

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Агрономічний факультет
Спеціальність 201 Агрономія
Освітньо-професійна програма Агрономія

«Допускається до захисту»

Декан агрономічного факультету, к. с.-г. н.,

доцент Олександр ІЖБОЛДІН

« _____ » _____ 2025р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

**ВПЛИВ ЦИНКОВИХ МІКРОДОБРІВ ХЕЛАТНОЇ ТА СОЛЬОВОЇ
ФОРМИ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СЕРЕДНЬОПІЗНЬОГО ГІБРИДУ
КУКУРУДЗИ В УМОВАХ СЕЛЯНСЬКОГО ФЕРМЕРСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА «ЯРОСЛАВА» САМАРІВСЬКОГО РАЙОНУ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

Здобувач другого (магістерського)
рівня вищої освіти:

Руслан БОБОШКО

Керівник кваліфікаційної роботи:
завідувач кафедри агрохімії, д. с.-г. н.,
старший науковий співробітник,
професор

Сергій КРАМАРЬОВ

Дніпро - 2025

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Факультет агрономічний
Спеціальність 201 Агрономія
Освітньо-професійна програма Агрономія

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан агрономічного факультету, к. с.-г. н.,
доцент Олександр ІЖБОЛДІН

«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

**на виконання кваліфікаційної роботи здобувачу другого (магістерського)
рівня вищої освіти**

Бобошку Руслану Віталійовичу

1. Тема роботи: «Вплив цинкових мікродобрив хелатної та сольової форми на продуктивність середньопізнього гібриду кукурудзи в умовах селянського фермерського господарства «ЯРОСЛАВА» Самарівського району Дніпропетровської області »

Термін подачі здобувачем завершеної роботи на кафедрі:

«_____» _____ 2025 р.

2. Вихідні дані для роботи:

- с.-г. підприємство – сільського фермерське господарство «ЯРОСЛАВА»
- сільськогосподарська культура – кукурудза.

3. Перелік завдань, які виконуються в роботі:

- викласти методику проведення досліджень;
- зробити порівняльний аналіз урожайності при інкрустуванні насіння цинком ;
- провести оцінку досліджуваних елементів;
- на основі розрахунків та аналізу проведених досліджень зробити висновки та надати рекомендації виробництву.

4. Перелік ілюстративного матеріалу:

- графіки характеристики ґрунту з агрофізичними і агрохімічними показниками сільського (фермерське) господарство «Ярослава»;
- ілюстрований матеріал кукурудзи ;
- таблиця економічної ефективності вирощування пшениці м'якої озимої;
- аналіз виробничого травматизму та захворювань у господарстві.

5. Дата видачі завдання:

Керівник: _____ **Сергій КРАМАРЬОВ**

Завдання прийняла до виконання: _____ **Руслан БОБОШКО**

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Найменування етапів дипломної роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|--------------------------------|----------|
| 1. | Аналіз літературних джерел | 14.11.24-24.12.25 | |
| 2. | Огляд літератури | 26.12.24-27.01.25 | |
| 3. | Об'єкт, предмет та умови проведення досліджень | 29.01.24-10.03.25 | |
| 4. | Методика та результати проведення досліджень | 13.03.25-21.07.25 | |
| 5. | Економічна оцінка | 24.07.25-22.09.25 | |
| 6. | Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | 25.09.25-20.10.25 | |
| 7. | Оформлення роботи, висновки та рекомендації виробництву | 23.10.25-07.12.25 | |

Здобувача вищої освіти: _____

Руслан БОБОШКО

Керівник роботи: _____

Сергій КРАМАРЬОВ

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| РЕФЕРАТ | 6 |
| ВСТУП | 7 |
| РОЗДІЛ 1 | 11 |
| ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ОБРАНОЇ ТЕМИ ВИКОНАНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ | 11 |
| 1.1. Характеристика основних елементів системи удобрення кукурудзи | 11 |
| 1.2. Роль цинку в мінеральному живленні рослин кукурудзи | 15 |
| 1.3. Особливості проведення фоліарного підживлення рослин кукурудзи в початковій фазі онтогенезу | 17 |
| Висновки до Розділу 1 | 20 |
| РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ І УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ | 21 |
| 2.1. Методи дослідження | 21 |
| 2.2. Кліматичні особливості зони проведення досліджень | 26 |
| 2.3. Агрохімічна і агрофізична характеристика чорнозему звичайного дослідного поля СФГ «ЯРОСЛАВА» | 28 |
| 2.4. Агротехніка вирощування кукурудзи в умовах польового дослідження .. | 32 |
| Висновки до Розділу 2 | 35 |
| РОЗДІЛ 3 | 37 |
| ПРОДУКТИВНІСТЬ СЕРЕДНЬОПІЗНЬОГО ГІБРИДУ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД МІКРОДОБРІВ ЦИНКУ В СОЛЬОВІЙ ТА ХЕЛАТНІЙ ФОРМАХ В УМОВАХ СІЛЬСЬКОГО ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА «ЯРОСЛАВА» САМАРІВСЬКОГО РАЙОНУ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ | 37 |
| 3.1 . Ефективність предпосівної інкрустації насіння кукурудзи хелатом цинку | 37 |
| 3.1.2. Ефективність фоліарного підживлення рослин кукурудзи водними розчинами цинкових добрив | 39 |
| 3.1.3. Вплив фоліарного підживлення на накопичення сирої маси та сухої маси рослин кукурудзи по основним фенологічним фазам розвитку | 40 |
| 3.1.4. Вплив цинкових добрив використаних сумісно в складі бакової суміші на розмір качана кукурудзи | 42 |
| 3.1.5. Вплив фоліарного підживлення цинковими добривами на величину маси тисячі насінин кукурудзи | 44 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1.6. Урожайність насіння кукурудзи за фоліарного підживлення водними розчинами карбаміду в поєднанні з цинковими мікродобривами..... | 45 |
| 3.1.7. Вплив фоліарного підживлення водними розчинами карбаміду різної концентрації на висоту рослин та індивідуальну продуктивність кукурудзи | 46 |
| 3.1.8. Вплив цинкових мікродобрив на інтенсивність фотосинтезу та функціонування листкового апарату кукурудзи..... | 48 |
| 3.1.9. Зміна площі листкової поверхні рослин кукурудзи під впливом позакореневого підживлення цинковими добривами | 50 |
| 3.1.10. Порівняльна ефективність позакореневого підживлення рослин кукурудзи сульфатом цинку та хелатними формами цинку | 51 |
| Висновки до розділу 3..... | 53 |
| РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОЛІАРНОГО ПІДЖИВЛЕННЯ В ПОСІВАХ КУКУРУДЗИ | 55 |
| 4.1. Оцінювання агрономічної ефективності застосування добрив..... | 55 |
| 4.2. Економічна оцінка ефективності проведення фоліарного підживлення рослин кукурудзи водними розчинами цинкових добрив | 58 |
| Висновки до Розділу 4..... | 61 |
| РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ В ГОСПОДАРСТВІ | 63 |
| Висновки до Розділу 5..... | 65 |
| ВИСНОВКИ | 67 |
| РЕКОМЕНДАЦІЇ ГОСПОДАРСТВУ | 70 |
| Список використаних літературних джерел | 73 |
| ДОДАТОК А..... | 76 |
| Додаток Б | 77 |
| Додаток В | 79 |
| Додаток Г | 80 |

РЕФЕРАТ

Тема дипломної роботи: «Продуктивність середньопізнього гібриду кукурудзи залежно від предпосівної інкрустації насіння і фоліарного підживлення рослин водними розчинами цинку в сольовій та хелатній формі в умовах сільського фермерського господарства «ЯРОСЛАВА» самарівського району дніпропетровської області»».

Актуальність досліджень: Порівняння ефективності сольової та хелатної форм цинку для кукурудзи, оскільки різні форми цинку можуть відрізнятися за доступністю для рослин. Вплив на різні фази розвитку рослин: Дослідження впливу цинку на різні фази розвитку кукурудзи дозволить визначити оптимальні терміни та норми його застосування.

Мета досліджень: Оцінити вплив предпосівної інкрустації насіння та фоліарного підживлення цинком на продуктивність середньопізнього гібриду кукурудзи в умовах степовій зоні України.

Методи досліджень: Дисперсійний аналіз: Для порівняння врожайності різних варіантів досліду, польовий – спостереження за ростом і розвитком рослин кукурудзи, розрахунковий – визначення економічної ефективності результатів дослідження, лабораторний.

Предмет дослідження: водорозчинні сполуки цинку та гібрид кукурудзи ВНІС Тесла

Дипломна робота викладена на 81 аркушах друкованого тексту, включає 5 розділів, висновки та рекомендації виробництву, список використаної літератури, додатки. Робота містить 18 таблиць, 9 рисунків. Список літературних джерел налічує 60 джерел, 4 додатки.

Ключові слова: кукурудза, хелат цинку, цинкові добрива, урожайність, економічна ефективність, охорона праці.

ВСТУП

Актуальність теми. Кукурудза належить до високоінтенсивних сільськогосподарських культур, які протягом онтогенезу споживають значні кількості поживних елементів із ґрунту. Особливо інтенсивне поглинання мінеральних речовин відбувається у період від 8–10 листків до викидання волоті, коли формується майбутня врожайність культури. У цей час темпи накопичення сухої маси кукурудзи значно випереджають можливості ґрунтового розчину забезпечити рослину оптимальними концентраціями мікроелементів, зокрема цинку. Саме тому кукурудза є однією з найбільш чутливих до цинкового дефіциту культур світового землеробства.

Цинк відіграє ключову роль у перебігу фізіологічних процесів кукурудзи. Він бере участь у синтезі ауксинів — гормонів росту, що регулюють формування кореневої системи; впливає на активність ферментів та інтенсивність фотосинтезу; забезпечує стійкість рослин до абіотичних стресів, таких як низькі температури, посуха та підвищена кислотність ґрунту. Дефіцит цинку на ранніх етапах розвитку кукурудзи призводить до хлорозів, карликовості, зниження кількості листків, порушення закладання генеративних органів та втрати потенційної урожайності.

У сучасних умовах господарювання дефіцит цинку зумовлений низкою факторів: високим рівнем вилуження мікроелементів, використанням інтенсивних технологій вирощування, застосуванням великих доз NPK-добрив, які погіршують доступність цинку, а також природними особливостями ґрунтів (карбонатністю, високим рН, низьким вмістом органічної речовини). Тому забезпечення кукурудзи доступними формами цього мікроелемента стає одним із найважливіших завдань сучасної агротехнології.

Ефективним способом ліквідації дефіциту є використання цинкових мікродобрив — хелату цинку та сольового цинку, які відрізняються швидкістю проникнення в тканини рослини, ступенем доступності та тривалістю дії. Фоліарне застосування цих форм дозволяє оперативно компенсувати нестачу

елемента у критичні фази розвитку культури, підвищуючи її стійкість і продуктивність. Водночас на сьогодні недостатньо обґрунтовані оптимальні концентрації різних форм цинку для позакореневого підживлення кукурудзи, що не викликатимуть пошкодження листкової пластинки та забезпечать максимальний фізіологічний ефект. Саме необхідність вирішення цих питань зумовила вибір теми даної магістерської дипломної роботи.

Вибір цієї теми продиктований практичними потребами виробництва щодо підвищення ефективності застосування цинкових мікродобрив та необхідністю отримання достовірних наукових даних щодо їх впливу на ріст, розвиток і врожайність кукурудзи. Результати дослідження мають важливе значення для формування рекомендацій виробництву та можуть бути широко впроваджені у практику аграрних підприємств.

Зв'язок магістерської роботи з тематичним планом кафедри агрохімії. Тема магістерської роботи безпосередньо пов'язана з напрямками наукових досліджень, що проводяться на кафедрі агрохімії. Для вирішення актуальних завдань, поставлених виробництвом, у межах польового експерименту було здійснено такі наукові спостереження та дослідження:

- **оцінювали вплив позакореневого підживлення водними розчинами цинкових мікродобрив** цинк у хелатній формі та сульфат цинку на рослини кукурудзи у фазі 6–10 листків, інтенсивність росту, формування фотосинтетичного апарату, елементи структури врожаю та загальну продуктивність агроценозу даної сільськогосподарської культури;

- **з'ясували вплив цинкових мікродобрив на врожайність та вміст білка в зерні кукурудзи**, а також проводили економічну оцінку ефективності цього агрозаходу в умовах недостатнього зволоження північної частини степової зони України на конкретному господарстві СФГ «ЯРОСЛАВА»;

- **розробляли рекомендації з позакореневого підживлення кукурудзи водними розчинами цинкових мікродобрив** з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов дослідної ділянки.

Наукова новизна роботи полягає у встановленні можливості ефективного застосування цинкових мікродобрив цинк у хелатній формі та сольовий цинк у технології вирощування кукурудзи. Встановлено, що позакореневе підживлення такими препаратами позитивно впливає на формування генеративних органів рослин, кількість зерен у качані, масу 1000 зерен та на вміст білка в основній продукції. Для цього було запропоновано готувати бакові суміші на основі хелатного цинку, який характеризується високою розчинністю та доступністю, та сольового (сульфатного) цинку як більш економічної форми мікродобрива. Використання цинкових мікродобрив сприяє швидкому проникненню елемента живлення крізь біологічні мембрани та підвищує адаптивний потенціал рослин у стресових умовах вирощування.

Практична цінність роботи полягає у визначенні переваг використання цинкових мікродобрив для проведення позакореневого підживлення кукурудзи. Тенденція сумісного застосування хелатної та сольової форм цинку дає можливість отримати значний економічний ефект і поліпшити біохімічні показники якості вирощеної основної продукції.

Апробація результатів досліджень магістерської роботи. Ключові положення цієї магістерської роботи були обговорені на засіданні кафедри агрохімії, а також представлені на науково-практичних конференціях, де отримали схвальні відгуки від експертів.

Дольовий вклад здобувача. Автором роботи було проведено мікропольові дослідження та виконано супутні біометричні вимірювання рослин кукурудзи на різних етапах їх розвитку. У ході досліджень отримано надійні експериментальні дані, які мають як наукове, так і практичне значення. Результати роботи будуть використані в агровиробництві, розташованому в північній частині степової зони України. На основі отриманих матеріалів здобувач сформулював обґрунтовані висновки та розробив практичні рекомендації, спрямовані на їхнє впровадження у сільськогосподарську практику.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку літературних джерел, який включає 60 найменувань, а також додатків.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ОБРАНОЇ ТЕМИ ВИКОНАНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Характеристика основних елементів системи удобрення кукурудзи

Для рослин кукурудзи досягти високої продуктивності можливо шляхом оптимізації складових системи удобрення, зокрема такого важливого елемента, як позакореневе підживлення мікродобривами. У сучасних умовах землеробства, коли нестабільність кліматичних факторів та нерівномірність розподілу опадів істотно впливають на ріст і розвиток агроценозів [60], роль збалансованого мінерального живлення зростає в декілька разів. Значна варіабельність урожайності кукурудзи за роками підтверджується статистичними даними (табл. 1): у роки з достатнім зволоженням валовий збір зерна значно зростає, тоді як у посушливі періоди цей показник різко знижується [10, 33]. Такі коливання пояснюються тим, що водний дефіцит обмежує інтенсивність фізіолого-біохімічних процесів, уповільнює формування фотосинтетичного апарату та погіршує засвоєння поживних елементів. Саме тому підвищення ефективності мінерального живлення є ключовим фактором стабілізації продуктивності культури, адже за рахунок раціонального внесення макро- і мікродобрив вдається компенсувати знижену доступність поживних речовин у стресових умовах та забезпечити рослинам оптимальні умови для формування врожаю [2, 6, 18].

Особливу увагу привертає застосування цинкових мікродобрив, адже цинк є одним із найважливіших мікроелементів для кукурудзи. Він бере участь у формуванні ферментативних систем, забезпечує інтенсивний ріст кореневої системи [32, 55], підвищує стійкість до посухи та сприяє рівномірному розвитку рослин. Окрім того, цинк бере участь у синтезі гормонів росту — ауксинів, що контролюють поділ та розтягнення клітин, а також позитивно впливає на вуглеводно-енергетичний обмін, що є важливим у період

інтенсивного росту надземної маси. Ефективність цинку суттєво залежить від його форми — сольової або хелатної, що визначає його доступність у різних ґрунтових умовах. Хелатні комплекси відрізняються високою стабільністю, що забезпечує їх кращу проникність через листову пластинку та підвищену здатність до засвоєння в умовах карбонатних і малоокислих ґрунтів [44, 45]. Сольові форми, хоч і доступніші економічно, демонструють суттєво нижчу ефективність у стресових умовах та на ґрунтах зі зниженою рухомістю мікроелементів.

Для оптимізації мінерального живлення кукурудзи ми звертаємось до аналізу літературних джерел з метою узагальнення сучасних наукових даних та визначення аспектів, які потребують подальшого дослідження, особливо щодо порівняльної дії цинку в різних формах. Наукові праці останніх років свідчать, що позакореневе підживлення цинком у період інтенсивного росту (фази 5–7 та 8–10 листків) сприяє підвищенню площі листової поверхні, активізації фотосинтезу, покращенню транспіраційної здатності рослин та підвищенню коефіцієнта використання азоту. Усе це створює передумови для формування більшої продуктивності, особливо в умовах недостатнього зволоження.

Удобрення кукурудзи може здійснюватися різними способами й у різні фази розвитку рослин. Система живлення включає декілька важливих етапів: основне удобрення, рядкове внесення, кореневе підживлення та позакореневе підживлення мікродобривами. Кожен із цих етапів має специфічну роль у забезпеченні рослин поживними елементами. Основне удобрення проводять перед сівбою або під час підготовки ґрунту. У цей період зазвичай вносять фосфорні та калійні добрива, які забезпечують формування потужної кореневої системи та сприятливих умов для стартового росту кукурудзи [6, 12]. Адекватне забезпечення рослин фосфором на початкових стадіях розвитку є критично важливим, адже дефіцит цього елемента часто призводить до суттєвого затримання росту та зниження рівня майбутньої врожайності.

