МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АГРОБІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Спеціальність Н1 Агрономія

Допускається до захисту
завідувач кафедри рослинництва та
цифрових технологій в агрономії
доцент_____ Панченко Т.В.
«__» _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КУКУРУДЗИ ЗА РІЗНОГО УДОБРЕННЯ В УМОВАХ ТОВ «АГРОФІРМА ДІМ» БІЛОЦЕРКІВСЬКОГО РАЙОНУ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)
Кваліфікація: «Магістр з агрономії»

Виконав: Шрам Павло Олександрович _____
прізвище, ім'я, по батькові *підпис*

Керівник: професор Грабовський М.Б. _____
вчене звання, прізвище, ініціали *підпис*

Біла Церква – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Агробіотехнологічний факультет
Спеціальність Н1 Агрономія

Затверджую
Гарант ОП «Агрономія»
професор_____Грабовський М.Б.
«06» вересня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу здобувачу
Шраму Павлу Олександровичу

Тема: «Особливості формування продуктивності кукурудзи за різного удобрення в умовах ТОВ «Агрофірма ДіМ» Білоцерківського району Київської області»
Затверджено наказом ректора №496/С від 04.11.2025 р.

Термін здачі студентом готової кваліфікаційної роботи до 17.11.2026 р.

Перелік питань, що розробляються в роботі. Вихідні дані: огляд наукової літератури по застосуванню добрив при вирощуванні кукурудзи; ґрунтово-кліматичні умови господарства; методика проведення досліджень; аналіз результатів досліджень з вивченню впливу добрив на ріст, розвиток і продуктивність кукурудзи; економічна оцінка результатів досліду.

Календарний план виконання роботи

Етап виконання	Дата виконання етапу	Відмітка про виконання
Огляд літератури	до 14.09.2026	виконано
Методична частина	до 21.09.2026	виконано
Дослідницька частина	до 25.10.2026	виконано
Оформлення роботи	до 17.11.2026	виконано
Перевірка на плагіат	до 01.11.2026	виконано
Подання на рецензування	до 09.11.2026	виконано
Попередній розгляд на кафедрі	05.11.2026	виконано
Розміщення в репозитарії БНАУ з накладанням КЕП	до 23.11.2026	виконано

Керівник кваліфікаційної роботи _____ професор Грабовський М.Б.
підпис *вчене звання, прізвище, ініціали*

Здобувач _____ Шрам П.О.
підпис *прізвище, ініціали*

Дата отримання завдання «06» вересня 2025 р.

ДЕКЛАРАЦІЯ
про дотримання академічної доброчесності під час виконання кваліфікаційної роботи

Я, Шрам Павло Олександрович здобувач другого рівня вищої освіти за освітньою програмою Н1 Агрономія, підтверджую, що кваліфікаційну роботу з теми:

«Особливості формування продуктивності кукурудзи за різного удобрення в умовах ТОВ «Агрофірма ДіМ» Білоцерківського району Київської області» виконано мною з дотриманням принципів і правил академічної доброчесності.

Підтверджую, що:

- роботу виконано особисто на основі власних розробок і суджень;
- у роботі належним чином зазначено авторство та джерела використаних текстів, ідей, даних, зображень та інших матеріалів;
- наведені результати дослідження, дані та висновки є достовірними;
- робота не містить свідомо сфабрикованої чи сфальсифікованої інформації.

У процесі виконання роботи було використано інструменти штучного інтелекту, зокрема для оформлення та редагування тексту (Gemini), для перекладу тексту (Google Translate). Відомості про це наведено в роботі згідно з вимогами законодавства та встановленими правилами академічної доброчесності.

Я усвідомлюю відповідальність за зміст кваліфікаційної роботи та дотримання вимог академічної доброчесності під час її підготовки.

Дата: 23.11.2026

РЕФЕРАТ

Шрам П.О. Особливості формування продуктивності кукурудзи за різного удобрення в умовах ТОВ «Агрофірма ДіМ» Білоцерківського району Київської області

Встановлено, що оптимізація мінерального живлення суттєво стимулює лінійний ріст та інтенсивне накопичення сухої біомаси рослинами. Наприкінці вегетаційного періоду на контрольному варіанті висота рослин становила 260,2 см, тоді як за максимального збалансованого живлення $N_{120}P_{120}K_{120}$ вона досягала 314,7 см. Суха маса однієї рослини зростала від 178,63 грама на контролі до 307,01 г за умови застосування найвищих доз повного мінерального добрива. Генеративна структура врожаю також зазнала виражених позитивних змін: маса зерна з одного середньостатистичного качана збільшилася з 122,2 до 180,1 г, а маса тисячі зерен зросла з 301,8 до 337,9 г порівняно з неудобреною ділянкою.

Застосування добрив забезпечило достовірний приріст урожайності кукурудзи у всі роки досліджень. Якщо базова природна родючість ґрунту дозволила отримати в середньому 6,02 т/га, то внесення стартової дози азоту N_{60} підвищило цей показник до 8,05 т/га. Максимум біологічної урожайності був зафіксований за комплексного забезпечення рослин усіма макроелементами в найбільшій дозі і становив 9,59 т/га. Покращення фону живлення позитивно вплинуло на накопичення сирого протеїну в зерні, вміст якого лінійно зріс із 6,07 % на контролі до 8,91 % на максимальному фоні удобрення. При цьому частка крохмалю, через фізіологічний антагонізм синтезу, дещо знизилася з 71,11 до 70,32 %.

Економічний аналіз результатів продемонстрував суттєву відмінність між біологічним та економічним оптимумами виробництва. Найбільший умовно чистий прибуток у розмірі 28449,3 грн/га забезпечило внесення виключно азотних добрив у дозі N_{120}. Водночас найвищий рівень загальної рентабельності, що склав 109,2 %, було отримано за внесення стартової дози азоту N_{60}. Варіант із найвищою врожайністю ($N_{120}P_{120}K_{120}$) виявився найменш економічно доцільним через значні фінансові витрати на фосфорно-калійну складову (43887,6 грн/га), продемонструвавши рентабельність на рівні 46,4 %.

Ключові слова: *кукурудза, мінеральні добрива, урожайність, структура врожаю, якість зерна, економічна ефективність, рентабельність.*

ANNOTATION

Shram P.O. Characteristics of corn yield formation under different fertilization regimens at LLC "Agrofirma DiM" Bilotserkivskyi district Kyiv region

It was established that the optimization of mineral nutrition significantly stimulates linear growth and the intensive accumulation of dry biomass by plants. At the end of the growing season, the plant height in the control variant was 260.2 cm, whereas under the maximum balanced nutrition of $N_{120}P_{120}K_{120}$, it reached 314.7 cm. The dry weight of a single plant increased from 178.63 g in the control to 307.01 g with the application of the highest doses of complete mineral fertilizer. The generative crop structure also underwent pronounced positive changes: the grain weight per average cob increased from 122.2 to 180.1 g, and the thousand-kernel weight grew from 301.8 to 337.9 g compared to the unfertilized plot.

The application of fertilizers ensured a significant increase in maize yield across all years of research. While the basic natural soil fertility yielded an average of 6.02 t/ha, the application of a starting nitrogen dose of N_{60} increased this indicator to 8.05 t/ha. The absolute maximum biological yield was recorded under the complex supply of plants with all macronutrients at the highest dose, amounting to 9.59 t/ha. Improving the nutritional background had a positive effect on the accumulation of crude protein in the grain, the content of which linearly increased from 6.07% in the control to 8.91% at the maximum fertilization level. Meanwhile, the starch share slightly decreased from 71.11% to 70.32% due to the physiological antagonism of synthesis.

The economic analysis of the results demonstrated a significant difference between the biological and economic optimums of production. The highest conditionally net profit in the amount of 28,449.3 UAH/ha was provided by the application of exclusively nitrogen fertilizers at a dose of N120. At the same time, the highest level of overall profitability, which amounted to 109.2%, was obtained with the application of a starting nitrogen dose of N_{60}. The variant with the highest yield ($N_{120}P_{120}K_{120}$) proved to be the least economically viable due to significant financial costs for the phosphorus-potassium component (43,887.6 UAH/ha), demonstrating a profitability of only 46.4%.

Keywords: maize, mineral fertilizers, yield, crop structure, grain quality, economic efficiency, profitability.

ЗМІСТ

Вступ 7
Розділ 1. Огляд літератури..... 9
Розділ 2. Ґрунтово-кліматичні умови проведення досліджень..... 23
Розділ 3. Мета, завдання і методика проведення досліджень..... 25
3.1. Мета та завдання досліджень…… 25
3.2. Схема досліду та методики досліджень…… 25
3.3. Технологія вирощування кукурудзи в досліді……. 27
Розділ 4. Результати досліджень…….. 28
4.1. Висота рослин кукурудзи…… 28
4.2. Формування маси рослини кукурудзи залежно від рівня удобрення……... 29
4.3. Індивідуальна продуктивність рослин кукурудзи…… 32
4.4. Урожайність зерна кукурудзи……... 35
4.5. Якість зерна кукурудзи…….. 37
4.6. Економічна ефективність застосування добрив під кукурудзу 44
Висновки 45
Рекомендації виробництву…… 47
Список використаних джерел..... 48

ВСТУП

Актуальність теми дослідження зумовлена глобальним значенням кукурудзи як стратегічної продовольчої, фуражної та технічної культури, яка відіграє ключову роль у забезпеченні світової продовольчої та енергетичної безпеки. Незважаючи на значний генетичний потенціал сучасних гібридів, рівень його реалізації у виробничих умовах України часто залишається в межах 30–40 %. Однією з головних причин такого недобору врожаю є незбалансована система мінерального живлення на тлі кліматичних змін та нестабільного зволоження. Тому пошук оптимальних доз і співвідношень азоту, фосфору та калію, які б гарантували високу рентабельність за збереження якості зерна, є вкрай своєчасним і затребуваним завданням для сучасної аграрної науки та виробничої практики.

Метою досліджень було вивчення впливу різних видів і доз мінеральних добрив на продуктивність кукурудзи в умовах ТОВ «Агрофірма ДіМ» Білоцерківського району Київської області.

Об’єктом дослідження виступають процеси росту, розвитку, формування елементів структури врожаю, продуктивності та якісних показників зерна кукурудзи залежно від мінливих погодних умов та оптимізації фону мінерального живлення.

Предметом дослідження є різні дози та співвідношення мінеральних макродобрив (азотних, фосфорних, калійних), врожайність зерна а також комплексні показники економічної ефективності технології вирощування.

Для досягнення поставленої мети та виконання завдань застосовувався комплекс загальнонаукових і спеціальних методів. Польовий метод використовувався для вивчення взаємодії рослин із довкіллям та впливу добрив на формування врожаю безпосередньо в умовах стаціонарного досліду. За допомогою візуального та вимірювально-вагового методів проводилися фенологічні спостереження, оцінювалася динаміка росту рослин у висоту, визначалися показники сирої біомаси та елементи структури качана.

Економічний та розрахунково-порівняльний методи застосовувалися для оцінки виробничих витрат, вартості врожаю, умовно чистого прибутку та рівня рентабельності. Статистичний метод дисперсійного аналізу забезпечив об’єктивну оцінку достовірності отриманих експериментальних даних.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що обґрунтовано фізіологічну та економічну реакцію кукурудзи на диференційовані дози мінерального живлення. Доведено, що максимальна інтенсифікація живлення ($N_{120}P_{120}K_{120}$) забезпечує показники висоти рослин (до 314,7 сантиметра), сухої маси (307,01 грама на рослину) та врожайності (9,59 т/га), проте супроводжується критичним падінням рентабельності до 46,4 %.

Практичне значення отриманих результатів. Сільськогосподарським підприємствам з обмеженими оборотними коштами, стратегічною метою яких є отримання найвищої окупності інвестицій, рекомендовано застосовувати помірну стартову дозу азоту N_{60}, що гарантує врожайність понад 8 т/га за максимуму рентабельності – 109,2 %. Господарствам і агрохолдингам, орієнтованим на отримання максимального валового прибутку з одиниці земельної площі, доцільно застосовувати підвищену азотну дозу N_{120}, яка дозволяє отримати 28,4 тисячі гривень умовно чистого прибутку з одного гектара.

РОЗДІЛ 1
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Кукурудза (*Zea mays L.*) належить до найважливіших стратегічних сільськогосподарських культур світу, що зумовлено її надзвичайно високим біологічним потенціалом урожайності, багатовекторністю використання та здатністю до адаптації у різних ґрунтово-кліматичних зонах. У сучасній архітектурі глобальної продовольчої безпеки та світового аграрного ринку ця культура посідає домінантне положення. Згідно з аналітичними даними Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН та багатьох дослідників, структура споживання зерна кукурудзи у світі характеризується високим рівнем диверсифікації: близько 20 % спрямовується безпосередньо на продовольчі потреби людей, 15–20 % використовується у високотехнологічних галузях для технічної переробки (зокрема для виробництва крохмалю, декстрину, спирту, біопластику), тоді як переважна частка (60–65 %) забезпечує потреби інтенсивного тваринництва як незамінний високоенергетичний корм [52, 73].

