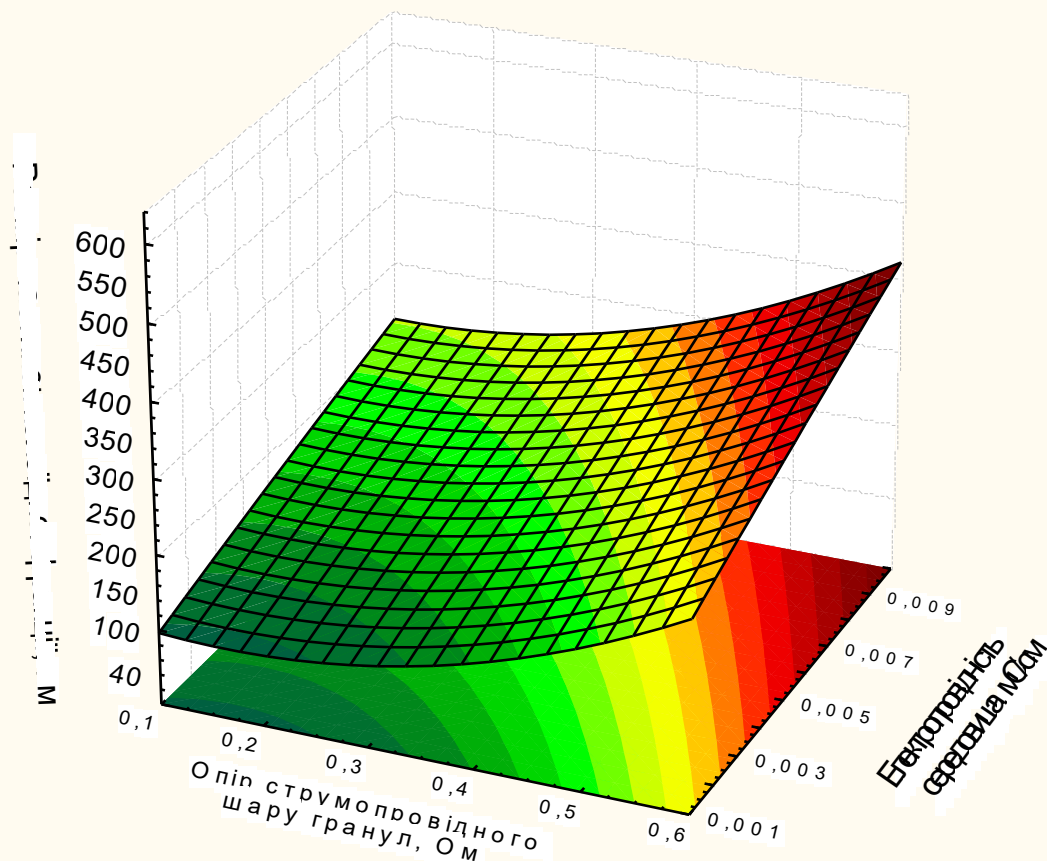


Рисунок Вплив опору струмопровідного шару та електропровідності води на дисперсність колоїдної фракції молібдену

Критерієм оптимізації був середній розмір частинок колоїдної фракції (наночастинок молібдену). Час обробки складав не менше 3 хв. на один літр дистильованої води. В результаті електроіскрової обробки отримували колоїдну форму молібдену із нативною концентрацією розчину 250-300 мг/л.

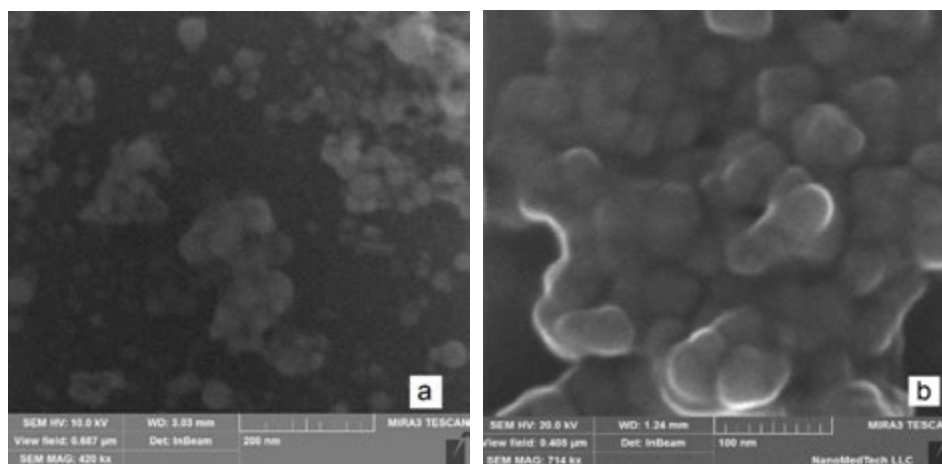
2.3 Методи електронної мікроскопії

Отримані препарати наночастинок металів (Zn, Fe, Mn, Cu, Mo) досліджували методами рентгеноструктурного аналізу, растрової та просвічуючої електронної мікроскопії.

Фізико-хімічні методи дослідження, кількісний та якісний аналізи отриманих водних дисперсій та самих частинок дають уявлення про їх

структуру та властивості. У нашому дослідженні для аналізу морфологічних властивостей наночастинок використовувалися електронна сканувальна мікроскопія (SEM), трансмісійна електронна мікроскопія (ТЕМ), рентгеноструктурний аналіз, електрокінетичний потенціал (ζ -потенціал). Властивості наночастинок в експериментальних колоїдних розчинах, отриманих методом іскрової ерозії гранул заліза, срібла та магнію, докладно описані в таблиці та на рисунках 3, 4 та 5 відповідно. На основі інтенсивності піків дифракційної картини можна зробити висновок, що досліджувані колоїдні розчини наночастинок заліза та магнію складаються з металів та металевих оксидів з масовою часткою до 70% та розміром наночастинок від 30 нм (залізо) до 60 нм (магній).

Морфологію синтезованих наночастинок металів вивчали за допомогою скануючої та просвічуючої мікроскопії. Для виділення дисперсної фази (наночастинок) із дисперсійного середовища, використовували фізичні методи. Враховували, що речовина у дисперсному стані, в силу фізичних причин схильна до консолідації, що не дозволяє перебувати наночастинкам в строго ізольованому стані. Трансмісійна електронна мікроскопія високої роздільної здатності, вказує, що наночастинки практично усіх досліджених металів при лінійних розмірах від 5 до 10 нм переважно мають сферичну форму. Але для усіх виявлених діапазонів (5 - 100 нм) наночастинок металів, більшість з них набувають ознаки 3D наноматеріалів за міжнародною класифікацією.



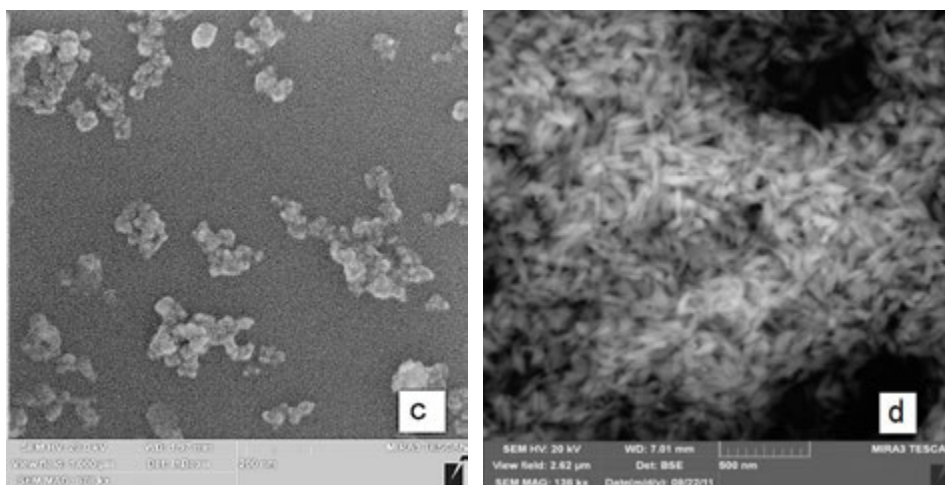


Рисунок... Скануюча електронна мікроскопія (SEM) наночастинок цинку (а), заліза (б), молібдену (с), міді (д)

Наночастинки міді при розмірах у повздожньому напрямі від 100 нм та 30-50 нм у поперечному, формуються у вигляді витягнутих зерен з гострими кінцівками (рис....), що вірогідно пов'язано із специфічно високою теплопровідністю міді, оскільки формування стовбастих кристалів наночастинок реалізується як механізм кристалізації твердої фази.

Наночастинки металів залізної групи, зокрема заліза та марганцю, імовірно в силу схожих теплофізичних характеристик, мають схожу морфологію дисперсної фази в різних розмірних діапазонах та утворюють кристалоподібні частинки правильної форми в розмірному діапазоні від 20 до 50 нм (рис...).

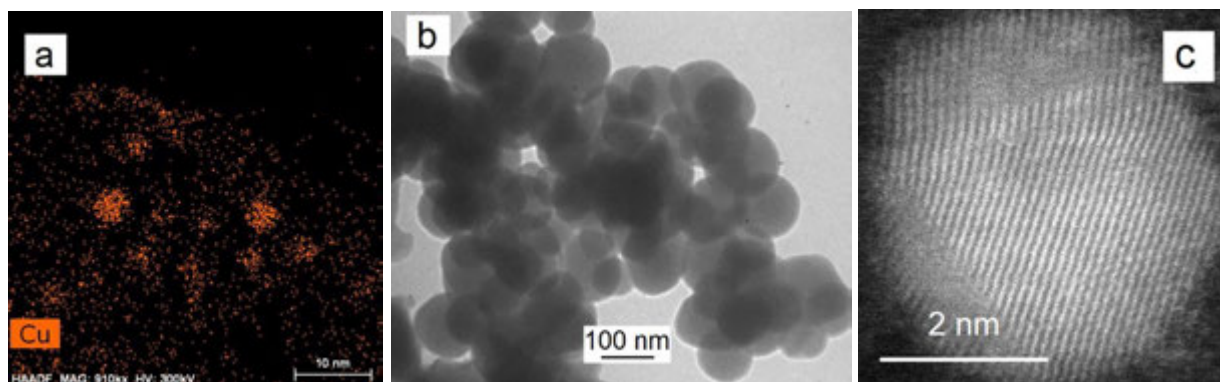


Рисунок.... Трансмісійна електронна мікроскопія (ТЕМ) частинок міді (а,с), заліза (б)

Нанорозмірна мідь, при розмірах частинок від 5 до 10 нм, як і більшість інших металів наближається до правильної сферичної форми. Разом з тим, внутрішня будова нанорозмірних частинок, отриманих методом електроіскрового диспергування, а саме в умовах швидкої конденсації пароподібного стану металу може бути радикально відмінною. Відсутність безперервної трансляційної симетрії кристалічної ґратки характерно тільки для частинок металів, розмір яких не перевищує 10-20 нм.

Для наночастинок металів, розміри яких відповідають діапазону 30-100 нм, наприклад частинки заліза, цинку, марганцю або міді внутрішня будова переважно полікристалічна, а у деяких випадках монокристалічна (рис...). Зовнішні морфологічні ознаки наночастинок укладаються у загальні закономірності утворення іскроерозійної нанорозмірної фракції. Так, на поверхні частинок металів із розмірами більше 30 нм утворюється оксидна плівка, товщиною 5-10 нм.

Вплив наночастинок на біофізичні та біохімічні процеси у живих об'єктах визначається, насамперед, хімічним складом наночастинок, а також особливостями їх взаємодії з навколишнім середовищем, зумовленими їх малим розміром. У разі металевих наночастинок зміна розміру на кілька нанометрів призводить до помітної різниці у властивостях оптичного розподілу. Крім того, взаємодія наночастинок з біологічними об'єктами, такими як біомолекули клітини, може сильно залежати від їх розмірів. Крім того, форма та розмір наночастинок є визначальними параметрами при встановленні таких властивостей наночастинок, як час циркуляції, біорозподіл, механізм ендцитозу. У нашому експерименті для визначення морфологічних властивостей наночастинок ми використовували електронну скануючу мікроскопію (SEM), що просвічує електронну мікроскопію (TEM) і **X-ray structural analysis.**

Властивості наночастинок в експериментальних колоїдних розчинах, отриманих методом електроіскрової ерозії гранул відповідних металів

(заліза, срібла та магнію) представлені у таблиці 1 та рис. 3, 4 відповідно. Відповідно до інтенсивності піків дифракційної картини, використовувані нами колоїдні розчини наночастинок заліза та магнію складаються з металів та оксидів металів з масовою часткою до 70 % та розмірами наночастинок від 20 (Fe) до 60 (Mg) nm.