Рядкове внесення передбачає внесення добрив у безпосередню близькість до насіння під час сівби. Воно забезпечує молоді рослини доступними формами

поживних елементів у критичний період проростання насіння та утворення перших сходів, що має важливе значення для формування продуктивного посіву (табл. 1). Цей спосіб живлення дозволяє покращити засвоєння азоту і фосфору у фазі 3–5 листків, коли рослини лише починають інтенсивно нарощувати кореневу систему. Завдяки поєднанню основного удобрення, рядкового внесення та цілеспрямованих обробок мікродобривами формується комплексна система живлення, здатна забезпечити стабільний розвиток рослин навіть за несприятливих погодних умов.

Кукурудза характеризується високими потребами в елементах мінерального живлення, баланс яких є визначальним фактором реалізації генетичного потенціалу гібридів. Основу системи удобрення складають азот (N), фосфор (P) і калій (K), проте для досягнення максимальної продуктивності критично важливим є оптимізація мікроелементного складу, зокрема забезпечення рослин цинком (Zn) [2, 18].

Азот відіграє ключову роль у метаболізмі рослин, беручи участь у синтезі білків, нуклеїнових кислот та молекул хлорофілу. Оптимальне азотне живлення забезпечує інтенсивну фотосинтетичну діяльність та наростання вегетативної маси. Дефіцит цього елемента призводить до гальмування ростових процесів, виникнення хлорозу листкового апарату та, як наслідок, суттєвого зниження врожайності зерна і погіршення його якісних показників, зокрема вмісту протеїну [34, 42]. Водночас надмірне азотне живлення може спричинити надмірний вегетативний ріст на шкоду генеративному розвитку, а також подовжити вегетаційний період.

Фосфор виступає життєво необхідним елементом для енергетичного обміну в клітинах рослин (АТФ). Він стимулює розвиток потужної кореневої системи на ранніх етапах органогенезу [24], що є критичним для кукурудзи, а також сприяє формуванню генеративних органів і прискорює дозрівання зерна. Нестача фосфору проявляється у сповільненні росту, слабкому розвитку коренів та зниженні загальної продуктивності агроценозу.

Калій забезпечує регуляцію водного режиму, підвищує тургор клітин та стійкість рослин до біотичних і абіотичних стресів (посухи, збудників хвороб). Він активує транспорт асимілятів від листя до качанів, покращуючи виповненість зерна. Дефіцит калію часто візуалізується у вигляді крайових опіків листя («крайовий запал») та зниженні стійкості стебла до вилягання [47, 48].

Поряд із макроелементами, особливе місце в технології вирощування кукурудзи займає цинк. Його дефіцит виступає лімітуючим фактором урожайності навіть на фоні високого забезпечення NPK. Для нівелювання цього дефіциту та забезпечення рослин цинком упродовж вегетації доцільно застосовувати комбінований підхід, що включає два основні методи:

1. **Передпосівна інкрустація насіння цинком.** Цей агрозахід дозволяє забезпечити проростки доступним елементом живлення на найбільш ранніх етапах розвитку, коли коренева система ще недостатньо розвинена для засвоєння важкорозчинних сполук із ґрунту. Інкрустація сприяє активізації синтезу ауксинів, стимулює ріст кореневої системи та підвищує польову схожість насіння [56, 57].
2. **Фоліарне (позакореневе) підживлення цинком.** Захід проводиться у критичні фази розвитку культури (3–5 та 6–8 листків) шляхом обприскування посівів спеціальними хелатними розчинами. Такий спосіб дозволяє оперативно скоригувати мінеральний статус рослини, швидко усунути прихований або явний дефіцит мікроелемента та посилити стійкість рослин до температурних стресів.

Комплексне поєднання основного удобрення з **інкрустацією насіння та фоліарним підживленням** є стратегічно важливим для формування високопродуктивних посівів кукурудзи.

1.2. Роль цинку в мінеральному живленні рослин кукурудзи

Цинк відіграє фундаментальну роль у мінеральному живленні рослин кукурудзи, будучи незамінним компонентом ферментативних систем та каталізатором ключових фізіолого-біохімічних процесів, що визначають продуктивність культури. Кукурудза належить до групи рослин, які характеризуються високою чутливістю до дефіциту цинку [43], реагуючи на його нестачу значним зниженням темпів росту та недобором урожаю. Фізіологічна функція цинку багатогранна: він входить до складу понад 60 ферментів [29, 54], зокрема карбоангідрази, алкогольдегідрогенази та супероксиддисмутази, які регулюють процеси дихання, фотосинтезу та білкового обміну. Особливе значення цинк має для гормональної регуляції ростових процесів, оскільки бере участь у біосинтезі амінокислоти триптофану — попередника фітогормону ауксину (індолілоцтової кислоти), що визначає поділ клітин, їх розтягування та апікальне домінування. Достатній рівень ауксинів забезпечує активне видовження міжвузлів та швидке наростання вегетативної маси на ранніх етапах онтогенезу.

Цинк впливає на проникність клітинних мембран, стабілізує структуру рибосом та сприяє нормальному синтезу білка; при його дефіциті спостерігається накопичення небілкових форм азоту та порушення обміну білка [45, 54]. Важливою є роль цинку у вуглеводному обміні: він сприяє синтезу хлорофілу, активізує фотосинтетичне фосфорилування та покращує транспорт цукрів із вегетативних органів до генеративних, що безпосередньо впливає на формування крохмалю в зерні. У стресових умовах, таких як посуха або різкі коливання температур, цинк виконує протекторну функцію, активуючи фермент супероксиддисмутазу, що захищає клітини від окислювального стресу та руйнівної дії вільних радикалів.

Критичним періодом споживання цинку є фаза 3–6 листків, коли коренева система ще недостатньо розвинена, а запаси поживних речовин із насінини вичерпані (табл.1.1). Дефіцит елемента в цей час призводить до затримки росту,

скорочення міжвузлів (розеточність), появи характерних блідо-жовтих або білих смуг уздовж центральної жилки листка («хвороба білої бруньки»). Антагонізм між фосфором та цинком також впливає на забезпеченість рослин: надлишок фосфорних елементів при низькому вмісті цинку блокує його поглинання та порушує метаболізм [4, 24]. У генеративній фазі цинк необхідний для життєздатності пилку, росту пилкових трубок та успішного запліднення зав'язі; його дефіцит призводить до череззерниці, недорозвинених верхівок качанів та зниження маси 1000 насінин. Таким чином, оптимальне забезпечення кукурудзи доступними формами цинку є критично важливим для формування високого врожаю та його якісних показників, зокрема вмісту білка, крохмалю та стійкості рослин до біотичних і абіотичних стресів.

Таблиця 1.1.

Типові концентрації цинку в листках кукурудзи за фазами розвитку

| Фаза розвитку | Вміст Zn у листках, мг/кг сухої речовини | Діагностичний рівень забезпеченості |
|------------------|--|--------------------------------------|
| 2–3 листки | 20–35 | нижче 18 – дефіцит |
| 4–6 листків | 18–30 | нижче 15 – критичний дефіцит |
| 7–9 листків | 16–25 | нижче 14 – ризик зниження урожаю |
| Викидання волоті | 14–22 | нижче 12 – депресія росту |
| Після запилення | 12–20 | нижче 10 – порушення наливання зерна |
| Налив зерна | 10–18 | нижче 8 – череззерниця |

Представлені у таблиці дані демонструють характерну тенденцію поступового зниження концентрації цинку в листовій масі кукурудзи впродовж онтогенезу. Це явище пов'язане як з інтенсивним приростом біомаси, що призводить до «розбавлення» поживних елементів у тканинах, так і з внутрішнім перерозподілом Zn між органами рослини під час переходу від вегетативного до генеративного розвитку. Саме тому оцінювання рівня забезпеченості цинком потребує обов'язкового врахування фази росту, оскільки концентрація, що вважається оптимальною на ранніх етапах, у період цвітіння

або наливу зерна може вже свідчити про прихований або явний дефіцит. Найбільш критичними фазами щодо забезпечення доступними формами Zn є періоди 2–6 та 7–9 листків, коли формуються продуктивні органи та відбувається закладання потенціалу майбутнього урожаю. Зниження вмісту цинку нижче діагностичних порогів у ці періоди викликає порушення синтезу хлорофілу, пригнічення роботи ферментативних систем, зменшення інтенсивності фотосинтезу, сповільнення росту стебла та формування меншої кількості рядів зерен у качані. Наявність дефіциту у фазі викидання волоті - цвітіння негативно впливає на життєздатність пилку та процес запилення, що проявляється зниженням кількості зав'язей, появою недорозвинених верхівок качанів та нерівномірністю заповнення зернівок.

У фазах наливу зерна концентрація цинку природно знижується, однак показники нижче 8 мг/кг сухої речовини свідчать про порушення транспорту асимілянтів, ризик череззерниці та зменшення маси 1000 насінин. Такий дефіцит обмежує синтез крохмалю та може суттєво знизити якість і товарність зерна. Тому своєчасна діагностика, фоліарні підживлення та збалансовані системи удобрення є ключовими для попередження негативних наслідків та забезпечення повноцінного формування врожаю.

Отже, інтерпретація даних листкової діагностики на основі нормативних концентрацій Zn дозволяє своєчасно ідентифікувати як явні, так і приховані форми дефіциту, оптимізувати дозування та строки внесення мікродобрив, а також підвищити ефективність мінерального живлення кукурудзи у різних ґрунтово-кліматичних умовах. Саме інтеграція таких діагностичних підходів забезпечує формування стабільно високопродуктивних посівів та мінімізує ризики зниження врожаю під впливом абіотичних і біотичних стресів.

1.3. Особливості проведення фоліарного підживлення рослин кукурудзи в початковій фазі онтогенезу

Початкові фази онтогенезу кукурудзи характеризуються формуванням основних морфологічних та фізіологічних структур, які визначають подальшу

продуктивність культури. У період від появи сходів до фази 6–8 листків рослина закладає фундамент майбутньої врожайності: інтенсивно розвивається первинна коренева система, формуються перші справжні листки, відбувається закладка конуса наростання та здійснюється диференціація зачатків генеративних органів. Саме в цей час кукурудза є надзвичайно чутливою до нестачі мінеральних елементів, зокрема мікроелементів, головним із яких є цинк [33, 49].

На ранніх етапах своєї вегетації кукурудза часто стикається з обмеженням надходження поживних речовин із ґрунту. Причиною цього можуть бути низькі температури ґрунтового середовища, перезволоження, висока концентрація карбонатів, ущільнення орного шару або слабкий розвиток кореневої системи у фазах 1–3 листків. За таких умов ефективність ґрунтових форм добрив знижується, а самі рослини переходять до критичного стану мікроелементного голодування. Саме тому фоліарне підживлення на ранніх фазах онтогенезу є важливим технологічним прийомом, який забезпечує швидке надходження необхідних елементів без залежності від ґрунтових факторів.

Цинк відіграє ключову роль у біохімічних реакціях, що забезпечують активність ферментів, синтез білків та регуляцію гормонального балансу [55]. Він є незамінним компонентом у синтезі ауксинів — фітогормонів, які контролюють ріст кореневої системи, довжину міжвузлів та стійкість апікальної меристеми до абіотичних стресів. При його дефіциті спостерігається скорочення міжвузлів, хлороз молодих листків, зниження активності фотосинтетичного апарату та уповільнення розвитку рослин. Тому позакореневе внесення цинкових мікродобрив у фазах 2–5 листків дозволяє оперативно відновити фізіологічний баланс та забезпечити рослині максимально сприятливі умови для подальшого росту.

Серед найпоширеніших форм мікродобрив використовують сольові (сульфат цинку) та хелатні форми. Сольові форми характеризуються швидким розчиненням та відносно низькою вартістю, проте мають обмежену проникність через листову кутикулу [44, 52]. Вони ефективні за умови

оптимальних температур (не нижче 18–20°C) та достатньої вологості повітря. Хелатні форми цинку мають значно вищу біодоступність, стабільні у широкому діапазоні рН, добре проникають у тканини листка навіть за прохолодної погоди, що робить їх особливо цінними у ранньовесняний період. Хелати також мають здатність тривалий час утримувати елемент у доступній формі, що підвищує ефективність його засвоєння рослинами на 20–40 % порівняно з традиційними сольовими формами.

Оптимальні строки проведення фоліарного підживлення кукурудзи припадають на фази 3–6 листків, коли рослина активно формує листковий апарат та закладає структуру майбутніх качанів. У цей період позакореневе внесення цинку сприяє збільшенню площі листкової поверхні, підвищенню інтенсивності фотосинтезу, активізації росту кореневої системи та покращенню стійкості рослин до зміни температурного режиму. Важливим є також поєднання мікродобрив із поверхнево-активними речовинами — прилипачами, які забезпечують рівномірний розподіл робочого розчину та підвищують його утримання на листковій поверхні.

Технічні вимоги до виконання обробок включають дотримання оптимальної температури повітря (15–22°C), відсутність інтенсивної сонячної радіації, помірну вологість повітря, а також уникнення опадів протягом 4–6 годин після внесення препарату. Порушення цих умов може знизити ефективність засвоєння цинку або призвести до опіків листкової поверхні при застосуванні концентрованих сольових форм.

Практичний досвід та результати численних досліджень підтверджують, що фоліарні підживлення цинковими мікродобривами в початковій фазі розвитку кукурудзи сприяють значному приросту біометричних показників, покращенню структури майбутнього врожаю та підвищенню зернової продуктивності [37]. Особливо відчутний ефект спостерігається на карбонатних, лужних, холодних та малозабезпечених на доступний цинк ґрунтах, де ґрунтове внесення мікроелемента є недостатньо ефективним.

Отже, застосування фоліарного підживлення у ранні етапи онтогенезу кукурудзи є важливим елементом сучасної технології вирощування. Воно дозволяє максимально реалізувати генетичний потенціал середньопізніх гібридів, підвищує адаптивність рослин до несприятливих умов, покращує фізіологічні механізми росту та забезпечує формування високопродуктивного агрофітоценозу.

Висновки до Розділу 1.

На основі детального аналізу вітчизняних та зарубіжних наукових джерел можна зробити загальний висновок, що кукурудза є однією з найвибагливіших сільськогосподарських культур щодо збалансованого мінерального живлення, зокрема щодо забезпечення мікроелементами. Серед них ключову роль відіграє цинк, який виступає незамінним кофактором для понад 60 ферментативних систем, бере безпосередню участь у синтезі триптофану (попередника ауксину), регуляції азотного та вуглеводного обміну, а також у формуванні стійкості рослин до несприятливих умов навколишнього середовища. Встановлено, що дефіцит цинку, особливо в критичні фази органогенезу (3–5 та 6–8 листків), призводить до незворотних фізіологічних порушень: гальмування ростових процесів, вкорочення міжвузлів, хлорозу листя, зниження фертильності пилку та, як наслідок, значного неврожаю. Порівняльна характеристика форм мікродобрив свідчить про абсолютну перевагу хелатних сполук над традиційними сольовими формами (сульфатами). Хелати характеризуються високою стабільністю в робочих розчинах, кращою проникністю через кутикулу листя та повною біодоступністю для рослин, що дозволяє уникнути блокування елемента ґрунтовими карбонатами та фосфатами. Тому найдоцільнішою стратегією оптимізації живлення кукурудзи в умовах Степу України є поєднання передпосівної закріплення насіння для забезпечення початкового росту з подальшим позакореневим підживленням у період інтенсивного вегетативного розвитку.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ І УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Методи дослідження

Дослідження проводилися у 2025 році на базі господарства СФГ «ЯРОСЛАВА», де були закладені польові та лабораторно-польові експерименти, спрямовані на вивчення ефективності застосування цинкових мікродобрив у системі живлення кукурудзи. Основною метою досліджень було визначення впливу передпосівної інкрустації насіння цинковими препаратами (у хелатній та сольовій формах) та фоліарного підживлення кукурудзи цинковими мікродобривами на ріст, розвиток, фізіолого-біохімічні процеси та формування продуктивності культури. Наукове обґрунтування вибору методів дослідження здійснювалося із урахуванням принципів системності, об'єктивності, відтворюваності результатів та відповідності сучасним вимогам до агрономічних експериментів.

У дослідженнях використовували комплекс методів, серед яких ключову роль відігравали метод індукції та метод синтезу. Метод індукції застосовувався під час аналізу наукових джерел і практичного досвіду використання мікродобрив у технологіях вирощування кукурудзи, що дало змогу сформулювати систему теоретичних положень щодо ролі цинку у формуванні продуктивності культури. Метод синтезу використовували для узагальнення та інтеграції отриманих експериментальних даних, а також для виявлення загальних закономірностей взаємодії між технологічними прийомами та фізіолого-біохімічними показниками рослин. Особливе значення мав діалектичний метод, який ґрунтувався на вивченні динаміки ростових процесів, змін морфометричних показників та реакції рослин кукурудзи на внесення цинку у різні фази органогенезу. Цей метод дозволив комплексно оцінити взаємозв'язок між умовами вирощування, поведінкою рослинних систем і факторами навколишнього середовища, які змінюються упродовж вегетаційного періоду.

Для поглибленого аналізу процесів росту та розвитку кукурудзи оцінювали вплив метеорологічних умов, зокрема середньодобових температур, кількості опадів, рівня ґрунтової вологи та тривалості світлового дня. Вивчення взаємозв'язку між погодними показниками та продуктивністю фотосинтезу дало можливість визначити характер реакції рослин на дію цинку у критичні фази розвитку (V3–V5, V6–V8 та V9–V11), коли забезпечення мікроелементами є визначальним для формування генеративних органів і майбутньої врожайності.

