

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
АГРОБІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету (Директор ННІ)

_____ Агробіологічний _____
(назва факультету (ННІ))

_____ Віталій КОВАЛЕНКО
(підпис) (ПІБ)

«__» _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

_____ Агрохімії та якості продукції
рослинництва ім. О. І. Душечкіна _____
(назва кафедри)

_____ Дмитро ЛІТВИНОВ
(підпис) (ПІБ)

«__» _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Продуктивність кукурудзи на зерно за використання елементів
точного землеробства _____

Спеціальність _____ 201 Агрономія _____

Освітня програма _____ Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництві _____

Орієнтація освітньої програми _____ освітньо-професійна _____

Гарант освітньої програми

_____ доктор с.-г. наук, професор
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

_____ Анатолій БИКІН
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ кандидат с.-г. наук, доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

_____ Лариса СЕМЕНКО
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

_____ Валерій КОВАЛЕВСЬКИЙ
(ПІБ здобувача)

**КИЇВ – 2025
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

АГРОБІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Агрохімії та якості продукції рослинництва
ім. О.І. Душечкіна доктор с.-г. наук,
професор

_____ Дмитро ЛІТВІНОВ

— ” _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Ковалевський Валерій Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 201 Агрономія

Освітня програма Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництві

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Продуктивність кукурудзи на зерно за використання елементів точного землеробства»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «20» жовтня 2025 р. №2405"С"

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи _____

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Дослідити біометричні показники в основні фази росту та розвитку кукурудзи
2. Визначити вплив добрив на врожай та якість кукурудзи

Перелік графічного матеріалу (за потреби) _____

Дата видачі завдання — _____ ” _____ 20__ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____

(підпис)

Лариса СЕМЕНКО

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Валерій КОВАЛЕВСЬКИЙ

(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

на випускню магістерську кваліфікаційну роботу за темою: «Продуктивність кукурудзи на зерно за використання елементів точного землеробства».

Магістерська робота виконана на 47 сторінках у 3-ьох розділах. Містить 11 рисунків, 13 таблиць та 24 літературних джерел. У роботі наведені результати польових та лабораторних досліджень по впливу внесення рідких комплексних добрив за різних строків сівби на продуктивність кукурудзи.

У першому розділі наведена інформація про культуру, особливості її вирощування та стан застосування рідких комплексних добрив в Україні.

У другому розділі представлені умови проведення дослідження, схема досліду та технологічні аспекти при проведенні дослідження.

У третьому розділі наведені результати дослідження та оцінка впливу варіантів досліду.

Ключові слова: кукурудза, рідкі комплексні добрива, строки сівби кукурудзи, біометричні показники, ґрунтовий аналіз, продуктивність врожаю.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	8
1.1 Аналіз кліматичних змін і умов	8
1.2 Біологічні особливості вирощування кукурудзи	11
1.3 Фізіологія взаємодії елементів живлення та ґрунт-рослина	17
1.4 Особливості використання рідких комплексних добрив	20
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	22
2.1 Погодна характеристика дослідної ділянки	22
2.2 Ґрунтова та агрохімічна характеристики дослідної ділянки	25
2.3 Загальні технологічні аспекти вирощування кукурудзи	28
2.4 Розподіл території за ґрунтовим аналізом фосфору	29
2.5 Схема досліду	33
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	34
3.1 Вплив РКД на зміну агрохімічних характеристик ґрунту	34
3.2 Вплив РКД на урожайність та якість кукурудзи на зерно	36
3.3 Вплив мінерального живлення на біометричні показники	40
3.4 Економічна ефективність застосування РКД	44
ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47

ВСТУП

Кукурудза – це одна з найбільш поширених у рослинництві культур в світі. Багато країн займаються рослинництвом, переробкою та використанням кукурудзи різного призначення: на силос, на концентровані корми, на зерно та цукрову кукурудзу.

Раціональне управління агровиробництвом у сучасних умовах вимагає інтегрованого підходу, що поєднує екологічну безпеку та динамічні економічні реалії. Для кукурудзи як однієї з найбільш рентабельних культур ключовим фактором, що визначає економічну ефективність, є побудова належної системи живлення, заснованої на розрахунку виносу елементів та врахуванні ґрунтово-кліматичних особливостей.

На тлі зростаючої вартості мінеральних добрив та посилення метеорологічних ризиків у післяпосівний період, фосфорний режим ґрунту та ефективність фосфорного живлення стали ключовими предметами світових досліджень. Нестача фосфору у критичний період для кукурудзи (фаза 3–4 листка, приблизно через два тижні після сівби) негативно впливає на розвиток кореневої системи та закладення репродуктивних органів, що прямо пропорційно знижує фактичний урожай.

Традиційні гранульовані фосфорні добрива на легких ґрунтах можуть не забезпечити необхідної доступності елементів через швидку втрату ґрунтової вологи та повільну розчинність. У цьому контексті рідкі комплексні добрива (РКД), завдяки їх 100% водорозчинності та локальному внесенню під час сівби, забезпечують миттєву доступність поживних речовин у критичний період, незалежно від наступної кількості опадів. Це позиціонує РКД як важливий інструмент зниження метеорологічних ризиків та підвищення біологічної ефективності одиниці фосфору на ранніх етапах розвитку культури.

Незважаючи на доведену ефективність РКД як засобу компенсації дефіциту вологи та забезпечення швидкого старту, залишається нез'ясованим, як переваги рідкої форми добрив проявляються в умовах, коли строк сівби є ключовим регулятором агрофізичних стресів. Оптимальний час посіву

визначається не лише економічними, але й, в першу чергу, агрономічними критеріями (температура ґрунту на глибині загортання, вологість, прогнозовані заморозки). Зміщення строків сівби — чи то на більш ранні дати (ризик холодного стресу), чи на пізніші (ризик теплового стресу та посиленої посухи влітку) — принципово змінює умови для розвитку кореневої системи та поглинання поживних речовин у критичний період.

Предмет досліджень. Рідкі комплексні добрива, терміни сівби, урожайність зерна, якість зерна, біометрія.

Мета дослідження. Полягає у виявленні закономірностей між різними строками сівби, впливом рідких комплексних добрив на продуктивність рослини.

Завдання дослідження:

- дослідити біометричні показники в основні фази росту та розвитку кукурудзи

- визначити вплив добрив на врожай та якість кукурудзи

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Аналіз кліматичних змін і умов

Досліджувана територія знаходиться в межах зони Лісостепу з помірним континентальним кліматом. Літо помірно-спекотне, зима м'яка. За період з 1991 по 2020 коливання температури у середньому досягають від $-5,4$ у січні до $22,8$ у серпні [1].



Рисунок 1.1 Хід річної температури повітря за період з 1991 по 2020 р.

За аналогічний період середня річна температура збільшилась з $8,1^{\circ}\text{C}$ до $10,8^{\circ}\text{C}$, що свідчить про вплив глобальних процесів кліматоутворення (потепління) на температурні режими даної території. Збільшення температури прямо впливає на терміни сівби, використання гібридів із більшим ФАО та збільшенням продуктивності зерна. Натомість це може створити ризики для вологозабезпечення культури внаслідок більших витрат води на випаровування та евапотранспірацію [1].

Режим зволоження оптимальний, за рік у середньому випадає 640 мм опадів. Кількість опадів прямо впливає на запаси вологи в ґрунті. За даними Українського гідрометеорологічного інституту НАН України за період з 1991 року по 2020 спостерігається тенденція до зменшення запасів ґрунтової вологи [1].

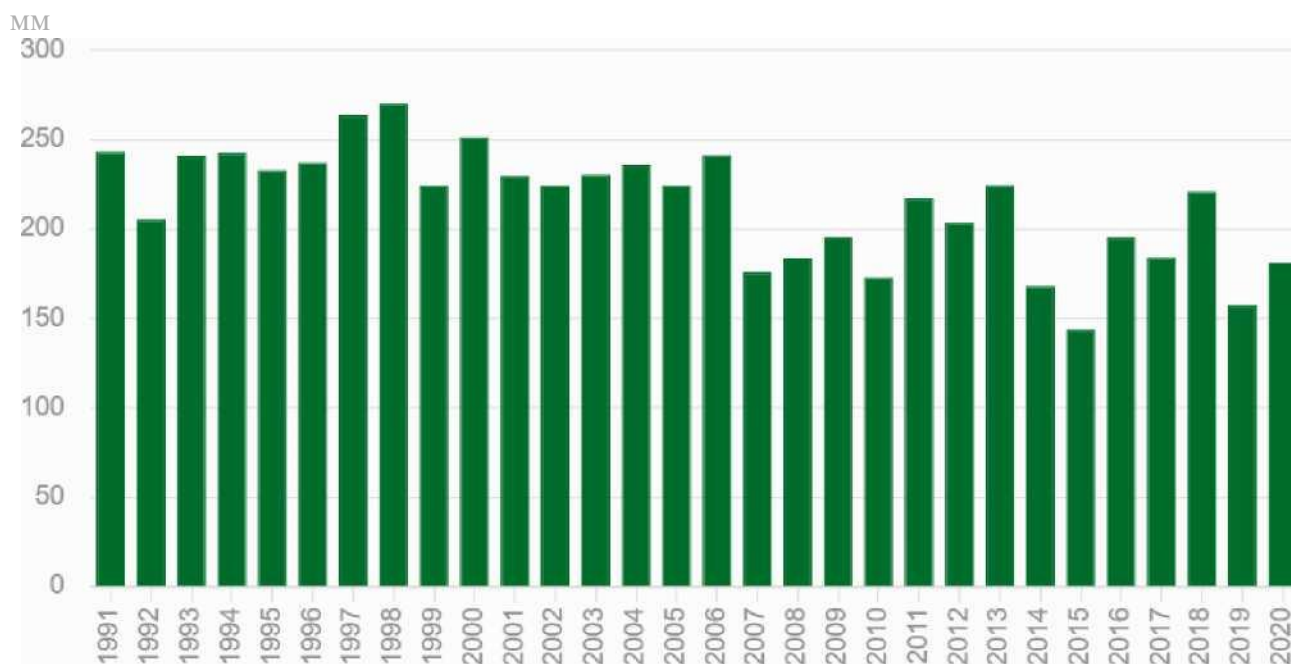


Рисунок 1.2 Середньорічні запаси вологи в ґрунті у період 1991 по 2020 р. р. за даними моделі SWAT (Land & Water Агро-гідрологічна модель річкових басейнів України).