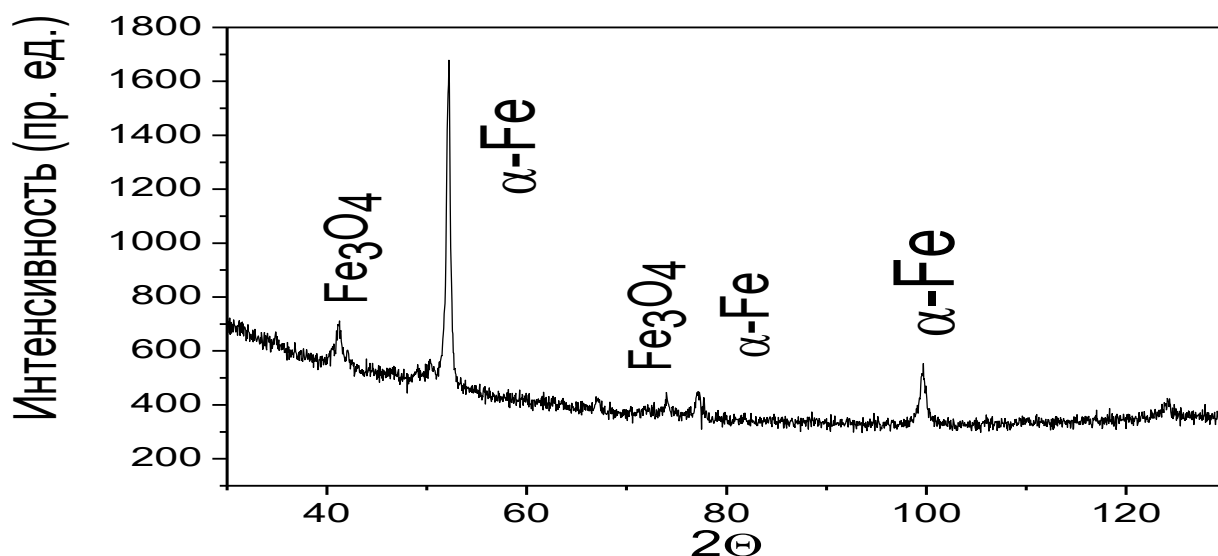


Рисунок 3. Рентгеноструктурний аналіз нано-частинок заліза

Таблиця 1. Характеристика колоїдних розчинів наночастинок, отриманих електроіскровим методом

Sample	Phase content		Size, nm	ζ – potential, mV
	Phase	Mass fraction, %		
AgNPs	Ag	100	30 – 50	42
FeNPs	α – Fe	60 – 70	20 – 30	31
	Fe ₃ O ₄	30 – 40		

MgNPS	Mg	30 – 50	40 – 60	17
	MgO	50 – 70		

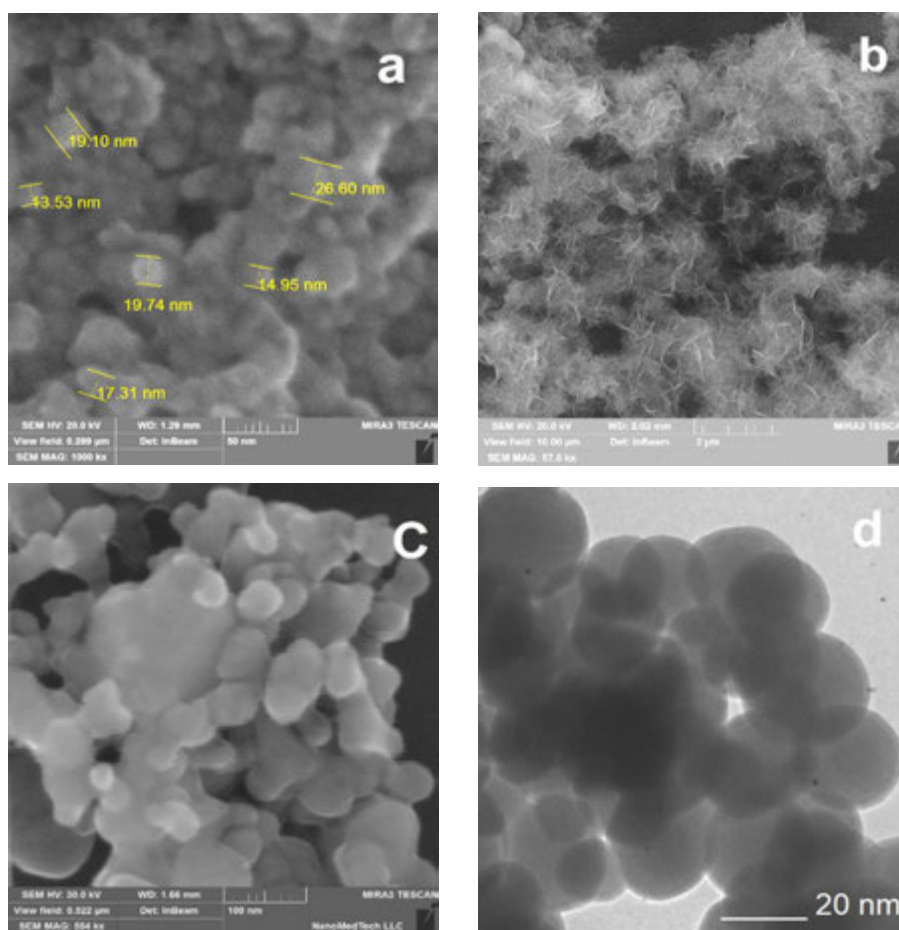
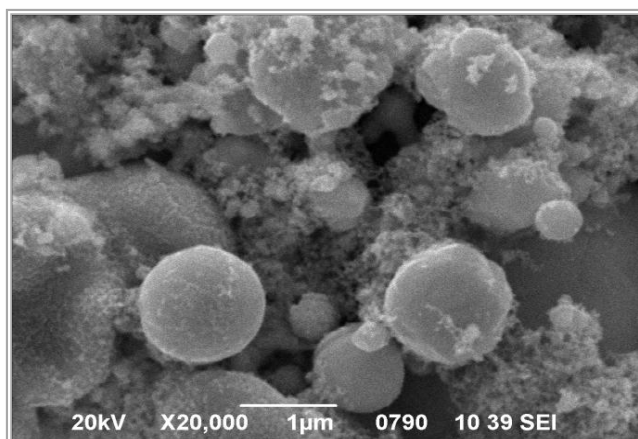
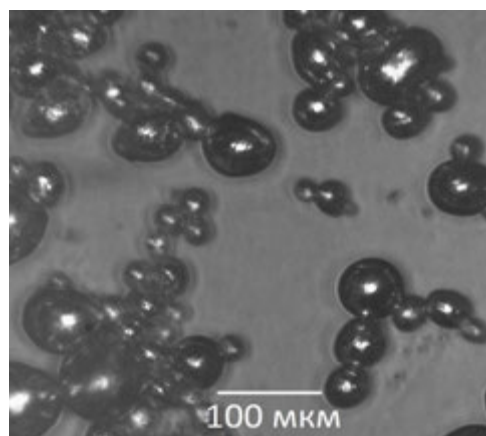


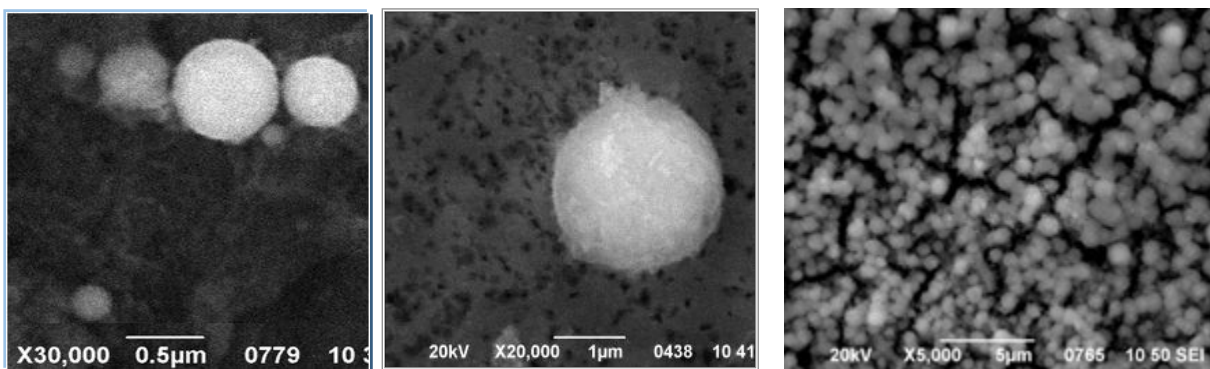
Рисунок 4. Мікрофотографія наночастинок, отриманих методом електронної скануючої мікроскопії (SEM): Наночастинки: а – Fe, b – Mg, с – Ag, d – Fe (TEM)



а



б



В

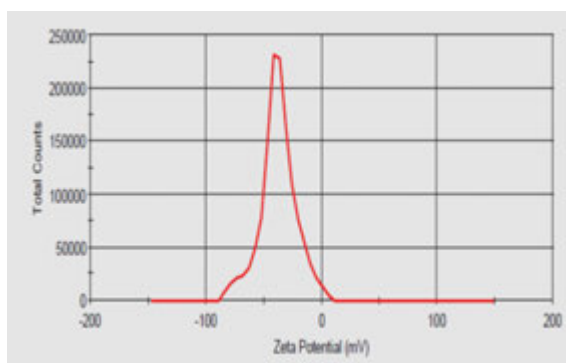
Г

Д

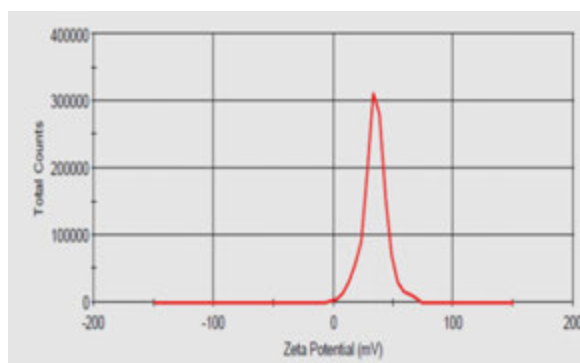
Рисунок 5. Мікрофракція металів: а- маганець, б – мідь, в - залізо, г – цинк, д- молібден.

2.4. Визначення фізичних характеристик колоїдних розчинів

Розмір наночастинок і величина дзета-потенції є визначальним чинником для транспорту наночастинок всередині клітин живих організмів. Таким чином, електрокінетичний потенціал (дзета-потенціал), седиментаційна стійкість і розмір твердої (дисперсної) фази використовуваних нами колоїдних розчинів наночастинок металів (CuNPs, MoNPs, FeNPs, ZnNPs) дозволяють припустити можливість їх використання для обробки вегетуючих рослин в умовах нашого експерименту. Визначення ζ -потенціалу колоїдних розчинів, здійснювали за допомогою аналізатора Zetasizer Nano ZS методом зворотного розсіювання (Malvern Instruments Ltd, United Kingdom), що наведено на рисунку....



а)



б)

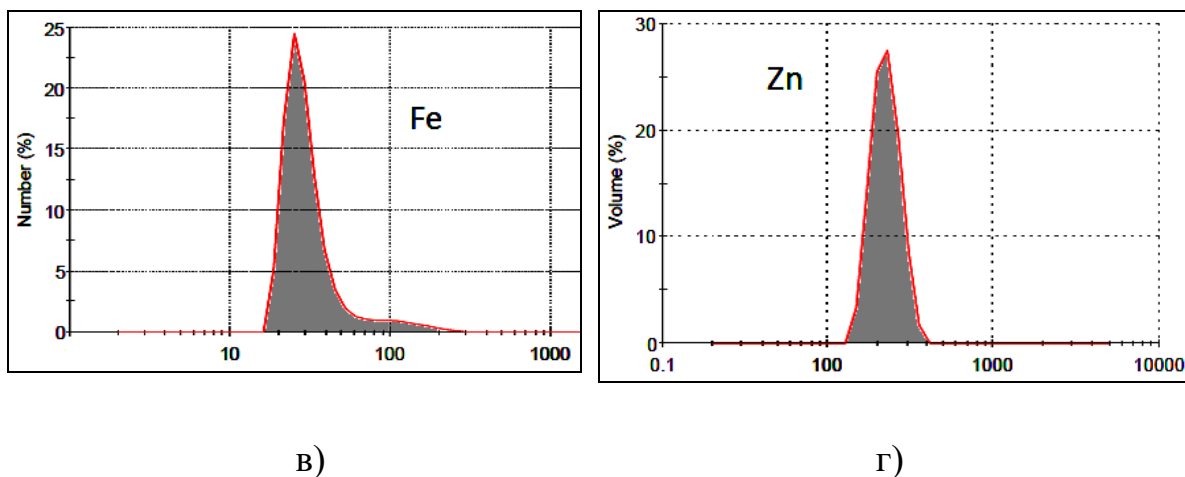


Рис. Значення ζ -потенціалу (електрокінетичного потенціалу) колоїдних частинок Cu (а) Mo(б), Fe (в) та Zn (г)

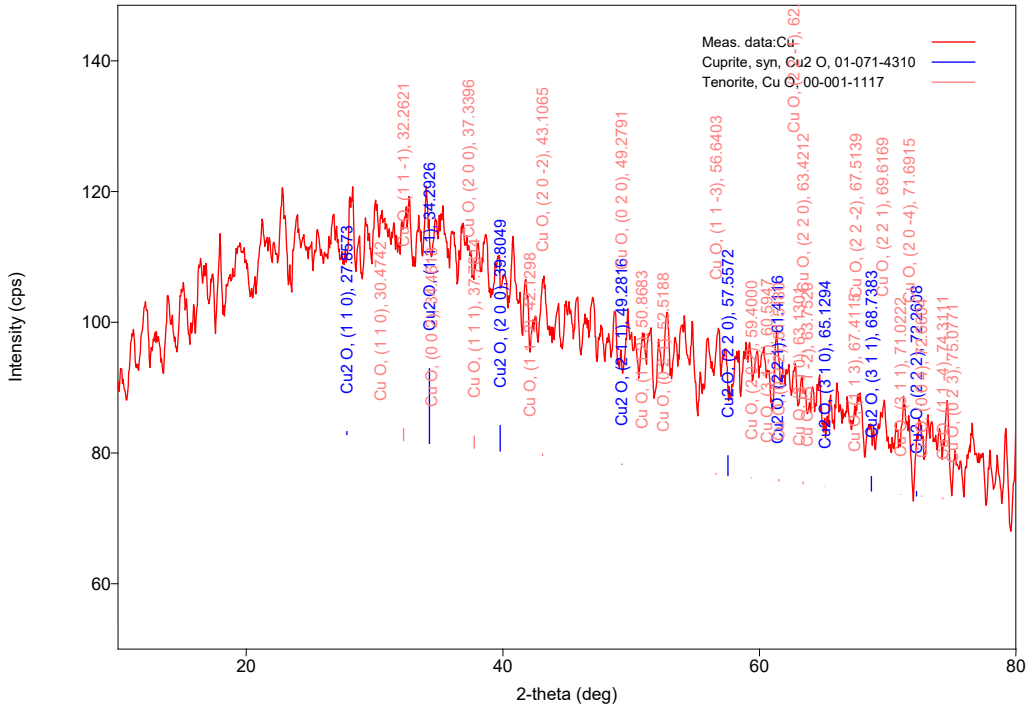
2.5 Рентгеноструктурний (X-ray) аналіз наночастинок металів

Результати рентгеноструктурного аналізу, як і очікувалось, вказують на формування складного фазового складу. Наявність оксидної фази характерно для усіх без виключення металів, яка може складати для різних металів від 10 до 100 % від загального об'єму нанорозмірної фази. Як вже відмічалось, для частинок, розміром 5-20 нм може відбуватись повне окислення та їх фазовий склад окрім відповідних оксидів не містить металевої фази. Таким прикладом є наночастинки міді, коли середній розмір частинок не перевищує 20 нм. При таких розмірах частинок металеве ядро або не утворюється взагалі, або окислюється протягом зберігання, враховуючи колоїдний стан наночастинок, отриманих електроіскровим синтезом у деіонізованій воді.