У світовій практиці накопичено фундаментальний досвід імплементації технологій вирощування кукурудзи, які дозволяють отримувати стабільні врожаї навіть за умов ризикованого землеробства. Значні масиви посівних площ зосереджені в країнах, що є світовими лідерами аграрного виробництва, зокрема в США, де площі сягають 29 млн га, Бразилії (близько 12 млн га), Індії (5,8 млн га) та Аргентині (3,5 млн га) [54].

Однак, попри стрімкий розвиток генетики, селекції та насінництва, експерти констатують, що генетичний потенціал продуктивності сучасних гібридів кукурудзи реалізується у виробничих умовах на 30–40 % [4, 56]. Така суттєва розбіжність між потенційною та фактичною врожайністю є наслідком комплексної дії стресових абіотичних факторів, насамперед нестабільності гідротермічних умов у критичні фази онтогенезу рослин, а також недосконалості або прямого порушення технологічної дисципліни вирощування, зокрема щодо забезпечення рослин елементами мінерального живлення [21, 62, 66].

В Україні кукурудза традиційно відіграє роль однієї з головних експортно-орієнтованих культур. За останнє десятиліття спостерігається стійка тенденція до оптимізації посівних площ та підвищення рівня інтенсифікації її виробництва. Площі під кукурудзою на зерно в Україні стабілізувалися в межах 4,5–5,0 млн га, тоді як посіви кукурудзи на силос та зелений корм, необхідні для забезпечення потреб тваринництва, займають близько 1,2 млн га [40].

Трансформація вітчизняного аграрного сектору в контексті глобальних змін клімату, а також економічних та логістичних викликів вимагає кардинального перегляду підходів до ресурсозбереження. Перехід до «зеленої» економіки, впровадження інноваційних екологічно збалансованих систем землеробства та суворе дотримання вимог органічного і сталого виробництва стають критично важливими чинниками забезпечення як внутрішньої продовольчої безпеки, так і експортного потенціалу держави [20, 35].

Висока харчова та кормова цінність зерна кукурудзи зумовлена його унікальним біохімічним складом. Дослідженнями доведено, що зернівка містить від 65 до 70 % легкозасвоюваних вуглеводів, переважно у формі крохмалю, 9–12 % повноцінних білків з високим вмістом зеїну, 4–8 % цінної рослинної олії, багатої на поліненасичені жирні кислоти, а також широкий спектр вітамінів та мінеральних солей [25, 75].

У зоотехнічній практиці прийнято, що 100 кг зерна кукурудзи еквівалентні 134 кормовим одиницям і містять близько 8 кг перетравного протеїну, що перетворює її на еталон енергетичної цінності серед усіх фуражних культур. Окрім традиційного використання, в останні роки зростає роль кукурудзи як го відновлюваного джерела енергії. Біоенергетичний напрям переробки включає виробництво біоетанолу безпосередньо із зерна та генерацію біогазу (біометану) із вегетативної маси [1, 13].

Сучасні наукові розвідки підтверджують надзвичайно високу енергетичну та економічну ефективність вирощування спеціалізованих гібридів для виробництва паливних пелет та біогазу, що сприяє досягненню енергетичної

автономії сільськогосподарських підприємств та суттєвому зниженню антропогенного навантаження на довкілля [5, 12].

Максимізація виходу сухої маси, її біометричних показників та кінцевого об’єму біогазу безпосередньо залежить від збалансованого застосування макро- та мікродобрив у поєднанні з оптимізацією структури посіву [33, 34, 59].

Формування високої та сталої врожайності кукурудзи є складним багаторівневим фізіологічним процесом, який детермінується взаємодією генетичної природи гібрида та комплексом умов навколишнього середовища, серед яких оптимізація мінерального живлення відіграє найбільш керовану і ключову роль. Здатність кукурудзи до інтенсивного синтезу органічної речовини протягом відносно короткого періоду вегетації зумовлює її виняткову вимогливість до наявності легкозасвоюваних форм поживних речовин у ґрунтовому розчині на всіх етапах онтогенезу [10, 11, 48].

Азот (N) є найважливішим біогенним макроелементом, який найчастіше виступає лімітуючим фактором продуктивності кукурудзи на більшості типів ґрунтів, включаючи чорноземи типові. Фундаментальна фізіологічна функція нітрогену полягає в тому, що він є обов’язковим структурним компонентом амінокислот, рослинних білків, нуклеїнових кислот, хлорофілу, алкалоїдів та численних ферментативних систем, які регулюють метаболізм клітини [24, 71].

Рослини кукурудзи характеризуються вельми специфічною і нерівномірною динамікою споживання азоту. На початкових етапах онтогенезу, від появи сходів до фази 3–5 листків, рослини засвоюють 2–5 % від загальної сезонної потреби в азоті, що пояснюється слабо розвиненою первинною кореневою системою. Будь-яке зниження температур у цей період, що часто трапляється в умовах весняного клімату України, призводить до тимчасового гальмування ростових процесів, погіршення поглинання елементів живлення та характерного пожовтіння або антоціанового забарвлення листя через порушення метаболізму азоту і фосфору [23, 37, 53].

Інтенсивне поглинання азоту рослинами кукурудзи розпочинається з фази 6–8 листків, коли формується потужна вторинна (вузлова) коренева система, і

досягає свого максимуму в період від викидання волоті до цвітіння качанів та початку наливу зерна. Протягом цього критичного періоду, який триває 30–40 діб, рослина здатна акумулювати до 85 % усього необхідного їй азоту [14, 55, 62]. Решта, близько 10–13 %, повільно засвоюється під час фаз молочної та молочно-воскової стиглості. Саме специфіка цієї динаміки свідчить про те, що одноразове внесення всієї запланованої дози азотних добрив до сівби не завжди є фізіологічно доцільним та економічно виправданим, особливо на ґрунтах легкого гранулометричного складу, через високий ризик вимивання нітратів у нижні горизонти або їх втрат унаслідок денітрифікації.

Роздільне внесення азоту, що включає основне удобрення, внесення в рядки під час сівби та цілеспрямовані прикореневі чи позакореневі підживлення у критичні фази розвитку (зокрема, у фазу 6–8 листків), дозволяє максимально синхронізувати надходження елемента живлення з реальними фізіологічними потребами рослини. Такий підхід суттєво підвищує коефіцієнт використання азоту з мінеральних добрив, запобігає токсичному впливу високих концентрацій солей на проростки та істотно знижує екологічні ризики, пов’язані з евтрофікацією водойм [28, 32, 65].

Численними польовими дослідженнями доведено, що збільшення дози азотних добрив у діапазоні від N_{60} до $N_{150\text{-}200}$ кг/га діючої речовини прямо пропорційно впливає на формування біометричних показників рослин та всіх елементів структури майбутнього врожаю. При оптимізації азотного фону достовірно зростає висота рослин, суттєво збільшується площа асиміляційної поверхні листя, подовжується тривалість активного фотосинтезу, що візуально проявляється у так званому «stay-green» ефекті (здатності листя залишатися зеленим на етапі дозрівання зерна). Паралельно з лінійними розмірами зростають і ключові генеративні показники: довжина і діаметр качана, кількість рядів зерен у качані та кількість зерен у кожному ряду [9, 15, 29, 45].

Наприклад, за результатами низки експериментів, при внесенні $N_{120\text{-}150}$ довжина качана може збільшуватися на 15–25 % порівняно з неудобреним контролем, а маса 1000 зерен зростає на 10–15 % завдяки інтенсифікації відтоку

пластичних речовин (асимілятів) з вегетативних органів (стебла, листя, обгорток качана) до зернівки під час її наливу [17, 31, 68].

Детальний дисперсійний аналіз біометричних характеристик листя підтверджує, що площа листкової поверхні є одним з найбільш чутливих індикаторів ефективності удобрення, оскільки саме вона визначає загальний фотосинтетичний потенціал посіву і тісно корелює з кінцевою врожайністю [41, 46].

Поряд із азотом, фосфор (Р) відіграє унікальну і незамінну роль в енергетичному обміні рослинної клітини. Він входить до складу макроергічних сполук (АТФ, АДФ), нуклеотидів (НАДФ), фосфоліпідів клітинних мембран та нуклеїнових кислот (ДНК, РНК), які забезпечують передачу спадкової інформації та синтез білків. Хоча потреба кукурудзи у фосфорі кількісно в 2,5–3 рази менша, ніж в азоті або калію, його фізіологічний дефіцит на ранніх етапах розвитку рослини настільки критичний, що його практично неможливо повністю компенсувати в пізніші фази онтогенезу [22, 61].

Достатнє фосфорне живлення з перших днів після проростання насіння стимулює потужний розвиток первинної, а згодом і вторинної кореневої системи, що забезпечує значно краще поглинання води і розчинених у ній мінеральних солей з глибших горизонтів ґрунту. Оптимальне забезпечення фосфором сприяє більш ранньому переходу рослин від вегетативної до генеративної стадії, прискорює викидання волоті, цвітіння качанів та фізіологічне дозрівання зерна. Ця властивість фосфорних добрив набуває особливої ваги у північних та західних регіонах, де тривалість безморозного періоду може бути обмежувальним фактором для вирощування середньопізніх гібридів. Найвища біологічна потреба у легкодоступному фосфорі спостерігається у дві критичні фази: на самому початку вегетації (під час активного формування кореневої системи) та в період мікроспорогенезу і закладання генеративних органів, коли відбувається диференціація зачаткових суцвіть [47, 51, 63].

Калій (K), на відміну від азоту і фосфору, не входить до складу органічних сполук рослини, а перебуває у клітинах переважно в іонній формі. Проте його роль у метаболізмі є колосальною. Калій бере активну участь у процесах осморегуляції, підтриманні тургору клітин, функціонуванні продихового апарату листя, транспорті синтезованих вуглеводів по флоемі від листя до репродуктивних органів (зернівок), а також виступає потужним активатором для понад 60 різноманітних ферментативних систем. Калійні добрива істотно підвищують водоутримуючу здатність тканин і, як наслідок, загальну посухостійкість кукурудзи, що є критично важливим адаптивним механізмом в умовах глобального потепління клімату та дедалі частіших ґрунтових і повітряних посух у літній період [11, 24, 60].

Завдяки інтенсивному калійному живленню значно зміцнюється механічна тканина (склеренхіма) стебла, що запобігає виляганню посівів при використанні високих доз азотних добрив, сильних вітрах або зливах. Формування міцного стебла також знижує ризик ураження рослин стебловими гнилями та іншими фітопатогенами. Досягнення оптимального співвідношення N:P:K у системі удобрення є безальтернативною запорукою максимальної реалізації генетичного потенціалу сучасних інтенсивних гібридів провідних світових брендів. Дослідження показують, що внесення збалансованих комплексних добрив у дозах $N_{90\text{-}120}P_{60\text{-}90}K_{60\text{-}90}$ на типових чорноземах лісостепової зони забезпечує стабільне отримання 10–12 т/га зерна з високими показниками рентабельності [27, 42, 69].

В умовах інтенсивних технологій вирощування, коли з ґрунту щорічно виносяться значні обсяги макроелементів разом із високими врожаями основної та побічної продукції, надзвичайно актуалізується проблема прихованого або явного дефіциту мікроелементів. Серед них для кукурудзи найважливішими є цинк (Zn), бор (B), марганець (Mn) та мідь (Cu). Кукурудза є визнаною культурою-індикатором, яка дуже гостро і швидко реагує на нестачу цинку в ґрунтовому розчині. Фізіологічна роль цинку полягає в тому, що він бере безпосередню участь у біосинтезі триптофану – амінокислоти, яка є

попередником ауксинів (головних фітогормонів росту). Дефіцит цинку неминуче призводить до го вкорочення міжвузлів (розеточності), хлорозу молодих листків (поява білих смуг уздовж жилок) та серйозного порушення процесів запилення і запліднення, що викликає черезерницю. Комплексне застосування мікродобрив у високодоступній хелатній формі під час проведення позакореневих підживлень (найчастіше у критичні фази 3–5 та 8–10 листків) інтенсифікує фізіологічні процеси, допомагає рослинам швидко подолати гербіцидний стрес після обробки посівів страховими гербіцидами та здатне підвищити загальну врожайність зерна на 10–15 % [30, 43, 57].

Крім того, інноваційним та екологічно безпечним підходом, що відповідає сучасним вимогам землеробства, є поєднання традиційного мінерального живлення з передпосівною обробкою насіння та вегетуючих рослин мікробними препаратами (наприклад, поліміксобактерином, азотфіксуючими бактеріями) і синтетичними чи природними регуляторами росту. Використання мікробіологічних препаратів сприяє покращенню мобілізації важкодоступних форм фосфору та калію безпосередньо з ґрунтового вбирного комплексу, а також стимулює фіксацію атмосферного азоту асоціативними мікроорганізмами, що живуть у ризосфері кукурудзи. Спеціалізовані польові дослідження переконливо підтверджують високу ефективність інтегрованого підходу, коли на фоні основного ґрунтового внесення макродобрив застосовуються листкові підживлення багатокомпонентними хелатними комплексами у бакових сумішах із сучасними біостимуляторами. Це не стимулює вегетативний ріст, збільшуючи висоту рослин та площу листя, а й оптимізує метаболічні процеси під час наливу зерна. Статистична обробка масивів експериментальних даних доводить, що такі заходи сумарно забезпечують достовірний приріст урожайності зерна на рівні 0,5–0,8 т/га порівняно з базовою технологією [8, 16, 49].

