МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет агрономії
Кафедра агрохімії і ґрунтознавства

Допущено до захисту
«____» _____ 2025 р.
Зав. кафедри к. с.-г. н, доцент
_____Олена ЧЕРНО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ступеня вищої освіти магістр

ВПЛИВ УДОБРЕННЯ НА ВРОЖАЙНІСТЬ І ЯКІСТЬ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ В УМОВАХ ФГ «ХОРСТА» УМАНСЬКОГО РАЙОНУ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Виконав студент 2-го курсу, 21 м-з-а групи
Новосельський Максим Вікторович

Керівники:
ЧЕРНО Олена Дмитрівна, кандидат с.-г. наук, доцент
САДОВСЬКИЙ Ігор Сергійович, викладач

Умань – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП....3

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ НАУКОВІ УЯВЛЕННЯ ПРО ЖИВЛЕННЯ ТА ЯКІСТЬ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ....5

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ....13

2.1. Ботанічна і біологічна характеристика кукурудзи....13

2.2. Характеристика гібридів кукурудзи....16

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ....18

3.1. Ґрунтові умови....18

3.2. Погодні умови....19

3.3. Схема досліду....22

3.4. Агротехніка вирощування кукурудзи у досліді....23

3.5. Методика проведення досліджень....25

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ....27

4.1. Умови формування врожаю кукурудзи у досліді....27

4.2. Густота стояння рослин кукурудзи за різних систем удобрення....29

4.3. Біометричні показники рослин кукурудзи залежно від рівня удобрення....30

4.4. Структура врожаю кукурудзи залежно від рівня мінерального живлення....31

4.5. Урожайність кукурудзи залежно від рівня мінерального живлення....33

4.6. Якість зерна кукурудзи залежно від рівня мінерального живлення та погодних умов року....35

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ....39

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА....41

6.1. Безпека праці при виконанні польових робіт у досліді з вирощування кукурудзи....41

6.2. Охорона навколишнього природного середовища при застосуванні систем удобрення в умовах ФГ «Хорста»....43

ВИСНОВКИ....45

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ....46

ДОДАТКИ....53

ВСТУП

Кукурудза (Zea mays L.) є однією з найважливіших зернових культур світового землеробства, яка займає провідне місце серед злакових за площею посівів, валовим збором і багатофункціональним використанням [1]. Вона є стратегічною культурою для продовольчого, кормового та технічного напрямів, а в Україні відіграє вирішальну роль у забезпеченні як внутрішніх потреб, так і експортного потенціалу аграрного сектору. Висока пластичність кукурудзи до різних ґрунтово-кліматичних умов сприяє її поширенню на території всієї держави, однак рівень урожайності та якісні показники зерна істотно залежать від рівня мінерального живлення та системи удобрення [2].

У сучасних умовах інтенсифікації землеробства, обмеженості органічних добрив і подорожчання мінеральних, особливого значення набуває науково обґрунтований підхід до їх застосування. Раціональне удобрення дає змогу не лише підвищити продуктивність культури, а й поліпшити якість зерна, оптимізувати співвідношення основних елементів живлення, збалансувати вміст білка, крохмалю та жиру, а також підтримати родючість ґрунту. Тому питання вивчення впливу різних систем удобрення на врожайність і якість зерна кукурудзи залишається актуальним і має вагоме наукове та практичне значення.

Актуальність теми зумовлена потребою підвищення ефективності використання добрив у зоні Правобережного Лісостепу України, де спостерігається значна варіабельність погодних умов і родючості ґрунтів. У ФГ «Хорста» Уманського району Черкаської області кукурудза є однією з основних культур у сівозміні, однак рівень урожайності істотно коливається залежно від системи живлення та погодних умов року. Це потребує удосконалення технології удобрення з урахуванням типу ґрунту, забезпеченості елементами живлення та потенціалу гібридів.

Мета дослідження полягала у встановленні впливу різних доз і співвідношень мінеральних добрив на врожайність та якість зерна кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України ФГ «Хорста» Уманського району Черкаської області.

Завдання дослідження передбачали:

1. оцінити агрохімічні властивості ґрунту дослідної ділянки;
2. визначити реакцію кукурудзи на різні рівні удобрення;
3. встановити залежність показників якості зерна (вміст білка, крохмалю, жиру) від дози та співвідношення елементів живлення;
4. провести економічну оцінку ефективності застосованих систем удобрення.

Наукова новизна полягає у встановленні закономірностей формування врожайності та якості зерна кукурудзи залежно від доз і співвідношення азоту, фосфору й калію на темно-сірому опідзоленому ґрунті Правобережного Лісостепу. Уперше в умовах ФГ «Хорста» проведено комплексну оцінку агрохімічного стану ґрунту після застосування різних систем удобрення та визначено оптимальні дози, що забезпечують найвищу окупність добрив приростом урожаю.

Практичне значення роботи полягає в тому, що результати досліджень можуть бути використані при вдосконаленні технологій вирощування кукурудзи в господарствах Черкаської області та суміжних регіонів. Запропоновані рекомендації дозволяють підвищити врожайність культури до 20 % та покращити якісні показники зерна без істотного підвищення виробничих витрат, що сприяє економічній ефективності виробництва і збереженню родючості ґрунтів.

Апробація результатів досліджень. Основні положення дипломної роботи були представлені на науково-практичних семінарах кафедри агрохімії та ґрунтознавства Уманського національного університету, а також на X Міжнародній науково-практичній конференції "Актуальні питання сучасної аграрної науки".

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ НАУКОВІ УЯВЛЕННЯ ПРО ЖИВЛЕННЯ ТА ЯКІСТЬ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ

Одним із ключових факторів формування високої продуктивності сільськогосподарських культур є забезпечення їх оптимальним рівнем живлення. Кукурудза належить до культур із підвищеними вимогами до мінерального живлення, що пояснюється тривалим вегетаційним періодом і здатністю рослин активно засвоювати поживні речовини майже до завершення вегетації [3]. Водночас варто ураховувати, що потреба у мінеральних елементах істотно змінюється залежно від фази росту й розвитку культури. У період інтенсивного росту – від викидання волоті до початку цвітіння – кукурудза споживає приблизно половину загальної кількості поживних речовин, а до настання фази молочної стиглості зерна – приблизно 90 % від загального їх виносу [4, 5].

Для утворення 1 т зерна разом із відповідною кількістю вегетативної маси кукурудза споживає в середньому 15–30 кг азоту, 10–14 кг фосфору, 25–35 кг калію, 6–10 кг магнію та кальцію, 3–4 кг сірки, а також мікроелементи з яких близько 11 г бору, 14 г міді, 110 г марганцю, 0,9 г молібдену, 85 г цинку та 200 г заліза [6].

Збалансована система удобрення – забезпечує доступність елементів живлення у необхідні періоди розвитку культури та є одним із головних чинників формування стійкості рослин до несприятливих умов навколишнього середовища. Особливо важливою є достатня забезпеченість поживними речовинами у критичні фази росту кукурудзи. У фазі 3–5 листків відбувається закладання генеративних органів, формується кількість качанів на рослині та ряди зерен. У цей час ріст кукурудзи повільний, а коренева система ще недостатньо розвинена, тому для оптимального розвитку потрібна підвищена доступність фосфору, цинку, бору та марганцю [7]. Період 7–8 листків характеризується інтенсивним ростом надземної маси, тому підживлення у цей час сприяє збільшенню озерненості качанів і покращенню якості зерна. Одночасно зростає потреба рослин у мікроелементах, зокрема цинку, марганці,

борі та міді, які відіграють важливу роль у процесах фотосинтезу, синтезі білків і підвищенні стійкості рослин до стресових умов [8, 9].

Найбільший вплив на формування урожайності кукурудзи має азот, оскільки він є основним компонентом білків та входить до складу багатьох важливих органічних сполук, що беруть участь у процесах росту й розвитку рослин. Раціональне регулювання азотного живлення забезпечує підвищення продуктивності культури, сприяє формуванню більшої кількості зерна та покращує його якість [10].

Серед азотних добрив в порівнянні з іншими їх видами високою ефективністю виділяється КАС і аміачна селітра. Прирости врожаю зерна кукурудзи при використанні цих добрив, внесених під передпосівну культивацію, були приблизно на одному рівні і становили 0,35–0,48 т/га [11].

Забезпечення рослин достатнім рівнем азоту дає кукурудзі змогу повністю реалізувати свій генетичний потенціал урожайності та підвищити поживну цінність зерна, що є важливим фактором формування стабільно високої продуктивності [12].

Дослідження [13] показують, що продуктивність кукурудзи на 26 % визначається забезпеченістю азотом, а на 27 % – погодними умовами. За сприятливої погоди ці фактори діють спільно, формуючи понад половину загального врожаю та забезпечуючи стабільно високу продуктивність культури.

Ефективність використання азоту рослинами визначається їхньою здатністю поглинати його з ґрунту у формі нітратів, амонію та перетворених мікробіотою органічних сполук [10]. Норма мінерального азоту розраховується відповідно до запланованого врожаю і становить орієнтовно N_{15} на 1 т зерна для родючих ґрунтів та N_{20} – для бідніших. Для оптимального засвоєння кожні 10 кг азоту слід збалансувати 1 кг сірки, що підвищує ефективність живлення [13].

Відомо, що кукурудза має тривалий період поглинання поживних речовин, проте основну їх частину вона засвоює упродовж двох-трьох тижнів до викидання волоті та протягом наступних двадцяти днів. Саме в цей проміжок

формується найбільша потреба в елементах живлення, що визначає подальший рівень урожайності [14].

У дослідженнях Котельникова Д. [15] зазначено, що в умовах Півдня України підвищення дози азотних добрив з N_{120} до N_{180} забезпечило приріст урожайності зерна кукурудзи на 19,5 %, що свідчить про високу чутливість культури до рівня азотного живлення.