Польові дослідження проводились відповідно до загальноприйнятих методик, а також з використанням рекомендацій Інституту зернового господарства НААН України [23]. Попередником кукурудзи була озима м'яка пшениця, що забезпечило оптимальні умови для накопичення ґрунтової вологи, зменшення забур'яненості та покращення фітосанітарного стану поля. Сівбу проводили в оптимальні строки після встановлення фізичної стиглості ґрунту, що дозволило уникнути стресу проростків та вирівняти строки появи сходів. У дослідження було включено два базових елементи технології застосування мікродобрів:

1. Передпосівна інкрустація насіння кукурудзи цинковими мікродобривами — важливий етап, що забезпечує раннє надходження цинку до зародка рослини. Інкрустацію проводили безпосередньо перед висівом із використанням спеціальних інкрустантів на основі хелату цинку та сульфату цинку. Такий метод сприяє підвищенню енергії проростання, покращенню польової схожості та формуванню більш розвиненої кореневої системи у початковій фазі росту рослин.
2. Фоліарне підживлення рослин кукурудзи цинковими мікродобривами, яке здійснювали у фазах V5–V7 та V9–V11, що є найбільш критичними періодами для засвоєння цинку. Обробку проводили водними розчинами хелатних та сольових форм цинку з метою корекції мікроелементного живлення, стимуляції ростових процесів та підвищення стійкості рослин до абіотичних стресів.

Площа посівної ділянки становила 100 м², а облікової — 25 м². Досліди проводили у триразовій повторності, що забезпечувало високу точність і достовірність результатів.

Розміщення варіантів досліду здійснювалося у один ярус послідовно, з дотриманням рівномірності ґрунтових умов та уникненням впливу мікрорельєфу (табл.2.1).

Таблиця 2.1.

**Схема польового досліду з вивчення впливу інкрустації насіння та
фолярного підживлення на продуктивність кукурудзи**

| Фактор А – Передпосівна інкрустація насіння (хелат Zn) | Фактор В – Фолярне підживлення (10% Zn, 2 л/га) | Площа ділянки, м ² |
|--|---|-------------------------------|
| Контроль (без обробки) | Контроль (без підживлення) | 100 |
| Контроль (без обробки) | Одноразово у фазу 5–8 листків (хелат цинку) | 100 |
| Контроль (без обробки) | Дворазово: 5–8 листків + 8–12 листків (хелат цинку) | 100 |
| 0,1 % | Одноразово у фазу 5–8 листків (хелат цинку) | 100 |
| 0,1 % | Дворазово: 5–8 листків + 8–12 листків (хелат цинку) | 100 |
| Контроль (без обробки) | Дворазово: 5–8 листків + 8–12 листків (сульфат цинку) | 100 |
| 0,1 % | Одноразово у фазу 5–8 листків (сульфат цинку) | 100 |
| 0,1 % | Дворазово: 5–8 листків + 8–12 листків (сульфат цинку) | 100 |

Норми висіву насіння відповідали зональним рекомендаціям і становили 65 тис. Догляд за посівами здійснювали відповідно до рекомендованої технології вирощування кукурудзи: проводили боронування, хімічний захист від бур'янів, шкідників та хвороб. Усі технологічні операції контролювали для забезпечення однакових умов у кожному варіанті досліду.

З метою оцінки ефективності передпосівної інкрустації та фолярного внесення цинкових мікродобрив було закладено два комплексних досліди. Кожен з них включав контрольний варіант без обробки та варіанти із застосуванням хелатної і сольової форм цинку у різних комбінаціях.

Узагальнення експериментальних результатів проводили з використанням статистичних методів, що дозволило визначити достовірність різниць між варіантами та встановити найбільш ефективні технологічні рішення.

У польовому досліді було проведено всебічне вивчення ефективності застосування цинкових мікродобрів у технології вирощування кукурудзи, зокрема визначено їхній вплив на формування біометричних показників та кінцеву продуктивність культури. Дослідження здійснювали за схемою факторного досліді, що включала два основних фактори: передпосівну інкрустацію насіння (Фактор А) та позакореневе підживлення посівів (Фактор Б). Такий підхід дозволив комплексно оцінити як окрему, так і сумарну дію різних форм цинку на онтогенез кукурудзи.

У межах фактора А вивчали вплив інкрустації насіння робочим розчином хелату цинку концентрацією 0,16%, що забезпечує доступність мікроелемента для проростків уже на початкових етапах розвитку. Передпосівна обробка насіння здатна покращувати енергію проростання, стимулювати розвиток зародкових корінців, активізувати ферментативну діяльність та підвищувати стійкість молодих рослин до стресових умов.

Фактор Б був представлений двома формами позакореневого внесення цинку: неорганічною сіллю — сульфатом цинку $ZnSO_4$ та органічною хелатною формою, що вирізняється високою біодоступністю та тривалішим періодом засвоєння. Фоліарне підживлення здійснювали шляхом обприскування рослин у відповідні фази розвитку за загальноприйнятими рекомендаціями, при цьому витрата робочого розчину становила 200 л/га, що забезпечувало рівномірне покриття листової поверхні.

Контролем у досліді слугували ділянки без будь-якої обробки насіння та без внесення мікродобрів, що дозволяло оцінити природний фон забезпечення рослин цинком у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах. Окремо були передбачені варіанти з обробкою насіння чистою водою, що дало можливість відокремити вплив власне діячої речовини від технологічного прийому.

Для всебічного оцінювання ефективності застосованих агрозаходів проводили комплексний моніторинг морфометричних і продуктивних характеристик рослин кукурудзи. Серед основних показників вивчали висоту рослин, площу листової поверхні, будову генеративних органів (довжину та діаметр качана, кількість рядів і зерен у качані), масу 1000 зерен та загальну врожайність зерна. Окрему увагу приділяли також аналізу стану фотосинтетичного апарату, темпам росту та розвитку в різні фази онтогенезу. У ході досліджень застосовували морфологічні, біометричні та аналітичні методи, що є загальноприйнятими у польовій практиці. Одним з основних елементів роботи були фенологічні спостереження, під час яких фіксували настання ключових фаз росту кукурудзи: поява сходів, фази 3–5 та 6–8 листків, викидання волоті, цвітіння, молочна стиглість та повна стиглість. Початок кожної фази визначали за кількістю рослин, що досягли відповідного стану — на рівні 10% та 75% посіву, що забезпечувало точність відстеження динаміки розвитку.

Для з'ясування особливостей нагромадження біомаси проводили відбір рослинних проб у ключові періоди органогенезу. Проби відбирали у двох несуміжних повтореннях для уникнення впливу локальної неоднорідності ґрунтового покриву. Надалі рослини аналізували на вміст сирої та сухої маси, що дозволяло оцінити інтенсивність ростових процесів під впливом різних форм цинкових добрив.

Густоту стояння рослин визначали на кожній обліковій ділянці шляхом підрахунку рослин у рядках на встановленій площі, адже цей показник є ключовим фактором формування врожайності. Отримані дані дозволили встановити, наскільки застосування інкрустації та фоліарних підживлень впливало на збереженість рослин, їхню життєздатність та рівномірність розвитку впродовж вегетації.

Таким чином, структура досліду дала змогу здійснити комплексну оціночну характеристику дії різних форм цинкових мікродобрив на

продуктивність кукурудзи та обґрунтувати доцільність їх використання в сучасних технологіях вирощування культури.

2.2. Кліматичні особливості зони проведення досліджень

Кліматичні умови зони проведення досліджень характеризуються як нестабільні та складні, з вираженою міжрічною та сезонною мінливістю, а також нерівномірним розподілом опадів і температурних показників упродовж вегетаційного періоду. Територія господарства належить до Північного Степу України — посушливої та дуже теплої агрокліматичної зони [60], для якої типовий середньорічний гідротермічний коефіцієнт (ГТК) на рівні 0,9. Саме такі умови формують підвищений ризик дефіциту ґрунтової вологи та високі температурні стреси в літній період. Усі агротехнічні заходи з основного обробітку ґрунту були виконані своєчасно, проте погодні чинники істотно визначали умови формування продуктивності культур. Для аналізу кліматичної ситуації використано офіційні метеорологічні дані, отримані з метеостанції Губиниха, що забезпечує репрезентативність і точність оцінки агрокліматичних характеристик (табл.2.2).

Упродовж 2024–2025 років у господарстві «ЯРОСЛАВА» Самарівського району Дніпропетровської області спостерігалися значні відхилення кліматичних показників від середніх багаторічних норм, що суттєво позначилося на функціонуванні агроєкосистем та врожайності культур. Зокрема, у 2024 році сумарна кількість опадів становила близько 280 мм, що майже удвічі нижче середньої багаторічної норми (приблизно 422,5 мм). Такий дефіцит вологи спричинив істотне зменшення запасів продуктивної вологи в орному шарі, ускладнив процеси проростання та початкового розвитку рослин, а також підвищив імовірність прояву атмосферної та ґрунтової посухи. Додатковим стресовим фактором стала аномальна спека другої декади серпня 2024 року, викликана надходженням тропічних повітряних мас з Африки та Балканського регіону, коли температура повітря перевищувала +35 °С. Високі

температури в поєднанні з відсутністю опадів сформували критично несприятливі умови для росту і розвитку сільськогосподарських культур.

Кліматичні особливості 2025 року ще більше підсилили негативні тенденції попереднього періоду. Весна характеризувалася аномально високими температурами, особливо у березні, коли були встановлені нові температурні рекорди. У квітні опадів випало лише близько третини від кліматичної норми, що призвело до порушення гідротермічного режиму та подальшого поглиблення посушливих явищ. Літній період 2025 року виявився значно теплішим за середні багаторічні значення: у червні та липні фіксувалися історичні максимуми понад +35 °С, а у другій декаді серпня зберігалася тривала аномальна спека. Сукупний вплив катастрофічного дефіциту опадів і температурних екстремумів у 2024–2025 роках зумовив різке зниження врожайності основних культур у господарствах регіону (табл.2.3), зокрема в господарстві «ЯРОСЛАВА». За таких умов нагальною потребою стає впровадження адаптивних технологій землеробства — застосування вологозберігаючих прийомів обробітку ґрунту, оптимізація структури посівних площ, використання посухостійких сортів та удосконалення системи живлення рослин, що дозволить зменшити негативні наслідки кліматичних змін та стабілізувати продуктивність агроландшафтів у майбутньому.

Таблиця 2.2

Середньомісячні та багаторічні температури

| Роки | Місяці | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 2024 | -5,2 | -2,2 | 1,5 | 13,1 | 14,7 | 18,4 | 20,4 | 21,3 | 13,3 | 8,5 | 2,2 | -2,2 |
| 2025 | -0,4 | -3,4 | 2,4 | 11,4 | 14,1 | 17,2 | 25,4 | 22,3 | 19,6 | 8,0 | 2,5 | -5,8 |
| Середня багаторічна | -5,3 | -2,3 | 1,4 | 9,3 | 14,4 | 13,3 | 21,4 | 20,3 | 14,5 | 7,8 | 2,4 | -1,5 |

Агрономічна стиглість ґрунту співпадає з датою прогріву ґрунту до + 5⁰С на глибині до 20 см. Дата переходу середньодобової температури повітря через + 5⁰С є середнім строком сівби ярових культур, початком вегетаційного періоду

озимих культур та розгортанням польових робіт. Навесні переважають вітри північно-східних напрямків.

Таблиця 2.3

Сума атмосферних опадів і їх розподіл по місяцях

| Роки | Місяці | | | | | | | | | | | | Всього опадів за рік, мм |
|---------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 2024 | 31,2 | 22,2 | 68,7 | 18,6 | 26,7 | 58,4 | 44,5 | 39,0 | 79,0 | 28,0 | 31,3 | 23,3 | 415,2 |
| 2025 | 19,4 | 25,4 | 36,1 | 40,8 | 32,1 | 28,2 | 44,7 | 41,4 | 36,4 | 20,5 | 35,1 | 21,3 | 422,5 |
| Середня багаторічна | 20,2 | 31,2 | 43,7 | 36,6 | 37,3 | 56,6 | 42,4 | 52,2 | 41,8 | 29,6 | 36,5 | 21,6 | 412,3 |

Наведені дані являються середніми багаторічними. Зміна клімату по рокам визначає напрямок сучасного ґрунтоутворення, що поруч із господарською діяльністю стає основною причиною, яка викликає зміни в ґрунтовому покриві. Кількість днів з пиловими бурями за даними аеропорту складає 6,2 дн., їх тривалість – 22,0 години. Зимовий період супроводжується частими відлигами з дрібними дощами і повним знищенням снігового покриву. З даних таблиць видно, що кліматичні умови району розташування господарства в цілому сприятливі для вирощування сільськогосподарських культур. В літній період атмосферні опади випадають переважно ливневого характеру, що сприяє розвитку ерозії ґрунтів. Поруч з цим, упродовж літа спостерігаються тривалі бездошові періоди, які супроводжуються східними та південно-східними вітрами. Рельєф - рівнинний, значних перепадів висот немає, оскільки він розташований в межах Придніпровської низовини. Середня висота становить приблизно 106,1 м.

2.3. Агрохімічна і агрофізична характеристика чорнозему звичайного дослідного поля СФГ «ЯРОСЛАВА»

Польовий дослід проводився в агроценозах кукурудзи на чорноземах звичайних малогумусних важкосуглинкових, сформованих на карбонатному

лесі. Цей тип ґрунту є домінуючим за площею в північній частині Степової зони України та займає значні масиви орних земель як у Лісостепу, так і в північному Степу [19, 51]. Чорноземи звичайні вирізняються високою природною родючістю завдяки потужному гумусованому профілю (горизонт Н + Н_р товщиною 50–65 см, іноді до 70 см), чітко вираженій зернисто-грудкуватій структурі, високій пористості та добрій водопроникності, що забезпечує оптимальний водно-повітряний режим для кукурудзи та інших просапних культур. Вміст гумусу в орному шарі (0–30 см) становить 3,5–4,0 % (табл. 2), що відповідає малогумусній підгрупі чорноземів звичайних; з глибиною вміст гумусу поступово зменшується, але навіть на глибині 50–60 см утримується на рівні 1,8–2,2 %. Високий ступінь насиченості основами ($V = 95–98$ %) та значна ємність катіонного обміну (35–45 мг-екв/100 г ґрунту) гарантують стабільну буферність і стійкість ґрунту до підкислення.

Реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної: рН водної суспензії коливається в межах 6,5–7,1, рН сольової витяжки – 5,8–6,3, що є оптимальним для засвоєння кукурудзою макро- та мікроелементів, особливо фосфору. Вміст гумусу визначали фотометричним методом Тюріна в модифікації Сімакова [13], похибка визначення $\pm 0,1$ %. Гранулометричний склад важкосуглинковий (частка фізичної глини 58–64 %), що забезпечує високу польову вологемність (32–35 %) та добру структурну агрегацію (табл. 2.4).

Додатковою важливою особливістю чорноземів звичайних є їхній сприятливий водно-фізичний режим у поєднанні з високою біологічною активністю. Зокрема, мікробіологічні процеси в цих ґрунтах відбуваються інтенсивно завдяки достатній аерації та оптимальному температурному режиму, що сприяє мінералізації органічної речовини та синтезу доступних форм азоту. Висока концентрація кальцію та магнію у вбирному комплексі формує стійку грудкувато-зернисту структуру, що є критично важливою для розвитку кореневої системи кукурудзи, оскільки забезпечує достатній повітрообмін і рівномірне утримання вологи навіть за умов періодичних посух. Крім того, чорноземи звичайні характеризуються стабільністю агроєкологічних

показників, що робить їх одними з найбільш придатних ґрунтів для вивчення ефективності агротехнологічних прийомів у польових дослідках. Потужний профіль та високий рівень базового забезпечення елементами живлення дозволяють мінімізувати вплив ґрунтової неоднорідності на результати експерименту, забезпечуючи більш точну оцінку реакції рослин на досліджувані фактори. Сукупність цих властивостей формує оптимальні умови для вирощування кукурудзи, що дозволяє детально простежити зміни ростових процесів та особливості формування врожайності в залежності від умов дослідку.

Таблиця 2.4

Агрохімічна характеристика ґрунтів господарства

| Тип ґрунту | Горизонт ґрунту, см | Вміст гумусу, % | Вміст рухомих форм, мг/1 кг ґрунту | | | Щільність складення ґрунту, г/см ³ | рН |
|--------------------|---------------------|-----------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------|---|-------|
| | | | NO ₃ | P ₂ O ₅ | K ₂ O | | |
| Чорнозем звичайний | 0-40 | 3,5-4% | 23 | 87,5 | 178 | 1,23 | 6,5-7 |
| Чорнозем звичайний | 0-40 | 3,5-4% | 25 | 89,5 | 173 | 1,23 | 6,5-7 |

Цей ґрунт містить у своєму складі невелику кількість мінеральних форм азоту, рухомого фосфору і обмінного калію. Ці форми доступних для рослини поживних речовин становлять лише 1-2% від валових форм, вміст же валових форм наступний: загального азоту 0,15-0,16%, фосфору 0,10-0,13%, а валового калію багато, майже 2,0-2,5%. Валові форми служать потенційним джерелом поживних речовин у цьому ґрунті, а мінеральні форми поступово переходять у ґрунтовий розчин [46, 51]. Основна кількість азоту в даному ґрунті зосереджена в органічній частині ґрунту, тобто у детриті та гумусі і при їх мінералізації амонійні і нітратні його форми переходять у ґрунтовий розчин у вигляді іонів, кількість яких становить 10-12 міліграмів на кілограм ґрунту NH₄⁺ і нітратного азоту NO₃⁻, кількість якого доходить до 15, а іноді й до 20 міліграмів на кілограм ґрунту[16].

Для характеристики потенційних запасів нітратного азоту в ґрунті також часто використовують такий важливий показник, як нітрифікаційна здатність ґрунту. Нітрифікаційна здатність ґрунту характеризується його потенційними запасами, які можуть утворитися у зразку ґрунту після його семиденного компостуванні в термостаті при температурі 28 градусів. Кількість нітратів після нітрифікації досягає 30 міліграмів, а різниця між кількістю нітратів, що виникла після компостування по відношенню до його початкового вмісту становить 18-20 міліграмів і характеризується, як нітрифікаційна здатність ґрунту, яка визначається за методом С.П.Кравкова [13, 58].