Формування продуктивності агроценозу кукурудзи є функцією не індивідуальної продуктивності окремо взятій рослини, але й оптимальної просторової організації всього посіву. Густота стояння рослин на гектар – це

один із найефективніших і найбільш доступних важелів агрономічного управління врожайністю. Сучасні гібриди кукурудзи, які характеризуються переважно еректоїдним (вертикальним) типом розміщення листя, здатні витримувати значно більше загущення посіву без істотного зниження індивідуальної маси качана. Вертикальна орієнтація верхніх листків дозволяє сонячному світлу глибше проникати всередину посіву, покращуючи освітленість середнього та нижнього ярусів листя, що підвищує загальний коефіцієнт використання фотосинтетично активної радіації [6, 26, 74].

Встановлення оптимальної густоти стояння є складним завданням, оскільки вона тісно корелює з групою стиглості гібрида (показником ФАО), фоном мінерального живлення та рівнем вологозабезпеченості конкретної території у конкретний рік. Ранньостиглі та середньоранні гібриди (ФАО 180–250) генетично формують меншу вегетативну масу, мають меншу площу живлення окремої рослини і тому вимагають формування значно вищої густоти стояння (від 75 до 90 тис. шт./га в зоні достатнього зволоження та на зрошуваних землях) для досягнення максимальної врожайності. Натомість середньопізні та пізньостиглі гібриди (ФАО 300–450), які формують високе і потужне стебло з розлогою листковою поверхнею, виявляють найвищу продуктивність за відносно меншої густоти – близько 60–75 тис. шт./га [2, 38, 44].

При штучному підвищенні густоти понад науково обґрунтований оптимум у посіві посилюється внутрішньовидова конкуренція між рослинами за сонячне світло, ґрунтову вологу та елементи мінерального живлення. Як неминучий наслідок, у загущених посівах зростає відсоток безкачанних рослин, суттєво зменшується довжина качана, знижується маса 1000 зерен, стебло стає тоншим і ламким, що в рази підвищує ризик масового вилягання посіву перед збиранням. Водночас експериментальні дані доводять, що на високих фонах мінерального живлення (наприклад, за внесення $N_{150\text{-}180}P_{120}K_{120}$) рослини значно краще переносять технологічний стрес від загущення, оскільки розвинена коренева система та достатня кількість розчинного азоту частково компенсують негативні наслідки конкуренції [7, 47, 58].

Не менш вагомим фактором, що визначає загальну ефективність мінеральних добрив у посівах кукурудзи, є система основного обробітку ґрунту. Класична полицева оранка традиційно забезпечує глибоке і рівномірне загортання органічних залишків попередника та внесених мінеральних добрив, створюючи гомогенний пухкий орний шар ґрунту з оптимальною щільністю складення. Це створює сприятливі умови для безперешкодного росту стрижневого кореня в глибину. Однак в умовах прогресуючої аридизації клімату, дефіциту опадів та посилення вітрової і водної ерозії дедалі більшого поширення у виробництві набувають ресурсо- та вологозберігаючі технології обробітку ґрунту, зокрема Mini-Till (мінімальний обробіток), No-Till (нульовий обробіток) та Strip-Till (смуговий обробіток). Застосування технології Strip-Till, яка передбачає розпушування вузької смуги ґрунту, куди згодом висівається насіння, дозволяє локально (стрічково) вносити високі стартові та основні дози NPK на задану глибину розвитку основної маси кореневої системи [36, 64].

Такий спосіб внесення добрив суттєво (на 20–30 %) підвищує коефіцієнт засвоєння елементів живлення рослинами порівняно з традиційним розкидним методом, зменшує непродуктивні втрати добрив, мінімізує пошкодження ґрунтової біоти та забезпечує максимальне збереження продуктивної вологи в міжряддях, які залишаються вкритими мульчею з рослинних решток [9, 39, 67]. Крім того, правильне розміщення кукурудзи в сівозміні, підбір оптимальних попередників (наприклад, зернобобових або озимої пшениці) та використання побічної продукції (соломи) як органічного добрива відіграють вирішальну роль у збереженні ґрунтової родючості та оптимізації фітосанітарного стану поля [39, 42].

Повноцінне та збалансоване мінеральне живлення не забезпечує високі кількісні показники врожайності кукурудзи, але й здатне докорінно змінювати хімічний склад зерна та вегетативних органів, що має вирішальне значення для переробної промисловості. Забезпеченість рослин азотом виявляє найвищий ступінь позитивної кореляції із вмістом сирого протеїну в зерні. За відсутності азотних добрив або на бідних ґрунтах вміст протеїну в зерні кукурудзи зазвичай

є низьким і коливається в межах 7,5–8,5 %. Збільшення дози азоту до $N_{100-150}$ кг/га супроводжується стійким лінійним або криволінійним зростанням вмісту білка до рівня 9,5–11,5 % [50, 72].

Фізіологічна причина цього явища полягає у тому, що азотні добрива значно посилюють активність ключових ферментів азотного обміну – нітратредуктази та глутамінсинтетази, що сприяє дуже швидкій асиміляції поглиненого неорганічного азоту в органічні форми (амінокислоти та білки) [18, 51]. Однак між процесами накопичення білка та біосинтезом крохмалю в ендоспермі зернівки існує чітко виражена зворотна залежність. Оскільки біосинтез білкових молекул є значно більш енергозатратним процесом для рослинної клітини, високі дози азоту, які стимулюють білковий обмін, дуже часто призводять до відносного зниження вмісту крохмалю на 1,5–3,0 % порівняно з неудобреним контролем [61, 75].

Цей біохімічний антагонізм необхідно обов'язково враховувати при вирощуванні кукурудзи для спеціалізованих потреб крохмале-патокової та біоетанольної промисловості, де саме максимальний вміст крохмалю, а не білка, є головним і безапеляційним критерієм якості сировини. Проте своєчасне внесення збалансованих доз фосфорно-калійних добрив здатне дещо нівелювати цей негативний ефект, оскільки калій стимулює активний відтік синтезованих вуглеводів з листя у зернівку та значно покращує процеси просторового формування крохмальних гранул в ендоспермі [60, 68].

Вміст олії в зародку кукурудзи, яка є надзвичайно цінним джерелом есенціальних поліненасичених жирних кислот, більшою мірою визначається генетичними особливостями самого гібрида, проте умови живлення також відіграють тут коригуючу роль. Сучасні дослідження засвідчують, що надмірне і незбалансоване азотне живлення може дещо пригнічувати біосинтез ліпідів. Натомість збалансоване калійне живлення у комплексі з наявністю в ґрунті достатньої кількості сірки і мікроелементів оптимізує жирнокислотний профіль та сприяє статистично достовірному збільшенню загальної олійності зерна до 4,5–5,5 % [60].

Специфічний підхід до системи удобрення вимагається при цілеспрямованому вирощуванні кукурудзи на зелений корм, для заготівлі високоякісного силосу та для цілей сучасної біоенергетики. Для отримання максимального виходу надземної сухої речовини з одиниці площі цілком фізіологічно доцільним та економічно виправданим є суттєве збільшення загальної норми внесення азотних добрив порівняно з технологіями вирощування на зерно. Оптимальне, науково обґрунтоване забезпечення рослин кукурудзи макро- та мікроелементами сприяє тривалому збереженню листового апарату життєздатним і зеленим аж до стадії воскової стиглості зерна. Це не запобігає втратам врожайності, але й значно підвищує вміст цінного каротину у вегетативних тканинах, знижує частку лігніну та сирої клітковини у здерев'янілих стеблах і, як наслідок, забезпечує високу перетравність корму тваринами [3, 8, 33].

Для цілей біоенергетики, зокрема для виробництва біометану шляхом анаеробного зброджування силосу, вкрай важливою технологічною вимогою є досягнення оптимального співвідношення вуглецю до азоту (C:N) у зібраній вегетативній масі. Цей показник безпосередньо і найбільш ефективно регулюється в полі саме через оптимізацію системи азотного живлення рослин під час вегетації [13].

В умовах сучасного ринку матеріально-технічних ресурсів, коли вартість мінеральних добрив (особливо азотних, ціна яких залежить від енергоносіїв) може становити від 40 до 50 % у загальній структурі прямих виробничих витрат аграріїв, питання комплексної економічної та енергетичної ефективності їх застосування набуває критичного, життєво важливого значення для виживання агробізнесу. Традиційне безсистемне внесення максимальних, інтуїтивно обраних доз NPK без урахування результатів сучасного інструментального агрохімічного аналізу ґрунту є глибоко економічно невиправданим, технологічно збитковим та надзвичайно екологічно небезпечним кроком. Відомий фундаментальний агрономічний закон спадної віддачі дуже чітко і показово проявляється саме при інтенсивному вирощуванні кукурудзи: кожний

наступний внесений кілограм діючої речовини добрив дає менший приріст урожайності, ніж попередній, доки крива врожайності не виходить на плато, після якого надмірні дози добрив спричиняють токсикацію рослин і стрімке падіння врожаю [12, 17, 34].

Саме тому сучасний науковий підхід до програмування високих врожаїв обов'язково передбачає розрахунок оптимальних доз мінеральних добрив на заплановану врожайність з детальним урахуванням біологічного виносу елементів живлення одиницею основної та побічної продукції, фактичних коефіцієнтів використання рослинами поживних речовин із запасів ґрунту та відносних коефіцієнтів засвоєння елементів із застосованих мінеральних та органічних добрив. Цей балансовий метод, доповнений інструментами математичного моделювання, дозволяє максимально оптимізувати фінансові витрати підприємства без втрати продуктивності поля [19, 70].

Крім того, доведено, що широкомасштабне застосування інноваційних систем точного землеробства, яке включає диференційоване внесення мінеральних добрив у режимі реального часу на основі детальних електронних карт врожайності, електропровідності ґрунту та супутникових індексів вегетації (NDVI), дозволяє зекономити від 15 до 25 % дорогих мінеральних добрив при збереженні або навіть істотному підвищенні загальної рентабельності та врожайності неоднорідного поля [17, 21].

Детальний аналіз показників біоенергетичної ефективності, що виражається як співвідношення акумульованої енергії в отриманому врожаї зерна та біомаси до сукупних антропогенних енергетичних витрат на його вирощування (пальне, добрива, пестициди, насіння, амортизація техніки), доводить, що кукурудза є однією з найбільш енергоефективних польових культур сучасності. Коефіцієнт енергетичної ефективності при збалансованому удобренні сучасних адаптованих гібридів інтенсивного типу може досягати значень 3,5–5,0. Крім того, раціональне використання залишкової побічної продукції (стебел, листків, стрижнів качанів, обгорток) як цінної сировини для виробництва твердих паливних пелет та брикетів додатково, багаторазово

підвищує показники загальної енергетичної автономії та фінансової стійкості сільськогосподарського підприємства у довгостроковій перспективі [5, 41, 67].

Таким чином, детальний та всебічний аналіз масиву сучасної вітчизняної і зарубіжної наукової літератури свідчить про те, що цілеспрямоване управління продуктивністю кукурудзи шляхом інтегрованої оптимізації системи удобрення залишається ключовим, найбільш ефективним інструментом реалізації величезного генетичного потенціалу цієї культури. Основні елементи мінерального живлення (насамперед азот, фосфор і калій, а також комплекс критично важливих мікроелементів) здійснюють глибокий, комплексний вплив на всі фундаментальні фізіолого-біохімічні процеси: вони стимулюють розвиток первинної та вторинної кореневої системи, інтенсифікують процеси фотосинтетичної асиміляції вуглекислого газу, тонко регулюють перебіг ростових процесів та своєчасне закладання репродуктивних органів, оптимізують перерозподіл пластичних речовин у рослині та безпосередньо формують якісні показники зерна.

Разом з тим, ефективність застосування будь-яких видів мінеральних добрив завжди детермінується складним комплексом взаємопов’язаних факторів: специфічними біологічними особливостями вибраних гібридів, густотою стояння рослин, мінливими гідротермічними умовами вегетаційного періоду, складними фізико-хімічними властивостями ґрунтового покриву та обраною технологією його обробітку. З огляду на високу і нестабільну вартість пестицидів а також глобальні екологічні виклики, пов’язані з деградацією ґрунтів та забрудненням водних ресурсів, сучасна стратегія живлення кукурудзи повинна базуватися на фундаментальних принципах прецизійності, збалансованості, екологічної безпеки та суворої економічної доцільності, що відкриває надзвичайно широкі та актуальні перспективи для проведення подальших, ще більш глибоких польових та лабораторних досліджень.

РОЗДІЛ 2
ГРУНТОВО-КЛІМАТИЧНІ УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження з вивчення застосування добрив під кукурудзу були проведені в ТОВ «Агрофірма ДіМ» Білоцерківського району Київської області у 2025–2026 рр. Географічно ця локація належить до лісостепової зони України, яка відіграє роль перехідного екотону між Поліссям (лісовою зоною) та Степом. Вітчизняний Лісостеп загальноприйнято поділяти на три макрорегіони: Правобережний, Лівобережний та Передкарпатський.