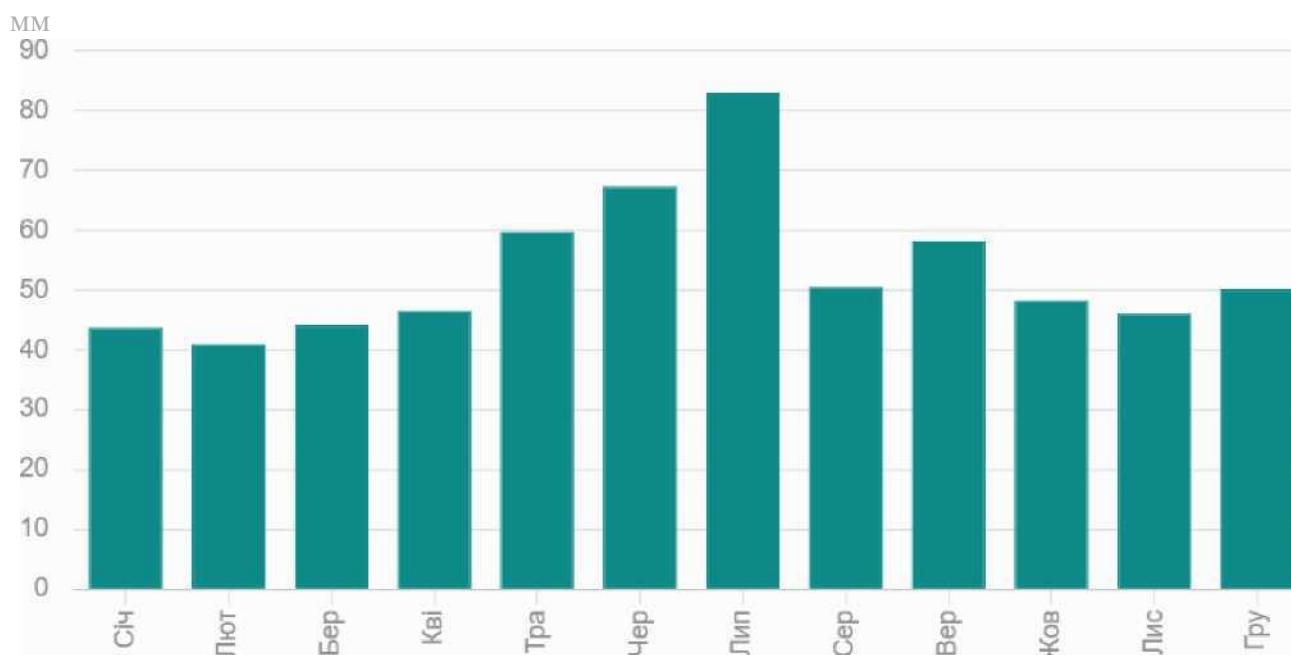


Рисунок 1.3 Середньомісячні опади у період 1991 по 2020 р. р. за даними моделі SWAT (Land & Water Агро-гідрологічна модель річкових басейнів України).

Опади досягають піку у липні (83 мм), що є позитивним, оскільки це збігається з періодом максимального теплового навантаження та найвищої

потреби у воді (фази наливу зерна, формування врожаю). Хоча липень має максимум, високі температури можуть швидко нівелювати цей приріст через високе випаровування. Травень-червень також має достатньо опадів, що створює сприятливі умови для вегетативного росту [1].

Водний баланс, 1991-2020
р. Трубіж, фрагмент 5 (Суббасейн 3491)

мм ■ рік⁻¹

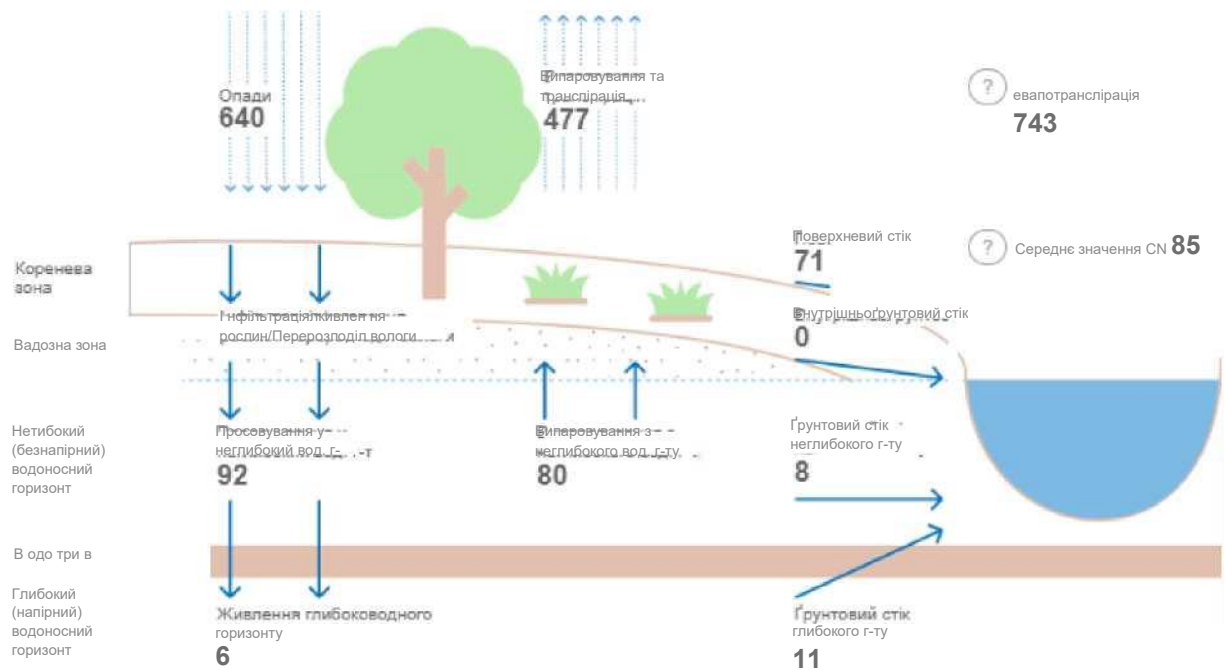


Рисунок 1.4 Водний баланс у період 1991 по 2020 р. р. за даними моделі SWAT (Land & Water Агро-гідрологічна модель річкових басейнів України).

Аналізуючи дані водного балансу можна ствердити, що спостерігається профіцит фактичної вологи, але за максимально інтенсивного виробництва та потенційно можливих витрат води може спостерігатися дефіцит вологи [1].

1.2 Біологічні особливості вирощування кукурудзи

Кукурудза (*Zea mays*) — це односезонна культура, що є однодомною і запилюється перехресно. Її коренева система мичкуватого типу сильно розвинена і здатна заглиблюватися на 2-3 метри та поширюватися в радіусі від стебла 0,5-1 м. Вузлові корені формують декілька ярусів: перший ярус з'являється при формуванні 3-4 листків, другий — у фазі 5-6 листків, третій — у фазі 7-8 листків, причому кожен наступний ярус утворюється з появою нової пари листків. Основна маса коренів, що становить 50-75%, зосереджена у верхньому ґрунтовому шарі (до 45 см). Також у рослини часто розвиваються опорні, або повітряні, корені. Стебло, яке називають соломиною, може мати довжину 1,8-3,4 м і більше, при діаметрі 2-6 см, і заповнене пухкою серцевиною. Воно здатне до галуження, утворюючи бічні пагони (пасинки). Кукурудза демонструє повільне зростання протягом перших 24–30 днів розвитку, що часто призводить до пригнічення її бур'янами. Однак після фази 7-8 листків і до викидання волоті інтенсивність росту значно зростає, а добовий приріст стебла може сягати 12,5-15 см. Фотосинтетична роль стебла є важливим чинником для формування врожаю зерна: обмеження доступу світла до нього знижує врожайність зерна на 30%, тоді як на обгорток качана цей вплив становить лише 14%. Листя є піхвовим, має пластинку довжиною 65-98 см і шириною 5-12 см. Сукупна площа листків на одній рослині варіюється від 0,285 до 0,915 м², а на 1 гектарі посіву – 44-70 тис. м². Сучасні гібриди характеризуються вертикальним (еректофільним) розташуванням листків, що оптимізує використання ФАР. Кількість листків на рослині прямопропорційне її групі стиглості. Листки послідовно збільшуються у розмірі, досягаючи максимуму біля верхнього качана, а листки, розташовані вище, поступово зменшуються [4,5].

Кукурудза є рослиною С-4 типу фотосинтезу, що забезпечує їй вищу продуктивність. Цей фізіологічний тип має особливу будову провідної системи листка: провідні судини з'єднані між собою анастомозами (поперечними сполученнями) кожні 0,48 мм, формуючи щільну сітку, яка прискорює транспорт та рівномірний розподіл води, поживних речовин і продуктів

фотосинтезу. Отже, продуктивність фотосинтезу залежить як від площі листка, так і від густоти сітки судин: чим вона щільніша, тим вища продуктивність. Кукурудза формує два види суцвіть: чоловічі квітки зібрані у волоті на верхівці стебла, а жіночі квітки — у початках у пазухах листків. Сучасні гібриди кременистого і зубоподібного типу можуть утворювати 1–3 качани, з яких найбільшим є верхній, розташований у піхві 9–12-го листка. Цей качан розвивається з домінуючої бруньки, через що більшість інших бруньок залишаються неактивними («сплячими»). Домінування верхнього качана пов'язане з його зв'язком із найбільшим (до 6,2 м) ярусом кореневої системи. Бруньки, розташовані нижче на стеблі, віддалені від його центру і гірше забезпечуються кореневим живленням. Нижче розташовані бруньки, які не мають власного коріння, отримують залишки ресурсів і першими всихають при нестачі вологи. Однак у вузлах стебла провідні пучки пов'язані поперечними анастомозами, що дозволяє перерозподіляти ресурси. Завдяки цій системі, якщо видалити 1-2 верхні домінуючі качани на початку наливу зерна, сплячі піхвові бруньки можуть розвинути. Розвиток піхвових бруньок залежить від розмірів фотосинтезуючої поверхні відповідного листка, оскільки вони починають активуватися після появи листової пластинки, живлячись її продуктами фотосинтезу. Саме тому в піхвах колеоптиле та перших двох листків бічні пагони ніколи не утворюються: їхня асимілююча поверхня надто мала, а продукти фотосинтезу витрачаються на розвиток коренів. Пластичні речовини верхніх листків, які не мають бруньок, використовуються насамперед верхнім качаном, що прискорює його розвиток і налив зерна. Також виявлено, що скоростиглі гібриди мають більшу кількість листків над верхнім качаном, ніж пізньостиглі. Кукурудза може формувати чоловічі, жіночі, а інколи й двостатеві квітки. Жіноче суцвіття (качан) зацвітає приблизно на 4-5 днів пізніше чоловічого (волоті). У посушливих умовах цей проміжок збільшується, що може призвести до неповного запилення. Плід кукурудзи — гола зернівка, форма якої може бути округлою, видовженою або видовжено-призматичною. Маса 1000

зернівок становить 105-450 г, при цьому зародок містить до 45% жиру. Ендосперм може бути борошнистим, кременистим, склоподібним або воскоподібним, залежно від хімічного складу. При перезапиленні гібридів із різним кольором або консистенцією зерна може виникати ксенійність — це прояв ознак запилювача (батька) на зерні материнської рослини, що є прямим результатом впливу пилку на гібридні тканини (зародок та ендосперм), і може змінювати фенотипові ознаки зерна (колір, форму, розміри, масу). Наприклад, при запиленні цукрової кукурудзи крохмалистим пилком серед зморшкуватих зерен можуть з'являтися гладенькі, округлі зерна з борошнистим ендоспермом [4,5].