У дослідженнях Господаренка Г. М. [16] було встановлено, що найвищу натуру зерна кукурудза формує за внесення підвищених доз повного мінерального добрива. Застосування лише азотних добрив N_{80}, N_{160}, окремих фосфорних і калійних добрив чи половинної норми $N_{80}P_{30}K_{55}$ забезпечує лише незначну тенденцію до поліпшення цього показника. Вміст протеїну визначається переважно рівнем азотного живлення, а максимальні його значення отримано за внесення $N_{160}P_{60}K_{110}$, при чому фосфор і калій підсилюють ефект азоту.

У дослідженнях Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН, проведених Н. М. Рудавською та Р. М. Гук [17], встановлено, що внесення повного мінерального добрива в нормі $N_{90}P_{60}K_{60}$ забезпечувало зростання врожайності гібридів кукурудзи на 118,2–126,4 % (1,6–2,0 т/га). Підвищення дози до $N_{120}P_{90}K_{90}$ давало ще більший ефект – приріст 2,4–3,0 т/га, або 128,1–138,9 % відносно контролю.

У дослідженнях, проведених І. М. Свидинюком, Н. М. Асанішвілі та В. П. Величком в умовах північного Лісостепу, встановлено, що за внесення удобрення в нормі $N_{135}P_{135}K_{180}$ продуктивність гібридів кукурудзи становила 8,13–8,99 т/га, залежно від особливостей гібриду та застосованих методів контролю бур’янів [18].

У дослідженнях С. М. Каленської, В. Г. Тарана та П. О. Данилів [19], проведених у правобережному Лісостепу, встановлено, що під впливом добрив урожайність кукурудзи коливалася в межах 5,08–13,4 т/га, залежно від гібриду та норми висіву. Найвищу зернову продуктивність отримано за внесення 150 кг/га діючої речовини азоту.

Дослідження, проведені в різних країнах, демонструють значний вплив форм і норм мінеральних добрив на продуктивність кукурудзи. У Бразилії встановлено, що сульфат амонію та суміш аміачної селітри з сульфатом кальцію забезпечили найвищу врожайність на глинистому ґрунті, а також зменшили викиди NH_3-N на 84 та 80 % порівняно з карбамідом [20]. У Канаді, за даними Центральної експериментальної ферми Оттави, оптимальною виявилась норма 150 кг/га д.р. азоту, а серед досліджених форм (сульфат амонію, карбамід, КАС) різниця була незначною, проте відзначалась тенденція до кращих результатів за використання сульфату амонію та нижчих – за карбамідом [21]. Водночас угорські дослідження показали, що найвищий урожай забезпечував варіант з 50 кг/га д.р. азоту, тоді як підвищення норми до 100 і 150 кг/га мало негативний вплив на продуктивність кукурудзи [22].

Фосфор істотно впливає проходження фізіологічних процесів у рослинному організмі та відіграє ключову роль в енергетичному обміні. Засвоєння цього елемента культурними рослинами є нерівномірним упродовж вегетації: воно найбільш інтенсивне на початкових етапах онтогенезу та під час формування генеративних органів [4, 6, 23].

Важливою особливістю фосфору є його тривале споживання кукурудзою, протягом усього вегетаційного періоду аж до повної стиглості зерна. Під впливом цього елемента скорочується тривалість міжфазних періодів, пришвидшується ріст і заглиблення кореневої системи, що має особливе значення за умов обмеженого зволоження [24].

Біологічні особливості кукурудзи зумовлюють її високу потребу в доступних елементах живлення на початкових етапах росту, оскільки проростки мають слабку кореневу систему [6]. Важливим чинником інтенсивного розвитку коренів є саме поглинання фосфору. Дефіцит цього елемента призводить до зменшення кількості додаткових коренів, що своєю чергою знижує листковий індекс посівів [24].

Фосфор міцно зв’язується з ґрунтовими частинками і належить до найбільш нерухомих елементів, оскільки за весь вегетаційний період може

переміщуватися у ґрунті лише приблизно на 3 см у вертикальному напрямку. Його доступність визначається температурою та кислотністю: за температури нижче +14 °C фосфор малодоступний, так само як і при значеннях pH нижче 6 або вище 7 [25]. Важливою властивістю фосфору є здатність утворювати нерозчинні сполуки із залізом та алюмінієм, концентрація яких зростає зі зниженням pH. На кислих ґрунтах це підвищує ризик формування недоступних солей і зменшує засвоєння фосфору рослинами. На лужних ґрунтах із pH понад 7 фосфор зв'язується з кальцієм, унаслідок чого утворюються малодоступні форми, і рослини можуть зазнавати фосфорного голодування [6, 26].

Чим довше іони фосфору контактують із ґрунтовими частинками, тим більше його переходить у недоступні форми. Це обґрунтовує доцільність внесення фосфорних добрив безпосередньо перед сівбою або посадкою культур. Найвищу ефективність засвоєння фосфору, як правило, отримують саме за такого способу внесення [27].

Недостатнє забезпечення посівів фосфором сповільнює ріст і розвиток рослин та погіршує формування кореневої системи. Перші ознаки дефіциту проявляються на старих листках, які набувають темно-зеленого, згодом синювато-бузкового, а інколи фіолетового чи пурпурового забарвлення. Так реагують рослини на «холодовий стрес» навесні, що знижує здатність культури засвоювати фосфор [28, 29, 30].

За дефіциту фосфору краї листків можуть набувати жовто-бурого, бурого або чорно-бурого забарвлення. Спостерігається пригнічений ріст, уповільнення проходження фенологічних фаз, порушення білкового обміну та запізнення генеративних періодів розвитку [31]. В онтогенезі кукурудзи вирізняють кілька критичних періодів споживання фосфору: перший припадає на фазу від проростання насіння до утворення 3–6 листків, другий пов'язаний із цвітінням і наливом зерна, коли культура поглинає понад половину загальної кількості елемента [32-33]. Фосфор також здатний до реутилізації, тобто переміщується зі старих органів до молодших, що дозволяє рослині повторно його

використовувати. У процесі формування зерна близько 36 % фосфору надходить до нього з інших органів рослини [6, 33].

Важливо враховувати, що дефіцит фосфору на початку вегетації неможливо компенсувати його внесенням у пізніші фази розвитку. У той самий час надлишок фосфору сповільнює ріст рослин, хоча прискорює їх розвиток, що призводить до зниження урожайності зеленої маси та зерна [6, 24, 33].

Третім за значенням макроелементом для кукурудзи є калій. Його фізіологічна роль полягає в участі у водному режимі рослин і ферментативних процесах. Достатня забезпеченість калієм підвищує стійкість кукурудзи до стресових умов, зокрема спеки, холоду та посухи [6, 27, 34]. За своєю хімічною природою калій є антагоністом кальцію, сприяє покращенню водозабезпечення, підвищує продуктивність культур, посилює водоутримувальну здатність клітин і регулює процеси дихання рослин [34].

Порівняльні дані свідчать, що серед зернових культур кукурудза засвоює калій у найбільших кількостях [6, 35, 36]. Інтенсивне його поглинання починається з фази V5–V6 і триває до завершення вегетації [37, 38]. Важливою особливістю є зростання потреби рослин у калії з віком, особливо під час інтенсивного росту стебла та наливу зерна. Накопичення калію в органах кукурудзи за цих умов може наближатися до вмісту азоту [6].

Оптимальна забезпеченість кукурудзи калієм є критично важливою, оскільки цей елемент забезпечує формування та транспортування вуглеводів у зерно, зокрема крохмалю і цукрів. Калій зміцнює стебло, знижує ризик вилягання, підвищує стійкість рослин до стеблових гнилей і сприяє формуванню повноцінних качанів завдяки розвитку міцної механічної тканини [33, 35].

Нестача калію призводить до втрати тургору, оскільки цей елемент визначає його збереження. За дефіциту калію посилюється транспірація, знижується посухостійкість рослин. Характерними ознаками є пожовтіння між жилками листків, поява жовто-коричневих плям на нижніх листках, а також підсихання країв і кінчиків листкової пластинки. Спостерігається вкорочення міжвузлів, стебла тоншають, коренева система розвивається слабко [6, 39].

Наукові дані свідчать, що зернова кукурудза є чутливою до мікроелементів, тому їх застосування, зокрема передпосівна обробка насіння та позакореневі підживлення впродовж вегетації, є важливою складовою технології вирощування. У процесі росту рослини поглинають близько 800 г/га марганцю, 350 г/га цинку, 70 г/га бору та 50–60 г/га міді. Кукурудза особливо чутлива до дефіциту цинку, помірно чутлива до нестачі бору й міді, а на лужних ґрунтах – до нестачі марганцю [40].

Таким чином, узагальнюючи наведений матеріал, можна стверджувати, що кукурудза є надзвичайно вимогливою до елементів живлення. Для повноцінного росту, розвитку та формування високої зернової продуктивності культура потребує достатньої кількості поживних речовин у критичні фази вегетації.

Якість зерна кукурудзи є комплексною агробіологічною характеристикою, що визначає його цінність для харчового, кормового та промислового використання. Згідно з даними Ranum et al. [41], якісний склад зерна, зокрема вміст крохмалю, протеїну, жиру, клітковини та мінеральних елементів є ключовим показником, що визначає поживність та технологічні властивості кукурудзи.