Вміст рухомого калію в даному ґрунті близький до середнього показника і становить 120-140 міліграм на кілограм ґрунту, а обмінного калію знаходиться в межах 180-220 міліграмів на кілограм ґрунту. Ці ґрунти є високо-буферними з великою ємкістю поглинання, але вони дуже часто пересихають у літній період і значна частина мінерального азоту, рухомого фосфору і обмінного калію переходить у недоступну для рослин форму. Тому ці ґрунти потребують штучного збільшення вмісту в них рухомих форм поживних речовин, за рахунок внесення мінеральних добрив.

2.4. Агротехніка вирощування кукурудзи в умовах польового досліду

Посів кукурудзи в досліджуваному господарстві здійснювався у оптимальні агротехнічні строки, що припадали на період з 15 по 28 квітня. Такий термін сівби обрано з урахуванням кліматичних умов регіону та забезпечення найсприятливіших умов для проростання насіння та формування потужної кореневої системи. На момент сівби температура ґрунту на глибині загортання насіння становила +8...+10 °С, що відповідає критеріям активного розвитку проростків та раннього старту ростових процесів [10, 50].

Для проведення досліду використовували гібрид кукурудзи Тесла, виведений у ВНІС, який відноситься до середньостиглих гібридів із ФАО 350. Цей гібрид характеризується високим потенціалом врожайності — до 17 т/га, а також відзначається підвищеною стійкістю до посухи, що є важливим фактором для регіонів із недостатнім зволоженням у весняно-літній період. Гібрид Тесла добре адаптований до різних типів ґрунтів і забезпечує формування високоякісної продукції при дотриманні рекомендованих агротехнічних прийомів (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Характеристика гібрида «Тесла»

| Показник / характеристика | Значення / опис |
|--|--|
| Оригіатор / виробник | ВНІС (Всеукраїнський науковий інститут селекції) (ВНІС) |
| Група стиглості / ФАО | Середньостиглий, ФАО 350 |
| Напрямки використання | Зерновий, силосний, біогаз / комбікормовий. Мультифункціональний гібрид |
| Тип зерна | Кременисто-зубовидний |
| Висота рослини | 260–280 см |
| Висота прикріплення качана | 100–110 см |
| Структура качана | Рядів зерен: 16–18; зерен у ряду: 39–45 |
| Потенційна врожайність | ~ 17,0 т/га при оптимальних умовах |
| Показник / характеристика | Значення / опис |
| Середня врожайність (за випробуваннями) | ~ 12,5 т/га |
| Посуhostійкість | Висока — гібрид адаптований до посушливих умов; зазначено як одна з головних переваг. |
| Стійкість до полягання / вилягання | 8 балів зі шкали виробника |
| Стійкість до хвороб / стресів | Стійкість / толерантність: гельмінтоспоріоз — 8, фузаріоз — 9, пухирчаста сажка — 8, кореневі гнилі — відмічено у переліку стійкостей. |
| Вологовіддача (сушка зерна) | Висока – “швидка вологовіддача” серед гібридів своєї групи стиглості. |
| Густота стояння рекомендована (насіння/га) | При зерновому вирощуванні: — Полісся: 70–85 тис. рослин/га — Лісостеп: 65–75 тис./га — Степ: 55–65 тис./га |
| Пластичність / технологічна гнучкість | Добре проявляє себе при мінімальній або нульовій обробці ґрунту; підходить для різних типів ґрунтів та кліматичних зон України. |

Норма висіву становила 68 тис. схожих насінин на гектар, що відповідало 4,8 насінини на погонний метр рядка при ширині міжрядь 70 см. Для посіву застосовували 8-рядну сівалку точного висіву Maschio Gaspardo SP-8 з пневматичним висівним апаратом, глибина загортання насіння – 6–8 см. Технологія вирощування – класична (без ґрунтових гербіцидів у повному обсязі на момент сівби), з обов'язковим основним і передпосівним обробітком ґрунту, міжрядними обробками та хімічним захистом [56, 57]..

Система обробітку ґрунту включала луцення стерні після збирання попередника (пшениця озима) дисковим агрегатом АГД-4,5 на глибину 8 см, глибоку оранку наприкінці вересня – на початку жовтня плугом Грегори Бессон 7-корпусним на 25–30 см із повним обертанням скиби. Навесні проводили ранньовесняне закриття вологи важкими боролами БПГ-14П, передпосівну культивуацію культиватором John Deere 2210 на глибину 6–12 см із одночасним вирівнюванням поверхні. Післяпосівний догляд передбачав дворазовий міжрядний обробіток культиватором КРН-5,6 на глибину 8–10 см із захисними зонами та окучуванням у фазі 6–8 листків. Захист посівів від хвороб, шкідників і бур'янів здійснювали комплексно з використанням сучасних препаратів системної та контактної-системної дії (табл.2.6).

Таблиця 2.6.

Технологія вирощування кукурудзи в господарстві у 2024–2025 рр.

| Прийоми обробітку ґрунту та агротехнічні операції | Агротехнічні строки | Глибина / Норма | Знаряддя / Препарати |
|---|-------------------------------------|----------------------------------|---|
| Основний обробіток ґрунту | | | |
| Лущення стерні | Після збирання попередника | 8 см | АГД-4,5 |
| Оранка | Кінець вересня – початок жовтня | 25–30 см | Плуг Gregoire Besson, 7-корпусний |
| Передпосівний обробіток ґрунту | | | |
| Ранньовеснянє боронування | За фізичної стиглості ґрунту | 4–8 см | БПГ-14П «Деметра» |
| Передпосівна культивация | Безпосередньо перед сівбою | 6–12 см | Культиватор John Deere 2210 |
| Сівба кукурудзи | За температури ґрунту +8...+10 °С | 6–8 см | Сівалка Maschio Gaspardo SP-8 |
| Застосування гербіцидів | | | |
| Ґрунтовий гербіцид Ацетохлор | Одразу після сівби, до появи сходів | 2,0 л/га | Препарат на основі ацетохлору (ґрунтовий) |
| Страховий гербіцид Міладар Дуо | У фазу 3–5 листків кукурудзи | 1,5 л/га | Післясходовий страховий гербіцид |
| Фоліарні підживлення (мікродобрива) | | | |
| Перше підживлення — фаза 5–6 листків | Початок інтенсивного росту | Хелат цинку 100 + 5 кг карбаміду | Хелатні мікродобрива (Zn) |
| Друге підживлення — фаза 8–10 листків | Перед викиданням волоті | Хелат цинку 100 + 5 кг карбаміду | Хелатні мікродобрива (Zn) |
| Післяпосівний міжрядний обробіток | При появі бур'янів та кірки | 8–10 см | Культиватор КРН-5,6 + окучення |

Висновки до Розділу 2.

Експериментальні дослідження, проведені на базі СФГ «ЯРОСЛАВА» в Дніпропетровській області, дозволили оцінити ефективність застосування цинкових мікродобрив в умовах реального виробництва Північного Степу України. Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлений чорноземами звичайними важкосуглинковими, які володіють високим потенціалом природної родючості, проте його реалізація значною мірою залежить від гідротермічних умов вегетаційного періоду. Характеризуючи погодні умови

2024–2025 років, слід зазначити їх аномальну жорсткість: вегетація кукурудзи проходила на фоні критичного дефіциту атмосферних опадів (близько 280 мм при нормі 422,5 мм) та екстремально високих температур повітря, що часто перевищували +35 °С. Такі умови створили значний абіотичний стрес для рослин, що стало лімітуючим фактором продуктивності. Методологія досліджень базувалася на проведенні польового факторіального досліджу, де вивчався вплив різних форм цинку (хелатної та сульфатної) та кратності їх внесення (одноразово та дворазово) на фоні інкрустації насіння. Комплексний підхід, що включав фенологічні спостереження, біометричні вимірювання, фізіологічні аналізи та статистичну обробку даних, дозволив отримати об'єктивні результати та підтвердити ефективність запропонованої системи живлення навіть за умов гострої посухи .

РОЗДІЛ 3

ПРОДУКТИВНІСТЬ СЕРЕДНЬОПІЗНЬОГО ГІБРИДУ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД МІКРОДОБРИВ ЦИНКУ В СОЛЬОВІЙ ТА ХЕЛАТНІЙ ФОРМАХ В УМОВАХ СІЛЬСЬКОГО ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА «ЯРОСЛАВА» САМАРІВСЬКОГО РАЙОНУ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

3.1. Ефективність предпосівної інкрустації насіння кукурудзи хелатом цинку

Предпосівна інкрустація насіння кукурудзи хелатом цинку є одним із найбільш перспективних методів підвищення стартової життєздатності рослин та оптимізації їхнього раннього розвитку. У сучасних умовах вирощування, коли польові посіви часто зазнають дії температурних коливань, недостатнього зволоження та ґрунтового стресу, стартова забезпеченість насіння мікроелементами набуває особливої ваги. У ході дослідження було охоплено широкий спектр концентрацій хелату цинку — від максимальних рівнів, потенційно небезпечних через ризик токсичної дії, до низьких, що могли бути недостатніми для активації фізіологічних процесів у зернівці. Аналіз виявив, що концентрація 1,6% мала виражений інгібуючий ефект: проростки демонстрували пригнічення клітинного поділу, ослаблену тургорну активність та ознаки некротичних уражень. Такий стан є типовим результатом осмотичного перенавантаження та надлишку іонів цинку, які блокують ключові ферменти та руйнують клітинні мембрани. Водночас дуже низькі концентрації, зокрема 0,016% та 0,0016%, не змогли забезпечити стимулюючого впливу на метаболізм, оскільки доступна кількість цинку не досягала рівня, необхідного для запуску синтезу ауксинів та активації оксидоредуктаз. Усі ці особливості розвитку проростків також відображені у графічних і фотоілюстраціях, серед яких – (рис. 3.1), що демонструє порівняння висоти рослин у варіантах дослідження.



Рис. 3.1. Вплив концентрації цинку на розвиток сходів кукурудзи

Найкращий результат продемонструвала концентрація 0,16%, яка виявилася оптимальною для забезпечення фізіологічно збалансованого надходження цинку у зернівку. За цього варіанта спостерігалось значуще підвищення енергії проростання на 0,16 %, що вказує на прискорену активацію метаболічних процесів у перші години набухання. Довжина первинного корінця зросла на 0,5 см, що є важливим показником формування потужної кореневої системи, здатної швидко засвоювати вологу та поживні елементи на початковому етапі вегетації. Проростки у цьому варіанті відзначалися рівномірним розвитком надземної частини — листкові пластинки мали насичений зелений колір, а гіпокотиль був добре розвинений, без ознак побуріння чи підсихання. Фотоаналіз, наведений на рис. 3.1, підтверджує ці результати: рослини, оброблені 0,16% розчином, мали помітну перевагу у висоті та інтенсивності росту над іншими варіантами, що є візуальним відображенням морфометричних вимірювань. Сукупність отриманих даних дозволяє стверджувати, що саме 0,16% концентрація хелату цинку забезпечує оптимальні умови для формування сильного стартового розвитку рослин кукурудзи, а тому була обґрунтовано рекомендована для подальших етапів польових досліджень її продуктивності.

3.1.2. Ефективність фоліарного підживлення рослин кукурудзи водними розчинами цинкових добрив

Фоліарне застосування водного розчину хелатного цинку у фазах 5–8 та 8–12 листків сприяло істотному підвищенню фізіологічної активності рослин кукурудзи [37]. Уже через 7–10 діб після внесення спостерігалось збільшення вмісту загального хлорофілу на 12–18 % порівняно з контролем, що вказувало на активізацію фотосинтетичного комплексу та покращення роботи ферментів, для яких цинк є необхідним кофактором. В результаті обробки в ці критичні фази розвитку рослини формували більш потужний фотосинтетичний апарат, інтенсивніше накопичували суху речовину та демонстрували прискорені темпи органогенезу. У фазу 7–8 листків оброблені рослини випереджали контроль, формуючи на один листок більше, а їхня висота перевищувала контрольні показники на 8–14 %, що свідчить про значну активацію ростових процесів. Листки набували більш насиченого темно-зеленого забарвлення, що є візуальним маркером підвищеного рівня хлорофілу та загального фізіологічного покращення.

Візуально різниця між варіантами добре відображена на зображенні дослідного посіву (Рис. 3.2). На фото чітко видно, що зліва розташовані рослини, оброблені хелатним цинком, і вони мають значно сильніший розвиток, масивніший листковий апарат та кращу рівномірність формування рослин у рядку. Натомість контрольні рослини (праворуч) виглядають нижчими, світлішими та менш вирівняними, що повністю узгоджується з отриманими біометричними та фізіологічними показниками. Отже, фоліарне підживлення у фазах 5–8 і 8–12 листків є високоефективним агрозаходом, який забезпечує посилене утворення хлорофілу, покращений ріст рослин та формування більш продуктивного фотосинтетичного апарату.



Рис. 3.2. — Посів кукурудзи в досліді з обробкою хелатним цинком

3.1.3. Вплив фоліарного підживлення на накопичення сирієї маси та сухої маси рослин кукурудзи по основним фенологічним фазам розвитку

Фоліарне підживлення рослин кукурудзи хелатом цинку у поєднанні з карбамідом (у нормі 5 кг/га) виявилось ефективним заходом для стимулювання наростання як сирієї, так і сухої маси протягом всього періоду вегетації. У першому досліді застосовували одноразове внесення хелату цинку у фазу 5–8 листків у дозі 32 г, а у другому — двократне внесення (фази 5–8 та 8–12 листків), де сумарно було внесено 64 г цинку. Важливо відзначити, що фази 5–8 та 8–12 листків є критичною стадією для формування листкового апарату та закладання фотосинтетичного потенціалу рослини, тому внесення мікродобрив у ці періоди сприяє більш ефективному засвоєнню елементів живлення та формуванню структурної біомаси. Поєднання цинку та карбаміду забезпечує не тільки мікроелементне живлення, але й надходження легкодоступного азоту, який активує синтез білків і ферментів фотосинтетичного циклу. Як наслідок, оброблені рослини демонструють більш активний ріст, швидше нарощують

листявув поверхню та стеблову масу, що безпосередньо впливає на накопичення сухої та сирії біомаси.

У фазу наливання зерна, коли і було зроблено фотографії дослідних рослин, різниця між варіантами стала максимально помітною. На зображенні (рис. 3.3), добре видно, що рослини, які отримували дворазове підживлення, формують більш потужний стебель, щільнішу листявув поверхню та більшу загальну надземну масу порівняно з рослиною, що підживлювалася одноразово, і особливо контрольним варіантом. При цьому сира маса оброблених рослин становила 820–880 г, тоді як контрольних рослин — 600 г, а суха маса — відповідно 245–260 г і 180 г (табл. 3.1). Різниця між одноразовим та дворазовим внесенням не перевищує 5–7%, що свідчить про те, що навіть одноразове фоліарне підживлення у фазу 5–8 листків забезпечує значне підвищення продуктивності рослин. Візуальні спостереження разом із біометричними даними підтверджують, що підживлення активізує процеси фотосинтезу, підвищує ефективність перерозподілу асимілянтів і стимулює формування більш розвиненої та продуктивної структури рослини.



Рис. 3.3. Порівняння двох оброблених рослин та контрольної у фазу наливання зерна

Таким чином, поєднання хелату цинку та карбаміду з одноразовим або дворазовим внесенням у ключові фази розвитку кукурудзи сприяє підвищенню

загальної продуктивності, прискорює накопичення сухої речовини та забезпечує формування сильного листкового апарату та стеблової маси [20, 30]. Наочно різницю між контрольним і дослідними варіантами можна спостерігати на *Фото 3.3*, де дві оброблені рослини демонструють чітку перевагу у розвитку надземної маси, висоті та щільності листя, у порівнянні з контрольною рослиною, що отримувала лише стандартне живлення.

Таблиця 3.1

Накопичення сирої та сухої маси рослин кукурудзи залежно від режиму фоліарного підживлення

| Варіант дослідження | Доза хелату цинку | Кількість внесень | Сира маса, г/рослину | Суха маса, г/рослину | Різниця між одно- і дворазовим внесенням |
|---|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|--|
| Контроль | – | – | 600 | 180 | – |
| Одноразове підживлення (фаза 5–8 листків) | 32 г | 1 | 820 | 245 | – |
| Дворазове підживлення (5–8 та 8–12 листків) | 64 г (32+32 г) | 2 | 880 | 260 | ≈ +7% |
| Середнє відхилення між варіантами | – | – | – | – | не перевищує 5–7% |

3.1.4. Вплив цинкових добрив використаних сумісно в складі бакової суміші на розмір качана кукурудзи

Фоліарне підживлення кукурудзи цинковими добривами у складі бакової суміші продемонструвало чітко виражене позитивне впливання на морфометричні показники рослин та продуктивність качанів. У контрольному варіанті довжина качана становила 15 см, кількість зерен у рядку — 23, а загальна кількість зерен на качані — 322, що відповідало середній масі приблизно 80,5 г. Натомість оброблені цинковими добривами рослини формували довші качани — до 17 см, із більшою кількістю зерен у рядку (27), що забезпечувало загальну кількість зерен на качані 378 та масу близько 102,1 г (табл. 3.2). Отримані дані свідчать про те, що фоліарне внесення цинку позитивно впливає на розвиток генеративних органів кукурудзи, підвищуючи

інтенсивність фотосинтезу та забезпечуючи рослини більшою кількістю асимілянтів для формування повноцінного зерна.

Позитивний ефект цинку на морфологію та продуктивність качанів пояснюється його ключовою роллю як ко-фактора багатьох ферментів, які регулюють синтез білків та гормонів росту, зокрема ауксинів, що відповідають за активність зав'язі та закладку зерен. Фоліарне внесення цинку у складі бакової суміші сприяє не лише прямому забезпеченню рослин цим мікроелементом, але й покращує засвоєння інших макро- та мікроелементів, підвищуючи ефективність фотосинтетичних процесів та сприяючи оптимальному формуванню зерен у качані [52].