У процесі вирощування критично важливим є врахування теплових потреб різних біологічних типів гібридів. Інтенсивний ріст і розвиток культури починається при стійкому перевищенні середньодобової температури повітря $+10^{\circ}\text{C}$. Кукурудза – теплолюбна рослина: мінімум для проростання насіння становить $+6-8^{\circ}\text{C}$, а сходи у польових умовах з'являються при температурі ґрунту $+8-10^{\circ}\text{C}$. Сходи можуть бути пошкоджені заморозками до $-2-3^{\circ}\text{C}$, але точка росту, як правило, залишається неушкодженою, хоча листки жовтіють і відмирають. Кременисті форми є більш холодостійкими. Яровизація (перший і другий етапи органогенезу) проходить при температурі $+6-9^{\circ}\text{C}$. Чим триваліша ця стадія, тим більше формується вузлів і листків. Тривалість яровизації (8-24 днів) залежить від температурного режиму та групи стиглості: ранньостиглі гібриди потребують 6-12 днів при $+9-13^{\circ}\text{C}$; середньостиглі – 11-16 днів при $+13-17^{\circ}\text{C}$; пізньостиглі – 18-25 днів при $+20-25^{\circ}\text{C}$. Зниження нічних температур нижче $+14^{\circ}\text{C}$ або значні добові коливання температури уповільнюють ріст і подовжують вегетацію. Температура нижче $+15^{\circ}\text{C}$ може викликати пожовтіння молодих листків через зниження інтенсивності фотосинтезу. Підвищення температури повітря до $+25^{\circ}\text{C}$ не шкодить рослинам до моменту появи генеративних органів. Однак після цвітіння волотей і під час появи стовпчиків приймочок на качанах, температура $+25^{\circ}\text{C}$ і вище починає негативно впливати. Температурні показники понад $+30^{\circ}\text{C}$ порушують процеси цвітіння та

запліднення. Це пояснюється тим, що пилок кукурудзи має низьку вологоємність (містить 60% води), тому при температурі вище +30°C та відносній вологості

повітря менше 30% він висихає за 1,5-2 години після розкриття пиляків і втрачає здатність до проростання, спричиняючи череззерницю та погану виповненість качанів. Крім того, за такого режиму стовпчики приймочок жіночої квітки передчасно в'януть і засихають, що також перешкоджає повному заплідненню. Висока температура також збільшує розрив у часі між цвітінням волоті і качана з 6-7 до 15-16 днів, що посилює проблему череззерниці. Максимальна температура, при якій ріст і розвиток рослин припиняється, становить +45-47°C. Осінні приморозки також становлять загрозу: температури, близькі до 0°C, пошкоджують зелені листки, а зниження до -2-3°C може пошкодити зріле зерно, якщо його вологість перевищує 20%. Для гібридів кукурудзи встановлена необхідна сума ефективних температур (вище +10°C). Цей показник, поряд з кліматичною забезпеченістю теплом, дозволяє науково обґрунтувати районування біотипів гібридів за їхніми тепловими потребами. Для оцінки строків дозрівання використовується показник ФАО – комплексний індикатор, що враховує не тільки температуру, але й потенціал врожайності, використання світла та швидкість віддачі вологи зерном. За ФАО гібриди поділяються на: ранньостиглі (100-199), середньоранні (200-299), середньостиглі (300-399), середньопізні (400-499) та пізньостиглі (понад 500). Гібриди з вищим ФАО мають більший потенціал урожайності. Рекомендації для регіонів: Полісся – до 180, Лісостеп – 180–380, Степ – 260-500. Різниця у 10 балів ФАО відповідає 1-2 дням різниці у вегетаційному періоді або до 2% сухих речовин у качанах [4,5].

Агрокліматичні зони значно різняться за рівнем природного вологозабезпечення. Середня кількість опадів за вегетаційний період (травень – середина вересня) становить: Степ – 215-235 мм, Лісостеп – 290-300 мм, Полісся – 310-360 мм. Часто кількість опадів менша або їхній розподіл є нерівномірним, особливо у другій половині вегетації, що негативно позначається на продуктивності. Кукурудза не відчуває нестачі у волозі, якщо за травень–

серпень випадає 200 мм і більше атмосферних опадів. Райони західніше і північніше ізолінії 200 мм (що проходить через Роздільну – Шахтарськ) вважаються сприятливими, а південні та східні — напівпосушливими, посушливими або

гостро-посушливими. Кожен 1 мм опадів дозволяє отримати приблизно 20 кг зерна з 1 га. Кукурудза є посухостійкою рослиною. Для проростання насіння потрібно 38-42% води від його сухої маси. Транспіраційний коефіцієнт становить 240-300. Культура економно витрачає ґрунтову вологу: на створення 1 кг сухої речовини потрібно 300-400 л води, що в 1,6–1,8 рази менше, ніж інші зернові. Однак через тривалий вегетаційний період та формування великого врожаю сумарне водоспоживання з 1 га посіву сягає 3000-5000 т води. Потреба рослин у волозі протягом вегетації нерівномірна: для проростання необхідно 40-45% води від сухої маси насіння; від сходів до 15 листків (34-37 днів) середньостиглі гібриди потребують 7-8% від загальної потреби; від 15 листків до фази молочної стиглості (38-40 днів) – 69-74%; і від молочної до повної стиглості (30-35 днів) – 20-21%. Критичним періодом є 30 днів, що починаються за 10-15 днів до викидання волоті і закінчуються станом молочної стиглості зерна. У цей час відбувається інтенсивне накопичення сухої речовини, цвітіння і формування зерна. Дефіцит ґрунтової вологи (особливо у поєднанні з повітряною посухою) у цей період зменшує врожай зерна на 20-42%, призводячи до дрібних качанів і череззерниці. Навіть 2-3-денна ґрунтова посуха може знизити врожай до 20%, а тижнева – до 50%. Оптимальна вологість ґрунту має підтримуватися на рівні не нижче 72-78% НВ. Кукурудза не переносить перезволоження, оскільки нестача кисню у ґрунті уповільнює поглинання фосфору, порушуючи процеси фосфорилування, енергетичні процеси та білковий обмін у кореневій системі [4,5].

Світлолюбна рослина короткого дня: при тривалості дня понад 12-14 годин вегетаційний період подовжується. Кукурудза погано витримує затінення: у загущених посівах затримується розвиток і не утворюються качани. Мінімальна інтенсивність освітлення для цвітіння і плодоношення становить

4000-8000 лк. Затінення зменшує поглинання азоту, фосфору, калію і магнію, що затримує формування репродуктивних органів. Для північних районів рекомендовано вирощування на південних схилах та підтримання оптимальної густоти. Рослини

з вертикальним (еректоїдним) розміщенням листя ефективніше використовують сонячну енергію, а оптимальним є напрямок рядків сівби із заходу на схід [4,5].

Кукурудза середньовимоглива до родючості ґрунту. Її добре розвинена коренева система покращує живлення рослин. Необхідні добре аеровані ґрунти з глибоким гумусовим горизонтом і високою водоутримуючою здатністю. Під час проростання насіння критична аерація, оскільки зародки інтенсивно поглинають кисень. Високий урожай можливий при вмісті кисню в ґрунтовому повітрі 18-20%. Якщо вміст кисню близько 10%, ріст коренів уповільнюється, а при 50% — припиняється, порушуючи поглинання води і елементів живлення. Найбільш придатні: суглинкові та супіщані чорноземи, темно-сірі, темно-каштанові ґрунти. Оптимальна щільність ґрунту — 1,15-1,28 г/см³. Кукурудза добре росте на заплавних і торфових ґрунтах. Оптимальний рівень рН – 6,6–7,4. Ґрунти з рН нижче 5, а також засолені або ті, що запливають, непридатні без меліорації [4,5].

1.3 Фізіологія взаємодії елементів живлення та ґрунт-рослина

Фізіологічний розвиток кукурудзи як високопродуктивної C4-культури критично залежить від балансу макроелементів — Азоту (N), Фосфору (P) та Калію (K). Ці елементи є не просто необхідними для формування біомаси, але й слугують ключовими регуляторами, що визначають швидкість метаболізму, морфологічну архітектуру рослини та її стійкість до несприятливих абіотичних факторів. У фізіології кукурудзи, де висока потреба у вуглеводах та швидкий ріст є основними детермінантами врожаю, NPK контролюють три фундаментальні системи: азот визначає потенціал біомаси та функціональну тривалість листя; фосфор забезпечує енергетичну інфраструктуру; а калій керує водним гомеостазом та транспортом асимілятів. Через свій вплив на цільові характеристики врожаю, зокрема вміст білка та цукрів, калій (K) часто характеризується як «елемент якості». Розуміння цих фізіологічних механізмів, включаючи синергічні та антагоністичні взаємодії між елементами, є обов'язковою умовою для оптимізації продуктивності [3].

Азот займає центральне місце у фізіології кукурудзи, будучи інтегральною частиною всіх амінокислот, нуклеїнових кислот та, що є найважливішим для продуктивності, хлорофілу та ключових ферментів фотосинтезу. Коли рослина стикається з дефіцитом азоту, активується фізіологічний механізм мобілізації: білки та хлоропласти руйнуються у старих, менш ефективних нижніх листках, а азот реутилізується для підтримки функціонування молодих, фізіологічно активних тканин і апікальної меристеми. Цей процес проявляється як відмирання нижнього ярусу листя, тоді як верхні листки залишаються зеленими або частково зеленими з характерними жовтими V-подібними плямами на кінчиках. Для досягнення запланованого врожаю на кожний листок, що демонструє цей симптом, необхідно додати близько 11 кг азоту для задоволення потреби рослини. Фізіологічний підхід до внесення азоту вимагає врахування етапів розвитку. Для кукурудзи з вегетаційним періодом 70-80 днів, 90% азоту слід внести до викидання волоті; для пізніших гібридів (105-125 днів) ця пропорція становить 65% до викидання волоті та 35% після. Навіть

внесений після

викидання волоті азот досягає рослини протягом семи днів. Однак слід враховувати, що сульфат амонію, популярна форма добрива, досягає свого максимального фізіологічного ефекту лише через 60-61 день, на відміну від сечовини та аміачної селітри, які засвоюються швидше, протягом 30 днів. Ця часова особливість може тимчасово порушити критично важливе співвідношення азоту до сірки [3].