Правобережна підзона відзначається надзвичайно високим агрокліматичним потенціалом і є однією з найсприятливіших територій для вирощування широкого спектра сільськогосподарських культур. Ґрунтотворними породами тут переважно виступають леси та лесовидні суглинки, на яких утворився досить строкатий ґрунтовий покрив. Домінуючі позиції в структурі ґрунтів займають типові (36,5 %) та опідзолені (21,6 %) чорноземи. Інші площі розподілені між темно-сірими опідзоленими (13 %), сірими (11,3 %) та світло-сірими (3,8 %) лісовими ґрунтами, тоді як лучні та лучно-чорноземні ґрунти сумарно охоплюють близько 6,3 % території.

Безпосередньо на дослідній ділянці господарства ґрунт представлений чорноземом опідзоленим важкосуглинкового гранулометричного складу, що залягає на лесовій породі. За своїм генезисом, морфологічними ознаками та фізико-хімічними параметрами цей підтип ґрунту займає проміжне положення між темно-сірими опідзоленими ґрунтами та типовими чорноземами. Така репрезентативність дозволяє обґрунтовано екстраполювати (поширювати) результати, отримані в ході наших досліджень, на значні площі суміжних ґрунтових відмін Правобережжя. Завдяки високому рівню природної родючості, оптимальній щільності та хорошим буферним властивостям, цей ґрунт створює сприятливе середовище для реалізації продуктивного потенціалу кукурудзи. За умови дотримання технологічної дисципліни, ключовими лімітуючими

факторами врожайності тут залишаються гідротермічний режим та рівень мінерального живлення, тому оптимізація системи удобрення здатна гарантувати стабільно високі результати.

Метеорологічні умови аналізували за даними найближчої метеорологічної станції Біла Церква, яка розташована на відстані 5 кілометрів від стаціонарного досліду. Макроклімат регіону характеризується як помірно континентальний із рисами нестійкого зволоження. Зими тут зазвичай помірно холодні, натомість літній період відзначається підвищеним тепловим фоном із частими ґрунтово-повітряними посухами. Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) Селянінова у середньому коливається в межах 1,1–1,2, що підтверджує належність місцевості до зони нестійкого зволоження.

Середньорічна температура повітря становить близько 8,8 °С. Найхолоднішим місяцем традиційно є січень із середньою температурою на рівні -3,4 °С, тоді як температурний максимум припадає на середину літа (липень) і сягає 20,9 °С. Як свідчать багаторічні спостереження метеостанції Біла Церква, останнім часом фіксуються помітні міжрічні та помісячні температурні флуктуації.

Режим зволоження відзначається значною нерівномірністю: із середньорічної норми опадів левова частка (близько 395 мм) припадає на теплий період, а в холодну пору випадає 191 мм. Тривалість загального вегетаційного періоду (із середньодобовими температурами понад +5 °С) становить близько 210–230 діб. Фаза активної вегетації рослин (температурний фон вище +10 °С) триває в середньому 140–165 діб. Сума активних температур у цій частині Правобережного Лісостепу становить близько 2600–2800 °С (досягаючи 3200 °С у крайніх південних районах провінції), що є цілком достатнім для повноцінного дозрівання гібридів кукурудзи різних груп стиглості.

РОЗДІЛ 3
МЕТА, ЗАВДАННЯ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Мета та завдання досліджень

Мета досліджень – вивчення впливу різних видів і доз мінеральних добрив на продуктивність кукурудзи в умовах ТОВ «Агрофірма ДіМ» Білоцерківського району Київської області. Для досягнення мети поставлено такі завдання:

– визначити вплив удобрення на показники росту та розвитку рослин кукурудзи;

– встановити вплив удобрення на формування індивідуальної продуктивності кукурудзи;

– з’ясувати вплив застосування мінеральних добрив на формування врожайності та якості зерна кукурудзи;

– провести економічне оцінювання ефективності застосування добрив.

3.2. Схема досліду та методики досліджень

Дослідження проводили у 2025–2026 рр. за наступною схемою: Без добрив (контроль), N_{60}, N_{120}, $N_{60}P_{60}$, $N_{120}P_{120}$, $N_{60}K_{60}$, $N_{120}K_{120}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$, $N_{120}P_{120}K_{120}$.

Розміщення варіантів у досліді послідовне з триразовим повторенням. Загальна площа дослідної ділянки 120 м^2, облікова – 90 м^2. У досліді вирощували гібрид кукурудзи Р9074 (ФАО 330).

Закладання польових дослідів та проведення супутніх спостережень здійснювали, керуючись базовими принципами та загальноприйнятими методологічними підходами в агрономії [19]. З метою ґрунтовного вивчення закономірностей формування продуктивності та якісних характеристик зерна кукурудзи, впродовж усього вегетаційного періоду проводили систематичний моніторинг. Фіксацію даних здійснювали з чіткою прив’язкою до ключових макростадій (фенофаз) онтогенезу культури. Програма польових досліджень передбачала виконання комплексу фенологічних спостережень, визначення

фактичної густоти посіву, проведення регулярних біометричних замірів, а також детальний аналіз структурних елементів рослини та фінальний облік зібраного врожаю.

Протягом періоду активної вегетації кукурудзи реалізовували наступний алгоритм вимірювань та обліків:

- інтенсивність лінійного росту (динаміку висоти) оцінювали шляхом регулярних замірів 10 репрезентативних (типових) рослин, які були попередньо відібрані та проетикетовані на кожній ділянці відповідного варіанту досліду;
- елементи індивідуальної продуктивності (детальну структуру врожаю) аналізували безпосередньо перед початком збиральної кампанії шляхом відбору пробних снопів;
- фактичну біологічну та господарську врожайність зерна фіксували методом суцільного обмолоту кожної облікової ділянки з подальшим перерахунком отриманої маси на стандартну вологість (14 %) та 100-відсоткову чистоту.

Лабораторно-аналітичний етап роботи базувався на використанні стандартизованих і загальновизнаних протоколів [10, 11] для оцінки наступних критеріїв:

- частку сухої речовини у відібраних вегетативних зразках встановлювали за допомогою класичного термогравіметричного (вагового) методу шляхом висушування матеріалу до постійної маси;
- концентрацію головних біогенних макроелементів (азоту, фосфору, калію) у тканинах рослин визначали після проведення процедури мокрого озолення рослинного матеріалу, суворо дотримуючись регламентів і алгоритмів МВВ 31-497058-019-2005;
- ключові біохімічні показники якості отриманого зерна, зокрема масову частку сирого білка та крохмалю, ідентифікували високоточним неруйнівним експрес-методом інфрачервоної спектроскопії у повній відповідності до вимог чинного державного стандарту ДСТУ 4117:2007 [18].

3.3. Технологія вирощування кукурудзи в досліді

Агротехнічні заходи під час проведення польових експериментів базувалися на загальноприйнятій для зони Правобережного Лісостепу України інтенсивній технології вирощування кукурудзи на зерно, за винятком системи мінерального живлення, яка була диференційованою.

Попередником кукурудзи в експериментальній сівозміні виступав ячмінь ярий. Одразу після збирання попередника та звільнення поля від нетоварної частини врожаю (соломи) здійснювали лущення стерні важкими дисковими боронами на глибину 10–12 см. Через два-три тижні після дискування проводили глибоку зяблеву оранку плугами з передплужниками на глибину 28–30 см.

Весняний обробіток ґрунту розпочинали з настанням його фізичної стиглості. Для запобігання інтенсивному випаровуванню накопиченої за зиму вологи (закриття вологи) проводили ранньовесняне боронування (вирівнювання зябу). Посівну кампанію розпочинали за настання стійкого прогрівання посівного шару ґрунту до температури 10–12 °С (на глибині 10 см). Сівбу проводили пунктирним способом за допомогою пневматичної сівалки точного висіву з шириною міжрядь 70 см. Для забезпечення оптимальної площі живлення кожної рослини норма висіву насіння була розрахована з урахуванням польової схожості таким чином, щоб фактична передзбиральна густота стояння кукурудзи становила 75 тис. шт./га. Глибина загортання насіння становила 5–6 см, що є оптимальним параметром для важкосуглинкового чорнозему за умов нормального весняного зволоження, гарантуючи отримання дружних і рівномірних сходів. Догляд за посівами протягом вегетації включав загальноприйняту в господарстві систему хімічного захисту від бур'янів та шкідників.

РОЗДІЛ 4
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Висота рослин кукурудзи

Проведеними дослідженнями встановлено, що застосування мінеральних добрив у досліді впливало на лінійні розміри рослин кукурудзи упродовж всього вегетаційного періоду.

Як свідчать дані таблиці 1, починаючи з фази розвитку ВВСН 15, дія різних доз та комбінацій мінеральних добрив стає помітною. У цей період на контрольному варіанті (без добрив) висота рослин становила 12,0 см. Застосування азотних добрив збільшувало цей показник до 12,2 см за дози N_{60} та 13,0 см на фоні N_{120}. Найкращий ріст у цю фазу забезпечило внесення повного комплексного мінерального добрива: на варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$ висота досягла 14,1 см, а за максимальної норми $N_{120}P_{120}K_{120}$ рослини сформувалися на рівні 14,7 см.

Таблиця 1. Динаміка зміни висоти рослин кукурудзи (середнє 2025–2026 рр.), см

Варіант	Фаза росту та розвитку рослин			
	ВВСН 15	ВВСН 20	ВВСН 50	ВВСН 88
Без добрив (контроль)	12,0	53,4	220,4	260,2
N_{60}	12,2	57,8	250,7	289,1
N_{120}	13,0	59,6	260,4	290,8
$N_{60}P_{60}$	12,8	57,4	248,9	292,3
$N_{120}P_{120}$	13,4	59,9	264,5	302,6
$N_{60}K_{60}$	12,4	57,8	260,3	301,6
$N_{120}K_{120}$	13,6	57,6	257,5	307,8
$N_{60}P_{60}K_{60}$	14,1	60,3	266,7	311,0
$N_{120}P_{120}K_{120}$	14,7	60,9	269,8	314,7

З настанням стадії ВВСН 20 спостерігається подальша інтенсифікація лінійного росту. Рослини кукурудзи на неудобреному контрольному фоні мали висоту 53,4 см. Внесення азоту (N_{60} та N_{120}) сприяло формуванню рослин висотою 57,8 та 59,6 см відповідно. Парні комбінації добрив (азотно-фосфорні та азотно-калійні) забезпечували висоту в межах 57,4–59,9 см, тоді як

повноцінне NPK-живлення дозволило рослинам перетнути позначку в 60 см, досягнувши 60,3 см за дози $N_{60}P_{60}K_{60}$ та 60,9 см на фоні $N_{120}P_{120}K_{120}$.

Найбільш різниця між варіантами досліду фіксується у період активного росту стебла у стадії ВВСН 50. Контрольний варіант суттєво відставав, сформувавши стебло висотою 220,4 см. Внесення азоту N_{60} збільшило висоту до 250,7 см, а підвищення норми до N_{120} сприяло росту до 260,4 см. Використання збалансованого мінерального живлення $N_{120}P_{120}K_{120}$ забезпечило максимум у цю фазу розвитку – 269,8 см, що на 49,4 см перевищує показники контролю. Дещо нижчий, але статистично важливий результат показав варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$, де висота склала 266,7 см.

Наприкінці вегетації, у фазу ВВСН 88, коли лінійний ріст кукурудзи повністю припиняється, остаточно формується габітус рослини. На контролі фінальна висота зупинилася на позначці 260,2 см. Варіанти з виключно азотним живленням забезпечили висоту 289,1 см (N_{60}) та 290,8 см (N_{120}). Додавання фосфору або калію до азоту (варіанти $N_{60}P_{60}$, $N_{120}P_{120}$, $N_{60}K_{60}$, $N_{120}K_{120}$) дозволило рослинам досягти висоти від 292,3 до 307,8 см. Найвищі рослини були сформовані за умови повноцінного забезпечення всіма трьома основними макроелементами. На варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$ висота рослин становила 311,0 см, а максимальний показник у досліді зафіксовано на фоні $N_{120}P_{120}K_{120}$ – 314,7 см.

Аналіз отриманих результатів доводить, що збалансоване живлення (NPK) має більший вплив на висоту рослин, ніж застосування високих доз азоту. Зокрема, варіант із базовою дозою повного добрива ($N_{60}P_{60}K_{60}$) у ВВСН 88 забезпечив формування вищих рослин ніж застосування подвійної дози азотних добрив N_{120}.

4.2. Формування маси рослини кукурудзи залежно від рівня удобрення

Продуктивність сільськогосподарських культур, і зокрема кукурудзи, безпосередньо залежить від інтенсивності накопичення ними вегетативної маси протягом періоду вегетації. Формування го апарату фотосинтезу та активне накопичення пластичних речовин є запорукою отримання високих врожаїв.