На зображенні (рис. 3.4.) наочно продемонстровано відмінності між контрольним і обробленим варіантами: оброблений качан більший за розміром, із щільно заповненими зернами, що свідчить про підвищену продуктивність та ефективне використання ресурсів рослини, тоді як контрольний качан має менші розміри і менш щільне заповнення зернами. Це наочно ілюструє вплив цинку на морфологічну структуру качана та його продуктивність.



Рис. 3.4. Порівняння розміру качанів обробленої та контрольної кукурудзи

Таким чином, застосування цинкових добрив у складі бакової суміші є ефективним агрономічним прийомом, який сприяє збільшенню довжини качана, кількості зерен у рядку та загальної маси, що безпосередньо впливає на продуктивність кукурудзи та оптимізацію використання фотосинтетичного

потенціалу рослини. Отримані результати підтверджують доцільність включення фоліарного підживлення цинком у систему живлення кукурудзи для підвищення її врожайності та формування високоякісного зерна.

Таблиця 3.2

Вплив цинкових добрив у складі бакової суміші на морфометричні показники та масу качана кукурудзи

| Варіант | Кількість рядів, шт | Кількість зерен у рядку, шт | Загальна кількість зерен, шт | Довжина качана, см | Маса качана, г |
|------------------------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|----------------|
| Контроль | 14 | 23 | 322 | 15 | 80,5 |
| Оброблений цинком у баковій суміші | 14 | 27 | 378 | 17 | 102,1 |
| Різниця | 0 | +4 | +56 | +2 | +21,6 |

3.1.5. Вплив фоліарного підживлення цинковими добривами на величину маси тисячі насінин кукурудзи

Фоліарне внесення цинкових мікродобрив у поєднанні з карбамідом виявило чітко виражений позитивний вплив на процеси формування продуктивності кукурудзи, зокрема на показники наливу зерна та масу тисячі насінин (M1000). Застосування цинку у фазу активного функціонування листового апарату сприяло інтенсифікації фотосинтетичних процесів, оскільки цей мікроелемент відіграє ключову роль у стабілізації структури хлоропластів, активації ферментів темної фази фотосинтезу та синтезі регуляторних речовин, що контролюють ріст і розвиток репродуктивних органів.

Під впливом цинку відбувалося збільшення площі асиміляційної поверхні, посилювалася робота хлоропластів і підвищувалася ефективність використання світлової енергії, що у комплексі забезпечувало більш інтенсивне накопичення продуктів фотосинтезу. Транспорт асимілянтів у напрямку репродуктивних органів ставав рівномірнішим, що сприяло кращому наповненню зерен по всій довжині качана, зменшувало кількість щуплих, недорозвинених або частково виповнених насінин. Додатковим позитивним чинником була підвищена водоутримувальна здатність листових тканин,

сформована за дії цинку, що дозволяла рослинам підтримувати фотосинтетичну активність навіть у періоди короткочасної посушливості. Завдяки цьому процес наливу зерна був менш залежним від погодних стресів.

Сукупність цих фізіолого-біохімічних процесів забезпечила підвищення маси 1000 насінин у варіантах із застосуванням цинкових мікродобрив. Згідно з даними, наведеними у таблиці 3.3, маса 1000 насінин у контролі становила 291 г, тоді як у варіанті із фоліарним внесенням Zn + карбамід вона зросла до 300 г. Таким чином, приріст за показником M1000 становив +9 г, що свідчить про підвищення виповненості зерна та покращення його фізичних характеристик. Аналогічно, маса 100 насінин зросла з 29,1 г у контролі до 30,0 г при застосуванні цинку, що відповідає відносній різниці +3,0 %. Отримані дані доводять доцільність використання цинкових мікродобрив у системі живлення кукурудзи, особливо в період інтенсивного наливу зерна, коли потреба культури в мікроелементах є найвищою.

Таблиця 3.3.

Вплив фоліарного внесення цинку на масу 100 і 1000 насінин кукурудзи

| Варіант досліджу | Маса 100 насінин, г | Відносна різниця, % | Маса 1000 насінин (M1000), г | Приріст до контролю, г |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|------------------------|
| Контроль (без цинку) | 29,1 | – | 291 | – |
| Фоліарне внесення Zn + карбамід *2 | 30,0 | +3,0 | 300 | +9 |

3.1.6. Урожайність насіння кукурудзи за фоліарного підживлення водними розчинами карбаміду в поєднанні з цинковими мікродобривами

Фоліарне підживлення рослин кукурудзи водним розчином карбаміду (5 кг/га) у поєднанні з мікродобривом Квантум Зернові (2 л/га) забезпечило чітку позитивну тенденцію до зростання урожайності за всіма варіантами досліджу. Однократне внесення робочого розчину при нормі витрати води 200 л/га сприяло підвищенню продуктивності порівняно з контролем у середньому на 0,12–0,18 т/га, що пов'язано з оперативним надходженням легкодоступного

азоту та цинку у фазах інтенсивного росту (табл. 3.4). Особливо помітною була реакція рослин за дворазового обприскування, де урожайність у варіантах без інкрустації коливалася в межах 2,29–2,32 т/га проти 2,00–2,08 т/га у контролі. Це свідчить про те, що повторне забезпечення рослин мікроелементами та азотом посилювало фотосинтетичну активність та сприяло інтенсивнішому наливу зерна. Попередня інкрустація насіння розбавленим розчином Квантум Зернові також сприяла підвищенню продуктивності, посилюючи дію фоліарних обробок. У варіантах із концентрацією 0,001–0,1 % урожайність формувалася на рівні 2,14–2,34 т/га за одноразової подачі поживних речовин та 2,29–2,42 т/га при дворазовому внесенні. Максимальний результат зафіксовано в комбінації інкрустації 0,1 % + дворазове підживлення, де середнє значення урожайності перевищувало контроль на 0,30–0,35 т/га. Варіант із високою концентрацією (0,5 %) не забезпечив стабільного росту продуктивності, демонструючи дещо нижчий рівень урожайності в окремих повторностях, що вказує на можливий стресовий ефект надмірної дози. Загалом результати підтверджують, що оптимальні дози цинку у хелатній формі в поєднанні з карбамідом є ефективним інструментом підвищення врожайності середньопізнього гібриду кукурудзи за умов СФГ «Ярослава».

Таблиця 3.4

**Урожайність кукурудзи залежно від інкрустації насіння (Фактор А)
та фоліарного підживлення Zn (Фактор В)**

| Фактор А (інкрустація насіння) | Фактор В (фоліарне внесення Zn) | Урожайність, т/га |
|--------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| контроль | Контроль (без підживлення) | 1,95 |
| 0,16 % хелату Zn | Хелат Zn — одноразово | 2,13 |
| 0,16 % хелату Zn | Хелат Zn — дворазово | 2,31 |
| 0,16 % хелату Zn | Сульфат Zn — одноразово | 2,08 |
| 0,16 % хелату Zn | Сульфат Zn — дворазово | 2,23 |
| 0,16 % хелату Zn | Контроль (повторення серії) | 2,05 |

3.1.7. Вплив фоліарного підживлення водними розчинами карбаміду різної концентрації на висоту рослин та індивідуальну продуктивність кукурудзи

У польовому досліді з вирощування середньопізнього гібриду кукурудзи Тесла густота посіву передбачала висів 67 тис. рослин/га, з яких до моменту

збирання врожаю збереглося 55 тис. рослин/га, що свідчить про задовільну польову схожість і стійкість рослин до умов вегетації. Контрольний варіант характеризувався такими біометричними показниками: висота рослин — 253 см, висота кріплення качана — 93 см, кількість качанів на 100 рослин — 97 шт. Зазначені параметри було використано як еталон для оцінювання ефективності позакореневого підживлення карбамідом та хелатом цинку. Фоліарні обробки проводили у ключові для росту фази розвитку — 5–6 та 8–9 листків, коли рослини демонструють найвищу потребу в азоті та мікроелементах. Загальна тенденція змін біометричних показників наведена на діаграмі (рис. 3.5), що дозволяє наочно простежити реакцію рослин на покращення живлення впродовж вегетації.

В однофакторному варіанті, де здійснювали одноразове позакореневе підживлення нормою 5 кг карбаміду у поєднанні з хелатом цинку у фазу 5–6 листків, спостерігалось помірне зростання показників росту. Висота рослин збільшилася до 256 см, висота кріплення качана — до 94 см, а кількість качанів на 100 рослин досягла 98 шт., що свідчить про позитивний вплив додаткового забезпечення рослин доступними формами азоту та цинку на закладання генеративних органів. Найбільш виражений ефект відмічено у двофакторному варіанті, де підживлення проводили двічі — у фазі 5–6 та повторно у 8–9 листків. У цьому випадку висота рослин досягла 259 см, висота кріплення качана — 97 см, а кількість качанів на 100 рослин становила 99 шт. Таке комплексне покращення морфоструктурних параметрів свідчить про синергічну дію повторного фоліарного внесення карбаміду та хелату цинку, що забезпечило рослинам стабільніше живлення у період інтенсивного росту. Отримані дані підтверджують графічні результати діаграми (див. рис. 3.1), де відображено чітке підвищення біометричних характеристик за умов повторного підживлення.

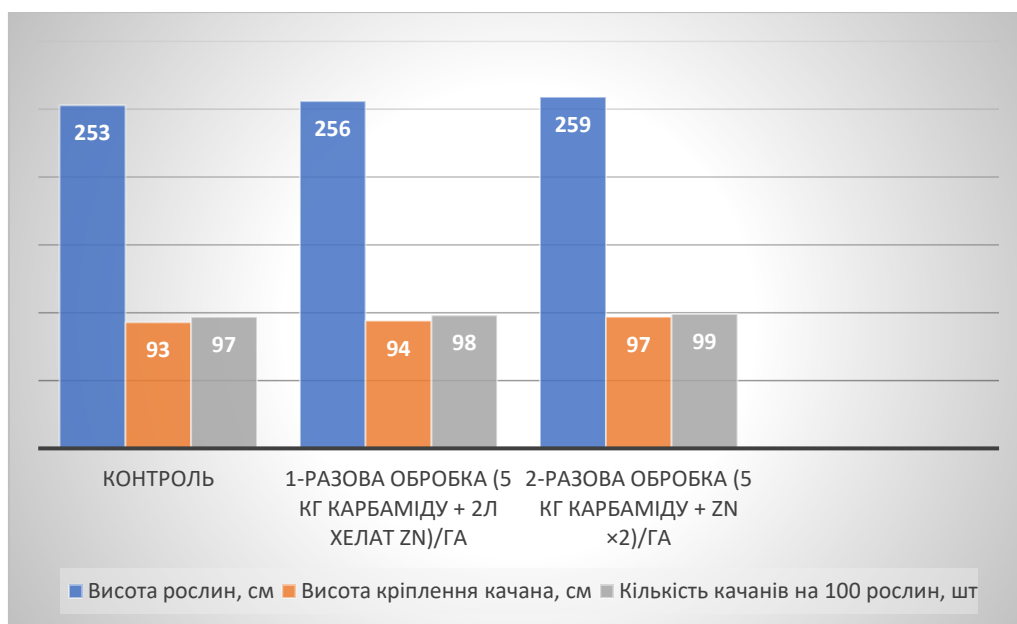


Рис .3.5. Вплив фоліарного підживлення карбамідом та хелатом цинку на біометричні показники гібриду кукурудзи Тесла

3.1.8. Вплив цинкових мікродобрив на інтенсивність фотосинтезу та функціонування листкового апарату кукурудзи

Фотосинтетична діяльність є основним процесом, що визначає рівень накопичення сухої речовини і, як наслідок, кінцеву продуктивність кукурудзи. Листковий апарат є ключовим об'єктом для оцінки фізіологічного стану рослин, а вміст хлорофілу сума хлорофілів а та b слугує інтегральним показником ефективності функціонування пігментного комплексу та рівня метаболічної активності [25]. У межах експериментальних досліджень проводилась оцінка реакції середньопізнього гібриду кукурудзи на позакореневе підживлення хелатними сполуками цинку у поєднанні з карбамідом, спрямоване на оптимізацію роботи асиміляційної поверхні.

Моніторинг вмісту хлорофілу здійснювався протягом усього онтогенезу рослин. Кількісне визначення пігментів проводилося спектрофотометричним методом у лабораторних умовах. Принциповим моментом методики був аналіз вмісту хлорофілу у зразках сирії (зеленої) маси листя, що дозволяє отримати

найбільш точні дані про реальний фізіологічний статус рослин *in vivo* та уникнути похибок, пов'язаних із деградацією пігментів під час висушування. Відбір зразків був прив'язаний до ключових етапів розвитку, що охоплюють період формування та функціонування листкового апарату: 5 листків (активний вегетативний ріст), 5–6 листків (початок формування генеративних органів), 10–12 листків (максимальний розвиток асиміляційної поверхні, викидання волоті), а також фази молочно-воскової та повної стиглості зерна (транспорт асимілянтів та початок природного старіння) (рис. 3.6).

Встановлено, що застосування цинкових мікродобрив спричиняє стимулюючий вплив на пігментний комплекс кукурудзи. Цинк є життєво необхідним мікроелементом, що виступає кофактором багатьох метаболічних ферментів, включаючи карбоангідразу, яка критично важлива для фіксації вуглекислого газу в клітинах листка. Крім того, цинк бере участь у синтезі ауксинів та стабілізує мембрани клітин і структуру хлоропластів, що безпосередньо запобігає передчасному руйнуванню молекул хлорофілу. Завдяки цій дії, у дослідних варіантах було зафіксовано стабільне перевищення концентрації хлорофілу (мг/кг сирої маси) порівняно з контролем.

Динаміка вмісту хлорофілу в листках кукурудзи мала чітко виражений характер: показники зростали від початкових фаз до фази 10–12 листків, коли листковий апарат досягає свого максимального розвитку та фотосинтетичного потенціалу. Саме у цю критичну фазу було відзначено найбільше збільшення концентрації пігментів у підживлених варіантах. Надзвичайно важливим є факт, що позитивний ефект простежувався аж до кінця вегетації. У фазі молочно-воскової стиглості у рослин спостерігався так званий «stay-green» ефект — затримка природного старіння (секундарного хлорофільного розпаду), що забезпечувало подовження періоду активного функціонування листків та ефективного накопичення сухої речовини для наливу зерна. Ці результати підтверджують ефективність фоліарного підживлення для управління фізіологічною активністю культури на ключових етапах розвитку.

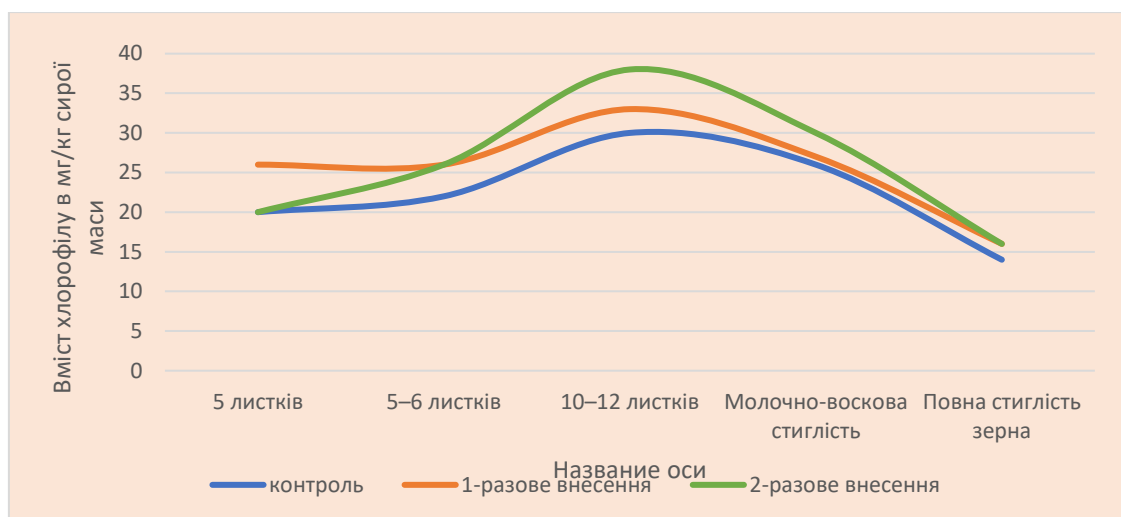


Рис. 3.6. Вміст хлорофілу у листках кукурудзи за різних варіантів підживлення

3.1.9. Зміна площі листкової поверхні рослин кукурудзи під впливом позакореневого підживлення цинковими добривами

У процесі дослідження встановлено, що позакореневе підживлення рослин кукурудзи водними розчинами цинкових добрив сприяло істотному розширенню листкової поверхні, що є одним із ключових показників фотосинтетичного потенціалу агроценозу. У фазі 5–6 листків площа листкової поверхні в контролі становила 2,9 тис. м²/га, тоді як за першого внесення цинкових добрив цей показник зріс до 3,25 тис. м²/га, що свідчить про активацію ростових процесів на ранніх етапах онтогенезу [1, 50]. Подальше формування листкової поверхні у фазі 8–9 листків також демонструвало перевагу дворазового підживлення: у контролі – 18,5 тис. м²/га, тоді як оброблені рослини характеризувалися площею 20,57 тис. м²/га, тобто збільшення становило понад 10 %. У фазу цвітіння листкова поверхня контрольного варіанту становила 33,8 тис. м²/га, тоді як оброблені рослини формували 37,0 тис. м²/га, що підтверджує позитивний вплив цинку на стабільність функціонування фотосинтетичного апарату у період найбільшої інтенсивності обміну речовин.