Роль азоту значно ширша за просто структурну. Достатнє поглинання N кореневою системою стимулює синтез та експорт гормону цитокініну з кореня до пагонів. Цей ендогенний цитокінін позитивно регулює розмір та активність апікальної меристеми пагонів (АМП) і стимулює розвиток бічних бруньок. Результатом є краще гілкування та поява більшої кількості листя [23].

Фізіологічний вплив цитокініну є подвійним: він уповільнює процес старіння (сенсенції) та активізує фотосинтез, що призводить до поліпшеного загального засвоєння вуглеводів.¹ Таким чином, доступність азоту на ранніх стадіях є ключовим фізіологічним детермінантом кінцевої площі листка (LAI) та потенційної фотосинтетичної потужності рослини. Продовжуючи ефективну тривалість фотосинтезу, цитокінін, опосередкований N, безпосередньо корелює з накопиченням біомаси та кінцевим потенціалом врожаю [23].

Надмірне внесення азоту створює низку фізіологічних проблем. Надлишок N може призвести до зниження вмісту ґрунтового гумусу, який утримує сірку, бор та нітратний азот. Крім того, надлишок N може блокувати поглинання міді (Cu), що фізіологічно проявляється у крихкості стебла, оскільки мідь є важливим кофактором у процесах лігніфікації, які надають структурної міцності [23].

Фосфор є незамінним елементом, оскільки він формує енергетичну валюту клітини — АТФ (аденозинтрифосфат). АТФ забезпечує енергією всі активні процеси, включаючи клітинний поділ, активне поглинання іонів та синтез макромолекул. Крім того, P є структурним компонентом генетичного матеріалу (ДНК, РНК) та фосфоліпідів, які є основою клітинних мембран [5, 23].

Дефіцит фосфору проявляється найбільш гостро на ранніх стадіях вегетації кукурудзи, оскільки він гальмує швидкий клітинний поділ та диференціацію

кореневої системи. При нестачі фосфатів рослини демонструють сповільнений розвиток і значно меншу висоту — вони можуть бути лише "до коліна", тоді як рослини, яким було внесено невелику кількість фосфату як стартове добриво, досягають висоти "до пояса". Ця різниця є прямим фізіологічним наслідком недостатнього енергетичного забезпечення для мітозу. Крім затримки росту, класичним симптомом дефіциту фосфору є пурпурове забарвлення листя на ранніх фазах. Фізіологічно цей симптом є відображенням метаболічного транспортного блоку. Фосфор критично необхідний для фосфорилування цукрів, що дозволяє їх транспортувати з листка (де вони синтезуються) до зростаючих тканин (кореня, меристем). Коли P дефіцитний, транспорт вуглеводів колапсує, і цукри накопичуються в листках. Це накопичення стимулює надмірний синтез захисних пігментів антоціанів, що і призводить до характерного пурпурового забарвлення [5, 23].

Калій виконує двоїсту, але взаємопов'язану функцію у фізіології кукурудзи: біохімічну та біофізичну. По-перше, K є незамінним у біохімічних процесах, активуючи понад 50 ферментів, ключових для метаболізму, особливо для синтезу білків і цукрів. Для цієї каталітичної функції потрібна відносно невелика кількість калію. По-друге, K підтримує вміст води та тургор клітин — це його біофізична роль. Калій діє як основний осмотичний агент, керуючи рухом води і підтримуючи клітинний тиск, що є критичним для забезпечення міцності листя та ефективного протікання фотосинтезу. Для цієї фізіологічної функції необхідні значно більші обсяги калію, ніж для його біохімічної ролі [23].

1.4 Особливості використання рідких комплексних добрив

Критичний період фосфорного живлення для кукурудзи настає вже у фазі 3–4 листка. На легких ґрунтах Лісостепу, які швидко втрачають вологу, гранульовані добрива можуть не встигнути розчинитися, що спричиняє стартовий фосфорний дефіцит. Саме тут розкривається головна перевага РКД: вони є повністю водорозчинними (наприклад, в 5-20-5 є 100% водорозчинними) [24].

Локальне внесення РКД у рядок під час сівби гарантує миттєву доступність фосфору молодій рослині, незалежно від подальших опадів. Рідка форма фосфору демонструє значно вищу біологічну ефективність на ранніх етапах. Наприклад, внесення активної речовини P_2O_5 у рідкій формі (приблизно 18 кг/га) може забезпечити формування середньої ваги зерна з качана на рівні, порівнянному із застосуванням вдвічі більшої дози гранульованої форми (36 кг/га). Завдяки цьому ефекту РКД сприяють кращому закладенню продуктивних органів, допомагаючи гібридам інтенсивного типу формувати 16-рядний качан [24].

Незважаючи на високу стартову ефективність, використання РКД виключно як єдиного джерела живлення за жодних умов не забезпечить результату, порівнянного із застосуванням гранульованого добрива. Навіть найвища доза чистого РКД не може реалізувати потенціал урожайності, поступаючись варіантам із повноцінним гранульованим фоном. Це пояснюється ключовою різницею в механізмі дії: фосфор із РКД швидко поглинається культурою або фіксується/вимивається з легких ґрунтів. Це підтверджується низьким залишковим вмістом рухомого після збирання врожаю в чистих варіантах РКД. РКД, використане як єдине джерело, не забезпечує необхідного довготривалого фонду фосфору, калію та сірки, необхідного для живлення культури протягом усієї вегетації. На противагу цьому, гранульований NPK забезпечує значно вищий залишковий вміст фосфору, підтримуючи агрохімічну стійкість ґрунту. Таким чином, повна заміна гранульованого живлення на рідку

форму на легких ґрунтах може призвести до швидкого виснаження ґрунтового Р-фонду [24].

Найвищий показник ефективності можна досягнути за гібридної системи, що поєднує переваги обох форм. Додавання мінімальної дози РКД (25 л/га) як високодоступного стартера до основного внесення гранульованого добрива (NPK) може забезпечити приріст урожаю в 1,3 т/га (+12.9%), що економічно, згідно дослідження Веремеєнко С.І., Фурманець О.А., Вознюк М.Н. та Олійник О.О, є найбільш вигідною стратегією [24].

Окрім поєднання форм, критично важливими виявилися додаткові компоненти: на тлі інтенсивного фосфорного живлення виникає ризик індукованого дефіциту цинку, що лімітує наповненість зерна. Застосування цинковмісного препарату у складі бакової суміші виявилось доцільним, оскільки це дозволяє максимізувати масу 1000 зерен та збільшити зернову масу в качані до 14,7%. Рідкі комплексні добрива є високоефективним, ресурсоощадним інструментом, здатним гарантувати швидкий старт розвитку кукурудзи та мінімізувати метеорологічні ризики на легких ґрунтах. Однак, їх використання має бути не заміною, а доповненням до традиційної системи. Оптимальна ресурсоощадна технологія вирощування кукурудзи ґрунтується на гібридному живленні (гранульований PKS-фонд + рідкий Р-стартер), синхронізованому з мікроелементною корекцією (Zn) та біологічною активацією (Rhizophos). Саме такий комплексний підхід дозволяє максимально реалізувати генетичний потенціал гібрида та забезпечити найвищу економічну ефективність виробництва [24].

РОЗДІЛ 2. УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Погодна характеристика дослідної ділянки

Дослідження з впливу РКД на кукурудзу було закладено в межах господарства ТОВ «МХП Агро-С», що знаходиться в селі Селище Броварського району Київської області.

Таблиця 2.1

Зведені дані субрегіонального кліматичного обстеження 2021-2024 р.р.

Місяць	Декада	Метеорологічні фактори					Сума активних температур, °С	
		Температура повітря, °С	Температура ґрунту, °С	Вітрова швидкість, м/с	Відносність вологості, %	Сонячна радіація, ккал/см ²		
						Дінь		Ніч
Квітень	1	25	5	79	9,4	4,6	-	
	2	26	9	77			-	
	3	20	13	85			130	
Травень	1	20	16	75	13,3	7,0	160	
	2	37	15	82			150	
	3	30	20	83			200	
Червень	1	18	20	51	14,9	8,1	240	
	2	25	18	48			220	
	3	28	18	44			220	
Липень	1	19	24	34	15,3	8,4	280	
	2	17	26	22			270	
	3	14	27	18			280	
Серпень	1	14	23	22	12,3	6,4	240	
	2	21	26	26			270	

	3	18	19	22			200
Вересень	1	15	19	42	9,1	4,2	200
	2	22	18	44			240
	3	18	15	40			210
Жовтень	1	16	18	54	4,8	1,4	180
	2	16	14	55			140
	3	17	11	57			-
За період з 5°C		411	18	49	79,1	40,8	3230
За період з 10°C		316	20	44	64,9	34,6	

Спостерігаючи за опадами було встановлено, що найбільша кількість опадів (87 мм) випало у травні, що припало на початок вегетації та період посіву у деяких варіантів досліду, найменша ж кількість випала у жовтні (49 мм) та липні (50 мм), але режим вологозабезпечення протягом усієї вегетації був оптимальним та забезпечив достатньою кількістю ґрунтової вологи.

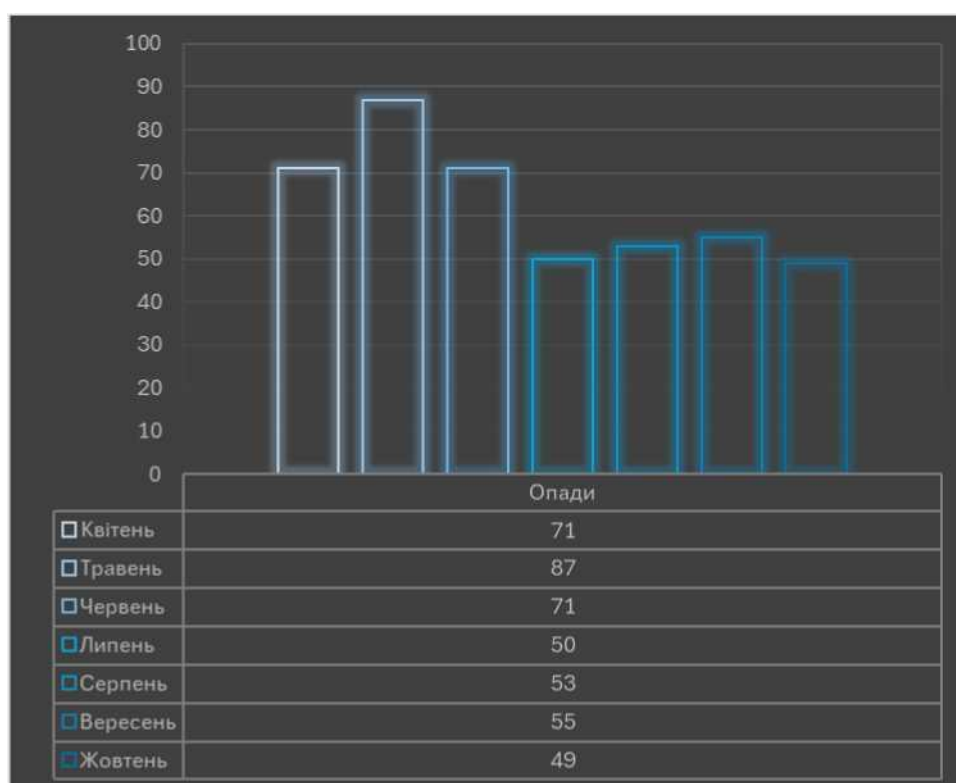


Рисунок 2.1 Сезонна помісячна кількість опадів.