У таблиці 2 наведено усереднені дані за 2025–2026 роки щодо впливу різних доз та комбінацій мінеральних добрив на показники сирої та сухої маси однієї рослини кукурудзи. Згідно з отриманими результатами, на варіанті без застосування добрив (контроль) рослини формували найнижчі показники біомаси. На цьому фоні сира маса однієї рослини становила 244,70 г, тоді як показник сухої маси дорівнював 178,63 г. Це свідчить про те, що природної родючості ґрунту недостатньо для повноцінної реалізації біологічного потенціалу сучасних гібридів кукурудзи.

Таблиця 2. Сира та суха маса однієї рослини кукурудзи (середнє 2025–2026 рр.), г

Варіант досліду	Сира маса	Суха маса
Без добрив	244,70	178,63
N_{60}	327,10	238,78
N_{120}	387,80	283,09
$N_{60}P_{60}$	263,70	192,50
$N_{120}P_{120}$	390,30	284,92
$N_{60}K_{60}$	392,20	286,31
$N_{120}K_{120}$	341,60	249,37
$N_{60}P_{60}K_{60}$	399,60	291,71
$N_{120}P_{120}K_{120}$	420,56	307,01

Застосування азоту, який є головним будівельним матеріалом для рослинних білків, суттєво стимулювало ростові процеси рослин кукурудзи. Внесення азотних добрив у дозі N_{60} забезпечило зростання показників: сира маса збільшилася до 327,10 г, а суха маса зросла до 238,78 г порівняно з контролем. Подальша інтенсифікація азотного живлення шляхом подвоєння дози до N_{120} мала позитивний ефект. На цьому варіанті досліду сира маса однієї рослини досягла 387,80 г, а накопичення сухої речовини склало 283,09 г. Тобто за рахунок азотного удобрення рослинам вдалося наростити понад 100 грамів сухої речовини порівняно з неудобреними ділянками.

Аналіз парних комбінацій макроелементів демонструє досить цікаву динаміку формування біомаси. На варіанті з внесенням азотно-фосфорних добрив у мінімальній дозі ($N_{60}P_{60}$) показники були порівняно невисокими: сира маса становила 263,70 г, а суха – 192,50 г. Це незначно перевищує показники

контролю. Однак збільшення доз цих елементів до рівня $N_{120}P_{120}$ забезпечило підвищення продуктивності, внаслідок чого сира маса зросла до 390,30 г, а суха – до 284,92 г.

Що стосується азотно-калійного живлення, то тут спостерігається дещо інша специфічна тенденція. Варіант $N_{60}K_{60}$ показав високі результати, сформувавши сиру масу на рівні 392,20 г та суху масу – 286,31 г. Цікаво, що подальше збільшення дози до $N_{120}K_{120}$ не призвело до пропорційного росту, а навпаки, супроводжувалося суттєвим зниженням показників: сира маса на цьому варіанті становила 341,60 г, а суха маса знизилася до 249,37 г. Таке падіння продуктивності може свідчити про можливий фізіологічний дисбаланс елементів живлення за повної відсутності фосфору на фоні високих доз азоту і калію.

Максимально ефективним та дієвим інструментом впливу на інтенсивність накопичення вегетативної маси виявилося комплексне застосування всіх трьох основних макроелементів (NPK). Повне збалансоване мінеральне добриво забезпечило найбільш сприятливі умови для фотосинтетичної діяльності, водообміну та загального метаболізму рослин кукурудзи. Вже за внесення дози $N_{60}P_{60}K_{60}$ рослини сформували потужну біомасу: показник сирої маси досяг 399,60 г, а суха маса склала 291,71 г. Максимум у польовому експерименті було достовірно зафіксовано на варіанті з найвищим рівнем мінерального живлення – $N_{120}P_{120}K_{120}$. За таких сприятливих умов сира маса однієї рослини кукурудзи становила 420,56 г, а накопичення цінної сухої речовини досягло свого піку – 307,01 г.

Отже, комплексне мінеральне живлення має вирішальне значення для нарощування вегетативної маси кукурудзи. Порівнюючи максимум, який був отриманий на варіанті $N_{120}P_{120}K_{120}$, із найнижчими показниками неудобреного контролю, стає цілком очевидним, що збалансоване удобрення дозволяє збільшити сиру масу однієї рослини на значні 175,86 г, а суху масу – на 128,38 г. Зростання як сирої, так і сухої маси під впливом добрив переконливо свідчить

про те, що рослини не просто пасивно акумулюють воду, а максимально активно синтезують і накопичують структурні органічні речовини.

4.3. Індивідуальна продуктивність рослин кукурудзи

Аналіз елементів структури врожаю кукурудзи, які детально представлені у таблиці 3, дозволяє максимально та всебічно оцінити вплив різних норм і пропорцій мінерального живлення на процеси формування генеративних органів за усередненими даними 2025–2026 років. Структура врожаю є найважливішим інтегральним індикатором, який безпосередньо детермінує кінцеву біологічну та господарську врожайність поля. Цей комплексний показник включає три фундаментальні параметри: масу зерна з одного качана (яка є сумарним результатом продуктивності), масу 1000 зерен (що виступає показником крупності, виповненості та якості наливу) та кількість зерен з одного качана (що є прямим результатом успішного цвітіння, запилення та відсутності редукції зав'язей).

Таблиця 3. **Елементи структури врожаю кукурудзи за різного удобрення (середнє 2025–2026 рр.), г**

Варіант досліду	Маса зерна з качана, г	Маса 1000 зерен, г	Кількість зерен з качана, шт
Без добрив	122,2	301,8	428,4
N_{60}	161,6	317,9	542,2
N_{120}	171,9	326,9	558,2
$N_{60}P_{60}$	132,8	309,9	451,2
$N_{120}P_{120}$	172,6	327,9	557,2
$N_{60}K_{60}$	173,6	327,9	561,2
$N_{120}K_{120}$	165,4	321,9	546,2
$N_{60}P_{60}K_{60}$	176,5	336,3	554,7
$N_{120}P_{120}K_{120}$	180,1	337,9	560,3

На контрольному варіанті досліду, де мінеральні добрива взагалі не застосовувалися, цілком закономірно зафіксовано найнижчі значення всіх без винятку досліджуваних генеративних параметрів. За умов використання виключно природної, базової родючості ґрунту маса зерна з одного качана становила 122,2 г.

Показник маси 1000 зерен на цьому екстенсивному фоні складав 301,8 г, що прямо свідчить про гострий дефіцит пластичних речовин та енергії на вирішальному етапі наливу і дозрівання. Кількість сформованих зерен з одного качана на неудобреній ділянці становила 428,4 шт., що є чітким індикатором високого рівня абортивності (відмирання) зародків у верхній частині качана через брак необхідних біогенних елементів у критичні фази розвитку.

Застосування виключно азотних добрив (без фосфору і калію) продемонструвало потужний вплив на генеративну сферу рослин кукурудзи, оскільки азот є головним будівельним матеріалом клітини. Вже за внесення стартової, відносно невисокої дози азоту на рівні N_{60} маса зерна з качана зросла до 161,6 г, що відразу на 39,4 г перевищує контроль. Маса 1000 зерен при цьому зросла до 317,9 г, а кількість збережених зерен у качані істотно збільшилася до 542,2 шт. Подвоєння норми азотного живлення до рівня N_{120} забезпечило подальшу позитивну динаміку, хоча приріст був вже не таким лінійним: маса зерна з качана досягла 171,9 г, маса 1000 зерен закріпилася на рівні 326,9 г, а загальна кількість зерен склала 558,2 шт. Це переконливо підтверджує ключову роль легкодоступного азоту в процесах диференціації качана та початковому формуванні його озерненості.

Аналіз ефективності парних азотно-фосфорних комбінацій виявляє досить специфічну фізіологічну реакцію рослин кукурудзи. Варіант із внесенням $N_{60}P_{60}$ виявився найменш ефективним серед усіх проаналізованих удобрених варіантів: маса зерна з качана тут склала 132,8 г, маса 1000 зерен – 309,9 г, а кількість зерен – 451,2 шт., що дуже близько до показників контролю. Таке явище може пояснюватися певним фізіологічним дисбалансом засвоєння елементів. Проте пропорційне підвищення доз цих двох елементів до рівня $N_{120}P_{120}$ дозволило рослинам сформувати 172,6 г зерна з качана, досягти маси 1000 зерен на рівні 327,9 г та загальної кількості зерен 557,2 шт..

Варіант $N_{60}P_{60}$ виявився надзвичайно ефективним і збалансованим, забезпечивши масу зерна з качана на рівні 173,6 г, крупність зерна (масу 1000 зерен) – 327,9 г, та максимум озерненості серед усіх парних комбінацій у

досліді – 561,2 шт. зерен у середньому на один качан. Втім, варто відзначити, що подальше нарощування норми живлення до рівня $N_{120}K_{120}$ призвело до достовірного і відчутного зниження всіх без винятку структурних елементів: маса зерна з качана впала до 165,4 г, маса 1000 зерен знизилася до 321,9 г, а кількість зерен зменшилася до 546,2 шт.. Це є класичним агрохімічним прикладом негативного антагонізму іонів та погіршення умов наливу за значного надлишку калію і азоту на фоні гострого дефіциту рухомого фосфору.

Очікувано найвищу ефективність у процесі формування елементів продуктивності забезпечило комплексне застосування всіх трьох макроелементів (NPK), що створює найбільш гармонійне, фізіологічно вивірене середовище для живлення рослин протягом усієї вегетації. Внесення навіть базової потрійної комбінації $N_{60}P_{60}K_{60}$ дозволило стабільно отримати масу зерна з качана на рівні 176,5 г, при цьому маса 1000 зерен досягла дуже високого показника у 336,3 г, а кількість зерен склала 554,7 шт..

Максимум за всіма досліджуваними генеративними показниками було зафіксовано на фоні максимального збалансованого мінерального живлення – варіанті $N_{120}P_{120}K_{120}$. За цих умов інтенсифікації технології маса зерна з одного качана сягнула 180,1 г. Маса 1000 зерен, що є індикатором ідеальних умов для відтоку асимілятів, переміщення цукрів та інтенсивного синтезу крохмалю в ендоспермі, становила 337,9 г. Кількість повноцінних, повністю виповнених зерен у качані на цьому варіанті закріпилася на максимальній позначці 560,3 шт..

Підбиваючи підсумки та порівнюючи цей оптимальний варіант ($N_{120}P_{120}K_{120}$) з неудобреним контролем, можна з упевненістю констатувати вплив добрив на формування врожайності: середня маса зерна з качана зросла на 57,9 г, маса 1000 зерен збільшилася на 36,1 г, а кількість збережених від абортивності і виповнених зерен у качані зросла на 131,9 шт. Важливо підкреслити, що навіть використання стартової дози повного комплексного добрива ($N_{60}P_{60}K_{60}$) за своїм впливом перевершувало високі дози парних комбінацій (зокрема $N_{120}P_{120}$ та $N_{120}K_{120}$) за масою зерна з качана (176,5 г проти 172,6 г та 165,4 г відповідно) та крупністю сформованих зернівок. Ці дані

доводять, що для повноцінної і безперешкодної диференціації елементів продуктивності кукурудзи вирішальним фактором виступає не стільки кількість діючої речовини окремо взятих елементів, скільки їх збалансованість (одночасна присутність доступного азоту, фосфору і калію) у ґрунтовому розчині.

4.4. Урожайність зерна кукурудзи

У системі агрономічних та фізіологічних досліджень найголовнішим і найбільш об'єктивним інтегральним показником, який відображає підсумкову ефективність усіх застосованих технологічних прийомів, є господарська врожайність культури. Проведені польові дослідження переконливо свідчать, що застосування всіх без винятку систем мінерального удобрення, які містили у своєму складі азотну складову, достовірно і суттєво збільшувало кінцеву врожайність зерна кукурудзи порівняно з природним агрофоном, що наочно підтверджується даними таблиці 4.

Таблиця 4. Формування врожайності зерна кукурудзи, т/га

Варіант досліду	2025 р.	2026 р.	Середнє
Без добрив	5,27	6,76	6,02
N_{60}	7,01	9,08	8,05
N_{120}	8,11	9,73	8,92
$N_{60}P_{60}$	6,79	8,25	7,52
$N_{120}P_{120}$	8,30	10,32	9,31
$N_{60}K_{60}$	6,05	9,04	7,55
$N_{120}K_{120}$	7,62	9,61	8,62
$N_{60}P_{60}K_{60}$	7,76	9,87	8,82
$N_{120}P_{120}K_{120}$	8,46	10,72	9,59
$НІР_{05}$	*0,21*	*0,33*	–

Аналізуючи результати за 2025–2026 роки, а також динаміку по кожному окремому року, можна простежити чіткі закономірності впливу макроелементів на реалізацію продуктивного потенціалу рослин. Насамперед варто відзначити яскраво виражену різницю між двома роками досліджень, що пояснюється мінливістю погодних умов. Вегетаційний сезон 2026 року виявився значно сприятливішим для формування генеративних органів кукурудзи, що дозволило отримати істотно вищі показники врожайності на всіх дослідних ділянках

порівняно з 2025 роком. На контрольному варіанті (без застосування будь-яких добрив) було зафіксовано найнижчі показники: у 2025 році врожайність становила 5,27 т/га, тоді як у більш сприятливому 2026 році вона зросла до 6,76 т/га. У середньому за два роки вирощування на неудобреному контролі було отримано 6,02 т/га зерна, що є базовим індикатором природної родючості ґрунту на дослідній ділянці.