Подальша динаміка розвитку листкової поверхні у фазах наливу зерна також демонструвала перевагу рослин, які отримали позакореневе підживлення. Так, у фазі молочної стиглості площа листкової поверхні контрольного варіанту становила 32,4 тис. м²/га, тоді як у варіанті з внесенням цинку — 34,8 тис. м²/га. У фазі воскової стиглості цей показник дорівнював 29,3 тис. м²/га у контролі та 32,4 тис. м²/га у дослідному варіанті, що свідчить про уповільнене старіння листків та подовження тривалості їх активної роботи під впливом цинку. Визначення площі листкової поверхні здійснювали за стандартною методикою обчислення площі окремого листка за формулою $S = L \times B \times k$, де L — довжина листка, B — його максимальна ширина, k — корекційний коефіцієнт форми (0,75 для кукурудзи). Після цього площу окремої рослини екстраполювали на площу посіву для визначення листкової поверхні в тис. м²/га. Це дозволило точно оцінити зміну фотосинтетичного потенціалу залежно від варіанта підживлення. Дані, отримані у ході дослідження, були використані для побудови графіка динаміки площі листкової поверхні кукурудзи (рис. 3.7).

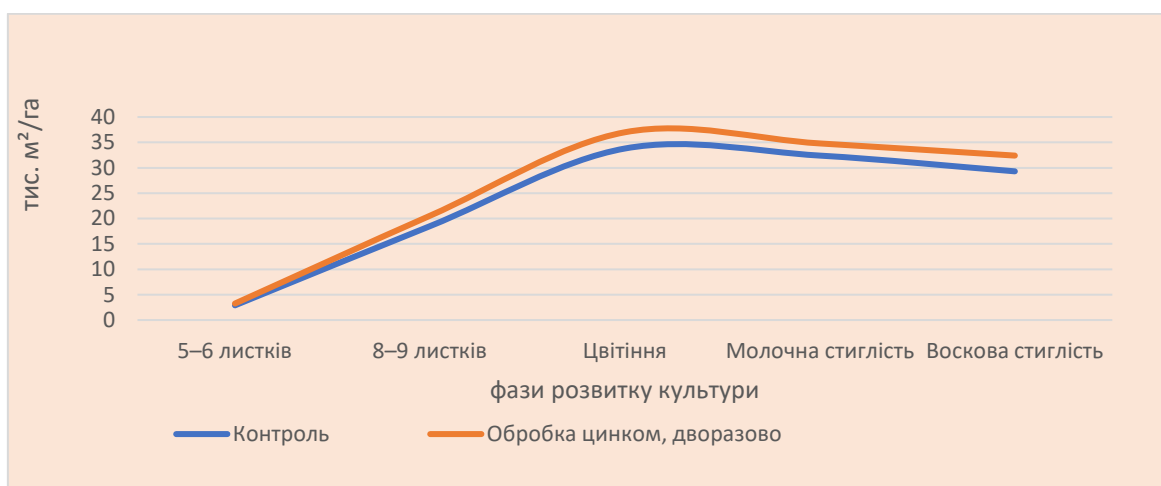


Рис. 3.7. Динаміка зміни площі листкової поверхні рослин кукурудзи за фазами розвитку залежно від позакореневого підживлення цинковими добривами.

3.1.10. Порівняльна ефективність позакореневого підживлення рослин кукурудзи сульфатом цинку та хелатними формами цинку

Фоліарне підживлення кукурудзи водним розчином карбаміду (5 кг/га) у поєднанні з мікродобривом Квантум Хелат Цинку 100 (концентрація цинку 10%) у нормі 1 л/га за кожного внесення забезпечило виражене підвищення продуктивності порівняно з контрольними варіантами. Однократне застосування препарату у фазу 5–6 листків сприяло приросту урожайності на 0,12–0,18 т/га, що пов'язано з оперативним надходженням легкодоступного азоту та хелатованого цинку у критичний період формування листкового апарату та активного росту рослин. Значно сильнішу реакцію кукурудза виявляла за дворазового внесення — 1 л/га у фазу 5–6 листків та повторно 1 л/га у фазу 8–9 листків. За таких умов урожайність зростала до 2,29–2,32 т/га, тоді як контрольні рослини формували лише 2,00–2,08 т/га. Повторне забезпечення рослин хелатованим цинком активізувало фотосинтетичні процеси, посилювало функціонування ферментативних систем і сприяло більш повному формуванню наливу зерна.

Для порівняння у паралельному досліді застосовували сульфат цинку ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) у дозі 0,5 кг/га, також дворазово — у ті ж фази 5–6 та 8–9 листків. Хоча сульфатна форма забезпечила певне підвищення урожайності, її ефективність виявилася стабільно нижчою на 2–3 % порівняно з хелатованим цинком. Менша результативність сульфату зумовлена слабшою проникністю іонів Zn^{2+} через кутикулу листка, можливістю часткового зв'язування діючої речовини в складі робочого розчину та нижчою швидкістю включення у метаболічні процеси рослин. Окрім цього, на розворотах обприскувача спостерігали слабо виражену фітотоксичність у вигляді дрібних хлорозно-некротичних плям по краях листків, що характерно саме для сольових форм цинку. У випадку використання хелатної форми такі негативні прояви не відмічалися.

Загалом результати дослідження переконливо підтверджують, що застосування Квантум Хелат Цинку 100 є більш ефективним методом позакореневого живлення кукурудзи порівняно з використанням сульфату цинку. Завдяки високій біодоступності, стабільності у робочому розчині та

відсутності фітотоксичного ефекту хелатована форма забезпечила значно вищу реакцію культури, що підтверджується даними врожайності та наочно ілюструється на (рис.3.8), за одно- і дворазових обприскувань .

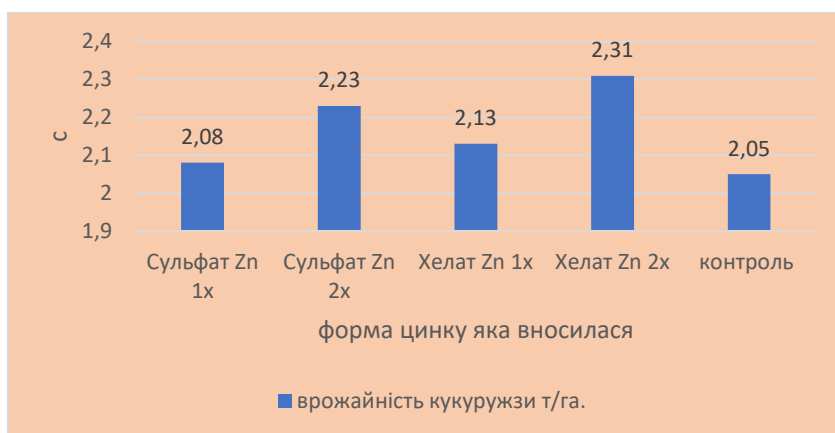


Рис. 3.8. Ефективність різних форм цинку у підвищенні урожайності кукурудзи.

Висновки до розділу 3.

Результати польових та лабораторних досліджень переконливо свідчать про те, що оптимізація цинкового живлення позитивно впливає на всі етапи онтогенезу кукурудзи. По-перше, доведено ефективність передпосівної інкрустації насіння 0,16% розчином хелату цинку, що забезпечило підвищення енергії проростання, стимуляцію розвитку первинної кореневої системи та формування більш дружніх і вирівняних сходів, здатних краще протистояти ранньовесняним стресам. По-друге, фоліарні підживлення у фази 3–5 та 6–8 листків сприяли суттєвій активізації фізіологічних процесів: зафіксовано зростання вмісту хлорофілу на 12–18 %, збільшення площі асиміляційної поверхні листя та подовження тривалості її активного функціонування (ефект «stay-green»), що позитивно вплинуло на наливу зерна. По-третє, встановлено чітку залежність продуктивності від форми та кратності внесення добрив. Найвищу агрономічну ефективність забезпечило дворазове внесення хелатної форми цинку на фоні інкрустації, де врожайність зерна склала 2,33 т/га, що на 0,33 т/га (або 16,5 %) перевищує показники контролю (2,00 т/га). Використання сульфату цинку також забезпечило приріст врожаю (до 2,25 т/га), проте його

ефективність була дещо нижчою, а застосування супроводжувалося ризиком виникнення опіків на листі. Крім того, під дією цинкових добрив покращилися структурні показники врожаю: збільшилася озерненість качана, зросла кількість зерен у ряду та підвищилася маса 1000 насінин (до 300 г), що свідчить про кращу виповненість зерна .

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОЛІАРНОГО ПІДЖИВЛЕННЯ В ПОСІВАХ КУКУРУДЗИ

4.1. Оцінювання агрономічної ефективності застосування добрив

Ефективність системи живлення кукурудзи визначається сукупним впливом агрономічних, природних та економічних чинників, тому оцінювання доцільності застосування добрив потребує комплексного підходу. У практиці рослинництва головними показниками, що характеризують результативність використання добрив, є обсяг затрат і величина чистого прибутку, одержаного внаслідок підвищення врожайності [22]. Саме ці критерії дозволяють встановити загальну економічну доцільність застосованих технологічних рішень. Агрономічна ефективність добрив відображає, наскільки повно елементи живлення забезпечують приріст маси врожаю, тобто характеризує їхню здатність стимулювати продуктивність рослин. Ступінь цієї ефективності змінюється залежно від родючості ґрунту, агрометеорологічних умов, рівня агротехніки, забезпечення технічними ресурсами та особливостей біології певного гібриду кукурудзи. За науковими даними, один кілограм діючої речовини мінеральних добрив за умови його правильного та науково обґрунтованого використання може забезпечувати приріст урожаю зерна кукурудзи в межах 3–6 кг, що підкреслює важливість їхньої раціональної системи застосування [2, 47].

Підбір оптимальних норм внесення має вирішальне значення для забезпечення високої економічної віддачі від добрив. Надмірне їх використання призводить до падіння окупності, хоча одночасно варто брати до уваги й той факт, що із зростанням врожайності збільшується винесення макро- та мікроелементів з ґрунту. Це потребує систематичного відновлення родючості, що є важливим елементом сталого землеробства. Таким чином, науково обґрунтоване застосування добрив дозволяє не лише одержати високий урожай, але й запобігти деградаційним процесам у ґрунтовому середовищі.

Одним із найбільш результативних способів використання добрив є їх локальне внесення та фоліарне підживлення, що відзначаються високою ефективністю завдяки прямому надходженню поживних речовин у зону найбільшої потреби рослин. Фоліарні підживлення особливо ефективні в умовах дефіциту ґрунтової вологи, характерного для Степової зони, оскільки коренева система в таких умовах засвоює елементи живлення менш інтенсивно.

Економічна оцінка ефективності добрив базується на зіставленні витрат виробництва та величини додаткової продукції, одержаної завдяки застосуванню системи удобрення. Основними критеріями цього аналізу є чистий дохід, рівень рентабельності, окупність витрат та вплив добрив на собівартість зерна кукурудзи. Оцінювання проводиться з урахуванням природно-кліматичних умов року, структури витрат і рівня приросту врожайності на одиницю діючої речовини.

Для забезпечення об'єктивної оцінки економічних показників використовують діючі ринкові ціни, що дозволяє точно визначити економічну ефективність кожного варіанта удобрення та ступінь доцільності фінансових інвестицій у добрива для кукурудзи. Особливої ваги набуває визначення окупності добрив та приросту зерна на одну гривню витрат, що допомагає формувати стратегію ресурсозбереження в господарстві.

Найточнішим методом визначення результативності застосування добрив є проведення польових виробничих дослідів, оскільки саме вони дозволяють оцінити реагування рослин на певні дози та форми добрив за реальних умов господарювання. Використання єдиної методики в межах дослідження забезпечує достовірність результатів і дозволяє зробити висновки щодо оптимізації системи живлення кукурудзи [23, 58].

Узагальнюючи, можна зазначити, що економічне оцінювання ефективності добрив є ключовим елементом науково обґрунтованої технології вирощування кукурудзи та дає можливість оптимізувати витрати, підвищити врожайність та забезпечити відтворення родючості ґрунтів.

Економічні розрахунки

Розрахунок економічної ефективності використання добрив починається з визначення суми витрат, необхідних для отримання додаткового врожаю [23].

Загальні витрати (Д) розраховують за формулою:

$$Д = Д_1 + Д_2 + Д_3 + Д_4 + Д_5,$$

де:

- $Д_1$ — вартість придбання добрив;
- $Д_2$ — витрати на транспортування, зберігання, завантаження та розвантаження;
- $Д_3$ — витрати на збирання та доставку приросту зерна до місця зберігання;
- $Д_4$ — витрати на реалізацію продукції або її закладання на зберігання;
- $Д_5$ — інші виробничі витрати, що виникають у процесі забезпечення додаткового врожаю.

Чистий прибуток (Тп) визначають за формулою:

$$Тп = (Т_1 + Т_2) - Б,$$

де:

- $Т_1$ — виручка від реалізації додаткової кількості зерна;
- $Т_2$ — вартість нетоварної частини врожаю (побічної продукції);
- $Б$ — загальні витрати на внесення добрив.

Рівень рентабельності (R, %) обчислюється так:

$$R = (Тп : Д) \cdot 100$$

Окупність витрат (О):

$$О = (Т_1 + Т_2) : Д$$

Собівартість виробництва зерна визначають за формулами:

$$С_0 = Д : У_0$$

$$С_д = (Д_0 + Д) : (У + Уп)$$

де:

- $С_0$ — собівартість без добрив;
- $Д_0$ — виробничі витрати на 1 га без удобрення;

- $У_0$ — урожайність без добрив;
- $Сд$ — собівартість із внесенням добрив;
- $Уп$ — приріст урожайності внаслідок удобрення.

4.2. Економічна оцінка ефективності проведення фоліарного підживлення рослин кукурудзи водними розчинами цинкових добрив

Для визначення економічної результативності використання мінеральних добрив було проведено розрахунок основних показників, що відображають виробничі витрати на вирощування кукурудзи з одного гектара, не враховуючи витрати на саме внесення добрив. Такий підхід дає змогу окремо оцінити економічний ефект від використання різних варіантів позакореневого живлення та визначити їх реальну доцільність у виробничих умовах. Усі статті витрат було впорядковано, узагальнено та подано у вигляді аналітичної таблиці (табл. 4.1.), що забезпечує наочне порівняння між окремими варіантами застосованих препаратів.

Таблиця містить детальну інформацію щодо урожайності, вартості одержаної продукції, загальних витрат на 1 га, собівартості 1 т зерна, величини чистого прибутку та рівня рентабельності. Завдяки цьому стало можливим оцінити, наскільки ефективно спрацювали різні форми та комбінації добрив під час позакореневого підживлення кукурудзи на ранніх етапах її росту. Враховуючи постійну тенденцію до зростання цін на ресурси, подібні економічні розрахунки є ключовими для ухвалення управлінських рішень у рослинництві.

На основі отриманих даних встановлено, що використання окремих варіантів бакових сумішей забезпечило істотне зростання чистого прибутку порівняно з контролем, тоді як інші дали помірний або несуттєвий економічний ефект. Рівень рентабельності між варіантами суттєво відрізнявся, демонструючи значний вплив складу внесених препаратів на економічну ефективність технології вирощування. Така різниця підтверджує, що економічна оцінка повинна бути невід'ємною складовою комплексного аналізу

ефективності позакореневого підживлення кукурудзи, оскільки саме вона дозволяє встановити найдоцільніший варіант з погляду витрат і прибутковості.

Таблиця 4.1

Економічна ефективність застосування різних форм цинку та фоліарного підживлення у вирощуванні кукурудзи

| Форма цинку + інкрустація | Фоліарне підживлення | Урожайність, т/га | Вартість валової продукції, грн | Виробничі витрати на 1 га, грн | Виробничі витрати на 1 т, грн | Чистий прибуток, грн | Рівень рентабельності, % |
|---------------------------|----------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Контроль | Без підживлення | 2,00 | 16 000 | 12 500 | 6 250 | 3 500 | 28,0 |
| Сульфат + інкрустація | 1 раз | 2,09 | 16 720 | 13 075 | 6 259 | 3 645 | 27,9 |
| Сульфат + інкрустація | 2 рази | 2,25 | 18 000 | 13 650 | 6 067 | 4 350 | 31,9 |
| Хелат + інкрустація | 1 раз | 2,15 | 17 200 | 13 075 | 6 084 | 4 125 | 31,6 |
| Хелат + інкрустація | 2 рази | 2,33 | 18 640 | 13 650 | 5 857 | 4 990 | 36,5 |

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що застосування фоліарного підживлення кукурудзи у поєднанні з інкрустацією насіння цинком 0,1% суттєво підвищує продуктивність культури. Контрольний варіант без підживлення показав найнижчу врожайність (2,00 т/га) та рентабельність (28%), тоді як дворазове внесення хелатного цинку забезпечило максимальний приріст врожаю – 2,33 т/га, що супроводжувалося найвищим чистим прибутком 4 990 грн і рентабельністю 36,5% (табл. 4.2). Це свідчить про високу ефективність хелатної форми цинку у порівнянні із сульфатною та контрольними варіантами.

З економічної точки зору, одноразове підживлення обох форм цинку також дало позитивний ефект, проте дворазове внесення значно підвищує

прибутковість і окупність витрат. Використання інкрустації насіння в поєднанні з фоліарним підживленням дозволяє оптимізувати використання мікроелементів, забезпечує стабільний приріст врожаю та підвищує ефективність виробництва кукурудзи, що робить дану технологію доцільною для впровадження в практику господарств. Загалом, продуктивність та рівень рентабельності можуть бути ще вищими, однак у 2025 році через недостатню кількість опадів на полях врожайність рідко перевищувала 2,5 т/га, тоді як у роки з достатнім зволоженням у господарстві «ЯРОСЛАВА» показники врожайності кукурудзи досягали 7,5–9,3 т/га.