Спостереження за температурою свідчать, що найбільш оптимальний температурний режим (+10-25°C) спостерігався протягом усього вегетаційного

сезону окрім перших двох декад квітня, липня та другої декади серпня. У квітні температури були нижчі за $+10^{\circ}\text{C}$ (у третій декаді в середньому були температури вищі, хоча деякі дні характеризувалися падінням до $+8^{\circ}\text{C}$, але це не було критично, враховуючи специфіку гібриду). У липні та серпні були зафіксовані перевищення температури до $+31^{\circ}\text{C}$. Сума активних температур потрібна для вирощування даного гібрида становить 2600°C , натомість за даними погодних спостережень було отримано 3230°C , тобто достатня кількість формування зерна.

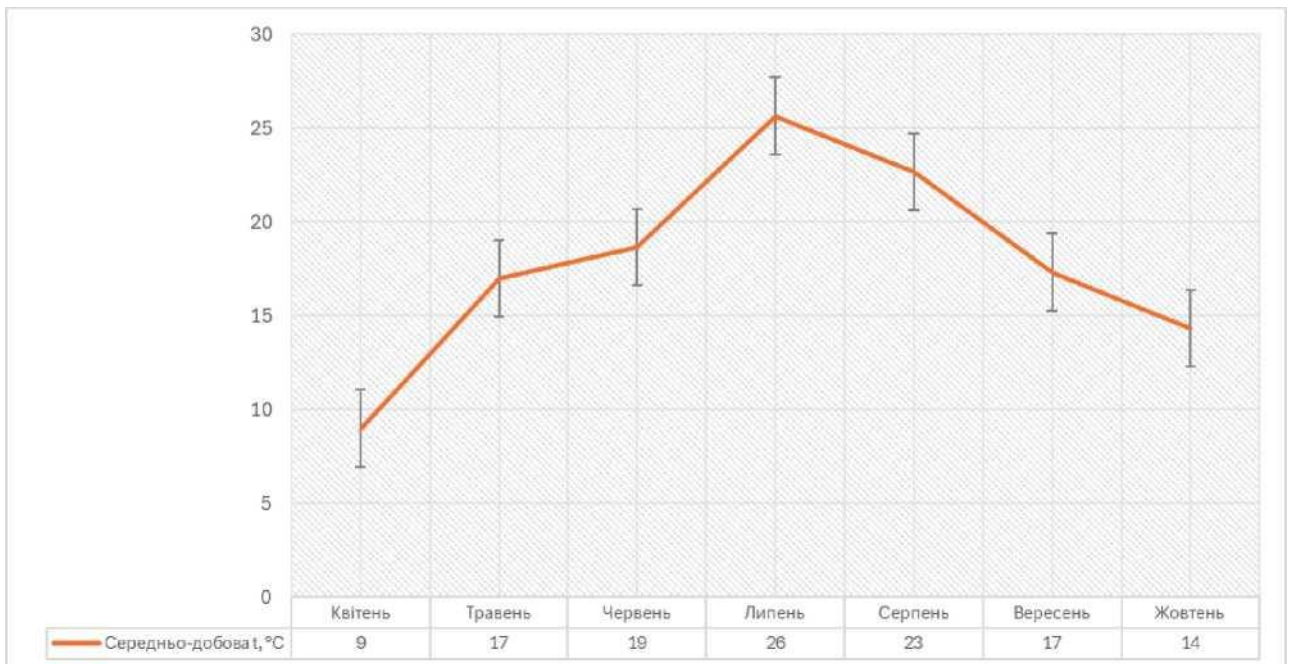


Рисунок 2.2 Сезонна помісячна середньо-добова температура.

Сумарні дані погодно-кліматичного спостереження свідчать, що для вирощування кукурудзи у даному регіоні в рік проведення дослідження достатнє температурне та вологозабезпечення. Є ризик формування короткочасних посух, що можуть прямо викликати стрес в рослини та опосередковано вплинути на врожайність зерна чи його якість.

2.2 Ґрунтова та агрохімічна характеристики дослідної ділянки

На території дослідної ділянки проведено забір ґрунтових проб для формування розподілу дослідної ділянки на зони продуктивності. Під час проведення випробувань було з'ясовано, що найбільш критичним елементом був фосфор, тому розподіл неоднорідності був проведений саме за даним елементом.



Рисунок 2.3 Схема відбору ґрунтових проб.

У Центральній агрохімічній лабораторії Виробничо-технологічного Центру ПрАТ МХП проведено дослідження ґрунтових проб на 19 показників для попереднього обстеження ґрунтової ділянки: гранулометричний склад, органічна речовина (вміст гумусу), рН сольовий (1:5), водний (1:1) та буферний (1:1:1), масова частка рухомої сірки, масова частка фосфору, вміст обмінних катіонів (калій, натрій, магній, кальцій), масові частки нітратного азоту,

електропровідність, вміст рухомих сполук бору та слідовий вміст мікроелементів (заліза, міді, марганцю та цинку).

Таблиця 2.2

Агрохімічна характеристика сірого лісового легкосуглинкового ґрунту.

Показник		Характеристика		
Гранулометричний склад (аерометричний метод)		Clay	Silt	Sand
		17,5%	32,5%	50,0%
		Loam		
Вміст гумусу, %		3,12		
рН	Сольовий (ДСТУ ISO 10390:2007)	5,96		
	Водний (ДСТУ ISO 10390:2007)	6,54		
	Буферний (методом Сікора)	6,78		
Масова частка рухомої сірки, мг/кг		4,25		
Масова частка фосфору (за Чиріковим), мг/кг		46,43		
Вміст обмінного калію, мг/кг		125,63		
Вміст обмінного натрію, мг/кг		21,30		
Вміст обмінного магнію, мг/кг		189,55		
Вміст обмінного кальцію, мг/кг		4834,12		
Електропровідність, mS/cm		8,96		
Вміст рухомого бору, мг/кг		0,89		
Масова частка нітратного азоту, мг/кг		8,63		
Масова частка амонійного азоту, мг/кг		19,25		
Вміст заліза, мг/кг		57,34		
Вміст міді, мг/кг		0,97		
Вміст марганцю, мг/кг		23,67		
Вміст цинку, мг/кг		1,34		

Агрохімічна оцінка ґрунту показала, що за гранулометричним складом він є суглинком, що є оптимальним типом. Вміст гумусу становить 3,12%, що

класифікується як середній або підвищений вміст і є гарним показником для сірого лісового ґрунту. Водночас сольовий рН на рівні 5,96 характеризує ґрунт як слабо-кислий. Цей показник знаходиться на нижній межі оптимального діапазону для кукурудзи і є прийнятним, хоча може дещо обмежувати засвоєння фосфору.

Оцінка забезпеченості макроелементами виявила декілька критичних моментів. Сумарний вміст азоту (нітратного та амонійного) становить 27,88 мг/кг, що є низьким показником. Кукурудза є вимогливою до азоту, тому нестача може негативно впливати на подальший врожай. Вміст рухомого фосфору (40,04 мг/кг) також класифікується як низький рівень, що є суттєвим обмежуючим фактором для розвитку кореневої системи та формування качана. На відміну від них, вміст обмінного калію (125,63 мг/кг) знаходиться в оптимальному діапазоні. Вміст рухомої сірки (4,25 мг/кг) оцінюється як дуже низький.

Аналіз мезо- та мікроелементів показав, що вміст кальцію (4834,12 мг/кг) та магнію (189,55 мг/кг) знаходиться на високому рівні. Вміст цинку (1,34 мг/кг) є оптимальним, що важливо, оскільки кукурудза чутлива до його дефіциту. Вміст бору (0,89 мг/кг) та марганцю (23,67 мг/кг) знаходиться на середньому рівні, тоді як вміст міді (0,97 мг/кг) є низьким.

Згідно даних ґрунтових картосхем дослідна ділянка розташована в межах території поширення сірого лісового ґрунту, що підтверджується ґрунтовим аналізом.

2.3 Загальні технологічні аспекти вирощування кукурудзи

1. Відразу після збирання попередника виконується лушення стерні на глибину 10 см агрегатом Lemken Rubin;
2. Після цього до моменту оранки здійснюється внесення добрив згідно варіантів досліду на глибину 14 см за допомогою Abbey S16;
3. Оранка проводиться через два тижні після лушення на глибину 25 см агрегатом DIAMANT 16;
4. У міру появи сходів бур'янів восени проводиться пізньоосіння культивуація на 6 см Case IH Tiger Mate 200;
5. Навесні при фізичній стиглості ґрунту виконується закриття вологи на 4 см Case IH Tiger Mate 200, а далі по мірі проростання бур'янів культивуація з боронуванням на 6 см Case IH Tiger Mate 200 VEGA-8;
6. Терміни сівби визначаються дослідом;
7. До появи сходів проводиться перше обприскування Пропонітом робочим розчином 250 л га Case Patriot 3310;
8. Перший міжрядний обробіток на глибину 8 см Case IH Tiger Mate 200 виконується через два тижні після появи сходів культури;
9. У фазу 4-7 листків культури проведено обприскування Цельзером робочим розчином 300 л га Case Patriot 3310;
10. Позакореневе підживлення яке проводиться двічі у фазі 3-5 та 7-9 листків кукурудзи агрегатом AMAZONE ZBG-6000;
11. В період вегетації також вноситься Акріс у фазу 3-8 листків робочим розчином 200 л га Case Patriot 3310;
12. Збирання відбувається агрегатом Case IH 5130 + Case IH 4408.

2.4 Розподіл території за ґрунтовим аналізом фосфору

Використовуючи систему GeoPard Agriculture результати аналізу вдалося розподілити в картосхемах. Спочатку було проаналізовано зведений потенціал поля за результатами статистичного аналізу супутникових даних (за індексами DVI, EVI2, SAVI, MCARI1 і т. д.)



Рисунок 2.4 Зведений потенціал поля 2016-2025 р.р.

Виявлено, що поле характеризується трьома відмінними зонами продуктивності.

Оскільки за результатом ґрунтового аналізу виявлено фосфор як проблемну частину поля, для аналізу зон продуктивності буде використано результати ґрунтового аналізу проб на фосфор (за Чиріковим).