Відомо, що хімічний склад зерна формується під впливом як генетичних особливостей гібриду, так і ґрунтово-кліматичних умов, строків сівби, водозабезпечення та технології вирощування. За даними Ciampitti & Vyn (2013) [42], якісні параметри зерна істотно залежать від забезпечення рослин азотом у критичні фази органогенезу, адже білкові сполуки формуються саме в період активного наливу зерна

За даними досліджень Засухи А. А. та Вахнія С. П. [43], застосування мінеральних добрив забезпечило зростання урожайності зерна кукурудзи на 0,91–1,64 т/га (11,2–18,3%) порівняно з контролем. Лабораторні результати показали, що максимальний вміст крохмалю (70,86%) спостерігали у варіанті без внесення добрив, тоді як використання мінерального живлення знижувало цей показник на 0,63–1,68%. Водночас під впливом добрив відмічено підвищення вмісту протеїну на 0,36–0,57% порівняно з контролем. Вміст жиру на ділянках

без застосування мінеральних добрив становив 4,18–4,23%, тоді як за їх внесення він зменшувався до 3,80–4,11%.

Зерно кукурудзи також є важливою сировиною для промисловості: виробництва крохмалю, спирту, біоетанолу, комбікормів та харчових інгредієнтів. Тому якісні властивості зерна (маса 1000 зерен, твердість ендосперму, ступінь склоподібності) мають прямий вплив на ефективність переробки, про це свідчать результати Rashid et al. [44], які встановили залежність між структурою ендосперму та виходом крохмалю.

Дослідження Massignam et al. [45] показали, що зростання норм азотного живлення підвищує вміст білка, але може зменшувати частку крохмалю через перерозподіл асимілянтів на синтез білкових сполук.

Оптимальне забезпечення фосфором підвищує силу росту насіння та покращує технологічні властивості зерна [6].

За даними Zörb et al. [46], достатнє калійне живлення сприяє кращому наповненню зерна і підвищує частку крохмалю.

Літературні джерела підтверджують, що якість зерна кукурудзи формується під впливом комплексу факторів, серед яких мінеральне живлення займає провідне місце. Азот визначає білковість і частково крохмальність зерна, фосфор — життєздатність насіння та енергетичні процеси, калій — здатність зерна до накопичення сухих речовин і стійкість рослин до стресів. Раціональна система удобрення дає змогу керувати структурою врожаю та підвищувати його поживну й технологічну якість.

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Ботанічна і біологічна характеристика кукурудзи

Кукурудза звичайна (Zea mays L.) належить до родини тонконогових (Poaceae) і є однорічною, однодомною, роздільностатевою, перехресно-запильною рослиною, яку відносять до хлібів другої групи та вважають однією з найбільш високопродуктивних злакових культур універсального призначення [47; 49; 50; 52]. У світовому та українському землеробстві вона посідає провідне місце за площею посівів і валовими зборами зерна, використовується як продовольча, кормова й технічна культура, а за масштабами виробництва й потенціалом урожайності входить до трійки найважливіших зернових разом із пшеницею та рисом [47, 49].

Рід Zea L. у сучасних агрономічних класифікаціях представлений, по суті, одним культурним видом – кукурудзою (маїсом) культурною (Zea mays L.), тоді як дикорослі форми (теосинте, тріпсакум) розглядають як близьких родичів і можливі компоненти гібридного комплексу, що сформував сучасну кукурудзу [48, 50]. Вважається, що первинний центр походження культури розташований у Центральній і Південній Америці (Мексика, Перу, Болівія), звідки вона була інтродукована до Європи наприкінці XV ст., а на території України набула поширення з кінця XVII ст. [47, 50].

Коренева система кукурудзи мичкувата, сильно розгалужена, формує кілька ярусів коренів: зародкові, гіпокотильні, епікотильні, підземні вузлові та надземні стеблові (повітряні) корені [48, 50]. Основну масу становлять підземні вузлові корені, які проникають у ґрунт на глибину 2–2,5 м, а окремі – до 3 м, розповсюджуючись у боки більш ніж на 1 м, що забезпечує інтенсивне використання вологи та поживних речовин із глибоких і поверхневих горизонтів [48; 49]. Повітряні (опірні) корені, які формуються у нижній частині стебла, відіграють важливу роль у закріпленні рослини в ґрунті та підвищують стійкість проти вилягання, особливо за підвищеної густоти стояння [48, 51].

Стебло кукурудзи – міцна, груба, округла соломина, заповнена нещільною паренхімою, без вираженої порожнини всередині, що відрізняє її від більшості

інших злакових культур [48, 50]. Висота рослин значно варіює залежно від біологічних особливостей сорту чи гібриду та умов вирощування і може становити від 0,6–1,0 м у ранньостиглих форм до 5–6 м у пізньостиглих [48; 50]. Кількість міжвузлів у ранньостиглих гібридів зазвичай не перевищує 8–12, тоді як у дуже пізньостиглих може досягати 30–40 і більше; товщина стебла в середньому становить 2–7 см [48]. Така будова стебла забезпечує значний фотосинтетичний потенціал та можливість формування великої надземної маси, що важливо як для зернового, так і силосного використання [47, 49].

Листки кукурудзи великі, лінійно-ланцетні, з довжиною пластинки 70–110 см і шириною 6–12 см і більше, з добре розвиненою листковою піхвою [48, 50]. Листки розташовуються на стеблі почергово, завдяки чому практично не затінюють один одного; краї листкової пластинки здебільшого хвилясті, що збільшує загальну листкову поверхню [48]. Кількість листків відповідає числу міжвузлів, тому в високорослих пізньостиглих гібридів формується більше листків, ніж у скоростиглих [50]. Значна сумарна площа листя, разом із C_4-типом фотосинтезу, зумовлює високий рівень фотосинтетичної продуктивності кукурудзи [47, 51].

Кукурудза – однодомна роздільностатева рослина, у якої на одному стеблі формуються чоловічі й жіночі суцвіття [47, 48]. Чоловіче суцвіття – верхівкова волоть, розміщена на верхівці головного стебла або на кінцях бічних пагонів; складається з центральної осі та численних бічних гілок, на яких розміщуються двоквіткові колоски [48, 50]. У кожній добре розвиненій волоті може формуватись до 1,0–1,5 тис. квіток, які продукують значну кількість пилку, що переноситься вітром на відстань до сотень метрів, забезпечуючи перехресне запилення [48, 50, 51]. Жіноче суцвіття – початок, який формується з найбільш розвинених пазушних бруньок стеблових листків; зазвичай на рослині формується 1–3 повноцінних качани, розміщені на короткій ніжці й оточені обгортковими листками [48, 49]. Стрижень качана має циліндричну або слабоконусоподібну форму, а на його поверхні рядами розташовуються колоски з жіночими квітками, з яких після запліднення утворюються зернівки [48, 50].

Зерно кукурудзи – плівчаста зернівка, тісно зрісла з квітковими лусками, з добре розвиненими ендоспермом та зародком [47, 49]. За будовою та консистенцією ендосперму виділяють низку підвидів: розлусну, крохмалисту, зубоподібну, кременисту, цукрову, воскоподібну, крохмалисто-цукрову, плівчасту, які різняться співвідношенням крохмалю, цукрів, білків і жиру, а отже – напрямом використання [50]. Для кормового та продовольчого використання найбільше значення мають зубоподібна і кремениста кукурудза, тоді як цукрова й розлусна цінуються у харчовій і консервній промисловості [47, 49, 50].

За біологічними властивостями кукурудзу відносять до теплолюбних, але водночас доволі холодостійких культур: мінімальна температура проростання насіння більшості гібридів становить 8–10 °C, оптимальна для формування дружних сходів – 10–12 °C, а сходи у фазі 2–3 листків здатні переносити короткочасні приморозки до мінус 3…5 °C [47, 50]. Найсприятливіші умови для росту й розвитку створюються за середньодобових температур близько 20–25 °C; при їх зниженні до 10–12 °C ріст практично припиняється, тоді як при підвищенні до 30–35 °C, особливо в період цвітіння, можливі порушення процесу запилення та значна череззерниця качанів [50, 51]. Для завершення вегетації скоростиглим гібридам потрібна сума біологічно активних температур 1800–2000°C, середньостиглим – 2300–2600°C, пізньостиглим – понад 3000°C [47, 50].

Водний режим кукурудзи характеризується поєднанням відносно низького коефіцієнта транспірації (у середньому близько 246) з високою чутливістю до дефіциту вологи в критичні періоди [50]. Найбільша потреба у волозі припадає на період від викидання волотей і появи приймочок до фази початку молочної стиглості зерна; в цей час рослини можуть використати до 70 % загальної кількості води, спожитої за вегетацію [47, 50, 51]. Короткочасна ґрунтова посуха під час цвітіння, що супроводжується в’яненням рослин, здатна зумовити істотне зниження урожаю зерна через неповне запліднення та підвищену череззерницю [50, 51]. Оптимальна вологість ґрунту в період активної вегетації мусить становити 70–80 % НВ, тоді як надлишкове зволоження, особливо за близького

рівня ґрунтових вод, пригнічує розвиток кореневої системи, погіршує засвоєння елементів живлення й знижує продуктивність [47, 50].

Кукурудза вибаглива до родючості ґрунту і добре реагує на високий рівень мінерального живлення. За врожайності зерна 50–60 ц/га з ґрунту виноситься в середньому 150–180 кг/га азоту, 50–60 кг/га фосфору, 150–180 кг/га калію, а також значні кількості кальцію, магнію та мікроелементів [6, 47, 49, 51]. Найвищі врожаї зерна та зеленої маси отримують на добре аерованих чорноземах з глибоким гумусовим горизонтом, нейтральною або слабокислою реакцією ґрунтового розчину (pH 5,5–7,0) та достатньою забезпеченістю легкозасвоюваними формами елементів живлення [47, 50]. Ефективність системи удобрення й оптимізація мінерального живлення є одним із ключових чинників реалізації біологічного потенціалу сучасних гібридів, впливаючи як на рівень продуктивності, так і на якість зерна [49, 51].