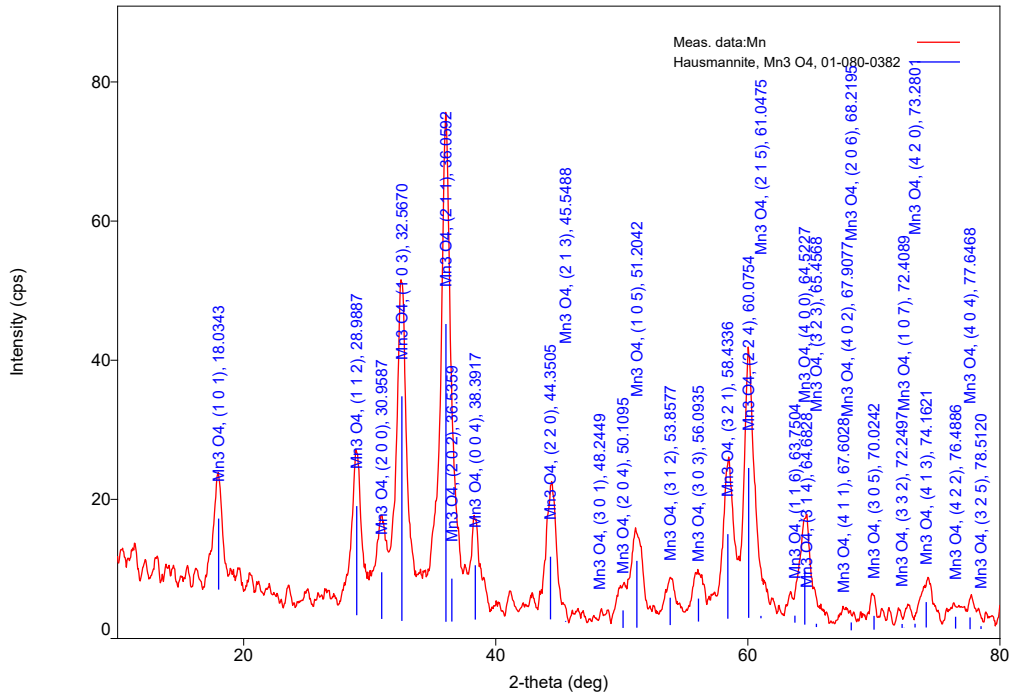
Рентгеноструктурний аналіз фіксує фрагменти двохвалентного оксиду міді CuO та одновалентного оксиду міді Cu₂O (рис...). Відсутність виражених дифракційних пиків, при наявності реєстрації окремих фрагментів оксидних фаз може свідчити про напів-аморфний стан частинок (рис.....), які утворюються в процесі електроіскрового синтезу.

Аналіз X-ray diffraction patterns частинок марганцю показує, що їх фазовий склад відповідає оксиду Mn₃O₄ та наявність інших фаз не виявлено.

У тому числі відсутня металева фаза, що також пов'язано із дрібними розмірами наночастинок (20-30 нм) та кристалітів (80 Å).



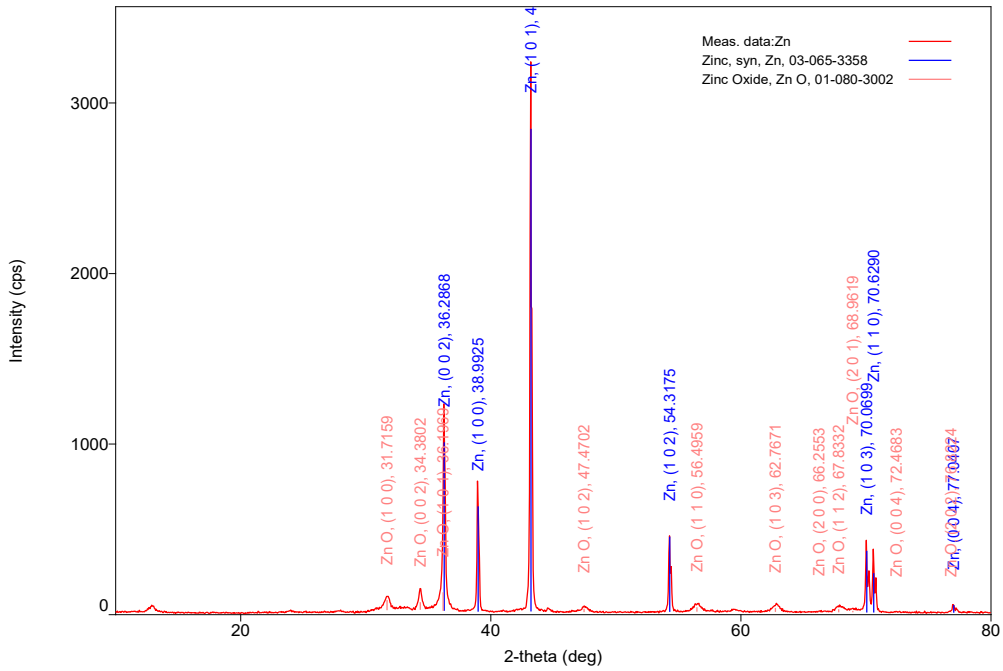
а



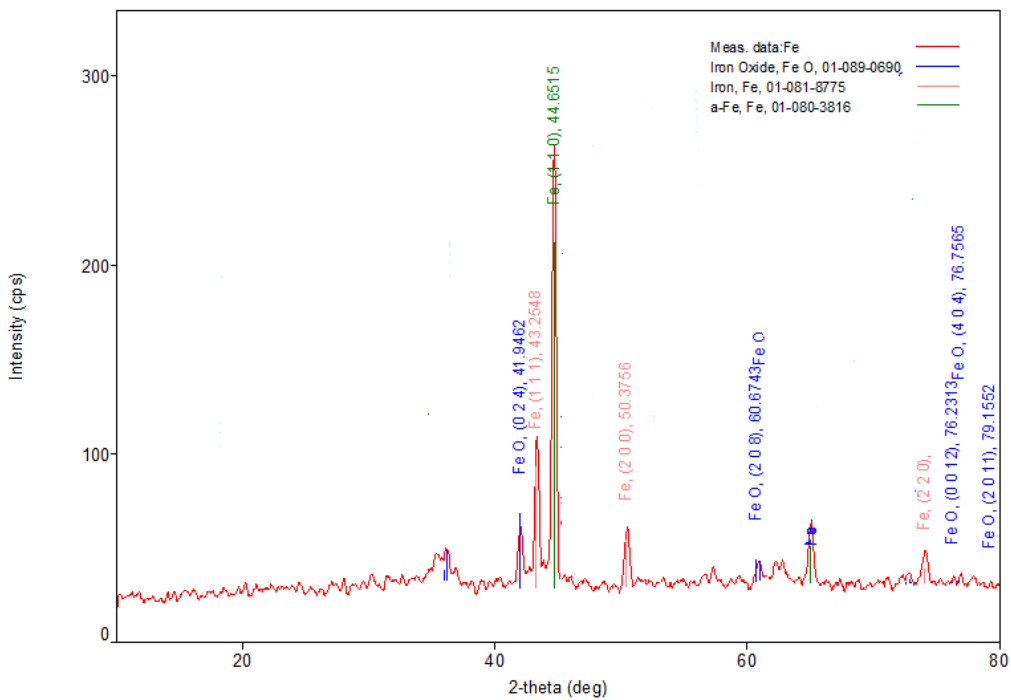
б

Рисунок 6. Дифрактограма наночастинок міді (а) та марганцю (б)

На рентгенограмах цинку та заліза, окрім оксидних фаз, присутні металеві фази Zn (194: P63-mmc), Fe α (229: Im-3m), Fe γ (225: Fm-3m). Окремо треба відмітити наявність Fe γ , як метастабільну фазу, що вірогідно додатково впливає на біологічну активність наночастинок заліза.



a



б

Рисунок 7. Дифрактограма наночастинок цинку (а) та заліза (б)

Таблиця 1. Характеристика утворених фаз наночастинок металів

Metal	Cu		Mn	Zn		Fe		
Phase	CuO	Cu ₂ O	Mn ₃ O ₄	ZnO	Zn	FeO	Fe α	Fe γ
Space group	15:C12 /c1	224:Pn-3m	141:I41 /amd	186: P63mc	194:P63 /mmc	148:R-3	229:Im-3m	225:Fm-3m
Crystallite size, Å	2.64	2.52	80	195	415	278	284	841
Content, %	80	20	100	24,1	75,9	34	46	20

На підставі численх власних досліджень синтезу наорозмірних металевих частинок методом електроіскрового диспергування у воді, пропонується загальна будова наночастинок металів, що передбачає наявність металевого ядра (за умов розмірів нанофази більше 30-40 нм та хімічної активності металу) та утворення на поверхні оксидів, різних за ступенем окисленості (Рис...).

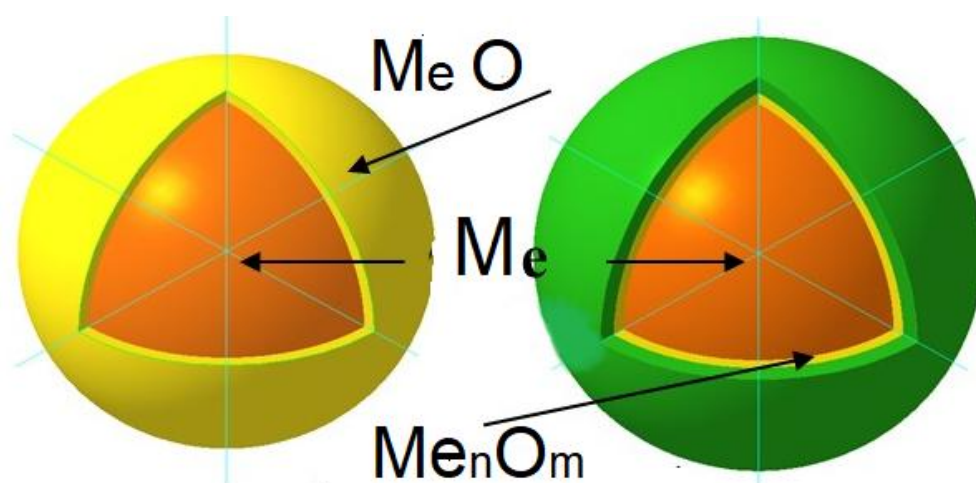


Рисунок 8. Схема загальної будови наночастинок металів, отриманих методом електроіскрового диспергування у водному дисперсійному середовищі.

2.6 Методика біотехнологічних досліджень

Досліджували дію нанорозчинів семи металів (Ag, Mg, Fe, Zn, Mo, Mn) на зростання, розвиток та господарсько-цінні властивості культури *B.subtilis* Ч13.

Швидкість росту та морфологію колоній оцінювали на твердому середовищі ГМФ, в яку були додані нанорозчини зазначених металів у кінцевих розведеннях 1:10, 1:100, 1:1000, 1:10000. Рідка культура *B. subtilis* Ч13 методом послідовних серійних розведень висівали на поверхню середовища, чашки посівами 48 год інкубували при температурі 28°C. Після двох діб зростання культури заміряли діаметр, морфологію колоній та їх кількість. Оцінювали швидкість зростання культури.

Вплив нанорозчинів біогенних металів на зростання продуцента біопрепарату в рідкій культурі проводили на середовищі LB, до якого були додані нанорозчини зазначених металів у кінцевих розведеннях 1:10, 1:100, 1:1000, 1:10000. Культуру об'ємом 1 мл засівали в гойдалковій колбі з 200 мл живильного середовища і інкубували 24 год при 28°C 200 об/хв. Після закінчення терміну інкубації визначали оптичну щільність культури та її титр методом послідовних серійних розведень та посівом на середовище ГМФ.

Спільну дію нанорозчинів металів та культури *B. subtilis* Ч13 оцінювали *in vitro* на проростках крес-салату за наступною схемою: 1. - контроль (стер. Вода); 2. - культура *B. subtilis* Ч13; 3. – метал 1:1000; 4. - метал 1: 10000; 5. - культура *B. subtilis* Ч13 + метал 1: 1000; 6. – культура *B. subtilis* Ч13 + метал 1:10000. Насіння крес-салату замочували на 30 хв у зазначених розчинах і викладалися в стерильні вологі камери по 20 насінин у 3-х повторностях. Проростки вирощували 96 год у фітотроні, потім заміряли довжину корінця та загальну сиру масу проростка.

Визначення цитохромоксидази проводили за Ерліхом за допомогою «набору реактиву для визначення цитохромоксидази за Ерліхом». Для проведення реакції до пробірки з інкубованим середовищем додавали по 1 мл розчинів А і Б. При позитивній реакції за кілька хвилин з'являється червоне фарбування, а за негативної — колір середовища змінюється. Результат реакції визначали спектрофотометрично.