Таблиця 4.2

**Витрати на агротехнічні заходи та матеріали при вирощуванні кукурудзи
на 1 га**

| Агротехнічний захід | Кількість дизеля, л | Вартість дизеля, грн (55 грн/л) | Інші матеріали/витрати, грн | Разом витрати на 1 га, грн |
|--|---------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Оранка | 22 | 1 210 | 800 | 2 010 |
| Весняне боронування | 2 | 110 | 200 | 310 |
| Культивація | 8 | 440 | 250 | 690 |
| Посів | 4 | 220 | 280 | 500 |
| Оприскування гербіцидом + ацетохлор | 2 | 110 | 674 | 784 |
| Оприскування Мілада Дуо | 2,5 | 138 | 900 | 1 038 |
| Фоліарне підживлення сульфат/хелат цинку | 2,5 | 138 | 725 | 863 |
| Окучення | 5 | 275 | 300 | 575 |
| Насіння | - | - | 3 700 | 3 700 |
| Обмолот | 14,5 | 798 | 600 | 1 398 |
| - | 60,5 | 3 439 | 8 429 | 12 500 |

Поглиблений аналіз наведених економічних показників дає змогу встановити чітку залежність між інтенсивністю застосування позакореневого підживлення та рівнем економічної віддачі технології вирощування кукурудзи. За стабільної загальної суми витрат у 12 500 грн/га, різниця між варіантами формується виключно за рахунок врожайності та вартості отриманої продукції, що дозволяє об'єктивно оцінити ефективність кожного агроприйому. Особливо

показовим є те, що навіть за відносно невисоких врожаїв у посушливий рік додаткове внесення цинку забезпечило приріст чистого прибутку до 1 490 грн/га порівняно з контролем, що свідчить про високу окупність мікродобрив навіть в умовах стресового вирощування.

Порівняння економічних показників між сульфатною та хелатною формами підтвердило закономірність, встановлену в агробіологічній частині дослідження: найвищу результативність демонструють саме хелатовані сполуки, що значною мірою пов'язано з їх кращою проникністю, мобільністю та біодоступністю для рослин. Дворазове внесення хелату цинку не лише забезпечило максимальний приріст урожаю, а й дозволило знизити виробничі витрати на 1 т продукції до 5 857 грн, що є оптимальним показником серед усіх варіантів досліду. Це свідчить про покращення технологічної ефективності виробництва та раціональніше використання ресурсів.

Крім того, слід відзначити, що технології з використанням дворазового внесення, незалежно від форми цинку, забезпечили більш стабільний економічний ефект. Це дозволяє зробити висновок, що повторне позакореневе підживлення є стратегічно доцільним, оскільки дає змогу підтримати рослини у двох критичних фазах розвитку — формування листкової поверхні та початку генеративного розвитку. Таким чином, не лише зростає урожайність, але й мінімізуються ризики недобору врожаю за умов погодних коливань.

Узагальнюючи, варто відзначити, що результати економічного аналізу підтверджують висновки, отримані у виробничо-біологічних дослідженнях: поєднання інкрустації насіння хелатом цинку з наступним дворазовим фоліарним підживленням є найбільш ефективним варіантом для підвищення продуктивності та рентабельності вирощування кукурудзи. Така система удобрення забезпечує не лише найвищу врожайність, а й максимальний економічний ефект, що робить її перспективною для широкого впровадження у технологічні схеми господарств різних ґрунтово-кліматичних зон.

Висновки до Розділу 4.

Проведений економічний аналіз підтвердив високу результативність запропонованих технологічних прийомів навіть в умовах низької врожайності, спричиненої несприятливими погодними факторами. Розрахунки показали, що додаткові витрати на придбання та внесення мікродобрих повністю окупаються вартістю додатково отриманого врожаю. Найкращі економічні показники продемонстрував варіант, що поєднує інкрустацію насіння та дворазове фоліарне підживлення хелатом цинку. Застосування цієї технології дозволило отримати максимальний чистий прибуток у розмірі 4 990 грн/га, що на 1 490 грн/га більше, ніж у контрольному варіанті. Рівень рентабельності виробництва при цьому зрос до 36,5 % (проти 28,0 % на контролі), а собівартість 1 тонни зерна знизилася до 5 857 грн. Порівняння економічної ефективності різних форм цинку свідчить на користь хелатних препаратів: незважаючи на їх вищу вартість порівняно з сульфатами, вони забезпечують значно більший приріст урожайності та кращу якість продукції, що в кінцевому підсумку гарантує вищий прибуток та стабільність виробництва .

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ В ГОСПОДАРСТВІ

Охорона праці є ключовим елементом організації виробничого процесу в аграрних підприємствах, а відповідальність за її забезпечення відповідно до Закону України «Про охорону праці» несе керівник господарства [11, 36]. Він забезпечує створення безпечних і здорових умов праці, проводить вступні та повторні інструктажі, контролює виконання вимог виробничої безпеки, організовує навчання працівників, а також відповідає за оснащення робочих місць засобами індивідуального захисту, проведення технічного обслуговування машин та обладнання, зменшення ризиків для життя і здоров'я людей [3, 36]. Керівник підприємства забезпечує постійний контроль за дотриманням інструкцій, правил і нормативів, що регулюють працю в аграрному секторі, а також відповідає за своєчасне розслідування та реєстрацію нещасних випадків згідно з вимогами чинного законодавства.

Особлива увага на підприємстві приділяється безпечному поводженню з агрохімікатами, зокрема з цинковими добривами та пестицидами. Цинкові добрива — хелатні та сульфатні форми — за неправильного використання можуть становити загрозу для здоров'я працівників. Потрапляння пилу або концентрованого робочого розчину на шкіру чи слизові оболонки може спричинити подразнення, алергічні реакції або гострі отруєння. При інгаляції пилу цинкових солей можливе подразнення дихальних шляхів, кашель, бронхоспазм. Хелат цинку, хоч і є більш безпечною формою, потребує обережного поводження, оскільки за підвищених концентрацій здатний спричинити сенсibiliзацію та дерматологічні реакції. Тому всі працівники, які здійснюють підготовку робочих розчинів або виконують фоліарні обробки, повинні проходити спеціальний інструктаж і бути ознайомлені з паспортами безпеки препаратів.

Пестициди та агрохімікати застосовуються згідно з вимогами Закону України «Про пестициди і агрохімікати», ДСП 8.8.1.2.001-98 та Правил безпечного застосування пестицидів у сільському господарстві [38, 39]. Роботи

з хімічними речовинами допускаються лише для працівників, які пройшли навчання, мають відповідну кваліфікацію, медичні допуски та забезпечені індивідуальними засобами захисту [16, 38]. При роботі з цинковими добривами та пестицидами обов'язковими засобами захисту є: респіратори класу FFP2–FFP3 для захисту від дрібнодисперсного пилу, захисні окуляри або лицьові щитки, герметичні рукавички, прогумований або поліпропіленовий одяг, гумові чоботи. Перед початком роботи працівник повинен перевірити справність обприскувача, відсутність протікань, а також справність форсунок і герметичність системи подачі розчину. Під час приготування робочого розчину заборонено нахилитися над баком, вдихати пари або торкатися препарату без рукавичок.

Роботи з пестицидами заборонено проводити під час опадів, туману та за швидкості вітру понад 3–4 м/с. Це відповідає вимогам ДСП 8.8.1.2.001-98 і запобігає неконтрольованому дрейфу робочого розчину. При перевищенні вітрової швидкості щонайменше 5 м/с виконання робіт необхідно негайно припинити, оскільки частинки препарату можуть переноситися на значні відстані, спричиняючи небезпеку для працівників, населення, тварин та довкілля. Для оцінки потенційного дрейфу частинок застосовується формула:

$$D=V \times T,$$

де D — відстань перенесення частинок, V — швидкість вітру, T — час осідання частинки. Після закінчення роботи працівники повинні промити руки, обличчя та захисні засоби, не допускаючи винесення робочих забруднень за межі господарства.

Зберігання мінеральних добрив організовано відповідно до нормативів. Цинкові добрива зберігаються у сухих вентильованих складських приміщеннях, окремо від кислот, органічних речовин та легкозаймистих матеріалів. Хелатні форми повинні зберігатися у щільно закритих контейнерах, захищених від сонячного світла, оскільки світло і температура можуть спричиняти деградацію хелатуючих агентів. Сульфат цинку зберігають у герметичних мішках, щоб уникнути зволоження та злежування. Заборонено зберігати цинкові добрива

разом із харчовими продуктами, кормами та посудом для води. На дверях складських приміщень мають бути розміщені попереджувальні знаки «НЕБЕЗПЕЧНО», «ХІМІКАТИ», «СТОРОННІМ ВХІД ЗАБОРОНЕНО».

Організація робочого простору передбачає обладнання місць для приготування робочих розчинів відповідно до вимог техніки безпеки: наявність твердого покриття, лотків для збору проливів, систем вентиляції та аварійних ємностей з водою для промивання. Усі роботи повинні виконуватися механізованими засобами, що зменшує контакт працівників із добривами та пестицидами. Заборонено використовувати обладнання, яке має механічні пошкодження, тріщини або несправні шланги. Місце обробки необхідно позначати попереджувальними табличками, а вихід працівників на ділянку до повного висихання розчину забороняється.

Господарство регулярно проводить аналіз стану охорони праці та виробничого травматизму. Дані за 2022–2024 роки (табл. 5.1) свідчать, що нещасних випадків, професійних захворювань та днів тимчасової непрацездатності не зафіксовано [35]. Це свідчить про належний рівень організації охорони праці, правильне проведення інструктажів, забезпечення працівників засобами індивідуального захисту та відповідальне ставлення до дотримання нормативів безпеки.

Таблиця 5.1

Аналіз виробничого травматизму в господарстві

| Показники | 2022 | 2023 | 2024 |
|------------------------------------|------|------|------|
| Середня чисельність працівників | 15 | 16 | 13 |
| Кількість випадків з травматизмом | – | – | – |
| Кількість днів непрацездатності | – | – | – |
| Показник частоти нещасних випадків | – | – | – |
| Індекс тяжкості травматизму | – | – | – |
| Показник втрат робочого часу | – | – | – |

Висновки до Розділу 5.

Детальний аналіз стану охорони праці в СФГ «ЯРОСЛАВА» дозволяє стверджувати, що господарська діяльність підприємства здійснюється у повній відповідності до вимог Закону України «Про охорону праці» та інших нормативно-правових актів. Керівництвом господарства створено безпечні та здорові умови праці для персоналу: працівники, залучені до робіт з агрохімікатами, забезпечені сертифікованими засобами індивідуального захисту (спецодяг, респіратори, окуляри), проходять регулярні медичні огляди та інструктажі з техніки безпеки. Технологічні процеси внесення добрив та пестицидів максимально механізовані, що мінімізує безпосередній контакт людей зі шкідливими речовинами. Суворий контроль за дотриманням регламентів застосування хімічних засобів (швидкість вітру, температурний режим, санітарні зони) дозволяє уникати негативного впливу на здоров'я працівників та навколишнє середовище. Ефективність функціонування системи управління охороною праці підтверджується офіційною статистикою: протягом досліджуваного періоду (2022–2024 рр.) у господарстві не зафіксовано жодного випадку виробничого травматизму чи професійних захворювань, що свідчить про високий рівень культури безпеки на підприємстві .

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було встановлено, що цинк є одним із найбільш значущих мікроелементів у мінеральному живленні кукурудзи, а його дефіцит істотно обмежує ріст, розвиток та продуктивність культури в умовах Степової зони України. Аналіз наукових джерел і отримані експериментальні дані підтвердили, що кукурудза належить до культур, які найчутливіше реагують на нестачу цинку, оскільки він бере участь у функціонуванні ферментів, синтезі ауксинів, формуванні листової поверхні та підтриманні фотосинтетичної активності рослин. За його нестачі порушуються фізіологічні процеси, що знижує загальний темп росту та потенційну врожайність.

Польові дослідження показали, що поєднання інкрустації насіння розчином цинку та фоліарних підживлень упродовж вегетації забезпечує суттєво вищий ефект порівняно з одноразовим застосуванням мікродобрих. Інкрустація позитивно впливала на початковий ріст рослин, сприяючи формуванню сильніших проростків, що є важливим за умов нестабільної весняної температури та недостатньої доступності елементів живлення з ґрунту. Фоліарне внесення у фазах 3–5 та 6–8 листків прискорювало надходження цинку до фотосинтетичних тканин, що позитивно позначалося на інтенсивності фотосинтезу, вмісті хлорофілу та накопиченні сухої речовини. У досліді простежувалася тенденція до кращого збереження зеленого листового апарату, що є важливим чинником формування врожаю.

Результати свідчать, що форма цинку має значний вплив на його ефективність. Хелатна форма виявилася більш результативною порівняно з сульфатною. Це пов'язано з її стабільністю в робочому розчині, підвищеною здатністю проникати крізь кутикулу листка та меншою взаємодією з ґрунтовими карбонатами. У досліді хелат цинку забезпечував вищий приріст урожайності, кращий стан рослин у період інтенсивного розвитку та більшу економічну ефективність. Сульфатна форма також позитивно впливала на ріст і

розвиток кукурудзи, але її ефективність була нижчою, а прирости врожаю — менш вираженими.

Економічна оцінка показала, що застосування мікродобрив на основі цинку є ефективним елементом технології вирощування кукурудзи. Найвищі показники урожайності (2,33 т/га), чистого прибутку (4 990 грн/га) та рентабельності (36,5 %) були отримані за варіантом «Інкрустація насіння + дворазове фоліарне внесення хелату цинку». Варіанти із застосуванням сульфату цинку також показали приріст врожаю, але економічні показники були нижчими. Контрольний варіант, де мікродобрива не застосовувалися, забезпечив найнижчу врожайність (2,00 т/га) та показав доцільність включення цинкових препаратів у технологію вирощування.

Важливим фактором, який вплинув на рівень урожайності, були несприятливі погодні умови 2025 року, зокрема низька кількість опадів і високі температури. Це істотно обмежило реалізацію потенціалу культури. У попередні роки за достатньої кількості вологи господарство отримувало врожайність кукурудзи на рівні 7,5–9,3 т/га, тоді як у роки дослідження вона рідко перевищувала 2,5 т/га. Таким чином, отримані результати можна вважати мінімальною оцінкою ефективності технології: за сприятливих погодних умов продуктивність і рентабельність застосування хелату цинку були б значно вищими.

У ході дослідження також була проаналізована система охорони праці в господарстві. Встановлено, що всі роботи з агрохімікатами виконуються відповідно до законодавства України, з використанням засобів індивідуального захисту та дотриманням технологічних регламентів. За період 2022–2024 рр. не було зареєстровано випадків виробничого травматизму, що свідчить про належну організацію безпечних умов праці та контроль за виконанням вимог охорони праці на підприємстві.

Загалом проведене дослідження дає підстави стверджувати, що інкрустація насіння та фоліарне внесення мікродобрив на основі цинку є науково обґрунтованими та економічно ефективними елементами технології

вирощування кукурудзи. Застосування хелатної форми цинку є найбільш доцільним з точки зору продуктивності та окупності витрат, а оптимальним режимом внесення можна вважати дворазове підживлення у поєднанні зі стартовою обробкою насіння. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення технологій вирощування кукурудзи в господарствах Степової зони України та при розробці рекомендацій щодо оптимізації системи мікроелементного живлення культури.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ГОСПОДАРСТВУ

На основі проведених досліджень, аналізу виробничих показників та оцінки ефективності різних форм і способів застосування цинку у технології вирощування кукурудзи можна сформулювати ряд рекомендацій, спрямованих на підвищення продуктивності культури та рентабельності її вирощування в умовах господарства «Ярослава». Отримані результати свідчать, що правильне поєднання передпосівної обробки насіння мікроелементами та фоліарних підживлень у ключові фази органогенезу здатне забезпечити суттєве збільшення врожайності та значне покращення економічних показників, особливо в умовах нестабільного зволоження. Перш за все, рекомендується впровадити систему комплексного забезпечення кукурудзи цинком, оскільки культура належить до найбільш чутливих щодо його нестачі. Використання доступних та високоактивних форм мікроелемента дозволяє поліпшити стартові умови росту, підвищити інтенсивність фотосинтезу, стимулювати формування генеративних органів та сприяє кращому наливу зерна. За даними дослідження, найвищу ефективність забезпечувало поєднання інкрустації насіння 0,1 % розчином цинку та дворазового фоліарного внесення хелатної форми. Саме цей варіант забезпечив максимальну врожайність (2,33 т/га) та найвищий рівень рентабельності (36,5 %), що свідчить про доцільність застосування цієї технології в умовах господарства.

Рекомендується перед посівом проводити інкрустацію насіння цинковмісним препаратом, який гарантує доступність мікроелемента у період проростання та початкового росту рослин. Такий захід сприяє інтенсивнішому розвитку кореневої системи, підвищенню стійкості проростків до стресових факторів та формуванню більш однорідних сходів. Особливо важливою дана технологічна операція є в умовах посушливих весен, коли доступність мікроелементів із ґрунту значно знижується. Інкрустація насіння створює оптимальний стартовий фон для подальшого росту рослин і забезпечує вирівнювання посівів, що позитивно впливає на кінцеву продуктивність.

Подальше підживлення рослин слід проводити у фази 3–5 та 6–8 листків. Саме в ці періоди спостерігається найвищий попит рослин на цинк, оскільки він бере участь у регуляції поділу клітин, синтезі ауксинів, формуванні листкової поверхні та підтриманні високої інтенсивності фотосинтетичних процесів. Внесення хелату цинку у такі терміни забезпечує швидке проникнення мікроелемента в тканини рослин і дозволяє компенсувати його дефіцит навіть у стресових умовах з недостатньою кількістю вологи. Результати дослідження показали, що дворазове підживлення хелатом забезпечило найвищий економічний ефект, значно перевищивши показники сульфатної форми. Враховуючи це, господарству доцільно надавати перевагу хелатним препаратам як у плані продуктивності, так і з точки зору окупності.