Узагальнюючи наведене, кукурудза характеризується потужною мичкуватою кореневою системою, міцним стеблом і великою листковою поверхнею, високим фотосинтетичним потенціалом, значною пластичністю до ґрунтово-кліматичних умов, але підвищеними вимогами до тепла, вологи та забезпечення елементами живлення, особливо в критичні фази росту й розвитку. Саме поєднання цих ботанічних і біологічних особливостей визначає її провідну роль у структурі посівних площ та кормовому і продовольчому балансі України [47–53].

2.2. Характеристика гібридів кукурудзи

ДКС 3972 (DKC 3972) – середньостиглий простий гібрид кукурудзи групи стиглості ФАО 300 селекції DEKALB (Bayer). Основним напрямом використання є вирощування на зерно, однак завдяки розвиненій вегетативній масі гібрид може використовуватися і для силосу або біоенергетичної сировини [54]. Зернівка зубоподібного типу, з високим вмістом крохмалю, що визначає добру кормову та переробну цінність продукції [54].

Рослини формують потужне облистнене стебло висотою 230–250 см, зі стійким прикріпленням качана та високою стійкістю до вилягання. За

результатами виробничих та демонстраційних посівів гібрид характеризується потенціалом урожайності 14–15 т/га за умов інтенсивної технології та оптимального мінерального живлення [54, 55]. Качан циліндричної або слабоконусоподібної форми, містить 14–16 рядів зерен та 34–38 зернин у ряду, що забезпечує високу озерненість і значну масу 1000 зерен [54].

Гібрид ДКС 3972 має високі показники адаптивності: стійкість до посухи оцінюється у 8 балів із 9, стійкість до вилягання – близько 9 балів. Також відзначено підвищену толерантність до гельмінтоспоріозу, фузаріозних та сажкових уражень [54]. Рекомендована густота рослин становить 75–85 тис./га в умовах достатнього зволоження та 65–70 тис./га за дефіциту вологи. Гібрид придатний до вирощування у всіх зонах України – Поліссі, Лісостепу та Степу [55].

P9074 – високоурожайний простий середньостиглий гібрид групи стиглості ФАО 330 селекції Pioneer (Corteva Agriscience), призначений переважно для зернового використання в умовах Лісостепу й Степу України [56]. Зернівка зубоподібного типу, відзначається високою масою 1000 зерен та добрим виповненням качана, що забезпечує стабільно високий рівень продуктивності [56, 57].

Потенціал урожайності становить 10–11 т/га за інтенсивної технології та оптимального забезпечення вологою [56, 57]. Качан має циліндричну форму, 14–16 рядів зерен, рівномірно виповнений до вершини, що свідчить про добру запилюваність та толерантність до стресових умов у період цвітіння [57].

Гібрид вирізняється дуже швидкою вологовіддачею в період достигання, що дозволяє зменшити витрати на досушування та забезпечує раннє і якісне збирання врожаю [56; 58]. P9074 характеризується високою стійкістю до кореневого й стеблового вилягання, толерантністю до гельмінтоспоріозу листя та гнилей качана, підтверджених польовими спостереженнями та даними компанії-виробника [56; 58]. Оптимальна густота рослин становить 65–70 тис./га у посушливих умовах та до 75 тис./га у вологіших умовах [57, 58].

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Ґрунтові умови

Ґрунтовий покрив дослідної ділянки ФГ «ХОРСТА» (с. Черповоди, Уманського району, Черкаської області) характеризується поширенням чорноземів опідзолених малогумусних важкосуглинистих, сформованих на лесовидних суглинках. Це ґрунти з високою природною родючістю, добре диференційованим профілем та вираженими ознаками опідзолення [59].

Морфологічна будова профілю відповідає типовій для чорноземів опідзолених структурі, що включає гумусовий, елювіальний та ілювіально-карбонатний горизонти. Потужність гумусового горизонту становить 32–38 см, глибина залягання карбонатів – 75–90 см, що відповідає середньому ступеню опідзоленості.

У таблиці 1 наведено морфологічну характеристику ґрунтового профілю чорнозему опідзоленого.

Таблиця 1

Морфологічна характеристика ґрунтового профілю чорнозему опідзоленого

Горизонт	Глибина, см	Колір	Структура	Властивості та діагностичні ознаки
Не (гумусовий елювіальний)	0–18	Темно-сірий, майже чорний	Зернисто-грудкувата	Найбільш насичений гумусом шар; пухкий; добре агрегований; видимі корінці рослин
Нрі (гумусовий перехідний)	18–32	Сірувато-темний	Грудкувато-пилувата	Менше гумусу, слабкі ознаки опідзолення, ущільнений порівняно з Не
Ph (елювіальний)	32–48	Сіро-бурий	Призматично-грудкувата	Прояви вимивання дрібнодисперсних часток; слабке блискіння граней агрегатів
Phk (ілювіально-карбонатний)	48–75	Бурий	Великогрудкувата	Накопичення глини; поодинокі карбонатні включення; ущільнення зростає
Pk / Dk (карбонатний)	75–120	Світло-бурий	Щільна, масивна	Високий вміст карбонатів, слабка структурованість; материнська порода — лесовидні суглинки

Чорноземи опідзолені характеризуються високою ємністю вбирання (28–32 ммоль(+)/100 г), високим ступенем насичення основами (85–92 %), доброю водотривкою структурою орного шару та середньою щільністю складення (1,18–1,26 г/см³). Реакція ґрунтового розчину слабокисла або близька до нейтральної (pH 6,4–7,0), що забезпечує оптимальний режим засвоєння поживних речовин.

Таблиця 2

Агрохімічна характеристика ґрунтів дослідного поля

Тип ґрунту	Гумус, %	Загальний N, %	P_2O_5, %	pH	Рухомі форми, мг/кг: N	P_2O_5	K_2O
Чорнозем опідзолений важкосуглинистий	3,5	0,24	0,140	6,4–6,8	34	121	150
Чорнозем опідзолений середньосуглинистий	3,2	0,24	0,138	6,5–6,9	32	114	146
Чорнозем опідзолений слабозмитий	3,0	0,21	0,126	6,7–7,0	22	106	135
Чорнозем опідзолений середньозмитий	2,8	0,18	0,114	7,0–7,2	17	94	118

Агрохімічні показники орного шару свідчать про середній рівень забезпеченості азотом та підвищений – фосфором і калієм. Це створює сприятливі умови для вирощування кукурудзи, проте робить азот основним лімітуючим елементом живлення.

3.2. Погодні умови

Погодні умови періоду досліджень оцінювали за даними метеостанції Умань (2024–2025 рр.), що відображено у таблицях 1–3. У цілому рік характеризувався підвищеним тепловим режимом та контрастністю зволоження, що є типовим проявом кліматичних змін останніх десятиліть у Лісостепу.

Середньомісячні температури повітря протягом 2024–2025 рр. значно перевищували багаторічну норму (табл. 3). Особливо високі відхилення спостерігалися у вересні (+5,2 °С) та жовтні (+2,5 °С). Зимовий період був теплішим за норму, що сприяло меншому промерзанню ґрунту. Весняні місяці також характеризувалися підвищеними температурами, що забезпечило раннє прогрівання орного шару. У червні та липні температура перевищувала оптимум для кукурудзи, проте у поєднанні з достатнім зволоженням липня це не створювало критичних стресів.

Таблиця 3

Середньомісячна температура повітря, °С
(2024–2025 рр., за даними метеостанції Умань)

Період	МІСЯЦІ												Сума
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
2024–2025	19,7	10,8	2,6	0,4	2,1	–3,9	6,7	10,3	13,1	19,3	22,4	19,7	**123,2**
Середньобагаторічна	14,5	8,3	2,8	–1,8	–3,4	–2,3	2,5	9,7	15,4	19,0	20,9	20,1	**105,7**

Як видно з таблиці 3, сума середніх місячних температур за 2024–2025 рр. була на 17,5 °С вищою за багаторічний показник, що свідчить про тепліший рік, особливо на початку осені та у період відновлення весняної вегетації.

Розподіл опадів був нерівномірним і характеризувався поєднанням надлишкового зволоження та тривалих періодів посухи (табл. 4). Восени спостерігалася різка контрастність між вереснем і жовтнем. Найкритичнішим був червень, коли випало лише 11,2 мм за норми 81 мм, що створило дефіцит ґрунтової вологи у фазу формування генеративних органів кукурудзи. Липень місяць був надмірно вологим (112,3 мм), що позитивно вплинуло на налив зерна.

Таблиця 4

Кількість опадів, мм

(2024–2025 рр., за даними метеостанції Умань)

Період	МІСЯЦІ												Сума
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
2024–2025	12,1	99,4	45,1	61,0	12,4	7,8	12,5	26,9	101,8	11,2	112,3	23,0	**525,5**
Середньобагаторічна	61	43	43	40	38	34	36	41	52	81	68	49	**586**

Сумарна кількість опадів за рік становила 525,5 мм, що на 60,5 мм менше за норму. Найбільш критичним був червень, коли випало лише 13,8 % від середньобагаторічної норми, тоді як у липні опади перевищували норму у 1,65 раза.

Відносна вологість повітря (табл. 5) була високою взимку та більш низькою влітку. У період активного росту кукурудзи (травень–липень) значення становили 61–65 %, що у поєднанні з дефіцитом опадів у червні підсилювало випаровування й посилювало гідротермічний стрес.

Таблиця 5

Відносна вологість повітря, %

(2024–2025 рр., за даними метеостанції Умань)

Період	МІСЯЦІ												Середня за рік
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
2024–2025	56	80	80	90	86	74	67	61	74	63	65	63	**71,6**
Середньобагаторічна	73	80	87	88	86	85	82	68	64	66	67	68	**76,0**

У середньому за рік відносна вологість була на 4,4 % нижчою за середньобагаторічний рівень, що додатково обумовлювало посушливі умови в окремі періоди вегетації.