Таблиця 2.3

Значення проведених випробувань для визначення неоднорідності ґрунтового покриття.

Проби	Вміст фосфору у пробах, мг/кг
-------	-------------------------------

	42.93	51.2	14.98	12.85	77.32	40.15
	21.56	41.98	42.99	42.65	91.24	43.02
	42.27	38.94	40.91	64.56	87.63	38.57



Рисунок 2.5 Точковий розподіл результатів випробувань за фосфором.

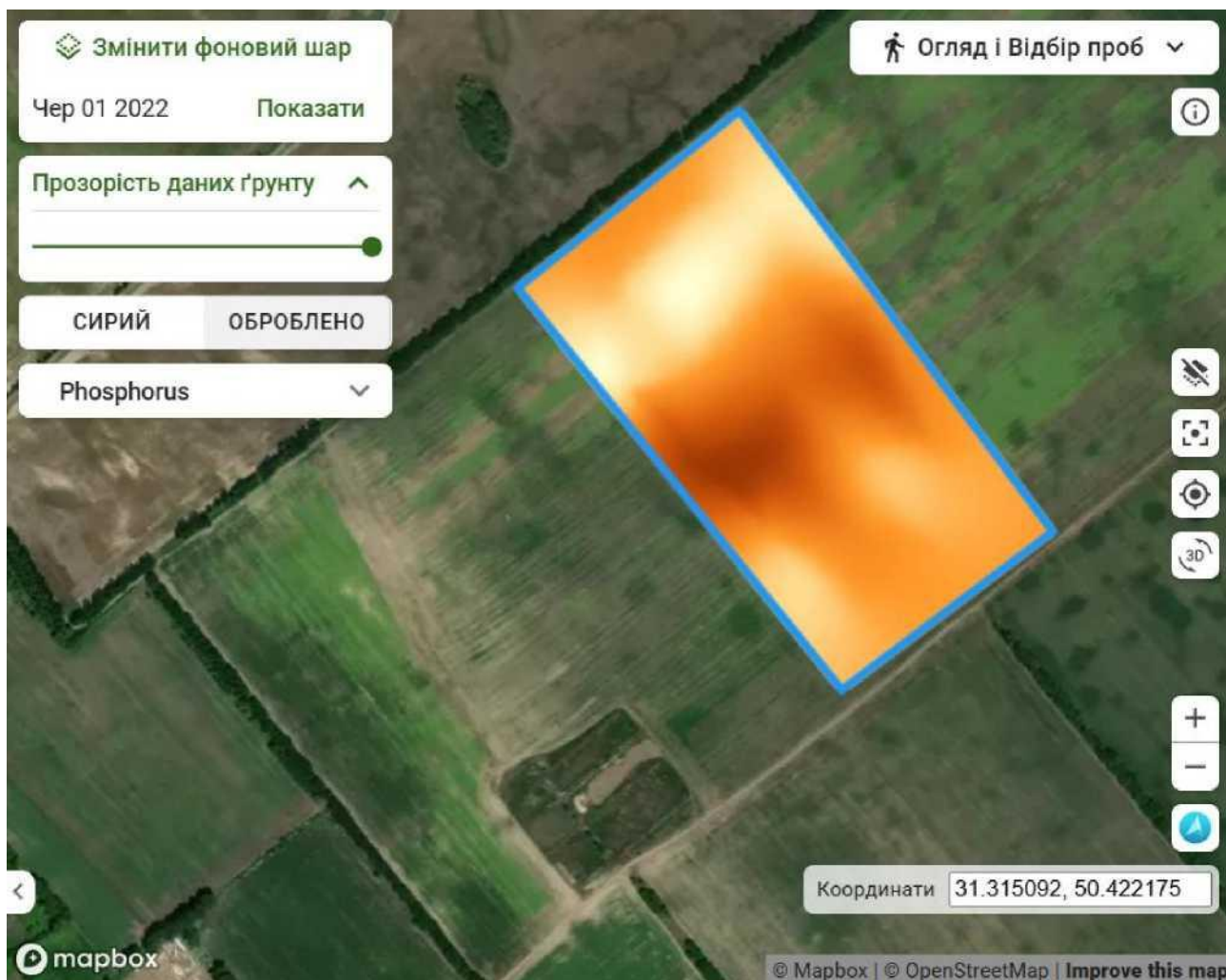


Рисунок 2.6 Сегментний розподіл результатів випробувань за фосфором.

Виконавши візуалізацію даних, а також статистичний аналіз можна ствердити, що поле в межах дослідної ділянки є неоднорідним. І поле можна розділити на три зони продуктивності.

Таблиця 2.4

Дані статистичного аналізу і обробки даних випробувань.

Об'єм вибірки	18.0
Середнє	46.4
Мінімальне значення	12.9
Максимальне значення	91.2
Дисперсія	445.6
Стандартне відхилення	21.1
Розмах	78.4

Помилка середньої арифметичної	1.2
Коефіцієнт варіації	45.5

Розмах, тобто інтервал від найменшого до найбільшого, становить 78,4 мг/кг ґрунту. Щоб розділити на зони продуктивності даний розмах було розділено на три частини інтервалом 26,1 мг/кг – це одна зона продуктивності. Відповідно загалом було виділено три зони продуктивності від 12,9 до 39 мг/кг – зона низької продуктивності, від 39,1 до 65,2 мг/кг – зона середньої продуктивності та від 65,3 до 91,2 мг/кг – зона високої продуктивності.

Відповідно до вищеописаної класифікації було створено картосхему.

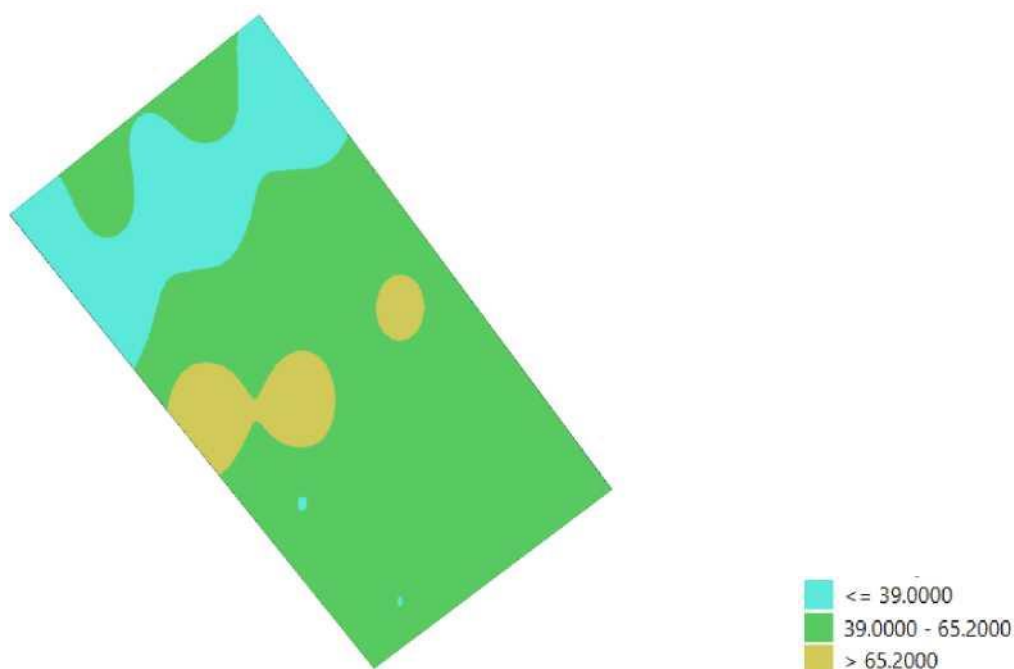


Рисунок 2.7 Розподіл за зонами продуктивності.

2.5 Схема дослідю

Дослідження проводиться за збереження однакових умов для усіх частин дослідю. Фактори, які були лімітуючими та впливали на приріст врожаю були вибрані терміни сівби та застосування РКД 5:20:5 у основне внесення.

Таблиця 2.5

Схема дослідю

Варіанти дослідю

Фактор X	Фактор Y
Сівба 15.04	Фон+Без застосування РКД 5:20:5

	Застосування РКД 5:20:5
Сівба 26.04	Без застосування РКД 5:20:5
	Застосування РКД 5:20:5
Сівба 05.05	Без застосування РКД 5:20:5 (контроль)
	Застосування РКД 5:20:5

Наскрізно до даної схеми досліду буде представлено результати врожайності у поділі по зонах продуктивності.

Площа дослідної ділянки 38 га. Загальна технологія описана у пункті 2.3. Для дослідження використовувався ранньостиглий гібрид кукурудзи (ФАО 200) ДКС 3247.

В якості фону в основне внесення було застосовано у формі подвійного суперфосфату та хлористого калію відповідно з розрахунку на діючу речовину по 90 кг, в передпосівне внесення 200 кг/га КАС-32 (N₆₄) + 100 кг/га карбаміду (N₄₆).

При застосуванні РКД використовували 200 кг фізичної маси 1 га (для отримання 40 кг фосфору та по 10 кг азоту і калію у діючих речовинах).

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Вплив РКД на зміну агрохімічних характеристик ґрунту

Зміна агрохімічного складу дозволяє оцінити які зміни у дослідній ділянці виявлялись протягом вегетації

Таблиця 3.1

Показник		По завершенню збирання попередника	12 ВВСН	97 ВВСН
Вміст гумусу, %		3,12	3,56	2,98
рН	Сольовий	5,96	6,01	5,86
	Водний	6,54	6,59	6,70
	Буферний	6,78	6,79	6,75
S-SO ₄ , мг/кг		4,25	4,23	3,45
P ₂ O ₅ мг/кг		46,43	69,6	34,9
K ₂ O, мг/кг		125,63	142,3	95,4
Na, мг/кг		21,30	25,64	24,87
Mg, мг/кг		189,55	184,65	194,23
Ca, мг/кг		4834,12	3564,23	4512,48
Електропровідність, мS/см		8,96	7,56	7,84
B, мг/кг		0,89	0,78	0,65
N-NO ₃ , мг/кг		8,63	8,94	5,98
N-NH ₄ , мг/кг		19,25	16,45	21,54
Fe, мг/кг		57,34	47,23	56,25
Cu, мг/кг		0,97	0,45	1,01
Mn, мг/кг		23,67	29,65	31,24
Zn, мг/кг		1,34	1,39	1,54

Виявлено зростання вмісту рухомого фосфору (P₂O₅) з 46,43 до 69,6 мг/кг та калію (K₂O) зі 125,63 до 142,3 мг/кг на фазі 12 ВВСН.

Вміст калію зменшився зі 142,3 мг/кг до 95,4 мг/кг наприкінці вегетації.

Це вказує на високе споживання калію рослинами, що призвело до різкого зменшення вмісту ґрунту на цей елемент.