Дослідження впливу культивування мікроорганізмів на середовищі з додаванням різних концентрацій нанорозчину **молібдену** на продукцію штамами *Mezorizobium cicer St-208* та *Bradirizobium japonicum 859* полісахаридів проводили за допомогою діагностичних середовищ. Для цього отримували нічну культуру. Потім наносили 20 мкл. поверхнево на діагностичні середовища. Чашки тестували візуально, за кольором та розміром колоній. Діагностичні середовища визначення продукції полісахаридів: мінімальна середовище – використовували для аналізу слизеобразовання у штамів бульбочкових бактерій. Мінімальне середовище з додаванням 0,02% барвника Конго – використовували для аналізу екзо та ліпополісахаридів (Kneen, Larue. 1983). Аналіз результату проводили з фарбування колоній; Середовище LB з 0,02% білим калофлуором – використовували для вивчення продукції сукциноглікану (ЕПС-1). Колонії, що виробляють ЕПС-1, мають свічення в УФ-світлі, тоді як колонії не продукують – залишаються темними; Середовище LB з 0,1% дезоксихолатом натрію (DOC) використовували для аналізу синтезу ліпополісахаридів (ЛПС). Штами зі зміненим синтезом ЛПС не ростуть на цьому середовищі.

Для визначення стійкості бульбочкових бактерій до різних антибіотиків використовували стокові розчини антибіотиків і додавали їх у відповідних концентраціях у розплавлену та охолоджену до 50-55 °С середовище ТУ. Нічні культури бактерій (по 20мкл) наносили на чашки з середовищем, що містить антибіотик у різних концентраціях. Чашки інкубували при 28 °С протягом 3-4 діб.

Дослідження впливу нанорозчинів **молібдену** при вирощуванні рослин сої на таксономічну структуру мікробної популяції ризосфери проводили за допомогою сучасних методів молекулярно-генетичних досліджень.

Дослідження впливу нанорозчинів **молібдену** на структуру бульб сої проводили з використанням методу флуоресцентної *in situ* гібридизації (FISH) і конфокальної скануючої лазерної мікроскопії (CSLM). Конфокальну лазерну скануючу мікроскопію виконували з використанням мікроскопа Leica TCS SPE (Leica Microsystems, Німеччина). Для детекції олігонуклеотидних проб, мічених флуорохромами 6FAM, використовували лазери з довжиною хвилі 488, 532 і 635 нм. Флюоресценцію реєстрували в діапазоні 508-566 нм, 665-607 нм і 657-709 нм відповідно. Тривимірну реконструкцію зображень виконували за допомогою програми Imaris 7.0 (Bitplane, Швейцарія).

РОЗДІЛ 3. УЧАСТЬ МЕТАЛІВ У ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ПРОЦЕСАХ РОСТУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

3.1 Магній та його вплив на рослину

Магній становить 2,35% маси земної кори. Основна його частина в літосфері виділяється у вигляді кремнієвих мінералів. Деяка частина магнію при утворенні масивних порід виділяється у формі алюмінатів. Частина

атомів магнію виділяється у вигляді хлористих і фтористих сполук, а також у вигляді складних боратів і фосфатів.

Первинні мінерали магнію у верхніх шарах земної кори нестійкі. Так, олівін $(\text{MgFe})_2 \text{SiO}_4$ під впливом кисню і води переходить у серпентин (змійовик) $\text{Mg}_3\text{H}_4\text{Si}_2\text{O}_3$. Останній, реагуючи з вуглекислою атмосферою і води, переходить в SiO_2 (опали) і карбонат магнію (MgCO_3). Взаємодія карбонату магнію з сульфатами і хлоридами призводить до утворення в соляних озерах і ґрунтах MgSO_4 і MgCl_2 .

З усіх мінералів магнію, що утворюються на земній поверхні, переважають водні силікати і частина карбонатів магнію, що знаходяться, часто в розсіяному стані, у вигляді приховано кристалічних землистих мас ґрунтів, підґрунтя, глини тощо.

Магній має здатність концентруватися в земній корі у величезних масах у процесах формування вивержених і осадових порід. Утворюються дуже великі скупчення магнієвих мінералів на просторі багатьох тисяч і десятків тисяч квадратних кілометрів. Виникають, як вказує А. Є. Ферсман, цілі пояси магнієвих родовищ.

У ґрунтах магній знаходиться в різних формах — від легкокорозчинних у воді до тих, що розкладаються лише в дуже сильних реагентах. Магній зустрічається в ґрунтах у вигляді сульфатів, хлоридів, карбонатів, в поглиненому стані, а також у вигляді силікатів і алюмосилікатів. У невеликій кількості магній знаходиться і в зв'язку з органічною речовиною ґрунту. Для більшості ґрунтів переважаючою формою магнію є магнієві силікати. Кількість поглиненого магнію в різних типах ґрунтів сильно варіює. Кількість MgO в % до сухого ґрунту, варіює від 0,92 до 3,10. Кількість поглиненого магнію в різних типах ґрунтів варіює в обмінному магнію в мг на 100 г ґрунту від 0,57 до 20. Підвищене зволоження підзолистих ґрунтів викликає вимивання магнію в більш глибокі шари. Помірне і недостатнє зволоження ґрунтів сприяє накопиченню рухомого магнію в верхніх горизонтах.

Магній входить до молекули хлорофілу і бере безпосередню участь у фотосинтезі рослин. Роль магнію в житті рослин цим не вичерпується. Він необхідний і для безхлорофільних рослин, а в зелених рослинах з хлорофілом (що містить 2,89% Mg) пов'язана лише менша частина магнію. Ознаки магнієвого голодування спостерігаються при вмісті магнію в рослині значно більшому, ніж це необхідно для утворення хлорофілу. Накопичується магній переважно в життєво важливих органах і насінні рослин.

Таблиця ... Кількість магнію (Mg) в золі рослин (у % до її загальної ваги)

Рослини	Насіння	Стебла та листя
Пшениця	13,2	2,5
Кукурудза	15,5	11,4
Конюшина	12,9	8,3
Квасоля	7,1	3,6

Таблиця Кількість магнію і кальцію в листі і квітках на бідній магнієм середньопідзоленій супіщаній ґрунті (у % до сухої речовини) (за Мазаєвою)

Рослини	NPK						NPK + Mg					
	листя			квітки			листя			квітки		
	MgO	CaO	$\frac{MgO}{CaO}$	MgO	CaO	$\frac{MgO}{CaO}$	MgO	CaO	$\frac{MgO}{CaO}$	MgO	CaO	$\frac{MgO}{CaO}$
Конопля японська	0,38	2,88	0,13	0,65	0,95	0,69	0,88	2,61	0,34	0,78	0,74	1,09
Конопля італійська, дослід 1-й	0,44	2,84	0,16	0,59	1,16	0,56	0,91	2,62	0,35	0,95	0,81	1,18
Конопля італійська, дослід 2-й	0,55	3,64	0,15	0,74	1,27	0,58	1,11	2,71	0,41	0,01	0,89	1,12

Диня	0,57	6,08	0,09	0,84	1,52	0,53	1,24	4,70	0,27	0,79	1,29	0,62
Огірки	0,37	2,39	0,15	0,66	1,98	0,31	0,84	1,59	0,53	1,43	2,12	0,67

При нестачі магнію в живильному середовищі його вміст у генеративних органах зазвичай вищий, ніж у листі. Магній у цих умовах мобілізується рослиною з листя в генеративні органи навіть за рахунок порушення нормальної діяльності перших. Листя, на початку зазвичай нижнє, збіднюється магнієм, покривається білуватою плямистістю і передчасно опадає. У зерні магній концентрується в найжиттєздатнішій частині — в зародку.

Таблиця ... Кількість магнію і кальцію в різних частинах зерна (у % до загальної ваги золи)

Частини зерна	Кукурудза		Гарбуз	
	MgO	CaO	MgO	CaO
Шкірка	0,19	0,20	0,15	0,06
Ендосперм	0,04	0,03	0,39	0,01
Зародок	1,16	0,01	0,55	0,08

Магнієве живлення рослин (забезпеченість і нестача) різкіше позначається на генеративних органах. На бідному магнієм ґрунті внесення магнієвих добрив зазвичай сильніше підвищує врожай насіння, а не соломи, *плодів, а не бадилля*. Магній активує деякі ферменти, наприклад фосфатазу, впливає на окислювально-відновні процеси. При магнієвому голодуванні, як правило, підвищуються окислювальні процеси. Зростає активність піроксидози, вміст відновленої аскорбінової кислоти та інвертного цукру, навпаки, падає.

Таблиця Кількість аскорбінової кислоти (в мг на 100 г сирої маси)

<i>Рослини</i>	Без магнію	За магнієм	<i>Рослини</i>	Без магнію	За магнієм
Томати:			Сорго, листя	51	82
листя	18	22	Цикорій, листя	8	11
плоди	20	41	М'ята перцева:		
Огірки неросимі			листя	0,5	3,3
листя	94	142	верхівки стебла	12	19
Джут, листя	93	107			

Таблиця ... Кількість інвертного цукру (у % від сирої ваги плодів)

Рослини	Терміни збирання	Без магнію	З магнієм
Томати	1-й	3,87	5,25
	2-й	3,98	5,31
	3-й	4,18	5,62
Огірки	1-й	2,31	2,62
	2-й	2,23	2,65
Кавуни	1-й	5,42	8,46
	2-й	4,45	6,32

Нестача магнію зазвичай супроводжується збільшенням вмісту води в рослинах, що, мабуть, і є основною причиною спостережуваної при цьому підвищеної ламкості листя.

Таблиця Вміст води (у % до загальної ваги)

Рослини	Без магнію	З магнієм	Рослини	Без магнію	З магнієм
Махорка, листя	89,00	84,97	Топінамбур:		72,41

Перилла, листя	79,93	76,44	бульби	73,16	
Соняшник, листя	86,87	83,11	листя	83,71	82,71
Сорго, листя	81,89	80,68	Огірки, листя	89,17	85,00
Тютюн, листя	91,11	87,26	Томати, листя	89,78	88,94
Цикорій, листя	93,54	88,76			

Потреба окремих рослин у магнії дуже різна. За одних і тих же умов одні рослини різко позитивно реагують на внесення магнію, інші ж зовсім не реагують на нього. Експериментально встановлено зв'язок між чутливістю рослин до нестачі магнію та їх фотоперіодичною реакцією.

3.2 Залізо та його вплив на рослину

Залізо - один з найпоширеніших елементів земної кори. У значних кількостях воно входить до складу ґрунтів і майже всіх гірських порід. Кількість заліза в ґрунтах становить від 1 до 5%, якщо рахувати на елемент (Fe). Особливо багаті залізом червоноземні ґрунти Західної Грузії, в яких його міститься до 10-11%. Найбільш бідні залізом легкі піщані ґрунти, що мають близько 1% цього елемента. Разом з тим, кількість засвоюваних форм заліза в ряді випадків виявляється недостатньою для задоволення потреб в ньому рослин.

Залізо є необхідним елементом для життя всіх рослин; воно відіграє дуже важливу фізіологічну роль як в рослинному, так і в тваринному організмі. Залізо абсолютно необхідне для утворення хлорофілу, хоча і не входить до його складу, воно є невід'ємною складовою частиною гемоглобіну крові людини і тварин. Залізо відіграє дуже важливу роль в окислювально-відновних процесах. Залізо входить до складу дихальних ферментів і значно впливає на інтенсивність дихання рослин.

У рослинах залізо міститься в сотих частках відсотка по відношенню до сирі маси. Загальна кількість цього елемента в урожаях виражається

цифрами порядку 1-10 кг на 1 га. Нестача заліза для рослин найчастіше зустрічається на карбонатних і сильно вапняних ґрунтах. Значно рідше його бракує на кислих ґрунтах; залізне голодування рослин в цьому випадку буває пов'язане з високим вмістом у ґрунті важких металів — марганцю, цинку, нікелю та інших. Зазвичай же кислі ґрунти мають велику кількість рухомого заліза, яке не тільки повністю задовольняє потребу рослин у ньому, але може бути навіть надлишковим і чинити негативний вплив.

Найбільш чутливими до нестачі заліза є плодові дерева — яблуня, груша, слива, персик, цитрусові, а також малина, виноград і деякі інші. Залізний голодування спостерігається і у польових культур — люпину, капусти, картоплі, томатів, вівса, кукурудзи та деяких інших, але, як правило, воно проявляється в більш слабкому ступені, ніж у деревних багаторічних культур.

Найважливішою ознакою нестачі заліза є захворювання молодого листя хлорозом. Спостерігається рівномірне пожовтіння листових пластинок на відміну від плямистого хлорозу, що спостерігається при нестачі деяких інших мікроелементів. Листя набувають блідо-зеленого, а потім і світло-жовтого забарвлення без відмирання тканини. Рост рослин послаблюється, врожайність падає, а при більш гострому і тривалому залізному голодуванні у плодівих дерев з'являється відмирання вершин. Високий вміст рухомого фосфору в ґрунті як і низький вміст калію підсилює залізне голодування рослин.

Загальний вміст заліза в хлоротичних листі буває іноді не нижче, ніж у здорових, але значна частина його в цьому випадку міститься у фізіологічно неактивній формі.

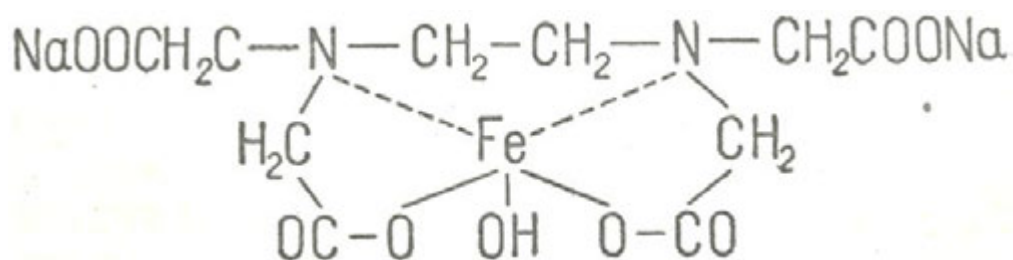
Нестачу заліза для рослин досить важко усунути, оскільки звичайне внесення розчинних солей заліза в ґрунт не досягає мети у зв'язку з швидким і сильним закріпленням ґрунтом внесеного заліза. Зазвичай застосовують обприскування рослин 0,05-0,5% розчином залізного купоросу. При обприскуванні рослин в безлистому стані (період спокою) застосовують

розчин більш високої концентрації (3-10%). Оскільки залізо, нанесене на листя, локалізується і дуже слабо переміщується до зростаючих молодих частин рослин, а високі концентрації дають опіки листя, обприскування доводиться повторювати кілька разів, що призводить до великих витрат праці. У промислових садах в деяких зарубіжних країнах застосовують також ін'єкцію розчину солей заліза в стовбур або в скелетні гілки дерев, а також закладку таблеток, що містять найчастіше лимоннокисле залізо.