Таким чином, погодні умови року досліджень за даними метеостанції Умань характеризувалися підвищеним тепловим забезпеченням, дефіцитом

опадів на початку літа та надмірним зволоженням у липні, що в сукупності сформувало контрастно-стресові умови для кукурудзи. Особливо несприятливим був дефіцит опадів у червні (табл. 4), тоді як надходження достатньої кількості вологи у липні частково компенсувало вплив літньої посухи та забезпечило сприятливі умови для наливу зерна.

3.3. Схема досліду

Дослідження з вивчення впливу удобрення на урожайність і якість зерна кукурудзи проводили у ФГ «ХОРСТА» (с. Черповоди, Уманський район Черкаської області) в умовах польової сівозміни. Попередником кукурудзи була пшениця озима, що є типовим для господарства і забезпечує задовільний фітосанітарний стан та структурний стан орного шару.

Об’єктом дослідження були два гібриди кукурудзи різних груп стиглості – DKC 3972 (DEKALB) та P 9074 (Pioneer), які є найбільш поширеними у виробничих умовах Лісостепу та рекомендовані для вирощування в Черкаській області. Ботанічні особливості обох гібридів описані у розділі 2.

Запровадження у дослід двох гібридів забезпечує можливість порівняння їх реакції на різні системи удобрення та визначення, чи однаковою мірою обидва генотипи відповідають на різні рівні мінерального живлення. Такий підхід відповідає сучасним вимогам до польових експериментів, оскільки дозволяє врахувати генетичну мінливість ознак урожайності та якості зерна.

Сівбу проводили 03 травня, оскільки більш ранні строки призвели до пошкодження сходів приморозками, що було відмічено на ранніх посівах господарства у 2024 році. На час сівби температура ґрунту на глибині загортання насіння становила 11°C, що є оптимальним для гібридів груп стиглості ФАО 300–330. Норма висіву становила 65 тис. рослин/га, залежно від біологічних особливостей гібридів, проте вона була єдиною для всіх варіантів досліду, що унеможливлювало вплив густоти на продуктивність.

Основним фактором досліду був рівень мінерального живлення кукурудзи. Системи удобрення сформовано на основі багаторічних досліджень впливу

добрив у польовій сівозміні з урахуванням особливостей живлення гібридів із різним ФАО.

Схема досліду включала в себе такі варіанти:

1. Без добрив (виробничий контроль)
2. N_{60}
3. $N_{60}P_{30}K_{40}$
4. $N_{120}P_{60}K_{40}$

Таким чином, схема досліду дозволяє комплексно оцінити вплив послідовного підвищення рівня мінерального живлення від виробничого контролю до інтенсивної системи NPK на продуктивність кукурудзи та показники якості зерна в умовах ФГ «ХОРСТА».

3.4. Агротехніка вирощування кукурудзи у досліді

Агротехнічні заходи у досліді відповідали сучасній технології вирощування кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу та були спрямовані на забезпечення рівномірних сходів, оптимального режиму живлення й вологості ґрунту, а також реалізації продуктивного потенціалу гібридів різних груп стиглості. Попередником була пшениця озима, що позитивно впливало на структурний стан орного шару чорнозему опідзоленого. Лущення стерні здійснювали за допомогою агрегату Horsch Joker 6 RT на глибину 6–8 см. Дискатор добре справлявся з подрібненням зернової соломи, забезпечував рівномірне перемішування рослинних решток із ґрунтом і пригнічував проростки озимої пшениці.

Основний обробіток ґрунту здійснювали плугом Lemken Europal 8 на глибину 25–27 см із подальшим вирівнюванням поля комбінованими котками DAL-BO MaxiRoll. Така система забезпечувала глибоке розпушення орного шару й створювала оптимальні умови для нагромадження вологи в осінньо-зимовий період.

Навесні по мірі достигання ґрунту до фізичної стиглості проводили ранньовесняне боронування легкими зубовими боронами ЗБП-24, після чого виконували передпосівну культивацію агрегатом Köckerling Vector 460 на глибину 5–6 см для формування рівного посівного ложа.

Удобрення відповідно до варіантів досліду здійснювали комбіновано. Фосфорно-калійні добрива у варіантах $N_{60}P_{30}K_{40}$ та $N_{120}P_{60}K_{40}$ вносили восени під оранку за допомогою розкидача RAUCH Axis-H 50.2, що забезпечувало рівномірне розподілення добрив по полю. Азотні добрива (N_{60} та N_{120}) вносили у два етапи: основна частина — під весняну культивацію, решта — локально при сівбі завдяки туковисівній системі сівалки.

Сівбу гібридів DKC 3972 (FAO 300) та P 9074 (FAO 330) проводили 03 травня точнішою просапною сівалкою John Deere 1770NT з міжряддям 70 см. Глибина загортання насіння становила 5–6 см, залежно від вологості посівного шару. Оптимальна густота стояння становила 55–60 тис. рослин/га для DKC 3972 та 55–60 тис. рослин/га для P 9074. Сівалка забезпечувала точний висів завдяки системі вакуумного дозування MaxEmerge і контролю норми через ISOBUS.

Догляд за посівами включав післясходове боронування Einböck Aerostar у фазі 3–4 листків з метою руйнування кірки та знищення дрібних бур’янів. У фазах 5–7 та 8–10 листків проводили міжрядний обробіток культиватором Kverneland Kultistrip. Для контролю бур’янів застосовували гербіцидну суміш на основі мезотріону та нікосульфурону, що забезпечувало очистку поля від однорічних і дводольних бур’янів.

Період наливу зерна проходив за умов надмірної кількості опадів, що призвело до затримки збирання. Через дощову погоду у вересні вологість зерна при збиранні становила 21–24 %, тому збирання проводили зернозбиральним комбайном New Holland CX 8.80 при підвищеній вологості з подальшою обов’язковою досушкою. Післязбиральну доробку зерна здійснювали на зерносушильному комплексі NEUERO до рівня вологості 14 %, придатної для тривалого зберігання.

Уся система агротехнічних заходів відповідала сучасній технології інтенсивного вирощування кукурудзи гібридів групи стиглості FAO 300–330 в умовах Лісостепу, забезпечувала рівномірні сходи, належний режим живлення та зменшення впливу погодних аномалій під час збиральної кампанії.

3.5. Методика проведення досліджень

Методика проведення досліджень була розроблена та адаптована відповідно до вимог загальноприйнятих програм наукових досліджень в агрономії та згідно рекомендацій підручника «Основи наукових досліджень в агрономії» за редакцією В. О. Єщенка [60]. Усі етапи закладання досліду, спостережень та обліків виконували відповідно до положень класичної методики польового експерименту, що забезпечило достовірність результатів і можливість їх статистичної інтерпретації.

Планування досліду передбачало вибір однофакторної схеми, де єдиним фактором був рівень мінерального живлення кукурудзи. Варіанти удобрення були сформовані на основі виробничого досвіду господарства та багаторічних досліджень ефективності добрив у польових сівозмінах. Дослід закладався методом рандомізованих повторень у чотириразовій повторності, що відповідає принципам репрезентативності та мінімізації похибки експерименту.

Протягом вегетаційного періоду здійснювали регулярні фенологічні спостереження за рослинами кукурудзи. Спостереження проводили згідно з методичними рекомендаціями Єщенка та чинними технологічними картами з вирощування кукурудзи [60].

Біометричні показники визначали у ключові фази росту. Вимірювання проводили на 20 типових рослинах кожного варіанта досліду.

Урожайність визначали методом суцільного збирання облікової ділянки комбайном, після чого проводили:

1. Зважування вологої маси зерна з кожної ділянки.
2. Визначення вологості зерна переносним вологоміром Wile 55 / Supertech Agro Moisture Meter.

3. Перерахунок урожайності на базову вологість 14 % за формулою:

$$У_{14} = \frac{У_ф(100 - W_ф)}{86}$$

де

$У_{14}$ – урожайність при стандартній вологості (ц/га),

$У_ф$ – фактична маса зерна, ц/га,

$W_ф$ – фактична вологість зерна, %.

Число 86 – це залишкова суха речовина зерна при базовій вологості 14 %.

Через дощові умови в період збирання зерно мало підвищену вологість (22–24 %), тому його обов'язково приводили до стандартної вологості для коректності порівняння варіантів.

Структуру врожаю визначали за такими показниками: довжина качана, см; діаметр качана, см; кількість рядів зерен у качані; кількість зерен у ряду; маса зерна з одного качана, г; маса 1000 зерен (за ДСТУ 4138:2020).

Якісні показники зерна визначали за допомогою універсального аналізатора зерна Infratec на кафедрі харчових технологій Уманського національного університету.

Статистичну обробку виконували з використанням: дисперсійного аналізу (ANOVA) визначення $НІР_{0.5}$ (LSD) коефіцієнта варіації середньоквадратичної похибки Обробку проводили за рекомендаціями Єщенка та програмними засобами Excel, STATISTICA, що відповідає вимогам методів математичної статистики у рослинництві.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Умови формування врожаю кукурудзи у досліді

Умови формування врожаю кукурудзи в ФГ «ХОРСТА» визначалися поєднанням ґрунтових характеристик чорнозему опідзоленого дослідної ділянки, погодних умов вегетаційного періоду 2024–2025 рр. та рівнем забезпечення рослин елементами живлення за різних систем удобрення. Сукупність цих факторів формувала специфічні передумови для росту, розвитку та продуктивності кукурудзи.

За результатами агрохімічного обстеження ґрунту, ділянка досліджень характеризувалася чорноземами опідзоленими різного ступеня змивання, що зумовлювало певну варіабельність у вмісті поживних речовин. Гумусовий стан ґрунту перебував на рівні 2,8–3,5 %, що відповідає середньому та підвищеному рівню забезпеченості гумусом для чорноземів опідзолених Лісостепу.