Використання виключно азотних добрив підтвердило фундаментальну роль цього елемента як головного рушія ростових процесів і фактора підвищення продуктивності злакових культур. Внесення стартової дози азоту на рівні N_{60} забезпечило підвищення урожайності: у 2025 році було зібрано 7,01 т/га, у 2026 році – 9,08 т/га, що в середньому за 2 роки склало 8,05 т/га. Подальше посилення інтенсифікації технології шляхом подвоєння дози до N_{120} дозволило отримати ще вагоміші показники. Врожайність на цьому варіанті досягла 8,11 т/га у перший рік досліджень та 9,73 т/га у другий, забезпечивши середній рівень продуктивності у 8,92 т/га.

Аналіз парних комбінацій мінеральних добрив (азотно-фосфорних та азотно-калійних) демонструє досить складну фізіологічну взаємодію макроелементів, що відобразилася на кінцевому врожаї. Застосування мінімальної азотно-фосфорної комбінації $N_{60}P_{60}$ забезпечило формування 6,79 т/га у 2025 році та 8,25 т/га у 2026 році (в середньому 7,52 т/га). Варто відзначити, що цей середній показник виявився дещо нижчим за результати внесення N_{60}, проте пропорційне збільшення норми обох елементів до рівня $N_{120}P_{120}$ змінило ситуацію на позитивну: врожайність зросла до 8,30 т/га та 10,32 т/га у відповідні роки. Середній показник на цьому варіанті досяг 9,31 т/га, що є одним із найвищих результатів у всьому досліді. Подібна тенденція простежується і на варіантах із азотно-калійним живленням. На фоні внесення $N_{60}K_{60}$ врожайність склала 7,55 т/га (6,05 т/га у 2025 р. і 9,04 т/га у 2026 р.), а при підвищенні норми до $N_{120}K_{120}$ показники зросли до 7,62 т/га та 9,61 т/га відповідно, сформувавши середній результат на рівні 8,62 т/га.

Найбільш повну реалізацію генетичного потенціалу кукурудзи та найвищу ефективність добрив було очікувано отримано на варіантах із комплексним застосуванням усіх трьох ключових макроелементів (NPK). Внесення базової потрійної комбінації $N_{60}P_{60}K_{60}$ забезпечило стабільне формування врожаю на рівні 7,76 т/га у 2025 році та 9,87 т/га у 2026 році, що в середньому склало високі 8,82 т/га. Максимум урожайності зерна кукурудзи у польовому експерименті було достовірно зафіксовано на варіанті з найвищим рівнем мінерального живлення – $N_{120}P_{120}K_{120.}$ За таких умов врожайність сягнула позначки 8,46 т/га у 2025 році і 10,72 т/га у 2026 році. Середній показник за два роки на цьому варіанті закріпився на му максимумі – 9,59 т/га.

Математична обробка отриманих даних повністю підтверджує високу достовірність проведених досліджень. Показник найменшої істотної різниці ($НІР_{05}$) для 2025 року становив 0,21 т/га, а для 2026 року – 0,33 т/га. Це означає, що всі дослідні варіанти із застосуванням мінеральних добрив забезпечили статистично достовірний приріст урожайності порівняно з контролем. Отже, порівняно з неудобреною ділянкою (6,02 т/га), оптимальний варіант збалансованого живлення $N_{120}P_{120}K_{120}$ (9,59 т/га) забезпечив суттєву прибавку врожаю зерна. Це доводить, що максимальна господарська продуктивність досягається виключно за умови поєднання високих доз азоту із забезпеченням рослин фосфором та калієм у комплексі

4.5. Якість зерна кукурудзи

Якісні показники зерна кукурудзи, такі як натура зерна, вміст крохмалю та сирого білка, є критично важливими індикаторами, що визначають не харчову та кормову цінність, але й технічну придатність вирощеної сільськогосподарської продукції для подальшої глибокої переробки. Як переконливо свідчать результати, детально відображені в таблиці 5, ці біохімічні та фізичні параметри зазнають суттєвих змін під спрямованим впливом різних систем та доз мінерального удобрення.

Таблиця 5. **Якісні показники зерна кукурудзи за різного удобрення**

Варіант досліду	Натура зерна, г/л	Вміст крохмалю, %	Вміст білка, %
Без добрив	728,4	71,11	6,07
N_{60}	735,9	70,72	8,02
N_{120}	731,0	70,50	8,30
$N_{60}P_{60}$	727,8	71,34	6,25
$N_{120}P_{120}$	742,1	70,32	8,21
$N_{60}K_{60}$	738,0	70,43	8,33
$N_{120}K_{120}$	735,7	70,60	8,12
$N_{60}P_{60}K_{60}$	734,6	70,24	8,80
$N_{120}P_{120}K_{120}$	736,2	70,32	8,91

Вміст сирого білка в зерні кукурудзи є фундаментальним показником зоотехнічної та кормової цінності, який традиційно виявляє найвищу чутливість до наявності легкодоступних форм азоту в ґрунтовому розчині протягом вегетації. Згідно з отриманими експериментальними даними, на варіанті контролю, де вирощування відбувалося без застосування будь-яких мінеральних добрив і базувалося виключно на природній родючості чорнозему, фіксується найнижчий рівень накопичення білка, який становить 6,07 %. Застосування виключно азотних добрив передбачувано та стимулювало білковий синтез.

Внесення стартової дози мінерального азоту на рівні N_{60} дозволило підвищити вміст білка до 8,02 %, а подальше подвоєння цієї норми до N_{120} забезпечило стійке зростання даного показника до 8,30 %. Це підтверджує наукову тезу про те, що екзогенний мінеральний азот активно засвоюється кореневою системою, реутилізується з вегетативних органів (листя і стебла) і безпосередньо спрямовується на формування амінокислот та білкових фракцій (зокрема зеїну) в ендоспермі зернівки під час її наливу.

Аналіз застосування парних комбінацій макроелементів демонструє складну і неоднозначну фізіологічну реакцію рослин. На варіанті з сумісним внесенням азоту і фосфору в дозі $N_{60}P_{60}$ вміст білка несподівано знизився до 6,25%. Це свідчить про наявність яскраво вираженого ефекту «ростового розведення», коли наявність фосфору стимулює інтенсивне накопичення загальної вегетативної та генеративної біомаси, проте внесеного азоту

виявляється кількісно недостатньо для підтримання високої концентрації протеїну в більшому об’ємі врожаю. Проте пропорційне підвищення доз цих двох елементів живлення до рівня $N_{120}P_{120}$ повністю вирівняло ситуацію та оптимізувало метаболізм, забезпечивши високий вміст білка на рівні 8,21 %.

Застосування азотно-калійних добрив без додавання фосфору (варіанти $N_{60}P_{60}$ та $N_{120}K_{120}$) також сприяло інтенсивному формуванню білка на рівні 8,33% та 8,12 % відповідно. Найвищу ефективність у процесах білкового синтезу закономірно продемонструвало повне комплексне мінеральне живлення. Варіант $N_{60}P_{60}K_{60}$ дозволив отримати 8,80 % білка в зерні, а максимум цього якісного показника було зафіксовано на варіанті з найвищим рівнем інтенсифікації удобрення $N_{120}P_{120}K_{120}$, де вміст білка сягнув 8,91 %. Цей факт підтверджує, що для максимального засвоєння високих доз азоту і його повноцінної трансформації у структурний білок необхідна обов’язкова присутність достатньої кількості фосфору і калію, які забезпечують енергетичний обмін (синтез АТФ) та швидкий транспорт амінокислот.

Вміст крохмалю є ще одним ключовим параметром, який має вирішальне значення для підприємств харчової та переробної промисловості, зокрема для виробництва біоетанолу, крохмалю та патоки. Фізіологія формування зернівки кукурудзи побудована таким чином, що між накопиченням протеїнових фракцій та біосинтезом крохмалю дуже часто спостерігається зворотна (антагоністична) залежність. Ця біохімічна закономірність чітко простежується і підтверджується даними таблиці 5.

На неудобреному контролі, де рівень білка був мінімальним через дефіцит азоту, вміст крохмалю виявився досить високим і становив 71,11%. Найвищий показник вмісту крохмалю в експерименті було зафіксовано на варіанті $N_{60}P_{60}$ – 71,34 %. Це пояснюється тим, що фосфор відіграє роль каталізатора вуглеводного обміну і сприяє масованому відтоку розчинних цукрів у зернівку саме на фоні помірного азотного живлення.

Внесення підвищених доз азоту (N_{60} та N_{120}), яке стимулювало білковий обмін, закономірно призвело до поступового зниження відносного вмісту

крохмалю до 70,72 % та 70,50 % відповідно. Азотно-калійні парні комбінації $N_{60}P_{60}$ та $N_{120}K_{120}$ забезпечили формування крохмалю в ендоспермі на рівні 70,43% та 70,60 %. При повному збалансованому живленні на варіантах $N_{60}P_{60}K_{60}$ та $N_{120}P_{120}K_{120}$ спостерігалися найнижчі показники вмісту крохмалю в досліду – 70,24 % та 70,32 %, відповідно. Це переконливо доводить те, що інтенсивне багатокомпонентне живлення, яке максимізує загальну врожайність та активує процеси формування білків, знижує відносну (відсоткову) частку крохмальних гранул у загальній сухій речовині ендосперму, незважаючи на збільшення загального збору крохмалю з гектара.

Натура зерна (маса одного літра зерна, яка виражається у грамах) є важливим фізико-механічним показником якості, який комплексно характеризує виповненість, щільність складення та крупність насіння. Цей параметр впливає на економіку зберігання та транспортування врожаю. На контрольному варіанті натура становила 728,4 г/л. Найнижчу щільність зерна у досліді було виявлено на варіанті $N_{60}P_{60}$, де цей показник опустився до 727,8 г/л. Застосування мінерального азоту покращувало фізичну щільність зернівки: на варіанті N_{60} натура відчутно зросла до 735,9 г/л, а при внесенні N_{120} вона становила 731,0 г/л.

Азотно-калійне живлення також мало позитивний вплив на цей параметр, забезпечивши формування натури на досить високому рівні 738,0 г/л (за дози $N_{60}P_{60}$) та 735,7 г/л (за дози $N_{120}K_{120}$). Максимум натури зерна серед усіх досліджуваних варіантів удобрення було зафіксовано за умови сумісного внесення високих доз азотно-фосфорних добрив на варіанті $N_{120}P_{120}$, де цей фізичний показник сягнув 742,1 г/л. Комплексне внесення всіх трьох макроелементів (NPK) також сприяло формуванню якісного, виповненого і щільного зерна: на варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$ натура становила 734,6 г/л, а за найбільш інтенсивного рівня живлення $N_{120}P_{120}K_{120}$ вона досягла 736,2 г/л.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що оптимізація мінерального живлення виступає багатофункціональним інструментом, який дозволяє агрономам не ефективно керувати хімічним складом зерна кукурудзи, цілеспрямовано змінюючи співвідношення цінних білків та вуглеводів залежно

від напряму кінцевого використання врожаю, але й суттєво покращувати його базові фізико-механічні характеристики.

4.6. Економічна ефективність застосування добрив під кукурудзу

Економічна оцінка технологічних прийомів у сучасному аграрному виробництві є завершальним і найбільш вагомим етапом будь-яких наукових досліджень та польових випробувань. Отримання максимальної біологічної врожайності сільськогосподарських культур далеко не завжди гарантує отримання найвищих економічних та фінансових результатів. Це пов'язано з дією фундаментального економічного закону спадної віддачі та стабільно високою комерційною вартістю матеріально-технічних ресурсів, зокрема промислових мінеральних добрив.

Згідно з розрахунковими даними таблиці 6, кожен досліджений варіант мінерального живлення мав свій глибоко специфічний вплив на структуру виробничих витрат, загальну вартість вирощеної товарної продукції, розмір умовно чистого прибутку та кінцевий рівень рентабельності виробництва.

Таблиця 6. **Економічна ефективність вирощування кукурудзи (середнє за 2025 –2026 рр.)**

Варіант досліду	Урожайність, т/га	Вартість врожаю, грн/га	Витрати виробництва, грн/га	Умовно чистий прибуток, грн/га	Рівень рентабельності, %
Без добрив	6,02	40334,0	19927,1	20406,9	102,4
N_{60}	8,05	53935,0	25783,5	28151,5	109,2
N_{120}	8,92	59764,0	31314,7	28449,3	90,8
$N_{60}P_{60}$	7,52	50384,0	32839,4	17544,6	53,4
$N_{120}P_{120}$	9,31	62377,0	36581,5	25795,5	70,5
$N_{60}K_{60}$	7,55	50585,0	34816,0	15769,0	45,3
$N_{120}K_{120}$	8,62	57754,0	32225,7	25528,3	79,2
$N_{60}P_{60}K_{60}$	8,82	59094,0	35719,0	23375,0	65,4
$N_{120}P_{120}K_{120}$	9,59	64253,0	43887,6	20365,4	46,4

Розглядаючи базові показники контролю (варіант без застосування будь-яких мінеральних добрив), можна констатувати, що цілком закономірно зафіксовано найнижчий рівень виробничих витрат, який становив 19927,1 грн/га. За базової середньої врожайності на екстенсивному рівні 6,02 т/га сумарна вартість отриманого врожаю склала 40334,0 грн/га. Відповідно, умовно чистий прибуток на цьому фоні дорівнював 20406,9 грн/га. Цікаво відзначити, що рівень рентабельності на неудобреному контролі виявився досить високим і становив 102,4 %, що пояснюється мінімізацією прямих грошових витрат на добрива та їх логістику. Однак, незважаючи на відсоток рентабельності, загальний обсяг отриманого чистого прибутку з одного гектара площі є недостатнім для забезпечення повноцінного розширеного відтворення та модернізації сучасного аграрного підприємства.