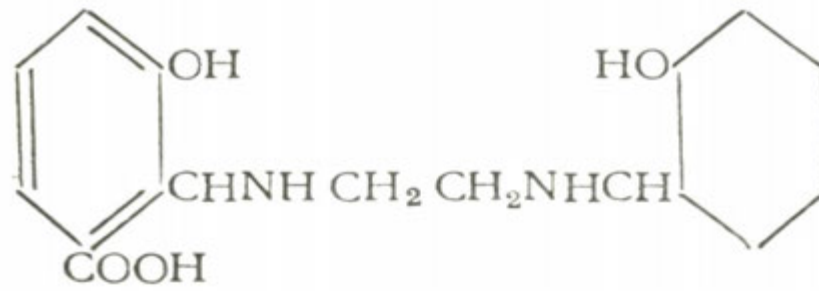
При внесенні залізного купоросу в ґрунт рекомендується попередньо змішувати його з компостом або торфом (1-3 кг залізного купоросу на 100 кг компосту) і вносити місцево для зменшення контакту з ґрунтом. Рекомендується також суміші залізного купоросу з перегноем або торфом розбавляти водою і в напіврідкому вигляді вливати в осередки — щілини, зроблені в ґрунті лопатою або будь-яким іншим гострим предметом.

У 1992 р. була зроблена перша і успішна спроба застосувати в якості залізних добрив комплексні органічні сполуки, так звані хелати. Ці сполуки, будучи легкорозчинними, в той же час не утворюють іонів заліза і тому не закріплюються ґрунтом.

В даний час запропоновано і випробувано значну кількість таких сполук, найбільш відомим з яких є етилендіамінтетраацетат заліза (ЕДТА), що має таку структурну формулу:



Ця сполука є високоефективною на кислих ґрунтах і забезпечує нормальне живлення рослин залізом: У карбонатних і лужних ґрунтах ця сполука швидко руйнується. Хороші результати на цих ґрунтах отримано з іншою сполукою — етилендіамін ді-о-гідроксифенілукусуною кислотою — що має таку формулу:



Хелати заліза можуть застосовуватися як для внесення в ґрунт, так і для обприскування рослин. В останньому випадку застосовується 0,1%-ний розчин. Опубліковані в пресі результати дослідів по застосуванню хелатів заліза для добрива показують, що це добриво є перспективним.

3.3 Мідь та його вплив на рослину

Мідь міститься в невеликих кількостях у всіх рослинних і тваринних організмах. У рослинах її зазвичай буває від 3 до 15 /мг на 1 кг сухої речовини. Багато міді міститься в висівках пшениці. Відносно багаті нею насіння і зростаючі зелені частини рослин.

Таблиця ... Кількість міді в урожаях найважливіших культур

Рослини	Кількість проаналізованих зразків	Середній вміст міді (в мг на 1 кг сухої ваги)	Урожай (в ц з 1 га)	Кількість міді в урожаї (в г на 1 га)
Зернові злаки:				
зерно	8	5.5	12.5—25	7—14 15-30
солома	8	4.4	18— 36	8—16
Конюшина, сіно	10	12.5	20— 40	— 25-30
Коренеплоди:				
коріння	6	6,8	250—500	30—60 40-80

листя	6	6,8	100—200	10—20
-------	---	-----	---------	-------

Кількість міді в урожаєх вимірюється десятками грамів на гектар. Винос міді врожаєми коливається від 15 до 80 г з 1 га. У різних ґрунтах міститься міді від 1,5 до 100 і більше мг на 1 кг ґрунту. Особливо багато її в червоноземах — 50—100 і більше мг на 1 кг ґрунту. У підзолистих ґрунтах міститься міді близько 10 мг на 1 кг ґрунту, причому піщані ґрунти значно бідніші нею в порівнянні з глинистими і суглинними. У сірих лісових ґрунтах міститься міді 10-15 мг і в чорноземах 15-20 мг на 1 кг ґрунту. Особливо бідні міддю торф'яні ґрунти: в них міститься від 2 до 8 мг на 1 кг сухої ваги торфу. Крім того, в торф'яних ґрунтах значна частина міді пов'язана з органічною речовиною у формі мідноорганічних сполук, малодоступних для рослин. Вміст рухомих (доступних рослинам) форм міді в торф'яних ґрунтах залежить як від загального вмісту міді, так і від ступеня розкладання торфу і становить, за даними Інституту меліорації, водного господарства НААН України, близько 50% її загальної кількості (лимоннорозчинні форми).

Важливим є та обставина, що мідь не може бути замінена в рослинах будь-яким іншим елементом. Вона відіграє дуже важливу роль в окислювальних процесах, що відбуваються в рослинних і тваринних організмах, і входить до складу окислювальних ферментів: поліфенолоксидази, супероксиддисмутази і аскорбіноксидази. При нестачі міді активність цих ферментів різко знижується і інтенсивність окислювальних процесів послаблюється. При внесенні міді інтенсивність окислювальних процесів, навпаки, зростає. Встановлено також великий вплив міді на вуглеводний і білковий обмін в рослинах і велике значення міді для утворення хлорофілу. Майже вся мідь що знаходиться у листях є локалізованою в хлоропластах. Показано її стабілізуючу дію на хлорофіл (Т. Ф. Заблуда і М. М. Окунцов); мідь затримує процес фізіологічного старіння пластид і тим самим сприяє подовженню життєдіяльності листя.

Однією з ознак нестачі міді для рослин є хлороз (пожовтіння) листя, пов'язаний з руйнуванням хлорофілу. Нестача міді в ґрунті дуже сильно впливає не тільки на рослини, але й на тварин, які споживають рослини з низьким вмістом міді в якості корму.

При нестачі міді в кормах відзначається важке захворювання великої рогатої худоби, що носить назву лизухи (у зв'язку з частим покликом хворих тварин до лизання навколишніх предметів). У хворих тварин зникає апетит, продуктивність їх різко знижується, падає вміст гемоглобіну в крові, відбувається загальне виснаження організму. Особливо схильний до цієї хвороби молодняк великої рогатої худоби. Аналізи показали, що захворювання тварин проявляється в тому випадку, коли вміст міді в сні становить менше 4-5 мг на 1 кг сіна; при наявності ж цього елемента в кількості 6 і більше мг на 1 кг сіна тварини не хворіють. Крім лизухи, відмічені також інші захворювання тварин від мідної недостатності (хвороба овець, кіз тощо). Всі ці захворювання повністю усуваються збільшенням вмісту міді в кормах, що досягається як внесенням мідних добрив у ґрунт, так і безпосереднім додаванням солей міді в раціон худоби.

Симптоми мідного голодування у рослин залежать від біологічних особливостей рослин і ступеня голодування. При слабо вираженому мідному голодуванні може мати місце тільки затримка росту і зниження врожаю; при сильно вираженому голодуванні — повна загибель рослин. Характерними ознаками захворювання рослин від нестачі міді є хлороз і побіління кінчиків листя у злаків, відмирання точки росту, після чого починають рости бічні пагони, у злаків спостерігається порожнистість. Спеціальними дослідженнями встановлено, що мідне голодування рослин є причиною доре відомого захворювання рослин, яке спостерігається на осушених болотних ґрунтах і носить різні назви: хвороба обробки, біла чума, хвороба верещатників. Ця хвороба зустрічається на болотних ґрунтах. Відзначена вона і за кордоном (Голландія, Німеччина, Данія та ін.). Спостерігається вона найчастіше на злаках. Хворі рослини стають блідо-зеленими. Рослини починають сильно

кущитися. Кінчики листя біліють. При сильному захворюванні колосся не виходять з листових піхв, стебло поступово засихає. Рослини або зовсім не утворюють насіння, або дають дуже низький урожай щуплого зерна.

Цією хворобою уражаються не тільки зернові, але і бобові культури (горох, вика та ін.), хрестоцвіті (гірчиця, ріпак та ін.) і багато інших рослин. Досить стійкою до хвороби є така культура як картопля. Разом з тим, лугові злакові та бобові трави також уражаються цією хворобою, в результаті чого більш цінні в кормовому відношенні трави випадають і витісняються менш цінними. Крім зазначеного захворювання трав'янистих рослин, відзначено захворювання плодових дерев від нестачі міді — так звана суховершинність, або екзантема. Це захворювання відзначається на різних плодових деревах — яблуні, груші, сливі, персику, абрикосі, маслині, цитрусових та інших. Хвороба широко поширена в багатьох країнах, особливо на цитрусових культурах. У хворих дерев спостерігається утворення великої кількості молодих пагонів, на верхніх листках з'являється плямистість і хлороз, на корі утворюються тріщини і спостерігається виділення камеді, верхні пагони дерев відмирають і засихають.

Встановлено, що причиною цієї хвороби є також мідне голодування рослин. Вміст міді в листі хворих дерев є дуже низьким — 2-4 мг на 1 кг сухої ваги, в той час як вміст її в листі здорових рослин досягає 10 і більше мг на 1 кг. Внесення мідних добрив у ґрунт або обприскування рослин слабкими розчинами мідних солей усуває захворювання і сприяє різкому збільшенню врожайності плодових дерев і поліпшенню якості продукції.

3.4 Марганець та його вплив на рослину

Сполуки марганцю широко поширені в природі. марганець є необхідним елементом для життя всіх рослин. Різні рослини, вирощені на одному і тому ж ґрунті, потребують для свого розвитку різних кількостей

марганцю. Кількість марганцю в рослинах і загальний винос його врожаєм сильно змінюються в залежності від властивостей ґрунту. Так, наприклад, вміст марганцю в рослинах, вирощених на кислих дерново-підзолистих ґрунтах, в кілька разів вище, ніж у тих же рослин, вирощених на чорноземі або на карбонатному ґрунті. Вміст марганцю в ґрунтах коливається в досить широких межах. Найбільш бідними за вмістом марганцю є торф'яні (особливо верхові торфовища) і піщані ґрунти. У порівнянні з іншими ґрунтами багатий марганцем червонозем.

З агрономічної точки зору найбільший інтерес представляє не стільки загальний вміст марганцю в ґрунті, скільки вміст рухомих його форм, доступних рослинам. У ґрунті марганець в основному знаходиться у формі дво-, три- і чотиривалентних сполук, причому найбільшою рухливістю володіють сполуки двовалентного марганцю (табл...).

Таблиця Кількість марганцю в урожаєх найважливіших культур, вирощених на потужному чорноземі

Рослини	Урожай (в ц з 1 га)	Відсоток вологи	Середній вміст марганцю (в мг на 1 кг сухої ваги)	Кількість марганцю в урожаї (в г на 1 га)
Вика яра, сіно	25,0	Повітряно-сухе	45	112
Квасоля: насіння	10,0	---	30	114
солома	10,5	---	80	
Ячмінь: зерно	15,0	---	30	119
солома	20,0	---	37	

Пшениця яра:				
зерно	10,0	---	47	131
солома	14,0	---	60	
Кукурудза:				
зерно	10,0	---	18	205
солома	14,0	---	101	
Просо:				
зерно	18,0	---	23	224
солома	26,0	---	70	
Соняшник:				
зерно	12,0	---	18	231
стебла та листя	44,5	---	47	
Овес:				
зерно	20,0	---	56	244
солома	21,0	---	63	
Люцерна, сіно	30,0	---	86	258
Еспарцет, сіно	25,0	---	115	284
Буряк цукровий:				
коріння	280	77,0	50	592
листя	100	85,0	180	
Буряк кормовий:				
коріння	350	86,0	70	695
листя	120	88,7	260	

Кількість марганцю в ґрунтах коливається від 43 до 1110 мг на 1 кг ґрунту. У кислих ґрунтах завжди присутній рухомий (обмінний) марганець. Його наявність у ґрунті залежить від ступеня його кислотності: із зростанням кислотності ґрунту збільшується і вміст обмінного марганцю. Зазвичай

кількість обмінного марганцю в дерново-підзолистих ґрунтах варіює від 1 до 6-7 мг на 100 г ґрунту. Надлишкові кількості розчинного (рухливого) марганцю отруйні для рослин.

Застосування фізіологічно кислих форм азотних добрив на невиварених дерново-підзолистих ґрунтах призводить до посилення кислотності ґрунту і значного збільшення вмісту рухомих форм марганцю. Лужна реакція ґрунтів, навпаки, сприяє переходу марганцю в менш засвоюваний стан. При рН вище 7,5 рухливість марганцю сильно знижується у зв'язку з утворенням нерозчинних гідроокисів і карбонатів. Вапнування кислих ґрунтів зменшує розчинність ґрунтового марганцю і надходження його в рослини.

Таблиця Дія вапна на вміст марганцю в соломі льону на дерново-підзолистому суглинку

Варіанти досвіду	Урожай солом льону (в ц з 1 га)	Вміст марганцю (в мг на 1 кг сухої ваги)	Загальний вміст марганцю в урожаї (в г на 1 га)
Без вапна	15,8	117,6	178
CaCO ₃ — 2,25 т на 1 га	15,1	102,6	155
CaCO ₃ — 4,5 т на 1 га	14,8	86,0	127
CaCO ₃ — 9,0 т на 1 га	16,8	70,2	118
CaCO ₃ — 13,5 т на 1 га	17,0	66,6	103
CaCO ₃ — 22,5 т на 1 га	17,5	44,0	77

Кількість водорозчинного марганцю в ґрунті дуже незначна: десяти частки мг Mn на 100 г- ґрунту для кислих ґрунтів і тисячні частки мг для нейтральних ґрунтів.