Інші елементи, такі як сірка (S-SO₄) та бор (B), мають тенденцію протягом усього сезону, що вказує на їх постійне споживання. Динаміка азоту була неоднозначною: нітратна форма очікувано знизилась, але амонійна форма дещо зросла до кінця сезону, що може бути пов'язано з процесами розкладання органічних решток.

На відміну від елементів живлення, базові властивості ґрунту були дуже стабільними. Кислотність ґрунту (всі показники рН) та електропровідність не змінилися. Не значно зменшився вміст гумусу.

Динаміка мікроелементів була різною. Вміст марганцю та цинку помітно зріс до кінця вегетації, тоді як мідь та залізо не показали чіткої закономірності.

3.2 Вплив РКД на урожайність та якість кукурудзи на зерно

Основним критерієм доцільності вирощування будь-якої культури є високі показники врожайності та/або якості зерна, тому дані про врожайність дослідної ділянки є ключовими для оцінки результатів дослідження.

Таблиця 3.2

Урожайність кукурудзи, т/га							
Фактор X	Фактор Y	Зона НП	ей н н о • н о н к о к	Зона СП	се Ь 'н н о Ри к Ри к	Зона ВП	се 'н н Ри Ри к
Сівба 15.04	Без застосування РКД 5:20:5	9,73	-0,72	10,12	-0,33	10,14	-0,31
	Застосування РКД 5:20:5	10,57	+0,12	10,78	+0,33	10,74	+0,29
Сівба 26.04	Без застосування РКД 5:20:5	9,87	-0,58	10,72	+0,27	10,69	+0,24
	Застосування РКД 5:20:5	10,56	+0,11	11,12	+0,67	-	-
Сівба 05.05	Без застосування РКД 5:20:5	10,21	-0,24	10,45 (контроль)	-	11,01	+0,56
	Застосування РКД 5:20:5	10,43	-0,02	11,09	+0,64	11,36	+0,91

Майже в кожному окремому варіанті (при тій самій сівбі і добриві) врожайність зростає в ряду: Зона НП < Зона СП < Зона ВП.

У зоні низької продуктивності урожайність коливається в діапазоні 9,73-10,57 т/га, середньої – 10,12-11,12, високої – 10,14-11,36 т/га. Це підтверджує, що ділянки мали різний базовий потенціал.

Застосування РКД дає стабільний позитивний ефект у всіх без винятку варіантах. Приріст від РКД коливається від +0,22 т/га (Сівба 05.05, зона НП) до +0,84 т/га (Сівба 15.04, зона НП). В середньому по досліді застосування РКД дає приріст близько 0,5 т/га. Це виглядає як надійний спосіб підвищити врожайність незалежно від інших умов.

Тут спостерігається чітка тенденція до зростання врожайності при більш пізніх строках сівби. Середня врожайність (по всіх зонах і добривах) для сівби 15.04 становить 10,35 т/га. Середня врожайність для сівби 26.04 становить 10,59 т/га. Середня врожайність для сівби 05.05 становить 10,76 т/га. Різниця між крайніми строками сівби (05.05 та 15.04) в середньому становить 0,41 т/га на користь пізнішої сівби.

Максимальну врожайність (11,36 т/га) отримано при поєднанні сівба 05.05 + застосування РКД + зона ВП.

Мінімальну врожайність (9,73 т/га) отримано при поєднанні сівби 15.04 + без РКД + зона НП.

В зоні ВП пізня сівба без РКД (11,01 т/га) дала вищий урожай, ніж рання сівба з РКД (10,74 т/га). Це свідчить про те, що правильний вибір строку сівби може бути таким самим або навіть більш вагомим фактором, ніж удобрення РКД.

Таблиця 3.3

Кількість рядів та зерен у ряді качану кукурудзи.

Фактор X	Фактор Y	Кількість зерен у ряді качану, шт.	Кількість рядів у качані, шт.
Сівба 15.04	Без застосування РКД 5:20:5	32	15
	Застосування РКД 5:20:5	32	14
	Без застосування РКД 5:20:5	33	14

Сівба 26.04	Застосування РКД 5:20:5	32	15
Сівба 05.05	Без застосування РКД 5:20:5	32	13
	Застосування РКД 5:20:5	33	13

Кількість зерен у ряді качану є стабільним. Вона коливається у дуже вузькому діапазоні 32-33 штуки, і жоден з факторів, ані сівба, ані добриво, не продемонстрував на нього чіткого чи послідовного впливу.

Кількість рядів у качані, тут спостерігається більша мінливість, але вона також не має чіткої закономірності від застосування РКД. Проте, є зменшення кількості рядів при більш пізніх строках сівби, особливо у варіантах без добрива, де показник знизився з 15 до 13. Найменша кількість рядів, 13 штук, стабільно спостерігалася при найпізнішій сівбі 05.05.

При порівнянні даних врожайності було виявлено, що найвища врожайність була отримана саме при сівбі 05.05, яка формувала качани з найменшою кількістю рядів. Це свідчить про те, що висока врожайність у пізніх посівах була досягнута не за рахунок кількості рядів чи зерен у ряді, а за рахунок інших компонентів таких як маса 1000 зерен.

Таблиця 3.4

Вміст крохмалю та білку за варіантам дослідів.

Фактор X	Фактор Y	Крохмаль, %	Білок, %
Сівба 15.04	Без застосування РКД 5:20:5	62.23	11.25
	Застосування РКД 5:20:5	60.25	12.12
Сівба 26.04	Без застосування РКД 5:20:5	61.74	11.54
	Застосування РКД 5:20:5	60.31	11.59
Сівба 05.05	Без застосування РКД 5:20:5	64.58	12.06
	Застосування РКД 5:20:5	60.29	12.87

У результатах крохмаль знижується при застосуванні добрива РКД, і це відбувається в усіх строках сівби. Найбільший вміст крохмалю, 64,58%, було отримано у варіанті сівби 05.05 без застосування добрива. Водночас, внесення

РКД дало вміст крохмалю на рівні 60,3% незалежно від дати сівби. Також із більш пізніми строками сівби також підвищується вміст білку. Найвищий показник, 12,87%, було отримано у варіанті сівби 05.05 із застосуванням РКД, а найнижчий (11,25%) – при сівбі 15.04 без добрива.

3.3 Вплив мінерального живлення на біометричні показники

Біометричні дані дозволяють досліднику отримати інформацію про поточний стан культури та оцінити як варіанти досліду впливають на окремі частини чи показники рослини. Проведена біометрія – це вибірка з п'яти окремих рослин за кожним з варіантів досліду у дві фази росту й розвитку кукурудзи.

Таблиця 3.5

Біометрія кукурудзи у фазу 18-19 ВВСН.

Показник	Сівба 15.04		Сівба 26.04		Сівба 05.05	
	БЗ РКД	З РКД	БЗ РКД	З РКД	БЗ РКД	З РКД
	5:20:5	5:20:5	5:20:5	5:20:5	5:20:5	5:20:5
Висота, см	34	33	31	36	35	32
Загальна кількість пагонів, шт/роsl.	1	1	1	1	1	1
Кількість продуктивних пагонів, шт/роsl.	1	1	1	1	1	1
Кількість стебел, шт/роsl.	1	1	1	1	1	1
Кількість листків, шт/роsl.	8	8	8	8	8	8
Довжина міжвузля, см	2,4	2,7	2,5	2,4	2,4	2,9
Діаметр стебла, мм	12	12	14	13	12	12
Маса надземної частини, г/роsl.	24,3	27,8	32,1	30,8	20,9	25,6
Маса кореневої системи, г/роsl.	6,3	6,9	6,1	6,5	5,4	6,2
Площа листків, см ²	452	504	466	422	398	448

Найбільш чіткий і послідовний вплив добрива спостерігається на

кореневу систему. Застосування РКД призвело до збільшення маси кореневої системи при всіх трьох строках сівби. Маса коренів загалом має тенденцію до зниження при більш пізніх строках сівби, причому найнижчі показники зафіксовано у варіантах сівби 05.05.

Сівба 26.04 у варіанті без добрива показує найвищу масу надземної частини (32,1 г/шт.) та найбільший діаметр стебла (14 мм). Застосування РКД у цьому варіанті (сівба 26.04) призвело до зниження маси надземної частини та площі листків. Натомість, при ранній (15.04) та пізній (05.05) сівбі застосування РКД, навпаки, сприяло збільшенню маси надземної частини та площі листків.

Висота рослин та довжина міжвузля не демонструють однієї чіткої закономірності. Таким чином, на фазу 8-9 листків застосування РКД стабільно стимулювало розвиток кореневої системи.

Таблиця 3.6

Біометрія кукурудзи у фазу 56-57 ВВСН.

Показник	Сівба 15.04		Сівба 26.04		Сівба 05.05	
	БЗ РКД 5:20:5	З РКД 5:20:5	БЗ РКД 5:20:5	З РКД 5:20:5	БЗ РКД 5:20:5	З РКД 5:20:5
Висота, см	245	249	251	269	243	242
Загальна кількість пагонів, шт/роsl.	1	1	1	1	1	1
Кількість продуктивних пагонів, шт/роsl.	1	1	1	1	1	1
Кількість стебел, шт/роsl.	1	1	1	1	1	1
Кількість листків, шт/роsl.	16	16	16	16	16	16
Довжина міжвузля, см	10,9	11,1	10,3	10,5	11,2	10,8
Діаметр стебла, мм	27,5	28,2	28,4	28,1	27,6	27,9
Маса надземної частини, г/роsl.	677,6	694,3	651,3	721,6	649,2	697,4
Маса кореневої системи, г/роsl.	124,3	132,6	115,3	140,6	121,8	131,2
Площа листків, см ²	5203	5467	4987	5564	5231	4978

Застосування РКД 5:20:5 демонструє чіткий вплив: в усіх варіантах воно сприяло збільшенню маси надземної частини та маси кореневої системи. Найбільш виражений приріст від добрива спостерігався у варіанті сівби 26.04, де маса надземної частини зросла з 651,3 до 721,6 г/роsl, а маса коренів — зі 115,3 до 140,6 г/роsl.

Строк сівби 26.04 у поєднанні із застосуванням РКД виявив найвищі значення за більшістю ключових показників: висота (269 см), маса надземної частини (721,6 г), маса кореневої системи (140,6 г) та площа листків (5564 см²).

Найпізніша сівба (05.05) загалом показала дещо гірші результати розвитку біомаси, хоча застосування РКД також дало приріст маси.

Таблиця 3.7

Маса 1000 зерен кукурудзи

Фактор X	Фактор Y	Маса 1000, г
Сівба 15.04	Без застосування РКД 5:20:5	297.5
	Застосування РКД 5:20:5	341.1
Сівба 26.04	Без застосування РКД 5:20:5	322.4
	Застосування РКД 5:20:5	322.6
Сівба 05.05	Без застосування РКД 5:20:5	362.5
	Застосування РКД 5:20:5	365.0

Найбільш чіткий і послідовний вплив на цей показник мав строк сівби. Спостерігається залежність – чим пізніше проводилась сівба, тим вищою була маса 1000 зерен. Найнижчі показники (297,5 г) зафіксовані при ранній сівбі 15.04, тоді як найвищі (362,5 г та 365,0 г) – при найпізнішій сівбі 05.05.