Застосування виключно азотних добрив докорінно та безповоротно змінило економічну ситуацію на дослідному полі. Внесення стартової дози мінерального азоту на рівні N_{60} призвело до передбачуваного зростання виробничих витрат до 25783,5 грн/га. Проте, завдяки збільшенню врожайності до 8,05 т/га, вартість вирощеного товарного врожаю зросла до 53935,0 грн/га. Це забезпечило отримання умовно чистого прибутку в розмірі 28151,5 грн/га, а рівень рентабельності на цьому варіанті досяг свого максимуму в експерименті – 109,2 %.

Підвищення інтенсифікації через збільшення норми азоту вдвічі (до рівня N_{120}) додатково збільшило витрати виробництва до 31314,7 грн/га. Врожайність кукурудзи на цьому варіанті зросла до 8,92 т/га, що дозволило отримати вартість врожаю 59764,0 грн/га. Завдяки такій динаміці саме тут було отримано найвищий умовно чистий прибуток серед усіх варіантів досліду – 28449,3 грн/га, проте через стрімке зростання витратної частини рівень рентабельності знизився до 90,8 %.

Аналіз економічної ефективності застосування парних азотно-фосфорних комбінацій демонструє різке зниження інвестиційної привабливості та рентабельності через надзвичайно високу комерційну вартість промислових

фосфорних добрив на сучасному ринку. На варіанті з комплексним внесенням $N_{60}P_{60}$ виробничі витрати сягнули 32839,4 грн/га, що суттєво перевищує витрати навіть на високоінтенсивному азотному варіанті N_{120}. При врожайності 7,52 т/га вартість врожаю склала 50384,0 грн/га. У результаті цих процесів умовно чистий прибуток зменшився до 17544,6 грн/га, що є значно меншим результатом, ніж на неудобреному контролі, а загальний рівень рентабельності обвалився до скромних 53,4 %.

Водночас пропорційне підвищення доз до $N_{120}P_{120}$ збільшило загальні витрати до 36581,5 грн/га, але завдяки му фізіологічному зростанню врожайності (до 9,31 т/га) вартість отриманого врожаю досягла 62377,0 грн/га. Це дозволило успішно відновити розмір умовно чистого прибутку до солідних 25795,5 грн/га, при цьому рентабельність склала 70,5 %.

Схожа тенденція спостерігається і при використанні парних азотно-калійних добрив без додавання фосфору. На варіанті $N_{60}P_{60}$ витрати виробництва становили 34816,0 грн/га. За отриманої врожайності 7,55 т/га вартість зібраної продукції дорівнювала 50585,0 грн/га. Цей варіант виявився найменш економічно привабливим серед усіх удобрених ділянок експерименту: умовно чистий прибуток тут склав критичні 15769,0 грн/га, а рівень рентабельності опустився до мінімуму для парних комбінацій – 45,3 %.

Певне покращення економічних показників відбулося на фоні підвищення доз добрив до $N_{120}P_{120}$: попри високі фінансові витрати (32225,7 грн/га), загальна вартість врожаю (57754,0 грн/га) гарантувала отримання 25528,3 грн/га умовно чистого прибутку за цілком прийнятного рівня рентабельності у 79,2 %.

Найбільш неоднозначні, парадоксальні та показові результати з макроекономічної точки зору продемонстрували варіанти з повним збалансованим мінеральним живленням (NPK). Внесення базової потрійної комбінації $N_{60}P_{60}K_{60}$ потребувало 35719,0 грн/га виробничих витрат. Вартість зібраного врожаю склала 59094,0 грн/га. Умовно чистий прибуток на цьому варіанті досяг 23375,0 грн/га, що супроводжувалося рівнем рентабельності 65,4 %.

Найвищий рівень інтенсифікації базової технології на варіанті $N_{120}P_{120}K_{120}$ забезпечив отримання максимальної, біологічної врожайності (9,59 т/га) та генерування максимальної вартості врожаю – 64253,0 грн/га. Однак саме цей максимальний варіант став і найдорожчим в операційному обслуговуванні: виробничі витрати сягнули 43887,6 грн/га. Як наслідок, умовно чистий прибуток склав 20365,4 грн/га, що виявилося навіть дещо менше за показник контролю без добрив (20406,9 грн/га). Рівень загальної рентабельності на цьому фоні удобрення знизився до 46,4 %.

Підсумовуючи наведений економічний аналіз, необхідно зробити висновок про те, що отримання максимальної біологічної врожайності з гектара далеко не завжди збігається з економічним оптимумом підприємства. Найбільшу врожайність дійсно забезпечило повне комплексне мінеральне добриво у дозі $N_{120}P_{120}K_{120}$, проте економічна та фінансова віддача від таких надмірних, масштабних капіталовкладень є вкрай низькою та ризикованою через надзвичайно високу вартість фосфорно-калійної складової живлення.

Натомість найвищу економічну рентабельність, інвестиційну привабливість та найшвидшу окупність кожної вкладеної гривні переконливо продемонстрував варіант із застосуванням помірної дози виключно азотних добрив (N_{60}). У тому ж випадку, якщо головною стратегічною метою сільськогосподарського виробника є отримання максимального валового прибутку з одного гектара наявної земельної площі (незалежно від відносного рівня рентабельності), то найбільш економічно доцільним та обґрунтованим кроком є застосування підвищеної норми азоту (N_{120}), яка стабільно гарантує отримання майже 28,5 тис. грн чистого доходу з кожного гектара посіву.

Таким чином, сучасна стратегія управління мінеральним живленням кукурудзи має формуватися виключно на основі гнучкого компромісу між бажаним генетичним біологічним потенціалом гібридів та жорсткими економічними реаліями вітчизняного ринку матеріально-технічних ресурсів і зерна.

ВИСНОВКИ

1. Серед досліджуваних систем живлення максимальні показники висоти рослин кукурудзи зафіксовані наприкінці вегетації (фаза ВВСН 88) на варіантах із повним комплексним удобренням. За норми $N_{120}P_{120}K_{120}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$ висота сягала 314,7 см та 311,0 см відповідно. Застосування азотних добрив ($N_{60–120}$) забезпечило формування стебла заввишки 289,1–290,8 см, що суттєво перевершує показники неудобреного контролю (260,2 см).

2. Маса зерна з одного качана найінтенсивніше зростала за умови внесення азотних добрив. Якщо на контрольному варіанті цей показник становив 122,2 г, то варіант N_{60} підвищцвав його до 161,6 г, а подвійна доза (N_{120}) – до 171,9 г. Максимум маси зерна з качана (180,1 г) було отримано за повного мінерального забезпечення $N_{120}P_{120}K_{120}$.

3. Застосування добрив достовірно стимулювало накопичення сирої та сухої біомаси однією рослиною. Азотне живлення (N_{60} та N_{120}) сприяло збільшенню сухої маси до 238,78–283,09 г порівняно з контролем (178,63 г). Найвищу біомасу сформували рослини на фоні $N_{120}P_{120}K_{120}$ – 307,01 г.

4. Показник озерненості качана виявив високу чутливість до фону мінерального живлення. На ділянках без добрив формувалося в середньому 428,4 зерен у качані, тоді як додавання азоту ($N_{60–120}$) дозволило отримати від 542,2 до 558,2 шт. Максимальну кількість зерен (560,3 шт.) забезпечмо застосування норми добрив $N_{120}P_{120}K_{120}$.

5. Маса 1000 зерен зростала завдяки поєднанню азоту з калієм і фосфором. На контролі цей показник становив 301,8 г, за внесення N_{120} він зріс до 326,9 г, а максимальна був (337,9 г) на фоні $N_{120}P_{120}K_{120}$.

6. Урожайність зерна кукурудзи суттєво залежала від оптимізації мінерального живлення. У середньому за два роки досліджень на неудобреному фоні було отримано 6,02 т/га. Внесення азоту в нормі N_{60} забезпечило приріст до 8,05 т/га, а збільшення дози до N_{120} підвищило врожай до 8,92 т/га.

Максимальний біологічний потенціал (9,59 т/га) реалізувався за умови найвищої інтенсифікації на варіанті $N_{120}P_{120}K_{120}$.

7. Біохімічний склад зерна модифікувався під впливом удобрення: накопичення сирого білка прямо корелювало з живленням, зростаючи з 6,07 % (контроль) до 8,02–8,30 % на азотних фонах та досягаючи максимальних значень (8,91 %) на варіанті $N_{120}P_{120}K_{120}$. Вміст крохмалю виявив зворотну тенденцію, дещо знизившись із 71,11 % на контролі до 70,24–70,32 % за повного збалансованого живлення NPK.

8. Економічний аналіз доводить, що найвищий рівень рентабельності 109,2% забезпечило внесення дози азоту N_{60}. Водночас максимальний умовно чистий прибуток із гектара (28449,3 грн) отримано на варіанті N_{120} за рентабельності 90,8 %. Використання мінерального добрива у дозах $N_{120}P_{120}K_{120}$ виявилося найменш економічно виправданим через високі витрати (43887,6 грн/га), що призвело до падіння рентабельності до 46,4 %.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

В умовах ТОВ «Агрофірма ДіМ» Білоцерківського району Київської області для отримання високого врожаю зерна кукурудзи рекомендується застосовувати дозу мінеральних добрив $N_{120.}$

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Азуркін В. О., Поліщук І. С., Мазур В. А. Продуктивність гібридів кукурудзи залежно від густоти стояння для виробництва біоетанолу. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2011. Вип. 8 (48). С. 27–30.

2. Асанішвілі Н. М. Ефективність елементів технології вирощування кукурудзи в умовах північної частини Лісостепу. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2013. № 3–4. С. 68–74.

3. Басюк П. Л., Грабовський М. Б. Агроенергетична оцінка продуктивності кукурудзи при застосуванні мікродобрив і регуляторів росту. *Аграрні інновації*. 2025. № 33. С. 20–29.

4. Бойко В. І., Лебідь Є. М., Рибка В. С. та ін. Економіка виробництва зерна (з основами організації і технології виробництва) : монографія / за ред. В. І. Бойка. Київ : ННЦ ІАЕ, 2008. 400 с.

5. Вахній С. П., Грабовський М. Б., Панченко Т. В., Павліченко К. В., Степаненко М. В., Мостипан О. В. Енергетична ефективність вирощування кукурудзи на зерно та виробництво паливних пелет. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2026. Т. 79, № 2. С. 7–17.

6. Вожегова Р. А., Бєлов Я. В. Динаміка накопичення надземної біомаси гібридами кукурудзи залежно від густоти стояння рослин та удобрення за вирощування в умовах зрошення. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2019. Вип. 109, Ч. 1. С. 3–9.

7. Волощук О. П. Продуктивність гібридів кукурудзи залежно від різних норм внесення мінеральних добрив у західному Лісостепу України. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2020. Вип. 68 (I). С. 51–65.

8. Гетман Н. Я. Формування врожаю кукурудзи залежно від густоти стояння рослин за мінерального фону живлення. *Сільське господарство та лісівництво*. 2024. № 2 (33). С. 55–65.

9. Говенько Р. В. Вплив технологічних прийомів вирощування на формування елементів структури врожаю гібридів кукурудзи. *Агробіологія*. 2022. № 2. С. 68–78.

10. Городній М. М. Агрохімія : підручник. Київ : ТОВ «Арістей», 2008. 935 с.

11. Господаренко Г. М. Система застосування добрив : навчальний посібник. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2015. 332 с.

12. Грабовський М. Б. Економічна та біоенергетична ефективність вирощування сорго цукрового та кукурудзи як біоенергетичних культур за різного рівня мінерального живлення. *Зернові культури*. 2018. Т. 2, № 2. С. 294–300.

13. Грабовський М. Б. Кукурудза для виробництва біогазу. *Агробізнес сьогодні*. 2020. № 8 (423). С. 42–44.

14. Грабовський М. Б. Удобрення кукурудзи: на часі економія. *The Ukrainian Farmer*. 2015. Січень. С. 56–57.

15. Грабовський М. Б., Вахній С. П., Лозінський М. В., Панченко Т. В., Басюк П. Л. Зернова продуктивність гібридів кукурудзи залежно від застосування комплексних мінеральних добрив. *Агробіологія*. 2021. № 2. С. 33–42.