Розчинність ґрунтового марганцю визначається також окислювально-відновним режимом у ґрунті. Відновні процеси (погана аерація, надмірне зволоження ґрунту тощо) сприяють відновленню сполук марганцю до двовалентної форми і тим самим призводять до збільшення їх розчинності. Окислювальні процеси (посилена аерація), навпаки, переводять сполуки марганцю в менш доступні три- і чотиривалентні форми. Вміст рухомих форм марганцю в одному і тому ж ґрунті може дуже швидко змінюватися залежно від умов; наприклад, після сильного зволоження ґрунту вміст рухомих форм марганцю в ньому може швидко і значно зростати.

Фізіологічна роль марганцю в рослинах тісно пов'язана з діяльністю окислювальних ферментів - оксидаз. Сполуки марганцю беруть участь у найважливіших окислювально-відновних процесах, що відбуваються в рослинах. При нестачі марганцю інтенсивність окислювально-відновних процесів і синтез органічної речовини в рослинах слабшають. При додаванні солей марганцю здатність оксидаз зв'язувати кисень сильно збільшується, і, навпаки, показано, що споживання кисню молодими паростками рослин при нестачі марганцю різко зменшується. Марганець входить до складу таких ферментів, як аргіназа, енолаза, карбоксилаза, дегідрата піровиноградної кислоти та інші. За даними Винарчук К.В. [xx...xx.], марганець разом з іншими мікроелементами відіграє важливу роль у процесі засвоєння рослинами азоту, діючи в одному випадку як відновник, а в іншому як окислювач. При нестачі марганцю робота ферментної системи, що виробляє відновлення нітратного азоту, порушується і відбувається накопичення нітратного азоту в рослинах.

При нестачі марганцю вміст хлорофілу падає аж до появи хлорозного захворювання рослин; інтенсивність фотосинтезу слабшає. Марганець впливає також на вуглеводний обмін в рослинах і підвищує вміст вітамінів.

Нестача марганцю найчастіше проявляється у плодово-ягідних культур - вишні, черешні, сливи, яблуні та малини, а з польових культур - у буряка, вівса, картоплі. При різко вираженому марганцевому голодуванні рослини

хворіють. Так, встановлено захворювання вівса від нестачі марганцю, яке називається сірою плямистістю. Виражається воно в тому, що на листі рослин з'являються характерні сірі плями, які поступово зливаються в довгі смуги, спрямовані вздовж листа. Листя набувають бурого кольору і відмирають. При гострому нестачі марганцю захворювання призводить до загибелі рослин, при менш гострому відбувається різке зниження врожаю. Захворювання вівса сірою плямистістю в польових умовах поширене в багатьох країнах - Голландії, Данії, Швеції, Німеччині, Англії, Австралії та інших.

Захворювання, аналогічне сірій плямистості вівса, відзначено і у інших злаків - у пшениці, жита, проса, ячменю, кукурудзи. Ознаки захворювання в основному схожі з ознаками сірої плямистості вівса. У зарубіжній літературі відзначені також хвороби від марганцевого голодування у ряду інших культур: цукрового буряка (плямиста жовтяниця), гороху (болотна плямистість насіння), цукрової тростини (пахала), тунгового дерева (плямистість листя) та інших. В умовах нашої країни вищевказані хвороби рослин від марганцевого голодування не поширені.

3.5 Цинк та його вплив на рослину

Цинк широко поширений в природі; в невеликих кількостях він зустрічається повсюдно — в ґрунтах, воді річок, озер і океанів, в гірських породах. Середній вміст цинку в земній корі становить 0,02%. Цинк входить до складу всіх рослин від десятитисячних до тисячних, а іноді і до сотих часток відсотка на суху речовину. У таблиці ... наведено вміст цинку в урожаях рослин, вирощених на потужному чорноземі Полтавської аграрної академії.

Таблиця ... Кількість цинку в урожаях

Рослини	Урожай (в ц с 1 га)	Кількість цинку (в г на 1 га)	Рослини	Урожай (в ц с 1 га)	Кількість цинку (в г на 1 га)
Еспарцет, сіно	25	75	Буряк кормовий: коріння	350	153
Люцерна, сіно	30	75	листя	120	
Пшениця яра: зерно	10	87	Просо: зерно	18	159
солома	14		солома	26	
Вика яра, сіно	25	94	Соняшник: насіння	12	174
Ячмінь: зерно	15	97	стебла і листя	44	
солома	20		Буряк цукровий коріння	280	188
Овес: зерно	20	145	листя	100	
солома	21				

Загальний вміст цинку в урожаях різних культур коливався від 75 до 188 г на 1 га, причому найбільша його кількість відзначалася для врожаїв буряка, соняшнику, проса та вівса.

Надходження цинку в рослини і загальний його вміст в урожаях в значній мірі залежать не тільки від біологічних особливостей рослини, але і від властивостей ґрунту. Так, аналогічні дослідження, проведені з рослинами, вирощеними на дерново-підзолистому суглинистому ґрунті, показали, що в

цьому випадку надходження цинку в рослини є значно вищим у порівнянні з цифрами, отриманими на чорноземі. Вміст цинку в урожаєх коливався від 58 г (капуста) до 2,1 кг (кормовий буряк) на 1 га. Цинк є необхідним елементом не тільки для рослин, але також для тварин і людини. Потреба в цинку становить 12-16 мг на добу для дорослої людини і 4-6 мг для дітей.

Кількість цинку в ґрунті становить від 20 до 120 мг на 1 кг ґрунту, а в середньому близько 50 мг. Вміст цинку в ґрунтах приблизно в 2 рази вищий за відповідні показники для міді. Гумусовий горизонт ґрунтів є найбагатшим за вмістом цинку порівняно з іншими горизонтами ґрунту. Значна частина цинку в ґрунті пов'язана з органічною речовиною. У кислих ґрунтах цинк більш рухливий, ніж у нейтральних і слаболужних. У деяких ґрунтах містяться недостатні кількості засвоюваного для рослин цинку. До них відносяться піщані, супіщані і гравійні, а також карбонатні ґрунти і ґрунти, що містять високий відсоток повільно розкладається органічної речовини. Нестача цинку для рослин часто зустрічається на знову освоєваних малородючих, а також на старих випаханих ґрунтах.

При нестачі цинку рослини погано розвиваються або зупиняються в рості. Різко виражене цинкове голодування призводить до захворювання рослин, що найчастіше спостерігається у плодових і цитрусових дерев, а також у волоського горіха, тунгового дерева і деяких інших.

З польових культур дефіцит цинку найчастіше спостерігається у кукурудзи, квасолі, сої. Початковим симптомом цинкового голодування рослини вважається поява хлоротичних плям на листі; останні стають світло-зеленими, а у деяких рослин майже білими. У плодових дерев і деяких інших деревних рослин при нестачі цинку відзначається так звана розетковість листя і дрібнолистість, що виражається в тому, що на кінцях гілок утворюються дрібні листки, розташовані у формі розетки. Листя набуває потворної форми; спостерігається вкорочення міжвузлів. Через кілька років у хворих рослин відбувається відмирання верхніх гілок (суховершинність).

Врожайність хворих рослин падає. На хворих гілках або не утворюється зовсім плодів, або утворюються дрібні плоди, що мають потворну форму. Захворювання зачіпає і кореневу систему дерев. Хворі рослини значно менш стійкі до несприятливих метеорологічних умов (заморозки, посуха і т. д.). В результаті всього цього відбувається різке зниження врожайності рослин, а при сильному цинковому голодуванні може статися і повна загибель рослин. Хворі рослини містять значно менше цинку, ніж здорові. Так, наприклад, за даними ряду авторів, листя здорових цитрусових дерев містять від 25 до 50 мг цинку на 1 кг сухої речовини, а листя хворих від цинкового голодування рослин мають лише від 3 до 10 мг цинку. Розеткова хвороба і суховершинність плодових культур від цинкової недостатності досить широко поширені в Молдавській Республіці і в деяких інших районах Причорномор'я. У Республіці Грузія відзначено захворювання тунгових дерев від нестачі цинку. Ознаки цинкового голодування цитрусових рослин відзначені майже у всіх частинах земної кулі, де вирощуються цитрусові культури. Зазначене захворювання в умовах України не поширене.

Цинк відіграє важливу фізіологічну роль у рослинах. Встановлено, що він входить до складу ряду ферментів і має великий вплив на швидкість окислювально-відновних процесів у рослинах. Відзначено також велике значення цинку для процесів запліднення рослин і розвитку зародка. Цинк накопичується в частинах рослин, найбільш багатих вітамінами. Встановлено позитивну дію цинку на вміст вітамінів С і Р. Він впливає на утворення хлорофілу; при нестачі цинку вміст хлорофілу в рослинах падає і швидкість фотосинтезу зменшується. Вуглеводний і білковий обмін в рослинах при нестачі цинку порушується. Цинк впливає також на утворення ростових речовин в рослинах (ауксинів).

Ефективність цинкових добрив в умовах України вивчалася рядом дослідників. Ще в шестидесятих роках було показано позитивний вплив цинку на врожай цукрових буряків (П. А. Власюк і І. К. Онищенко).

Виражений позитивний вплив цинку на урожай льону та зернових культур отримано на Поліссі (Я. М. Лагановський). У вегетаційних дослідях, проведених в НУБіП України (Каленська С.М., Новицька Н.В., Гончар Л.М., встановлено позитивний вплив цинку на урожай квасолі, гороху та вівса на дерново-підзолистому ґрунті, особливо виразно проявляється в умовах вапнування. Позитивний вплив цинку показано на кукурудзі та ряді інших культур (І. Логінова та ін.).

В якості цинкових добрив може застосовуватися сульфат цинку і ряд інших солей цього елемента (нітрат, хлорид і т. д.). Можуть бути використані на добрива також різні відходи промисловості, що містять цей елемент (хлорцинкова грязь та ін.).

Цинкові добрива можуть вноситися безпосередньо в ґрунт, а також застосовуватися у вигляді позакореневого підживлення рослин і для передпосівної обробки насіння. При допосівному внесенні в ґрунт цинкові добрива дають у кількості 5-10 кг цинку на 1 га. Для позакореневого підживлення під час росту рослин зазвичай проводять обприскування їх 0,02-0,05% розчином сульфату цинку. При обприскуванні плодкових дерев в безлистому стані концентрацію розчину збільшують до 1-5%. Внесення цинку в ґрунт не завжди дає задовільні результати навіть при потребі рослин в цинкових добривах. Це пояснюється тим, що в деяких ґрунтах внесений цинк швидко переходить в малодоступні для рослин форми. У цих випадках зазвичай застосовується обприскування рослин. Крім того, в останні роки вивчається ефективність комплексних органічних сполук, так званих хелатів цинку. Отримано цілком задовільні результати.

3.6 Молібден та його вплив на рослину

Молібдену в ґрунтах міститься від 1,5 до 12 мг, а в середньому для вітчизняних ґрунтів - 2,6 мг на 1 кг ґрунту. Дещо підвищеним вмістом цього елемента відрізняються ґрунти тундри. Піщані ґрунти, навпаки, досить бідні на молібден. За вмістом рухомих його форм ґрунти істотно різні; найменша

кількість молібдену відзначається на сильно кислих ґрунтах, найбільша — на лужних. Для визначення рухомого молібдену в ґрунтах застосовується оксалатна витяжка.

У рослинах молібден міститься в тисячних і десятитисячних частках відсотка на суху речовину. Відносно багаті ним насіння рослин, особливо бобових, а також їх бульби, дрібні коріння і листя.

Біологічне значення молібдену було вперше встановлено в 1950 р. Бортельсом, який показав велику роль цього елемента в процесі фіксації атмосферного азоту азотобактером. Дещо пізніше ним же було показано важливе значення молібдену у фіксації азоту бобовими рослинами. При нестачі молібдену фіксація азоту клубеньковими бактеріями, а також вільноживучими азотфіксаторами слабшає. Клубеньки на коренях бобових рослин при нестачі молібдену розвиваються слабо. Так, наприклад, в дослідях Е. В. Бобко і А. Г. Саввіної бульбочки на коренях гороху в піщаних культурах без молібдену не розвивалися зовсім; найбільша кількість бульбочок була при дозі молібдену в 0,5 мг на 1 кг піску; подальше збільшення дози молібдену зменшувало кількість бульбочок. Посилюючи фіксацію атмосферного азоту, молібден тим самим покращує азотне живлення бобових рослин. Крім участі в процесі засвоєння азоту з повітря, доведена велика роль молібдену в синтезі та обміні білкових речовин у рослинах, зокрема в процесі відновлення нітратного азоту. З'ясувалося, що молібден входить до складу ферменту нітратредуктази. При нестачі молібдену затримується відновлення нітратів в рослинах, відбувається накопичення їх в тканинах рослини і нормальний хід білкового обміну порушується, вміст білка зменшується. Відзначено, що при удобренні нітратною формою азоту рослини в більшій мірі потребують молібден, ніж при внесенні аміачних форм.

Надлишок у ґрунті марганцю, заліза, алюмінію та інших важких металів посилює потребу рослин у молібдені. З'ясувалося також, що фізіологічна роль молібдену не обмежується зазначеними двома процесами

— біологічною фіксацією азоту та відновленням нітратів. Молібден виявився необхідним елементом для нормального росту і розвитку небобових рослин при вирощуванні їх на аміачному, тобто відновленому, джерелі азоту.

Гостра нестача молібдену призводить до захворювання рослин. Недорозвиненість листя і головок у цвітної капусти і жовта плямистість у цитрусових викликаються молібденовою недостатністю і повністю усуваються при внесенні молібденових добрив. Найбільш чутливими до нестачі молібдену культурами є люцерна, конюшина та інші бобові трави, а з небобових рослин — капуста цвітна і качанна, салат, шпинат, томати та деякі інші. Позитивна дія молібдену встановлена також для гороху, сераделли, люпину, цукрового буряка, бавовнику та інших рослин.