Вміст загального азоту коливався у межах 0,18–0,24 %, що відповідає середньому забезпеченню азотом за сучасними класифікаціями родючості ґрунтів. Вміст загального фосфору становив 0,114–0,140 %, що відповідає середньому та дещо підвищеному рівню фосфорного живлення. Реакція ґрунтового розчину коливалася у межах pH 6,4–7,2, що свідчить про нейтральне та слабколужне середовище, оптимальне для засвоєння основних елементів живлення кукурудзою.

Забезпеченість рухомими формами елементів живлення перебувала в межах: азот ($N\text{-}NO_3$): 17–34 мг/кг (низький – середній рівень), рухомий фосфор: 94–121 мг/кг (високий рівень), обмінний калій: 118–150 мг/кг (високий рівень). Таким чином, ґрунти дослідної ділянки характеризувалися достатнім забезпеченням фосфором і калієм та обмеженим вмістом мінерального азоту, що зумовлювало високу реакцію культури на внесення азотних добрив і забезпечувало відповідні умови для оцінки ефективності досліджуваних систем удобрення.

Вегетаційний період 2024–2025 рр. мав контрастний характер із наявністю чітких періодів дефіциту та надлишку вологи. Сівба кукурудзи була проведена

03 травня, коли температура посівного шару ґрунту досягла 10–12 °С, що забезпечило швидке проростання та дружні сходи.

Найбільш критичним був червень, упродовж якого випало лише 11,2 мм опадів при нормі ~80 мм. Це збігалося з фазами інтенсивного наростання вегетативної маси та формування генеративних органів, тому нестача вологи стримувала ріст культури, особливо в контрольному варіанті та у варіанті з N_{60}.

У липні кількість опадів становила 112,3 мм, істотно перевищуючи середньобагаторічну норму, що створювало сприятливі умови для наливу зерна. Однак у серпні кількість опадів становила лише 23,0 мм, що є майже вдвічі менше від норми (≈49 мм). Саме цей дефіцит вологи у період завершального наливу зерна зумовив зниження маси 1000 зерен, особливо у варіантах з нижчим рівнем удобрення.

Дощі, які відбулися у вересні, вже не впливали на налив зерна, оскільки рослини входили у стадію фізіологічної стиглості. Проте вони спричинили підвищену вологість зерна при збиранні (24–28 %) та відтермінували строки збирання врожаю.

Норма висіву становила 65 тис. схожих насінин/га, тоді як фактична густота перед збиранням — 55–60 тис. рослин/га. Зниження густоти не зменшувало листкову поверхню окремої рослини—навпаки, при меншій конкуренції листки були більшими. Однак загальний індекс листкової поверхні (LAI) на гектарі зменшувався через меншу кількість рослин, що знижувало сумарний фотосинтетичний потенціал посіву, особливо у контрольному варіанті та варіанті з N_{60}.

У підсумку умови року досліджень можна охарактеризувати як теплі, контрастно-зволожені, із поєднанням короткочасної літньої посухи та надмірного зволоження в період достигання. Саме ці фактори визначили характер формування врожайності кукурудзи та зумовили відмінності між варіантами удобрення.

4.2. Густота стояння рослин кукурудзи за різних систем удобрення

Густота стеблостою на момент збирання є важливим елементом структури врожаю, який значною мірою визначає рівень використання фотосинтетичної активності та здатність рослин формувати зернову продуктивність. У досліді норма висіву становила 65 тис. схожих насінин/га, проте фактична густота перед збиранням різнилася залежно від гібрида та рівня мінерального живлення.

Упродовж вегетації на густоту впливали три ключові чинники: Дефіцит опадів у червні (лише 11,2 мм), що зумовило часткове випадіння рослин на ранніх фазах V3–V6. Рівень стартового та вегетаційного мінерального живлення, який визначав швидкість розвитку кореневої системи та стійкість рослин до водного стресу. Шкідники та хвороби.

Незважаючи на однакову норму висіву (65 тис. схожих насінин/га), протягом вегетації відмічено різний рівень збереженості рослин. Це зумовлено впливом дефіциту опадів у червні, коли сума їх становила лише 11,2 мм, що спричинило випадіння частини рослин у фазах 3–6 листків. Рівень удобрення визначав інтенсивність розвитку кореневої системи та здатність рослин протистояти короткочасній посусі, що відобразилося на кінцевій густоті стеблостою.

Таблиця 6

Густота стояння рослин кукурудзи перед збиранням залежно від удобрення та гібрида, тис. рослин/га

Варіант удобрення	Норма висіву, тис./га	DKC 3972	Збереженість, %	P9074	Збереженість, %
Контроль	65	54,5	83,8	55,2	85,1
N_{60}	65	55,9	86,0	56,7	87,2
$N_{60}P_{30}K_{40}$	65	57,6	88,6	58,3	89,7
$N_{120}P_{60}K_{40}$	65	58,9	90,6	59,7	91,8

Аналіз результатів таблиці 6 показав, що на контрольному варіанті збереженість рослин була найнижчою і становила в межах 83,8–85,1 %, що свідчить про недостатнє стартове забезпечення азотом та підвищену чутливість

рослин до ранньо-вегетаційного дефіциту вологи. Внесення N_{60} забезпечило приріст густоти на 1,4–1,5 тис. рослин/га, що пов’язано з покращенням азотного живлення у фазах активного росту.

Комплексне внесення $N_{60}P_{30}K_{40}$ сприяло додатковому підвищенню густоти до 57,6–58,3 тис. рослин/га. Фосфор та калій відіграли ключову роль у формуванні більш розвиненої кореневої системи, що зменшувало втрати рослин у період стресу від нестачі вологи.

Найвищі показники густоти (58,9–59,7 тис. рослин/га) встановлено у варіанті $N_{120}P_{60}K_{40}$, де рівень збереженості досяг 90,6–91,8 %. Це свідчить про найбільш сприятливі умови росту на початкових етапах розвитку та оптимальне формування структурних елементів майбутнього врожаю.

Гібрид Р9074 формував незначно більшу густоту порівняно з DKC 3972 (різниця 0,8–1,0 тис. рослин/га). Це пояснюється його швидшою початковою динамікою росту та більшою стійкістю до коливань вологозабезпечення. Проте різниця між гібридами за густотою стояння рослин була статистично неістотною і не зумовлювала суттєвих відмінностей у рівні врожайності.

4.3. Біометричні показники рослин кукурудзи залежно від рівня удобрення

Біометричні показники є інтегральними характеристиками ростових процесів рослин, що формуються під впливом зовнішніх умов і рівня забезпечення елементами живлення. До таких показників належать висота рослин, діаметр стебла та індекс листкової поверхні (LAI), які визначають фотосинтетичний потенціал посіву та є важливими критеріями прогнозування врожайності.

У дослідженні біометричні параметри оцінювали перед початком генеративної фази (фаза викидання волоті VT), коли диференціація та ріст вегетативних органів уже завершені і рослина досягає максимального розвитку листкової поверхні. Одержані результати наведені у таблиці 7.

Таблиця 7

Біометричні показники рослин кукурудзи перед цвітінням залежно від систем удобрення

Варіант удобрення	DKC 3972			P9074		
	Висота рослин, см	Діаметр стебла, мм	LAI, м²/м²	Висота рослин, см	Діаметр стебла, мм	LAI, м²/м²
Контроль	224	21,2	3,05	227	21,6	3,12
N_{60}	232	22,0	3,32	235	22,4	3,40
$N_{60}P_{30}K_{40}$	242	23,0	3,78	246	23,5	3,86
$N_{120}P_{60}K_{40}$	249	24,1	4,06	253	24,8	4,15

Висота рослин обох гібридів зростала із підвищенням рівня мінерального живлення. У гібрида DKC 3972 вона збільшилася з 224 см (контроль) до 249 см за повного удобрення, а у P9074 з 227 до 253 см. P9074 був вищим у середньому на 2–4 см, проте різниця не була суттєвою і не трансформувалася у помітні відмінності врожайності.

Діаметр стебла показував подібну тенденцію: у DKC 3972 він складав від 21,2 до 24,1 мм, а у P9074 від 21,6 до 24,8 мм. Більш товсте стебло при внесенні повного NPK свідчить про покращений трофічний статус рослин та оптимальний розвиток провідних тканин.

LAI є індексом листкової поверхні та ключовим показником фотосинтезуючої поверхні. В обох гібридах він коливався в межах 3,05 – 3,12 на контролі та 4,06 – 4,15 за внесення $N_{120}P_{60}K_{40}$. LAI > 4,0 м²/м² відповідає оптимальному рівню для гібридів FAO 300–330 і прямо корелював з майбутньою урожайністю.

4.4. Структура врожаю кукурудзи залежно від рівня мінерального живлення

Структурні елементи врожаю є важливою характеристикою потенціалу продуктивності гібридів кукурудзи та визначають сформовану ними зернову продуктивність. Генетично детерміновані ознаки, такі як кількість рядів зерен,

залишаються сталими, тоді як показники, пов’язані з наливом і формуванням зерна, можуть істотно реагувати на рівень мінерального живлення [61].

У досліді оцінювали параметри качана, що визначають потенційну урожайність: довжину та діаметр качана, кількість зерен у ряду, масу 1000 зерен та масу зерна з качана.

Вегетаційний період 2025 року характеризувався контрастними гідротермічними умовами. Надмірне зволоження травня (101,8 мм опадів) сприяло інтенсивному росту вегетативної маси та формуванню генеративних органів. Дефіцит опадів у червні (11,2 мм) стримував розвиток качана, тоді як липень зі значною кількістю опадів (112,3 мм) забезпечив сприятливі умови для озерненості. Серпень виявився посушливим (23 мм), що обмежило інтенсивність наливу зерна й вплинуло на масу 1000 зерен. На тлі таких погодних умов реакція гібридів на удобрення була чітко вираженою.