У технології вирощування кукурудзи варто приділити увагу ефективній організації агротехнічних заходів. Зокрема, ранньовесняне боронування слід проводити за перших можливостей виходу техніки в поле для закриття вологи, що особливо важливо в умовах ризику весняної посухи. Висів насіння необхідно здійснювати на оптимальну глибину 5–6 см, забезпечуючи рівномірність загортання та уникнення формування ґрунтової кірки. Дотримання термінів і якості посіву є ключовим чинником формування рівномірних сходів, які краще реагують на мікроелементне живлення. Обов'язковим елементом інтенсифікації технології є система захисту рослин. Використання ґрунтових гербіцидів (ацетохлор) та післясходових препаратів (Міладар Дуо) забезпечує збереження чистоти поля від бур'янів, які значною мірою конкурують із кукурудзою за вологу, елементи живлення та світло. Чисті посіви підвищують віддачу добрив, у тому числі мікроелементних, і сприяють кращому розвитку кореневої системи та генеративних органів.

Важливо враховувати, що ефективність цинкових добрив значно знижується за умов гострого дефіциту вологи. У 2025 році через малу кількість опадів середня врожайність у регіоні рідко перевищувала 2,5 т/га, що обмежувало прояв потенційного ефекту підживлення. У господарстві «Ярослава» в роки зі сприятливими умовами рівень урожайності становив 7,5–

9,3 т/га. Це свідчить про те, що технологія внесення цинку має значно вищий потенціал, який може повною мірою реалізуватися лише за достатнього рівня зволоження. Тому рекомендується впровадження заходів щодо збереження ґрунтової вологи: мінімальної обробки, мульчування стерні, уникнення переущільнення ґрунту та використання технологій, які покращують водопроникність і знижують випаровування.

Також необхідно забезпечити дотримання норм охорони праці під час роботи з пестицидами та мікродобривами на основі цинку. Працівники мають використовувати засоби індивідуального захисту (респіратори FFP2–FFP3, хімістійкий одяг, окуляри, рукавички), проводити обробки за швидкості вітру не більше ніж 3 м/с та уникати тривалого контакту з робочими розчинами. Систематичне навчання та інструктаж персоналу дозволяє уникнути травматизму й забезпечити безпечні умови праці. Таким чином, для підвищення врожайності кукурудзи та збільшення рентабельності її виробництва господарству «Ярослава» рекомендується впровадити комплекс заходів, що включає передпосівну інкрустацію насіння цинком 0,1 %, дворазове фоліарне підживлення хелатною формою цинку, оптимізацію системи обробки ґрунту та захисту рослин, а також суворе дотримання технологічних регламентів і вимог охорони праці. Застосування запропонованої технології дасть можливість підвищити ефективність використання мікроелементів, забезпечити стійкий розвиток рослин і суттєво покращити економічні показники виробництва кукурудзи навіть у змінних кліматичних умовах.

Список використаних літературних джерел

1. Дзюбецький Б. В., Писаренко В. А., Лавриненко Ю. О., Коковіхін С. В. Морфофізіологічні показники продукційного процесу та врожай насіння гібрида кукурудзи Борисфен 433 МВ в умовах зрошення. *Бюлетень Інституту зернового господарства*. 2000. № 14. С. 20–22.
2. Городній М. М. та ін. *Агрехімія*. Київ : Алефа, 2003. 778 с.
3. Пістун І. П., Березовецький А. П., Березовецький С. А. *Охорона праці в галузі сільського господарства (рослинництво)*. Суми : Університетська книга, 2009. 368 с.
4. Крамарев С. М., Скрипник Л. Н. Інтенсивність поглинання макроелементів рослинами кукурудзи в онтогенезі. *Агрехімія*. 2002. № 12. С. 21–30.
5. Мілютенко Т. Б. Оптимізація поживного режиму ґрунту в агроценозі кукурудзи. *Збалансоване природокористування*. 2014. № 2. С. 81–87.
6. Лихочвор В. В. *Мінеральні добрива та їх застосування*. Львів : Українські технології, 2008. 312 с.
7. Бомба М. Я., Бомба М. І. Використаймо кукурудзу сповна. *Пропозиція*. 2001. С. 40–43.
8. Паламарчук В. Д., Мазур В. А., Зозуля О. Л. *Кукурудза: селекція та вирошування гібридів*. Вінниця : Данилюк, 2011. 432 с.
9. Пащенко Ю. М., Пащенко Ю. М. Оптимізація мінерального удобрення різних біотипів кукурудзи. *Бюлетень Інституту зернового господарства*. 2007. № 31. С. 125–131.
10. Молдован Ж. А., Собчук С. І. Вплив строків сівби, густоти рослин та абіотичних факторів на врожайність гібридів кукурудзи. *Бюлетень ІСГ Степової зони НААН*. 2016. № 11. С. 31–38.
11. Лекман С. Д., Кубльов В. І., Рябцев Б. І. *Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві*. Київ : Урожай, 1993. 270 с.
12. Крамарьов С. М., Краснєнков С. В., Пащенко Ю. М. Оптимізована система удобрення гібридів кукурудзи. *Уманський ДАУ*, 2008. С. 622–632.

13. Городній М. М., Лісовал А. П., Бикін А. П. *Агрохімічний аналіз*. Київ : Арістей, 2005. 476 с.
14. Мокрієнко В. А. Мінеральне живлення кукурудзи. *Хімія. Агрохімія. Сервіс*. 2008. № 13–14. С. 6–7.
15. Бомба М., Дудар І., Литвин О., Тучапський О., Коцюба А. Урожайність гібридів кукурудзи залежно від площі живлення. *Вісник ЛНАУ. Агрономія*. 2017. № 21. С. 48–51.
16. Гряник Г. М. *Довідник з охорони праці в сільському господарстві*. Київ : Урожай, 1989. 208 с.
17. Крамарев С. М., Якунин А. А., Коваленко В. Е. Дози та строки внесення добрив під кукурудзу. *Агрохімія*. 1995. № 2. С. 47–62.
18. Лісовал А. П., Макаренко В. М., Кравченко С. М. *Системи застосування добрив*. Київ : Вища школа, 2002. 317 с.
19. Гнатенко О. Ф., Вітвицький С. В., Капштик М. В., Петренко Л. Р. *Ґрунтознавство з основами геології*. Київ : Оранта, 2005. 648 с.
20. Глушко Т. В. Продуктивність гібридів кукурудзи залежно від фону живлення. *Зрошуване землеробство*. 2011. Вип. 55. С. 264–274.
21. Крамарев С. М., Шевченко В. Н. Припосівне внесення мінеральних добрив у посівах кукурудзи. *Бюлетень Інституту зернового господарства*. 1997. № 4. С. 104–107.
22. Медведовський О. К., Іваненко П. І. *Енергетичний аналіз інтенсивних технологій*. Київ : Урожай, 1988. 208 с.
23. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Опришко В. П., Костоґриз П. В. *Основи наукових досліджень в агрономії*. Київ : Дія, 2005. 288 с.
24. Мокрієнко В. А., Усатий Г. Ю. Особливості засвоєння поживних речовин гібридами кукурудзи. *Землеробство*. 2006. Вип. 78. С. 12–20.
25. Лопушняк В. І. та ін. *555 запитань і відповідей з агрохімії*. Львів : Простір М, 2018. 488 с.
26. Гень С. П. Урожайність зерна кукурудзи за різних систем удобрення. *Бюлетень ІСГ Степової зони НААН*. 2011. № 1. С. 117–124.

27. Злобін Ю. А. *Основи екології*. Київ : Лібра, 1998. 248 с.
28. Мілютенко Т. Б. Удобрення кукурудзи на зерно. *Наукові праці ІБКЦБ*. 2014. Вип. 21. С. 39–43.
29. Коць С. Я., Петерсон Н. В. *Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин*. Київ : Логос, 2005. 150 с.
30. Крамарьов С., Красенков С., Пащенко Ю. Урожайність гібридів кукурудзи залежно від живлення. *Вісник ЛНАУ. Агрономія*. 2009. № 13. С. 306–320.
31. Каленська С. М., Таран В. Г., Данилів П. О. Особливості формування урожайності гібридів кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*. 2018. № 101. С. 42–49.
32. Каленська С. М., Таран В. Г., Данилів П. О. Розвиток кореневої системи кукурудзи. *Вісник НУБІП. Агрономія*. 2017. № 269. С. 10–17.
33. Слухати С. І. *Вологозабезпеченість та мінеральне живлення кукурудзи*. Київ : Наукові перспективи, 2014. 247 с.
34. Ківер В. Х., Галечко І. Д. Реакція гібридів кукурудзи на внесення азотних добрив. *Вісник аграрної науки*. 1994. № 8. С. 18–21.
35. Піщенко В. Ф. та ін. *Аналіз виробничого травматизму*. Львів : Урожай, 1998. 17 с.
36. Довідник з охорони праці / за ред. С. Д. Лехмана. Київ : Урожай, 1990. 400 с.
37. Молдован Ж. А., Собчук С. І. Оцінка продуктивності кукурудзи за обробки насіння та фоліарного внесення. *Зернові культури*. 2018. Т. 2. № 1. С. 101–108.
38. Бадагуев Б. Т. *Охрана труда в сельском хозяйстве*. Москва : Альфа-Пресс, 2010. 424 с.
39. Конарев Ф. Н. *Охрана труда*. Москва : Колос, 1982. 315 с.
40. Куценко О. М., Писаренко В. М. *Агроекологія*. Київ : Урожай, 1995. 256 с.
41. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. *Зерновиробництво*. Львів : Українські технології, 2008. 624 с.
42. Лихочвор В. В. Система удобрення кукурудзи. *Агробізнес сьогодні*. 2014. № 8.

43. Цинк на кукурудзі: що і коли вносити. *Агроном*. 2023. URL: agronom.com.ua (дата звернення: 20.05.2025).
44. Іванюта І. П. Ефективність хелатних форм мікродобрив. *Агробізнес сьогодні*.
45. Фатєєв А. І., Пащенко Я. В. *Агрохімія мікроелементів*. Харків : Міськдрук, 2012. 124 с.
46. Балюк С. А., Носко Б. С. *Мікроелементи в ґрунтах України*. Харків : ННЦ ІГА, 2013.
47. Городній М. М. *Система застосування добрив*. Київ : СІК ГРУП Україна, 2015. 332 с.
48. Господаренко Г. М. *Агрохімія*. Київ : СІК ГРУП Україна, 2018. 560 с.
49. Лихочвор В. В., Проць Р. Р. *Кукурудза*. Львів : Українські технології, 2003. 72 с.
50. Надь Я. *Кукурудза*. Вінниця : Корзун, 2012. 580 с.
51. Крикунов В. Г. *Ґрунти і їх родючість*. Київ : Вища школа, 1993. 283 с.
52. Ткаченко Ю. М. Сумісність мікродобрив у бакових сумішах. *Захист і карантин рослин*.
53. Маслак О. Переваги — за кукурудзою. *Пропозиція*. 2013. № 5. С. 32–34.
54. Мірошниченко М. М., Тараненко В. А. *Мікроелементи в землеробстві України*. Харків : ХНАУ, 2008.
55. Гаврилюк С. П. Роль мікроелементів у формуванні зеленої маси кукурудзи. *Наукові праці НААН*.
56. Олійник І. М. Ефективність інкрустації насіння кукурудзи. *Землеробство*.
57. Черненко Л. О. Обробка насіння мікроелементами. *Агрохімія і ґрунтознавство*.
58. Лісовал А. П. *Методи агрохімічних досліджень*. Київ, 2001. 246 с.
59. Page V. *Фотон — каталог гібридів кукурудзи*. Syngenta. URL: syngenta.ua
60. Клімат України / ред. Ліпінський В. М. Київ : Раєвського, 2003. 343 с.

ДОДАТОК А

Однофакторний дисперсійний аналіз дослідів №1

Кількість варіантів: 6

Повторність: 2

Вихідні дані

| Варіант | Повторність 1 | Повторність 2 | Середнє |
|---------------------------------------|------------------|------------------|---------|
| 1 – Контроль | 1,95 | 2,00 | 1,98 |
| 2 – Сульфат + інкрустація + 1 раз | 2,05 | 2,10 | 2,08 |
| 3 – Сульфат + інкрустація + 2 рази | 2,20 | 2,26 | 2,23 |
| 4 – Хелат + інкрустація + 1 раз | 2,10 | 2,16 | 2,13 |
| 5 – Хелат + інкрустація + 2 рази | 2,30 | 2,34 | 2,32 |
| 6 – Інкрустація 0,1 % без підживлення | 2,00 | 2,06 | 2,03 |

Середній урожай по досліді: 2,13 т/га

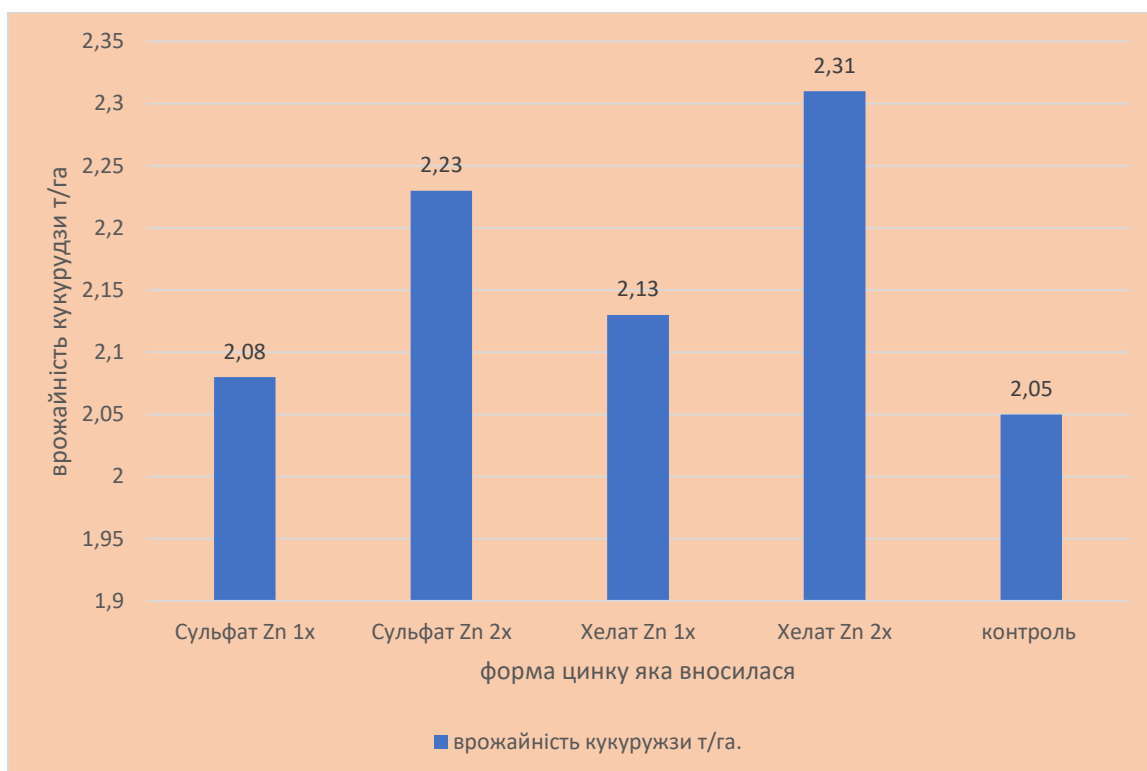
Таблиця дисперсії

| Джерело варіації | Сума квадратів (SS) | Ступінь свободи (df) | Середній квадрат (MS) | F |
|---------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|-------|
| Загальна | 0,488 | 11 | – | – |
| Повторності | 0,002 | 1 | 0,001 | 0,12 |
| Варіанти | 0,457 | 5 | 0,091 | 10,23 |
| Залишок | 0,029 | 5 | 0,006 | – |

Статистичні показники; Помилка середньої ($\pm m$): 0,04, помилка різниці середніх: 0,06, $HP_{0,5}$ (LSD): 0,13 т/га, Сила впливу фактора (η^2): 0,94

Додаток Б

Графічне відображення впливу форм цинку на врожайність кукурудзи



Додаток В

Економічна ефективність застосування різних форм цинку

(відповідає економічній таблиці з дипломної)

| № вар . | Форма цинку + інкрустація | Підживлення | Урожайність , т/га | Вартість продукції , грн | Виробничі витрати, грн | Чистий прибуток , грн | Рентаб. , % |
|----------------|----------------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------|
| 1 | Контроль | Без підживлення | 2,00 | 16 000 | 12 500 | 3 500 | 28,0 |
| 2 | Сульфат + інкрустація | 1 раз | 2,09 | 16 720 | 13 075 | 3 645 | 27,9 |
| 3 | Сульфат + інкрустація | 2 рази | 2,25 | 18 000 | 13 650 | 4 350 | 31,9 |
| 4 | Хелат + інкрустація | 1 раз | 2,15 | 17 200 | 13 075 | 4 125 | 31,6 |
| 5 | Хелат + інкрустація | 2 рази | 2,33 | 18 640 | 13 650 | 4 990 | 36,5 |

Додаток Г

Агротехнічні заходи та витрати на 1 га

| Захід | Вартість роботи, грн | Дизель, л | Вартість дизеля, грн | Матеріали | Загальна сума |
|---------------------------------|----------------------|-----------|----------------------|------------------|---------------|
| Оранка | 800 | 22 | 1210 | – | 2010 |
| Боронування | 200 | 2 | 110 | – | 310 |
| Культивація | 250 | 8 | 440 | – | 690 |
| Сівба | 280 | 4 | 220 | – | 500 |
| Насіння | – | – | – | 3700 | 3700 |
| Обприскування гербіцидом | 200 | 2 | 110 | Ацетохлор 474 | 784 |
| Обприскування Міладар Дуо | 150 | 2,5 | 138 | 750 | 1038 |
| Підживлення цинком (1 внесення) | 150 | 2,5 | 138 | 575 | 863 |
| Підживлення цинком (2 внесення) | 300 | 5 | 275 | 1150 | 1725 |
| Окучування | 300 | 5 | 275 | – | 575 |
| Обмолот | 600 | 14,5 | 798 | – | 1398 |

Підсумок витрат (базовий варіант): 12 500 грн/га