За останні роки в Україні проведено значну кількість польових і вегетаційних дослідів, які показали високу ефективність молібдену. У таблиці ...наведено результати польового дослідження з конюшиною, проведеного на Центральній дослідній станції Вінницького аграрного університету.

Таблиця ... Вплив молібдену на врожай конюшини червоної (в ц з 1 га)

Варіанти дослідів	2055 р., пряма дія	2006 р., післядія	Приріст за 2 роки
Без молібдену	35,7	24,6	—
Позакореневе підживлення Мо (150 г на 1 га)	52,1	49,1	40,9

На Новоград-Волинському дослідному полі (дерново-підзолистий суглинок) отримано наступні дані щодо ефективності молібдену (дослід О.В. Августина).

Таблиця Дія та післядія молібдену на врожай і ботанічний склад травосуміші конюшини з тимофіївкою

Варіанти досвіду	Урожай сіна (в ц з 1 га)		Ботанічний склад сіна (в %, в середньому за 2 роки)		
	2020 р.	2021 р.	бобові	злаки	різнотрав'я
Без молібдену	24,6	25,1	27	46	27
Позакореневе підживлення Мо (150 г на 1 га)	32,0	34,9	43	35	22

В дослідях з бобово-злаковою травосумішшю, проведених Інститутом фізіології рослин та генетики НАН України (В.В. Трач) на дерново-підзолистому суглинку, отримано високу ефективність молібдену як при передпосівній обробці насіння шляхом його змочування, так і при внесенні в рядки молібденізованого суперфосфату.

Таблиця Дія молібдену на урожай бобово-злакової травосуміші при різних способах його застосування (середнє за 3 роки досвіду)

Варіанти досвіду	Урожай сіна (в ц з 1 га)	Приріст від молібдену	
		Ц з 1 га	Різниця, %
Без добрив	30,1	—	—
Гранульований суперфосфат з насінням	38,4	—	—
Те саме + 15 г Мо на 1 га змочуванням насіння	43,2	4,8	15,9

Молибденізований гранульований суперфосфат (150 г Мо на 1 га) з насінням	47,5	9,1	30,2
--	------	-----	------

В досліджах Сумського аграрного університету на сірому лісостеповому суглинку отримано наступні дані щодо впливу молибдену на врожай насіння гороху: за контролем (фон РК без молибдену) урожай склав 16,9 ц з 1 га; передпосівна обробка насіння молибдатом амонію шляхом їх змочування з розрахунку 12,5 г молибдену на 1 га збільшувала урожай насіння до 20,5 ц з 1 га, тобто на 21%. Аналогічні результати були отримані також з іншими культурами. При внесенні молибдену не тільки підвищується урожай, але поліпшуються і його якісні показники: підвищується вміст білкових речовин, вітамінів і т. д.

Молибденові добрива в даний час застосовуються в Україні, хоча і в невеликій кількості. Вперше їх почали застосовувати в 1962 р. в Австралії для поліпшення луків і пасовищ.

В даний час їх застосовують також в Новій Зеландії, США, Англії, Голландії та ряді інших країн. В якості молибденових добрив беруть молибденізований суперфосфат, молибдати амонію і натрію і триокис молибдену. В Україні в якості молибденового добрива зазвичай застосовують молибденокислий амоній.

У 1998 р. була виготовлена перша дослідна партія молибденізованого суперфосфату. Молибденові добрива вносять головним чином під конюшину та інші бобові культури або шляхом обприскування рослин на ранній стадії їх розвитку 0,02% розчином молибденокислого амонію в кількості 600-800 л розчину на 1 га, або шляхом внесення на 1 га 0,5 ц молибденізованого суперфосфату, що містить 25—50 г молибдену.

Рекомендується також застосовувати передпосівну обробку насіння шляхом обприскування його молибдатами або змочування розчинами цих сполук з розрахунку 15-25 г молибдену на гектарну норму насіння. Для

змочування насіння конюшини слід брати 1 л розчину на 12 кг насіння; для гороху і віка — 2-3 л розчину на 1 ц насіння. При змочуванні насіння ретельно перемішують.

Встановлено також, що деякі звичайні добрива, в тому числі гній і деревна зола, містять молібден. Так, наприклад, в золі рослин може міститися до 10 мг молібдену на 1 кг і, отже, з 5-6 ц її буде вноситися до 5-6 г молібдену на 1 га. Дія один раз внесеного молібденового добрива триває протягом декількох років. Відзначено, що ефективність молібдену часто посилюється при його спільному застосуванні з бором.

РОЗДІЛ 4. ПОЛЬОВІ ВИПРОБУВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО МЕТАЛОВМІСНОГО ПРЕПАРАТУ НА РОСЛИНАХ СОЇ (*GLYCINE*)

4.1 Соя як важлива технічна культура

Соя - одна із стародавніх сільськогосподарських культур, її почали вирощувати декілька тисячоліть назад. Сою була відома під час будівництва єгипетських пірамід, про неї згадується в багатьох пам'ятках стародавнього епосу. Більшість ботаніків вважають, що соя походить з Китаю (Східна Азія). У кінці VIII сторіччя нашої ери сою була завезена в Європу. У світовому землеробстві сою посідає перше місце серед зернобобових культур, її вирощують більш ніж у сорока країнах світу. Середня врожайність сої у світі складає 17 ц/га, найвищі врожаї, які отримують в Європі, - по 23 ц/га і більше. Сою вирощується в Україні в Степовій та Лісостеповій зонах. Урожайність у середньому 15-20 ц/га, при зрошенні - 27-40 ц/га. Сою активно реагує на високий рівень агротехніки. За вмістом білка серед зернобобових культур вона займає перше місце, причому її білок збалансований за амінокислотним складом. У зерні сої міститься до 25% жиру, більше 20% вуглеводів і від 38 до 44% білка, тому при вирощуванні сої отримують два врожаї - олії і білка. Білок сої добре засвоюється і добре розчиняється у воді. За вмістом незамінних амінокислот він багатший за зерно злакових культур. Білок сої - гліцин - здатний при окисненні утворювати сирну масу, а при його розщепленні можна отримувати амінокислоти. Сою використовується по-різному, але основні продукти, які з неї одержують - борошно та олія. Виготовлене з зерна сої молоко, як і тваринне молоко, містить казеїн, який використовується для промислових цілей. Соєва олія використовується як сировина для виготовлення маргарину, ліцитину, який використовується в харчовій промисловості та медицині. Широко застосовується соєва олія в миловарінні, виробництві лаків та фарб. Фарби, виготовлені на основі соєвої

олії, відзначаються високою якістю, не жовтіють 2 і зберігають блискучу поверхню. З білка сої в промисловості виготовляють штучну вовну, пластмаси, клей, інші вироби. При сівбі в чистому вигляді і в сумішках соя утворює гарний зелений корм, який охоче з'їдається всіма сільськогосподарськими тваринами. Соева солома теж згодовується великій рогатій худобі, вівцям, коням. У 100 кг зеленої маси міститься 21 кормова одиниця і 3-3,5 кг перетравного протеїну.

4.2 Методика польових випробувань та результати досліджень

Відповідно до завдань, що сформульовані у рамках магістерської роботи, польові дослідження були проведені на посівах сої різних сортів та різних природньо-кліматичних зонах. Схема закладки дослідних ділянок наведена на рис. 1. Контролем слугував загальний масив посіву із базовою агротехнологією вирощування сої. Розміри дослідної ділянки наступні: довжина ділянки 18 м, ширина 11,2 м, захисні смуги повздовжні 1,4 м та кінцеві 2,0 м. Розміри облікової ділянки: ширина ділянки 8,4 м, довжина 14 м. Площа дослідної ділянки складає 201,6 м², площа облікової ділянки 117,6 м².

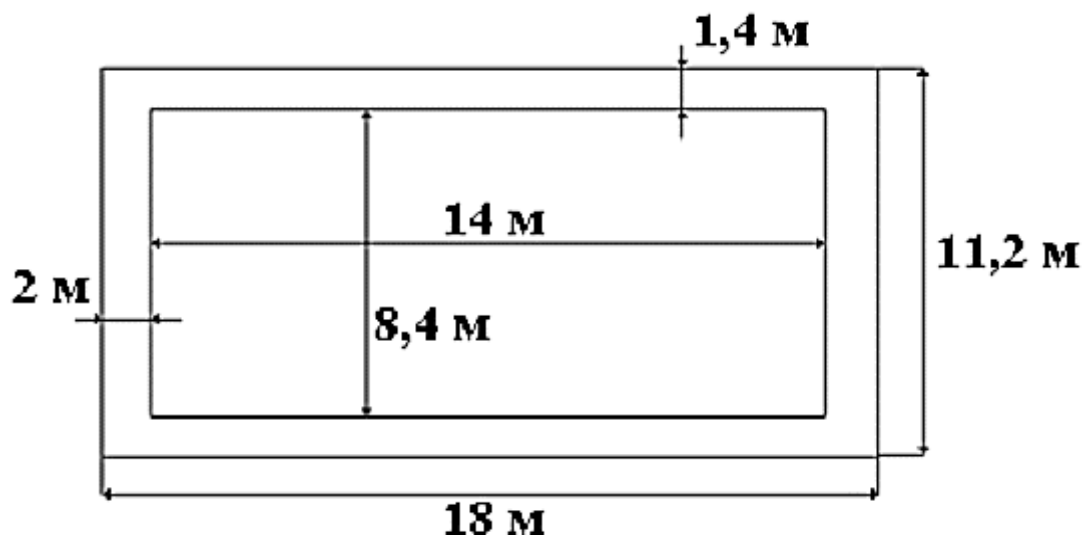


Рисунок - Розмір та форма дослідної ділянки

Повторність обробки п'ятикратна. Проведення дослідів супроводжувалось аналізом та спостереженням за рослинами і погодними умовами. Всі обліки та спостереження проводились на двох несуміжних повтореннях досліду.

Вплив нанорозчину молібдену, на культурально-біохімічні властивості клубенькових бактерій

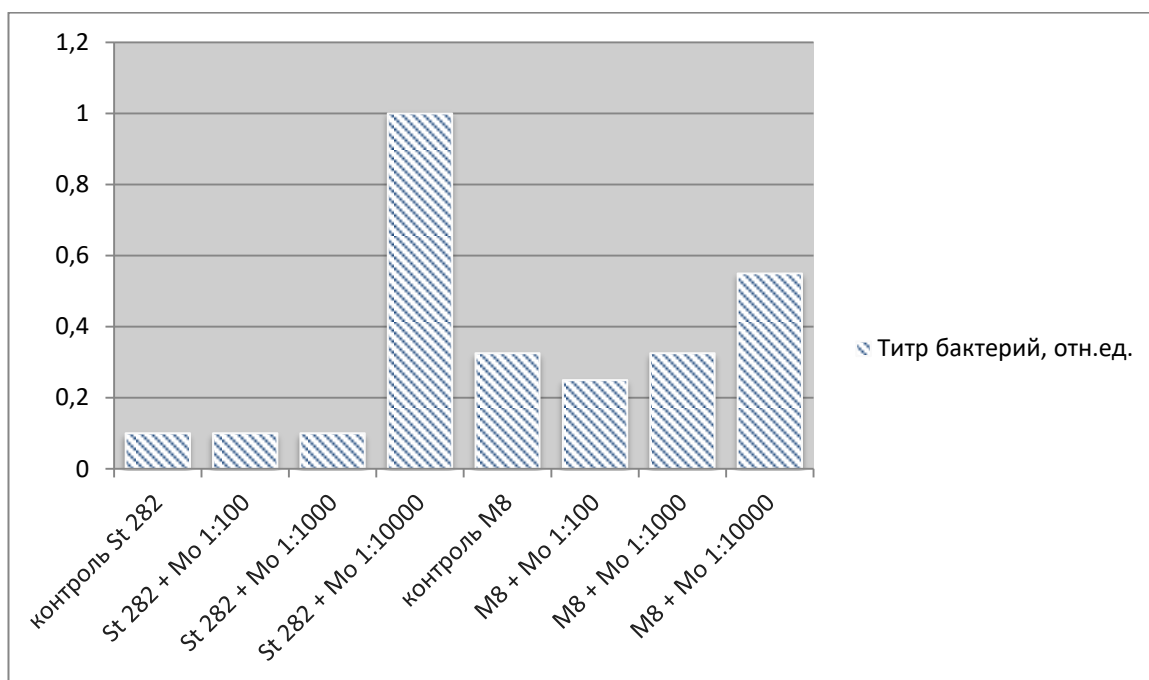


Рисунок Оптична щільність та титр бактерій із додаванням нанорозчину **Mo** в середовище.

При додаванні нанорозчину Mo у живильне середовище в концентрації 1:10000, спостерігається збільшення титра бактерій *Mezorizobium cicer St-208* у 10 разів.

У проведених дослідах вивчали вплив вмісту того чи іншого металу на показники зміни вегетативної маси, і як кінцевий результат – вміст кількості білку. Усі препарати та препаративні форми містили базовий вміст основних мінеральних добрив – азоту, калію та фосфору. Базова обробка передбачала трикратне внесення основних мінеральних добрив із нормою N₁₀ P₂₀ K₂₀.