Таблиця 8

Структура врожаю гібридів DKC 3972 та P9074 залежно від удобрення

Варіант удобрення	Довжина качана, см	Діаметр качана, см	Рядів зерен, шт	Зерен у ряду, шт	Маса 1000 зерен, г	Маса зерна з качана, г
ГІБРИД DKC 3972						
Контроль	17,8	4,3	16	24	280	107
N_{60}	18,4	4,4	16	26	290	121
$N_{60}P_{30}K_{40}$	18,9	4,5	16	25	300	122
$N_{120}P_{60}K_{40}$	19,8	4,7	16	29	310	142
ГІБРИД P9074						
Контроль	18,2	4,4	14	27	282	107
N_{60}	18,9	4,5	14	30	292	121
$N_{60}P_{30}K_{40}$	19,4	4,6	14	29	302	122
$N_{120}P_{60}K_{40}$	20,1	4,8	14	32	312	140

Науковий аналіз структури врожаю (табл. 8) показав, що підвищення рівня мінерального живлення сприяло поступовому зростанню довжини та діаметра качана в обох гібридів. Це відображає посилення генеративного розвитку за умов достатнього забезпечення азотом, фосфором та калієм. Найбільші значення

довжини качана отримано у варіанті $N_{120}P_{60}K_{40}$, де оптимальне співвідношення NPK забезпечувало інтенсивне формування та збереження зернових зав'язей.

Кількість рядів зерен відповідала генетичній детермінації: у DKC 3972 – 16 рядів, у P9074 – 14. Ця ознака практично не реагувала на зміни умов живлення, що характерно для гібридів кукурудзи середньої групи ФАО.

4.5. Урожайність кукурудзи залежно від рівня мінерального живлення

Урожайність гібридів DKC 3972 та P9074 формувалася під впливом густоти стояння, елементів структури врожаю та гідротермічних умов вегетаційного періоду 2025 року. Дефіцит опадів у червні (11,2 мм) та серпні (23,0 мм) обмежував інтенсивність наливу зерна, тоді як надмірне зволоження травня (101,8 мм) і липня (112,3 мм) сприяло формуванню потужної листкової поверхні та кращої озерненості качанів. Урожайність визначали з урахуванням фактичної вологості зерна та перераховували до стандартних 14 %. Отримані результати представлені в таблиці 9.

Таблиця 9

Урожайність гібридів DKC 3972 та P9074залежно від удобрення

Варіант удобрення	Густота, тис./га	Маса зерна з качана, г	Маса 1000 зерен, г	Урожайність фактична, ц/га	Вологість, %	Урожайність при 14 %, ц/га
ГІБРИД DKC 3972						
Контроль	54,5	107	280	64,0	21,8	58,2
N_{60}	55,9	121	290	74,0	22,0	67,4
$N_{60}P_{30}K_{40}$	57,6	122	300	78,0	22,4	70,4
$N_{120}P_{60}K_{40}$	58,9	142	310	93,0	22,9	83,5
					НІР 0,5	**4,52**
ГІБРИД P9074						
Контроль	55,3	107	282	65,0	22,0	59,1
N_{60}	56,7	121	292	76,0	22,3	68,4
$N_{60}P_{30}K_{40}$	58,3	122	302	79,0	22,7	71,0
$N_{120}P_{60}K_{40}$	59,7	140	312	94,0	23,0	83,8
					НІР 0,5	**5,14**

Аналіз врожайності (табл. 9) показав, що густота стояння рослин змінювалась відповідно до рівня удобрення та відображала рівень збереження рослин від сходів до збирання. У гібрида DKC 3972 густота зросла з 54,5 тис./га на контролі до 58,9 тис./га у варіанті $N_{120}P_{60}K_{40}$, а у P9074 – з 55,3 до 59,7 тис./га. Підвищення густоти покращувало використання фото-синтетично-активної радіації та сприяло формуванню вищої зернової продуктивності.

Маса зерна з качана є інтегральним показником озерненості та рівня наливу. За умов дефіциту вологи у червні та серпні підвищення доз добрив забезпечило стабільніше живлення рослин, яке проявилося у зростанні маси зерна з качана в обох гібридів. Для DKC 3972 показник зріс від 107 г на контролі до 142 г за повного удобрення, а для P9074 – від 107 до 140 г, що свідчить про кращу компенсацію стресу мінеральним живленням.

Маса 1000 зерен формувалася під значним впливом погодних умов періоду наливу, зокрема впливу липневого надмірного зволоження та серпневої посухи. Незважаючи на обмеження вологи наприкінці сезону, удобрення забезпечило приріст цього показника на 20–30 г порівняно з контролем. Вищі значення маси 1000 зерен у гібрида P9074 (до 312 г) відповідають його генетичному потенціалу для формування крупнішого зерна.

Урожайність фактична коливалася від 64,0 до 93,0 ц/га у DKC 3972 та від 65,0 до 94,0 ц/га у P9074. Після перерахунку до 14 % вологості урожайність становила 58,2–83,5 ц/га і 59,1–83,8 ц/га відповідно. Найвищі показники формувалися за внесення $N_{120}P_{60}K_{40}$, що узгоджується з максимальною масою зерна з качана та масою 1000 зерен у цьому варіанті. Обидва гібриди реагували на удобрення подібним чином, демонструючи близькі значення врожайності в кожному варіанті.

Умови року чітко вплинули на структуру врожаю. Надлишок опадів у травні та липні сприяв формуванню озерненості, тоді як дефіцит червневих і серпневих опадів обмежив налив зерна. Це зумовило те, що приріст урожайності за повного удобрення був значним, але не максимальним щодо потенціалу гібридів, особливо в аспекті маси 1000 зерен.

4.6. Якість зерна кукурудзи залежно від рівня мінерального живлення та погодних умов року

Якість зерна кукурудзи визначалася вмістом сирого протеїну, крохмалю, сирого жиру, натурою зерна та склоподібністю. Формування цих показників відбувалося під впливом генетичних особливостей гібридів DKC 3972 та P9074, рівня мінерального живлення та гідротермічних умов вегетаційного періоду 2024–2025 рр.

Погодні умови в рік досліджень характеризувалися підвищеною кількістю опадів у травні (101,8 мм) та липні (112,3 мм), різко вираженим дефіцитом вологи у червні (11,2 мм) і недостатнім зволоженням у серпні (23,0 мм) на фоні дещо нижчої за норму середньомісячної температури серпня (19,7 °С проти 20,1 °С середньобагаторічної). Таке поєднання зумовило помірне накопичення крохмалю та відносно стабільні показники протеїну й жиру.

Таблиця 10

Показники якості зерна гібридів DKC 3972 та P9074 залежно від удобрення

Варіант удобрення	Протеїн, %	Крохмаль, %	Жир, %	Натура, г/л	Склоподібність, %
ГІБРИД DKC 3972					
Контроль	8,1	72,3	3,9	736	57
N_{60}	8,7	71,8	4,0	744	59
$N_{60}P_{30}K_{40}$	9,2	71,2	4,1	754	61
$N_{120}P_{60}K_{40}$	9,6	70,9	4,2	761	63
ГІБРИД P9074					
Контроль	8,4	71,9	4,0	738	58
N_{60}	9,0	71,4	4,1	747	60
$N_{60}P_{30}K_{40}$	9,5	70,9	4,2	757	62
$N_{120}P_{60}K_{40}$	9,9	70,6	4,3	765	64

Вміст сирого протеїну є одним із ключових показників харчової та кормової цінності зерна кукурудзи. Він відображає рівень забезпечення рослин азотом у період вегетації та визначає поживність продукції, впливаючи на придатність зерна для комбікормового виробництва. Формування протеїну залежить від генетичних особливостей гібриду, доступності мінерального азоту та умов наливу зерна [6, 16, 27].

Нашими дослідженнями встановлено, що вміст протеїну в зерні обох гібридів істотно залежав від рівня азотного живлення. На контролі його значення становили 8,1–8,4 %, що відповідає умовам помірного дефіциту азоту за фонового зниженого вмісту мінеральних форм у ґрунті. Зі збільшенням дози азоту до N_{60} вміст протеїну зріс до 8,7–9,0 %, а за внесення повної дози $N_{120}P_{60}K_{40}$ – до 9,6–9,9 %.

Для гібрида Р9074 характерний дещо вищий рівень протеїну (на 0,2–0,3 в.п. у межах кожного варіанта), що пов’язано з його генетичною схильністю до формування зерна з підвищеним вмістом білка. Дефіцит опадів у червні та відносно невисока вологість повітря (63 %) сприяли певному «концентраційному ефекту» протеїну, що особливо проявилося на варіантах із підвищеним азотним живленням.

Крохмаль є основним компонентом сухої речовини зерна кукурудзи та визначає його енергетичну цінність [6, 16, 62]. Його накопичення пов’язане з рівнем фотосинтетичної активності рослин, інтенсивністю надходження асимілянтів і умовами волого- та тепло забезпечення в період наливу зерна. Вміст крохмалю генетично детермінований, однак істотно реагує на дефіцит або надлишок вологи в другій половині вегетації.

Вміст крохмалю мав обернений характер змін щодо протеїну. На контролі він становив 72,3 % у DKC 3972 та 71,9 % у Р9074, з незначним зниженням до 70,9–70,6 % у варіанті $N_{120}P_{60}K_{40}$. Зменшення частки крохмалю при підвищенні рівня азотного живлення узгоджується з відомими закономірностями перерозподілу асимілянтів у бік азотовмісних сполук.

Обмеження наливу зерна внаслідок низьких опадів у серпні (23,0 мм) та дещо нижчої за норму температури повітря зумовило формування відносно помірного рівня крохмалю для обох гібридів, без істотних міжгенотипових відмінностей.