16. Грабовський М. Б., Грабовська Т. О., Городецький О. С., Курило В. Л. Формування продуктивності кукурудзи на силос залежно від фону мінерального живлення. *Зрошуване землеробство*. 2019. Вип. 71. С. 37–40.

17. Грабовський М. Б., Козак Л. А., Лозінський М. В., Городецький О. С., Степаненко М. В. Економічна оцінка елементів технології вирощування кукурудзи для отримання зерна і біоетанолу. *Зрошуване землеробство*. 2024. Вип. 82. С. 20–25.

18. ДСТУ 4117:2007. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії. [Чинний від 2007-08-09]. Київ, 2007. 7 с. (Національний стандарт України).

19. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Костогриз П. В., Опришко В. П. Основи наукових досліджень / за ред. В. О. Єщенка. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. 332 с.

20. Ібатуллін І. І., Карпук Л. М., Свиноус І. В., Грабовський М. Б., Федорук Ю. В. «Зелена» трансформація аграрного виробництва як чинник продовольчої безпеки

України. *Ефективна економіка*. 2026. № 5. DOI: http://doi.org/10.32702/2307-2105.2026.5.109.

21. Кравець В. Живлення кукурудзи: оптимальний розрахунок. URL: https://www.growhow.in.ua/zhyvlennya-kukurudzy-optymalnyj-rozrahunok (дата звернення: 26.09.2026).

22. Кузьо Н. Що варто знати про фосфор і фосфорні добрива? *Агрономія сьогодні*. 2020. № 5 (420). С. 52–53.

23. Лавриненко Ю. О., Гож О. А. Ріст і розвиток рослин гібридів кукурудзи ФАО 180–430 за впливу регуляторів росту і мікродобрив в умовах зрошення на Півдні України. *Зрошуване землеробство*. 2016. № 65. С. 128–131.

24. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Фізіологічна роль елементів живлення та системи удобрення польових культур. 3-тє вид., переробл. Львів : Українські технології, 2021. 284 с.

25. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф., Іващук П. В. Зерновиробництво. Львів : НВФ «Українські технології», 2008. 624 с.

26. Лихочвор В. В., Проць Р. Р. Кукурудза. Львів : Українські технології, 2002. 46 с.

27. Логінова І. Секрети кукурудзяного успіху. *Агроіндустрія*. 2019. № 7. С. 22–32.

28. Логінова І., Смик С. Прогнозування ефективності добрив під кукурудзу на зерно за даними ґрунтової діагностики. *Наукові доповіді НУБіП*. 2012. № 3 (32). С. 160.

29. Мазур В. А., Циганська О. І., Шевченко Н. В. Висота рослин кукурудзи залежно від технологічних прийомів вирощування. *Сільське господарство та лісівництво. Рослинництво, сучасний стан та перспективи розвитку*. 2018. № 8. С. 5–13.

30. Маслак О. Переваги – за кукурудзою. *Пропозиція*. 2013. № 5 (215). С. 32–34.

31. Минкін М. В., Берднікова О. Г., Минкіна Г. О. Формування продуктивності кукурудзи на зерно залежно від живлення та густоти стояння в умовах півдня України. *Таврійський науковий вісник*. 2019. Вип. 106. С. 103–109.

32. Молдован В. Г., Молдован Ж. А. Ефективність використання азотних добрив у прикореневому підживленні кукурудзи. *Зернові культури*. 2021. Т. 5, № 2. С. 329–335.

33. Павліченко К. В., Грабовський М. Б. Урожайність зеленої і сухої маси гібридів кукурудзи та вихід біогазу залежно від застосування макро- і мікродобрив. *Зрошуване землеробство*. 2022. Вип. 77. С. 79–85.

34. Павліченко К. В., Грабовський М. Б., Панченко Т. В., Лозінський М. В., Німенко С. С. Вплив макро- і мікродобрив на показники якості вегетативної маси рослин кукурудзи та розрахунковий вихід біометану. *Зернові культури*. 2025. № 2. С. 251–261.

35. Панченко Т., Грабовський М. Агропромисловий сектор України в умовах повномасштабної війни та глобальних змін клімату. *Агробізнес Сьогодні*. 2025. № 7 (545). С. 20–21.

36. Панченко Т., Новохацький М., Грабовський М., Козак Л., Правдива Л. Комплексна оцінка впливу основного обробітку ґрунту й удобрення на елементи структури, врожайність зерна і зеленої маси кукурудзи. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2023. Вип. 33 (47). С. 78–93.

37. Панченко Т. В., Козак Л. А., Грабовський М. Б. Агробіологічні особливості росту та продуктивності кукурудзи за різних систем удобрення. *Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво*. 2026. № 1. С. 430–450.

38. Присташ І. В., Паламарчук С. П., Тютюн О. М., Павлик Р. В. Вплив тривалого застосування добрив на вміст цинку і кадмію у ґрунті та надходження їх у рослини кукурудзи на зерно. *Агроекологічний журнал*. 2008. Червень. Спец. випуск. С. 198–200.

39. Прокоп’юк Т. П., Лозінський М. В., Філіцька О. О., Самойлик М. О., Федорук Ю. В., Грабовський М. Б. Врожайність ячменю ярого залежно від

удобрення і структури сівозмін. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2026. Т. 79, № 2. С. 103–111.

40. Рибка В., Ляшенко Н., Дудка М. Вирощування кукурудзи в Україні. Яка перспектива? *Агробізнес сьогодні*. 2018. № 10. С. 26–31.

41. Рудавська Н. М., Глива В. В. Формування продуктивності гібридів кукурудзи в умовах Лісостепу західного. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2018. Вип. 64. С. 111–123.

42. Саверин І. В., Качмар О. Й. Продуктивність кукурудзи за різних систем удобрення в короткоротаційних сівозмінах. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2023. Вип. 73 (2). С. 91–109.

43. Сатановська І. П. Вплив обробки насіння та позакореневих підживлень на біометричні показники рослин кукурудзи. *Корми і кормовиробництво*. 2013. Вип. 75. С. 62–67.

44. Свидинюк І. М., Асанішвілі Н. М., Величко В. П. Продуктивність гібридів кукурудзи залежно від технологічних факторів у північному Лісостепу. *Землеробство*. 2006. № 78. С. 40–46.

45. Степаненко М. В., Грабовський М. Б. Вплив системи удобрення на лінійні розміри рослин кукурудзи. *Аграрні інновації*. 2023. № 21. С. 104–109.

46. Танчик С. П., Центило Л. В. Особливості удобрення кукурудзи за її вирощування на чорноземі типовому в Лісостепу України. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2017. № 269. С. 74–83.

47. Таран В. Г. Продуктивність кукурудзи залежно від морфотипу рослин, густоти стояння й удобрення в умовах Правобережного Лісостепу України : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.09. Київ, 2019. 156 с.

48. Тоцький В. М., Лень О. Продуктивність гібридів кукурудзи залежно від системи удобрення та основного обробітку ґрунту. *Селекція і насінництво*. 2020. Вип. 117. С. 199–205.

49. Циков В. С., Дудка М. І., Шевченко О. М., Носов С. С. Ефективність застосування макро- і мікродобрив при вирощуванні кукурудзи. *Зернові культури*. 2017. Т. 1, № 1. С. 75–79.

50. Якунін О. П., Храмцов Л. І., Трубілов О. В. Врожайність зерна гібридів кукурудзи залежно від обробітку ґрунту і рівня мінерального живлення. *Таврійський науковий вісник*. 2013. № 84. С. 145–149.

51. Agapie A. L., Sala F. The variation of protein content in maize grains in relation to the fertilization level. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 2022. Vol. 22, Iss. 4. P. 31–38.

52. Basso B., Cammarano D., Carfagna E. Review of Crop Yield Forecasting Methods and Early Warning Systems. In *Proceedings of the First Meeting of the Scientific Advisory Committee of the Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics*. Rome, 2013. P. 15–31.

53. Bogucka B., Szempliński W., Wróbel E. Effect of nitrogen fertilization on the yield of grain maize grown under climate conditions of north-eastern Poland. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura*. 2008. Vol. 7 (3). P. 21–30.

54. Calviño P. A., Andrade F. A., Sadras V. O. Maize yield as affected by water availability, soil depth, and crop management. *Agronomy Journal*. 2003. Vol. 95. P. 275–281.

55. Chen Y., Xiao C., Wu D. et al. Effects of nitrogen application rate on grain yield and grain nitrogen concentration in two maize hybrids with contrasting nitrogen remobilization efficiency. *European Journal of Agronomy*. 2015. Vol. 62. P. 79–89.

56. Deb P., Shrestha S., Babel M. S. Forecasting Climate Change Impacts and Evaluation of Adaptation Options for Maize Cropping in the Hilly Terrain of Himalayas: Sikkim, India. *Theoretical and Applied Climatology*. 2015. Vol. 121. P. 649–667.

57. Djalovic I., Riaz M., Akhtar K. et al. Yield and Grain Quality of Divergent Maize Cultivars under Inorganic N Fertilizer Regimes and Zn Application Depend on Climatic Conditions in Calcareous Soil. *Agronomy*. 2022. Vol. 12 (11). 2705.

58. Endang S. D., Meitry T. Study of increasing NPK uptake on growth and yield of corn with a combination of inorganic compound fertilizers and various organic fertilizers. *Jurnal AgroPet*. 2014. Vol. 11 (1). P. 16–24.

59. Grabovskyi M., Kucheruk P., Pavlichenko K., Roubík H. Influence of macronutrients and micronutrients on maize hybrids for biogas production. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30. P. 70022–70038.

60. Gu H., Li J., Lu Z. et al. Effects of combined application of nitrogen and potassium on oil concentration and fatty acid component of oilseed rape (Brassica napus L.). *Field Crops Research*. 2024. Vol. 306. 109229.

61. Guan D. X., Menezes-Blackburn D., Li G. The Importance of Mineral Elements for Sustainable Crop Production. *Agronomy*. 2024. Vol. 14, № 1. P. 209.

62. Hafez E. M., Abdelaal K. A. Impact of nitrogen fertilization levels on morpho-physiological characters and yield quality of some maize hybrids (Zea mays L.). *Egyptian Journal of Agronomy*. 2015. Vol. 37. P. 35–48.

63. Halvin J., Kissel D., Claassen M., Long J. Crop rotation and tillage effects on soil organic C and N. Manhattan. *Conservation tillage research*. 1990. P. 65–68.

64. Kaplan M., Kale H., Karaman K., Ünlükara A. L. İ. Influence of different irrigation and nitrogen levels on crude oil and fatty acid composition of maize (Zea mays L.). *Grasas y Aceites*. 2017. Vol. 68. e207.

65. Onychko V. I., Naumov Y. O., Senyk I. I. Yield of corn per grain depending on the forms and norms of nitrogen fertilizer application in the conditions of northeastern Ukraine. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*. 2023. Vol. 52 (2). P. 72–77.

66. Palamarchuk V., Krychkovskyi V., Honcharuk I., Telekalo N. The modeling of the production process of high-starch corn hybrids of different maturity groups. *European Journal of Sustainable Development*. 2021. Vol. 1, № 10. P. 584–598.

67. Prymak I., Grabovskyi M., Voitovyk M. et al. Economic and energy efficiency of primary tillage and fertilisation systems in five-field crop rotation of the Right bank Forest steppe of Ukraine. *Scientific Papers. Series "Management, Economic Engineering in Agriculture and rural development"*. 2024. Vol. 24, Iss. 3. P. 717–726.

68. Pusparini P. G., Yunus A., Harjok D. Dosage of NPK Fertilizer on Growth and Yield of Hybrid Corn. *J. Agroscience*. 2018. Vol. 20 (2). P. 28.

69. Rehman A., Farrukh M., Ehsan M. Grain quality, nutrient use efficiency, and bioeconomics of maize under different sowing methods and NPK levels. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2011. Vol. 71, No. 4. P. 586–593.

70. Saracoglu K., Saracoglu B., Fidan V. Influence of Integrated Nutrients on Growth, Yield and Quality of Maize. *American Journal of Plant Sciences*. 2011. Vol. 2, No. 1. P. 63–69.

71. Shkatula Y., Matsera O., Zabarna T. The application of different fertilizer system for the formation of corn (Zea mays) hybrids grain productivity. *Сільське господарство та лісівництво*. 2022. № 27. С. 25–40.

72. Sulewska H., Ptaszyńska G. Influence of harvest date on content and yield of protein of six maize hybrids. *Fragmenta Agronomica*. 2008. Vol. 97. P. 112–120.

73. Swastika D. K. S., Agustian A., Sudaryanto T. Analysis of the gap in supply and demand for corn forage with a synchronization approach to production centers, feed mills and livestock populations in Indonesia. *Agricultural Informatics*. 2011. Vol. 20 (2). P. 65−75.

74. Szulc P., Bocianowski J., Kruczek A. et al. Response of Two Cultivar Types of Maize (Zea mays L.) Expressed in Protein Content and Its Yield to Varied Soil Resources of N and Mg and a Form of Nitrogen Fertilizer. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2013. Vol. 22, № 6. P. 1845–1853.

75. Yue K., Li L., Xie J. et al. Nitrogen supply affects yield and grain filling of maize by regulating starch metabolizing enzyme activities and endogenous hormone contents. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 12. 798119.