Вплив застосування РКД був неоднозначним і сильно залежав від строку сівби. Найбільший позитивний ефект від добрива спостерігався при ранній сівбі 15.04, де воно забезпечило приріст маси у 43,6 грама. Натомість, при сівбі 26.04 добриво практично не вплинуло на масу зерна, а при пізній сівбі 05.05 приріст був незначним (лише 2,5 грама).

Абсолютний максимум маси 1000 зерен (365,0 г) було отримано у варіанті сівби 05.05 із застосуванням РКД, а абсолютний мінімум (297,5 г) – у варіанті

сівби 15.04 без застосування добрива.

3.4 Економічна ефективність застосування РКД

Таблиця 3.8
Економічна ефективність рідких комплексних добрив на 1 т

Варіант досліджу	£ н л н о =а й й О	а & н л н о • то И	се я « б о а а н о . ч ч И	а * и а а И о	а н 5 а а се се	а & а н о н а С	о ^x Н а на а
15.04 БЗ РКД	10,12	8960	90,68	38,1	-	52,58	137,48
15.04 З РКД	10,78		96,59		6,52	51,97	116,47
26.04 БЗ РКД	10,69		95,78		-	57,68	151,39
26.04 З РКД	11,05		99,01		6,52	54,39	121,90
05.05 БЗ РКД	10,45		93,63		-	55,53	145,75
05.05 З РКД	11,09		99,37		6,52	54,75	122,70

У кожному з трьох строків сівби варіант без застосування РКД забезпечив вищий чистий прибуток. Це пояснюється тим, що приріст вартості врожаю від добрива не перекривав додаткові витрати на його внесення.

Найбільш економічно ефективним варіантом виявилася сівба 26.04 без застосування РКД. Вона забезпечила найвищий чистий прибуток у 57,68 тис. грн та найвищий показник рентабельності – 151,39%.

ВИСНОВКИ

Дослідження проводилось в умовах господарства ТОВ «МХП Агро-С» у Київській області на сірому лісовому легкосуглинковому ґрунті. Схема досліду базувалася на двох факторах: Фактор Х – це три строки сівби (15.04, 26.04, 05.05), а Фактор Y – це варіанти живлення (без застосування РКД 5:20:5 та з його застосуванням). Для дослідження використовувався гібрид ДКС 3247 (ФАО 200). Важливим аспектом роботи є застосування елементів точного землеробства, зокрема, дослідна ділянка була поділена на три зони продуктивності (низьку, середню та високу) на основі ґрунтового аналізу вмісту фосфору за допомогою системи GeoPard Agriculture.

Результати дослідження врожайності виявили декілька ключових закономірностей. По-перше, спостерігається чітка тенденція до зростання врожайності при більш пізніх строках сівби. Середня врожайність при сівбі 15.04 становила 10,35 т/га, тоді як при сівбі 05.05 вона досягла 10,76 т/га. По-друге, застосування РКД давало стабільний позитивний ефект, забезпечуючи середній приріст близько 0,5 т/га. Максимальну врожайність (11,36 т/га) було отримано при поєднанні сівби 05.05 із застосуванням РКД у зоні високої продуктивності. Водночас, у зоні високої продуктивності пізня сівба без РКД (11,01 т/га) дала вищий урожай, ніж рання сівба з РКД (10,74 т/га). Це свідчить про те, що правильний вибір строку сівби в даних умовах може бути навіть більш вагомим фактором, ніж удобрення РКД.

Аналіз структури врожаю допомагає пояснити ці результати. Найвища врожайність при сівбі 05.05 була отримана з качанів, які мали найменшу кількість рядів (13 шт.). При цьому кількість зерен у ряді була стабільною у всіх варіантах (32-33 шт.). Дослідження встановило, що чим пізніше проводилась сівба, тим вищою була маса 1000 зерен. Найвищі показники (362,5-365,0 г) були зафіксовані саме при сівбі 05.05, тоді як найнижчі (297,5 г) – при сівбі 15.04. Таким чином, висока врожайність пізніх посівів була досягнута за рахунок формування значно крупнішого та важчого зерна.

Біометричні спостереження підтвердили вплив добрива на розвиток рослин. У фазі 18-19 ВВСН застосування РКД стабільно стимулювало розвиток кореневої системи, збільшуючи її масу при всіх строках сівби. Пізніше, у фазу 56-57 ВВСН, РКД сприяло збільшенню як маси кореневої системи, так і маси надземної частини. Аналіз якості зерна виявив, що застосування РКД знижувало вміст крохмалю, але підвищувало вміст білка. Найвищий вміст білка (12,87%) було отримано у варіанті сівби 05.05 із застосуванням РКД, тоді як найвищий вміст крохмалю (64,58%) – у тому ж строці сівби, але без застосування добрива.

Проведення ґрунтових випробувань підтвердило факт внесення добрив (різке зростання Р і К до фази сходів) та виявив високе споживання калію рослинами. Вміст калію (K_2O) наприкінці вегетації різко зменшився, знизившись зі 142,3 мг/кг до 95,4 мг/кг, що свідчить про значне виснаження ґрунту за цим елементом. При цьому кислотність ґрунту протягом сезону залишалася стабільною.

У кожному з трьох строків сівби варіант без застосування РКД забезпечив вищий чистий прибуток, хоча врожайність при цьому була нижчою. Розрахунки показали, що приріст вартості врожаю від добрива (при вартості РКД 6,52 тис. грн) не перекривав додаткові витрати на його внесення. Найбільш економічно ефективним варіантом у межах дослідження виявилася сівба 26.04 без застосування РКД, яка забезпечила найвищий прибуток (57,68 тис. грн) та найвищу рентабельність (151,39%). Таким чином, хоч РКД є ефективним агрономічним інструментом для підвищення врожайності, його застосування не завжди є економічно доцільним, а такі фактори як строк сівби і зона продуктивності можуть мати більш вагомий вплив на фінальний результат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Онлайн платформа “Land & Water” – Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України (Лабораторія моделювання річкових систем): <https://landwater.uhmi.org.ua/>
2. Інтерактивна карта ґрунтів України – веб-сайт SuperAgronom: <https://superagronom.com/karty/karta-gruntiv-ukrainy>
3. Басанець О. Вирощування кукурудзи: повна технологія: <https://superagronom.com/articles/367-viroschuvannya-kukurudzi-povna-tehnologiya>
4. Каленська С. М., Мокрієнко В. А., Дмитришак М. Я., Юник А. В., Антал Т. В. Рослинництво: підручник. 2017. 629 с.
5. В. Ф. Петриченко, В. В. Лихочвор. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур: підручник. 2020 р. 806 с.
6. Мазур І. Б. Продуктивність кукурудзи залежно від умов вирощування в західному Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01.08 «Землеробство». К., 2002. 20 с.
7. Моїсеєва М. Увагу «Цариці полів». Пропозиція. 2006. № 1. С. 56-58.
8. Навка Л. Один качан: кукурудзу справедливо називають чемпіоном зернових і кормових культур. Фермерське господарство. 2012. № 18 (98). С. 14-19.
9. Верницький М. Вирощуємо кукурудзу, бо розуміємо, що треба чи не вирощуємо, бо немає попиту. Пропозиція. 2009. №1. С. 56-57.
10. Каменщук Б. Д., Запарнюк В.І., Кифорук В.В. Вплив екологічних умов вирощування Лісостепу України на показник вмісту сирого протеїну у зерні кукурудзи. Екологічні проблеми сільськогосподарського виробництва: IV Всеукраїнська наук.-практ. конф. Молодих учених, 1–4 червня 2010 р.: матеріали конференції. Сколе, 2010. С. 270–273.
11. Лосаціка Т. І. Нарощування виробництва кукурудзи в Україні. Економіка АПК. 2009. №2. С. 109-111.
12. Андрієнко А. Л. Зміна хімічного складу зерна гібридів кукурудзи в

залежності від строків сівби та рівня мінерального живлення в північному Степу України / Корми і кормовиробництво: міжвід. темат. наук. зб. / Ред. кол. В. Ф. Петриченко [та ін.] Вип. 51. Вінниця: Тезис, 2003. С. 94-96.

13. Бомба М. Я., Бомба М.І. Використаємо кукурудзу сповна. Пропозиція. 2001. № 3. С. 40-43.

14. Заїка С. П., Перевертун Л. І. Адаптивний потенціал ранньостиглих гібридів кукурудзи. Вісник аграрної науки. 2007. № 5. С. 66-67.

15. Іващенко О., Герасименко О. Кукурудза – культура великих можливостей. Пропозиція. 2001. №4. С. 54-59.

16. Каменщук Б. Д. Особливості протеїнового потенціалу сучасних гібридів кукурудзи, вирощених у лісостеповій зоні України. Корми і кормовиробництво: міжвід. темат. наук. зб. / Ред. кол. В. Ф. Петриченко (відп. ред.) [та ін.]. Вінниця, 2013. Вип. 51. С. 87-89.

17. Каменщук Б. Д. Особливості формування качанів у різних гібридів кукурудзи при вирощуванні на зерно // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. Вінниця, 2014. – Вип. 16. – С. 45-48.

18. Кукурудза – врожай зростає // Пропозиція. 2013. №8-9. С. 108-109.

19. Кукурудза: позбудемся збитків! // Пропозиція. 2008. №12. С. 27-30.

20. Липовий В. Г. Вплив способу сівби, густоти рослин і добрив на ріст і розвиток гібридів кукурудзи різних груп стиглості: збірн. наук. праць ВДАУ. Вінниця, 2005. Вип. 7-й. С. 33-37.

21. Липовий В. Г. Вплив технологічних прийомів на фотосинтетичну продуктивність посіву гібридів кукурудзи / А.О. Бабич [та ін.] // Корми і кормовиробництво: міжвід. темат. наук. зб. К., 2008. Вип. 47-й. С. 121-122.

22. Особливості технологій використання кукурудзи в умовах недостатнього і нестійкого зволоження степової зони України // Пропозиція. 2017. №4. С. 39-41.

23. Вплив азоту (N) на ріст рослин та їхню фізіологію – веб-сайт

<https://superagronom.com/multimedia/infographics/72-vpliv-azotu-n-na-rist-roslin-ta-yihnyu-fiziologiyu>

24. Веремеєнко С.І., Фурманець О.А., Вознюк М.Н., Олійник О.О.: Вплив застосування рідких комплексних добрив та сумішей на їх основі на продуктивність кукурудзи в умовах Західного Полісся – 2023 р., 11 с.