Рисунок... сходи сої



Рисунок... Рослини сої у фазі воскової стиглості

Таблиця... Зміна вегетативної маси (г) рослин під впливом металів на різних фазах росту (органогенезу)

фаза 3-го трійчастого листа		бутонізація		цвітіння		плодоношення		воскова стиглість	
контроль	22,3	контроль	37,7	контроль	52,4	контроль	87,4	контроль	110,2
При обробці металами									
Mn	20,5	Mn	37,1	Mn	52,9	Mn	91,4	Mn	117,1

Mg	21,8	Mg	38,4	Mg	54,2	Mg	92,2	Mg	117,9
Cu	22,4	Cu	39	Cu	54,8	Cu	92,8	Cu	120,3
Fe	22,6	Fe	39,2	Fe	55	Fe	93	Fe	118,7
Zn	22,9	Zn	39,5	Zn	55,3	Zn	93,3	Zn	119
Mo	23,5	Mo	43,2	Mo	58,4	Mo	101,2	Mo	125,5

З аналізу отриманих результатів по вегетативній масі рослин можна зробити висновок що найбільш впливовим елементом виявився молібден. Так, на усіх фазах органогенезу найбільший приріст вегетативної маси спостерігався при обробці колоїдним розчином молібдену із концентрацією металу у робочому розчині 0,5 г на 1 літр, що відповідає гектарній нормі. По ступеню впливу можна представити метали в наступному ряду: марганець - магній-мідь-залізо-цинк-молібден. Найбільший приріст вегетативної маси спостерігається на фазі воскової стиглості та дорівнює 10%. Значення маси визначали по зміні середньої ваги трьох рослин. Проводили зважування надземної та кореневої системи після видалення ґрунту водою. На момент повної стиглості рослини визначали вміст білка. У базовому варіанті без обробки металами вміст складав 35%, в результаті обробки молібденом кількість зростає до 45%.

Металеві частинки	контроль	Mn	Mg	Cu	Fe	Zn	Mo
Вміст білку , %	35	40,5	41,2	43,4	43,9	44,2	45,5

Таблиця... Зміна кількості білку під впливом різних металів

4.3 Економічна ефективність використання колоїдної форми мікроелементів при вирощуванні рослинної продукції, зокрема сої

Висока технологічність та простота реалізації, незначні питомі енерговитрати на одиницю продукції – характеризує електроіскровий метод отримання колоїдних розчинів біогенних металів. Крім того, використання подібної мікроелементної форми дає можливість зменшення доз основних мінеральних добрив та мінімізувати внесення додаткових компонентів (мікроелементів) та частково відмовитись від традиційних агрохімікатів.

Використання речовин у дисперсному стані розглядається як один з елементів економічної ефективності. Обробка колоїдами металів без застосування токсичних сполук, забезпечує економічну ефективність таких підходів. Металева фаза разом з біопрепаратами дає стимул розвитку кореневої системи, надземної частини рослин, прибавку урожаю та покращення його якості.

Можливість створення власного виробництва ефективних нетоксичних препаратів повинно бути віднесено до питання продовольчої безпеки України, враховуючи значимість агропромислового виробництва, оскільки обсяги виробництва зернових культур становлять 40-45 млн. т за останні роки.

Економічну ефективність виробництва сільськогосподарської продукції проводили за загально прийнятими нормативами. Промислову собівартість підраховували за фактичними цінами, що складаються впродовж року. За ціну реалізації обирали ціну 1 т зерна, яка фактично існує на ринку по закінченню сезону.

Використання колоїдів металів не обмежується виключно вирощуванням зернових культур. Колоїдна форма металів добре зарекомендували при вирощуванні у тому числі бобових та олійних культур. Вважаємо, що створення сучасного виробництва препаратів та біопрепаратів на основі колоїдної форми металів є перспективним та економічно

обґрунтованим. За 2020-2024 роки аналізу ефективності комплексного застосування колоїдних форм металів можемо зробити висновок, що у структурі прямих витрат при вирощуванні зернових та бобових культур одним з головних елементів, що формує собівартість кінцевої продукції є основні мінеральні добрива (рис....). Від так, використання обробки колоїдами металів, що забезпечує зменшення норм внесення добрив на 30%, зменшує відповідно і прямі витрати.



Рис.....Орієнтовна структура прямих витрат при вирощуванні пшениці озимої (сорт Національна) за 2022-2024рр.

4.4 Розрахунок цехової собівартості отримання колоїдів металів.

Технологічний комплекс для синтезу колоїдних розчинів, відповідно до процесу їх отримання (Розділ 2), складається з генератору розрядних імпульсів та реакційної камери, де безпосередньо відбуваються іскрові розряди. У якості вихідних матеріалів для синтезу колоїдів металів використовують гранули біогенних металів та деіонізована вода, у якості дисперсійного середовища. Для синтезу одного літру колоїдного розчину з концентрацією дисперсної фази 500-650 мг/л, тривалість процесу обробки

складає від 2 до 5 хвилин залежно від теплофізичних та фізичних характеристик металу, що диспергується. Електрична потужність, яка споживається генератором ГРІ, дорівнює 1,5-3,5 кВт·ч та визначає енерговитрати для отримання літру препарату. Крім того, у собівартості відображається ринкова вартість металу. Складовими собівартості для розрахунку прямих (цехових) витрат виробництва мікроелементних добрив нами прийняті: вартість основних засобів (генератору розрядних імпульсів та реакційної камери); вартість витратних матеріалів (металів та очищеної води); вартість електроенергії для промислових споживачів; витрати на упаковку (тару); транспортні та комунальні витрати; витрати на заробітну плату персоналу, який задіяний у технологічному процесі виготовлення розчинів металів та накладні витрати, які у промисловій галузі за прийнятими нормами складають до 300% від прямих витрат (табл. ...).

Таблиця...Вартість компонентів для виготовлення колоїдних розчинів металів

Показник прямих витрат	Найменування	Орієнтовна ціна, грн; грн/кг(л)
Вартість основних засобів виробництва	Генератор розрядних імпульсів	150000-200000
	Реакційна камера	1000,00
Вартість витратних матеріалів	Деіонізована вода	2,00-2,50
	Метал	
	Залізо	5,00
	Манган	20,00
	Мідь	102,00
	Молібден	320,00
	Цинк	35,00
	Кобальт	260,00
	Срібло	4500,00
	Селен	1200,00
Магній	25,00	
Приведені витрати електроенергії, кВт/л		0,3-0,5

Час технологічного процесу для кожного металу визначається окремо (індивідуально). Основною складовою, яка буде формувати вартість кінцевого продукту є ринкова вартість самого металу. Кінцева ціна залежатиме від обсягів виробництва, індикативної ціни на ринку подібних препаратів, та за іншими умовами, у тому числі конкурентними перевагами, що можуть заявлятися. Наприклад, у нашому випадку пропонуються монопрепарати, що дуже цінуються на сьогоднішній день.

Калькуляція прямих витрат для отримання 1 літру колоїдного розчину металу (на прикладі молібдену) складає близько 50 грн. Відповідно, виходячи з ринкової вартості аналогічних препаратів, рівень рентабельності власного виробництва мікроелементних субстанцій та препаратів на їх основі може досягати 200-300%. Подальше використання такої лінійки препаратів, враховуючи середню норму внесення (1-1.5л/га) та кратність обробки (4-5), прибуток, який також може бути отриманий при вирощуванні пшениці озимої з кожної 1 тис. га, складає близько 2 млн. грн.

Численні дані по польовим та промисловим випробуванням колоїдів металів та препаратів на їх основі вказують на супутні переваги для отримання прибутку за рахунок покращення показників якості урожаю та збільшенню класу продукції. Крім того, досягається раціональне використання наявних ресурсів за рахунок застосування новітніх технологій аграрного виробництва.

Так, має місце як перспективність так і диверсифікацію ринку агропрепаратів, що безумовно буде вважатись додатковою інвестиційною пропозицією для аграрного бізнесу.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Pugazhendhi A, Prabhu R, Muruganantham K, et al. Anticancer, antimicrobial and photocatalytic activities of green synthesized magnesium oxide nanoparticles (MgONPs) using aqueous extract of sargassum wightii. *J Photochem Photobiol B*. 2019;190:86–97. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2018.11.014

Bayda S, Adeel M, Tuccinardi T, et al. The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical–physical applications to nanomedicine. *Molecul*. 2019;25(1):112. doi: 10.3390/molecules25010112

Fernandes M, Singh K, Sarkar T, et al. Recent applications of magnesium oxide (MgO) nanoparticles in various domains. *Adv Mater Lett*. 2020;11(8):1–10. doi: 10.5185/amlett.2020.081543

Goltsev A, Bondarovich M, Gaevska Y, et al. The role of reactive oxygen species in the implementation of the anti-tumor effect of nanocomplexes based on GdEuVO₄ nanoparticles and cholesterol. *Innov Biosyst Bioeng*. 2024;8(2):28–21. doi: 10.20535/ibb.2024.8.2.295581

Baek J, Roh HS, Baek KH, et al. Bioactivity-based analysis and chemical characterization of cytotoxic constituents from chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) that induce apoptosis in human lung adenocarcinoma cells. *J Ethnopharmacol*. 2018;224:63–75. doi: 10.1016/J.JEP.2018.05.025

Lateef A, Darwesh OM, Matter IA. Microbial nanobiotechnology: the melting pot of microbiology. *Microb Technol Nanotechnol*. 2021:1–19. doi: 10.1007/978-981-33-4777-9_1

Burmasova MA, Sysoeva MA. Chemical composition and biological activity of the BuOH fraction from chaga melanin. *Pharm Chem J*. 2017;51(4):292–294. doi: 10.1007/s11094-017-1601-8

Lowry GV, Avellan A, Gilbertson LM. Opportunities and challenges for nanotechnology in the agri-tech revolution. *Nat Nanotechnol*. 2019;14(6):517–522. doi: 10.1038/s41565-019-0461-7

Mitragotri S, Anderson DG, Chen X, et al. Accelerating the translation of nanomaterials in biomedicine. *ACS Nano*. 2015;9(7):6644–6654. doi: 10.1021/acsnano.5b03569

Verma A, Stellacci F. Effect of surface properties on nanoparticle–cell interactions. *Small*. 2010;6(1):12–21. doi: 10.1002/sml.200901158

Adebayo EA, Azeez MA, Alao MB, et al. *Mushroom nanobiotechnology: concepts, developments and potentials*. Singapore: Springer Singapore; 2021.

Hassan M, Shaaban SA, El Ziat RA, et al. Laser-induced changes in the gene expression, growth and development of *gladiolus grandiflorus* cv. “White prosperity”. *Sci Rep*. 2024;14(1):6257. doi: 10.1038/s41598-024-56430-6

Swathy PS, Kiran KR, Joshi MB, et al. He–ne laser accelerates seed germination by modulating growth hormones and reprogramming metabolism in brinjal. *Sci Rep*. 2021;11(1):7948. doi: 10.1038/s41598-021-86984-8

Chang Y, Bai M, Xue XB, et al. Isolation of chemical compositions as dietary antioxidant supplements and neuroprotectants from chaga mushroom (*Inonotus obliquus*). *Food Biosci*. 2022;47:47. doi: 10.1016/J.FBIO.2022.101623

Prados-Rosales R, Toriola S, Nakouzi A, et al. Structural characterization of melanin pigments from commercial preparations of the edible mushroom *auricularia auricula*. *J Agric Food Chem*. 2015;63(33):7326–7332. doi: 10.1021/acs.jafc.5b02713

Fordjour E, Manful CF, Javed R, et al. Chaga mushroom: a super-fungus with countless facets and untapped potential. *Front Pharmacol*. 2023;14:1273786. doi: 10.3389/fphar.2023.1273786

Wold CW, Kjeldsen C, Corthay A, et al. Structural characterization of bioactive heteropolysaccharides from the medicinal fungus *Inonotus obliquus* (chaga). *Carbohydr Polym*. 2018;185:27–40. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.12.041

Nguyen TMN, Le HS, Le BV, et al. Anti-allergic effect of inotodiol, a lanostane triterpenoid from chaga mushroom, via selective inhibition of mast cell function. *Int Immunopharmacol*. 2020;81:106244. doi: 10.1016/j.intimp.2020.106244

Vynarchuk K, Lopatko KG. Effect of nanoparticles on morphological parameters of wheat. *Mol Cryst And Liquid Cryst.* 2024;768(14):701–717. doi: 10.1080/15421406.2024.2358730

Lopatko KG, Aftandilyants EH, Kalenska SM, et al. Mother colloidal solution of metals. Ukraine: b01J 13/00 patent of Ukraine (no. 38459 12 January 2009). 2009 [cited 2024 Sep 12]. Available from:

Sergiienko RA, Ilkiv BI, Petrovska SS, et al. Structure and properties of silicon nano- and microparticles obtained by electric-spark dispersion method. *Mol Cryst and Liquid Cryst.* 2023;752(1):112–127. doi: 10.1080/15421406.2022.2091278

Mykchaylova O, Dubova H, Lomberg M, et al. Influence of low-intensity light on the biosynthetic activity of the edible medicinal mushroom *hericium erinaceus* (bull: Fr) pers in vitro. *Arch Biol Sci (Beogr).* 2023;75(4):489–501. doi: 10.2298/ABS230821040M

Eggenberger K, Frey N, Zienicke B, et al. Use of nanoparticles to study and manipulate plant cells. *Adv Eng Mater.* 2010;12(9):12. doi: 10.1002/adem.201080009

A. Veklich, et al. *Springer Proceedings in Physics.* 2020; Vol. 247:283-306. ISBN 978-3-030-52267-4. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52268-1_23.

S. Zakharchenko, et al. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii.* 2020; 42 (6):829-851. <https://doi.org/10.15407/mfint.42.06.0829>

Taran, N.Y., Gonchar, O.M., Lopatko, K.G. *et al.* The effect of colloidal solution of molybdenum nanoparticles on the microbial composition in rhizosphere of *Cicer arietinum* L *Nanoscale Res Lett* **9**, 289 (2014). <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-2896>.

Lopatko S, Chayka V. The main ways for metal nanoparticles degradation. *Biol Syst: Theory Innov.* 2022 13;13(3–4). doi: 10.31548/biologiya13(3-4).2022.061

Lopatko K., Melnichuk M., Aftandilyants Y., Gonchar E. *et al.* / Plasma technologies in modification of textile materials by colloids of metals // [20th](#)

[Symposium on Physics of Switching Arc 2013, FSO 2013](#). ISBN 978-163266010-7. - pp. 241 – 244.