Натура зерна (масова щільність, г/л) характеризує ступінь виповненості та щільності ендосперму. Високі показники свідчать про добре сформоване, щільне зерно з оптимальним співвідношенням твердого і борошнистого ендосперму. На

цей показник впливають умови наливу зерна, забезпеченість поживними речовинами та генетичні особливості гібриду [6, 16, 62].

Натура зерна відображала ступінь виповненості і щільності ендосперму. На контролі її значення коливалися у межах 736–738 г/л, поступово зростаючи до 761–765 г/л за внесення $N_{120}P_{60}K_{40}$. Підвищення натури пов'язане з кращими умовами живлення, стабільнішим формуванням качана (підрозділ 4.4) та повнішим наливом зерна.

Для гібрида Р9074 відзначено дещо вищі показники натури (на 2–4 г/л), що свідчить про його дещо кращу здатність до формування щільнішого зерна за умов контрастного зволоження.

Склоподібність відображає частку твердого ендосперму і визначає фізико-механічні властивості зерна, такі як міцність, стійкість до розтріскування та придатність до переробки. Формування склоподібності залежить від умов вологозабезпечення, температурного режиму в період наливу та рівня забезпечення рослин калієм і азотом [6, 16, 62].

Склоподібність зерна у середньому становила 57–64 % і зростала при підвищенні рівня удобрення. На контролі показники були на рівні 57–58 %, за $N_{120}P_{60}K_{40}$ – 63–64 %. Це свідчить про більш інтенсивне формування твердого ендосперму при кращому забезпеченні рослин елементами живлення.

Разом з тим надмірне зволоження у липні (112,3 мм) та помірна вологість повітря (65 %) дещо стримували формування максимальних показників склоподібності, що особливо характерно для років із поєднанням високих опадів та помірних температур у період наливу зерна.

Вміст сирого жиру визначає енергетичну цінність зерна та його технологічні властивості []. Ліпіди беруть участь у формуванні мембран, ферментативній активності та процесах накопичення енергії. На синтез жиру найбільше впливають генетичні особливості гібриду, забезпечення рослин фосфором і калієм та погодні умови у фазі завершального наливу зерна.

Вміст жиру змінювався у відносно вузьких межах: 3,9–4,2 % у DKC 3972 та 4,0–4,3 % у Р9074. Зростання цього показника за внесення мінеральних

добрив, особливо у варіантах $N_{60}P_{30}K_{40}$ та $N_{120}P_{60}K_{40}$, пов'язане з кращим забезпеченням рослин фосфором та калієм, які беруть участь у синтезі ліпідів та енергетичному обміні.

Для гібрида Р9074 характерний дещо вищий вміст жиру (на 0,1–0,2 в.п.), що узгоджується з його сортовою характеристикою як гібрида зернового напрямку використання.

У результаті виконаних досліджень встановлено, що формування продуктивності та якості зерна кукурудзи гібридів DKC 3972 і Р9074 в умовах ФГ «Хорста» значною мірою залежало від рівня мінерального живлення та погодних умов вегетаційного періоду. Контрастність зволоження – надмірні опади в травні та липні при різко вираженому дефіциті вологи в червні й серпні – зумовила варіабельність біометричних показників та структури врожаю, обмеживши повноцінний налив зерна.

Підвищення рівня удобрення сприяло зростанню густоти стеблостою, площі листкової поверхні та маси зерна з качана, що забезпечило істотний приріст урожайності в обох гібридів. Максимальні значення врожайності отримано за внесення $N_{120}P_{60}K_{40}$, де сформувалися оптимальні умови для росту і наливу зерна. Відмінності між гібридами були неістотними, що свідчить про подібну реакцію на агрофон та погодні умови року.

Показники якості зерна (вміст протеїну, жиру, крохмалю, натура та склоподібність) також визначалися поєднанням генетичних особливостей гібридів, рівнем забезпечення рослин елементами живлення та гідротермічними умовами. Підвищені дози мінеральних добрив сприяли збільшенню протеїну та жиру при незначному зниженні частки крохмалю, а також поліпшенню натури та склоподібності зерна.

Таким чином, оптимізація мінерального живлення, особливо за повного внесення NPK, забезпечила найвищий рівень реалізації потенціалу врожайності та якості зерна кукурудзи в умовах контрастного зволоження Уманського району.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД УДОБРЕННЯ

Економічна оцінка результатів польових досліджень є важливою складовою комплексного аналізу ефективності вирощування сільськогосподарських культур. Вона дозволяє визначити оптимальний рівень ресурсозабезпечення, зіставити виробничі витрати з фактичним рівнем урожайності та встановити економічну доцільність застосування різних доз мінеральних добрив. Основними узагальнюючими показниками економічної ефективності є вартість валової продукції, собівартість 1 т зерна, умовно чистий прибуток та рівень рентабельності. Саме за ними оцінюється можливість відтворення виробництва, нарощування прибутковості та господарської стабільності підприємства [63].

Рентабельність є інтегральним показником економічної ефективності, що характеризує співвідношення між прибутком та собівартістю продукції. Чим вищим є цей показник, тим ефективніше використовуються вкладені ресурси. Водночас умовно чистий прибуток відображає абсолютну величину економічного ефекту, яку підприємство отримує з 1 га посіву, і дозволяє порівняти різні варіанти технологічних заходів незалежно від їх ресурсної ємності [64].

В економічних розрахунках враховано виробничі витрати на 1 га посіву, які для контрольного варіанту становили 27600 грн/га, тоді як у варіантах із застосуванням добрив збільшувалися відповідно до вартості добрив: 30420 грн/га (N_{60}), 33680 грн/га ($N_{60}P_{30}K_{40}$) та 38660 грн/га ($N_{120}P_{60}K_{40}$). Ціна реалізації зерна кукурудзи станом на 15 листопада 2025 р. прийнята на рівні 8 900 грн/т.

Аналіз економічної ефективності показав (табл. 11), що застосування добрив при вирощуванні гібрида DKC 3972 забезпечило істотне підвищення економічних показників. Найбільший приріст прибутку (+47 % до контролю) отримано у варіанті $N_{120}P_{60}K_{40}$, де також сформувався найвищий рівень валової продукції – 74,3 тис. грн/га. Водночас варіант N_{60} забезпечив найвищий рівень

рентабельності (97,2 %), що свідчить про оптимальне співвідношення між урожайністю та витратами.

Таблиця 11

Економічна ефективність вирощування гібридів кукурудзи залежно від удобрення

Гібрид DKC 3972				
Показник	**Контроль**	**N_{60}**	**$N_{60}P_{30}K_{40}$**	**$N_{120}P_{60}K_{40}$**
Урожайність, т/га	**5,82**	**6,74**	**7,04**	**8,35**
Вартість валової продукції, грн/га	51 798	59 986	62 656	74 315
Виробничі витрати, грн/га	27 600	30 420	33 680	38 660
Собівартість 1 т, грн	4 740	4 512	4 785	4 629
Умовно чистий прибуток, грн/га	**24 198**	**29 566**	**28 976**	**35 655**
Рентабельність, %	**87,7**	**97,2**	**86,0**	**92,2**
Гібрид P9074				
Урожайність, т/га	**5,91**	**6,84**	**7,10**	**8,38**
Вартість валової продукції, грн/га	52 599	60 876	63 290	74 582
Виробничі витрати, грн/га	27 600	30 420	33 680	38 660
Собівартість 1 т, грн	4 673	4 445	4 744	4 612
Умовно чистий прибуток, грн/га	**24 999**	**30 456**	**29 610**	**35 922**
Рентабельність, %	**90,6**	**100,2**	**87,9**	**92,9**

Гібрид P9074 демонстрував дещо вищу економічну ефективність порівняно з DKC 3972 за рахунок вищої врожайності в усіх варіантах досліду. Варіант N_{60} забезпечив максимальний рівень рентабельності — 100,2 %, тоді як найбільший умовно чистий прибуток (35,9 тис. грн/га) отримано у варіанті $N_{120}P_{60}K_{40}$.

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

6.1. Безпека праці при виконанні польових робіт у досліді з вирощування кукурудзи

Організація охорони праці під час проведення досліджень з вирощування кукурудзи у ФГ «Хорста» здійснюється відповідно до Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю України, галузевих нормативно-правових актів та інструкцій щодо безпечного виконання сільськогосподарських робіт. Забезпечення безпеки є обов'язковою умовою під час виконання всіх технологічних операцій, пов'язаних із підготовкою ґрунту, висівом, внесенням добрив, доглядом за посівами та проведенням обліків у польових умовах [65].

Усі працівники перед початком виконання робіт проходять необхідні види інструктажів: вступний, первинний на робочому місці, повторний, позаплановий та цільовий, що реєструються у відповідних журналах. До виконання робіт допускаються особи, які пройшли медичний огляд, підготовлені до роботи з технікою та засобами захисту рослин і мають достатні знання з питань техніки безпеки. Під час польових робіт працівники стикаються з низкою потенційно небезпечних факторів, пов'язаних із дією працюючих машин і механізмів, шумовим навантаженням, вібрацією, пилом, високою температурою та сонячним випромінюванням. З метою зниження їх впливу використовуються засоби індивідуального захисту, а робочі місця підтримуються у належному технічному та санітарному стані.

Особлива увага приділяється безпечному виконанню технологічних операцій із залученням сільськогосподарської техніки. Перед початком роботи механізатори здійснюють огляд технічного стану агрегатів, перевіряють справність гальмівної системи, рульового управління, електрообладнання, огороджень рухомих частин та наявність аптечки і вогнегасника. Техніку, що має несправності, до експлуатації не допускають. Під час роботи на полі забезпечується безпечна відстань між механізмами та працівниками, а

експлуатація агрегатів здійснюється відповідно до технічних паспортів і вимог заводу-виробника.

У процесі вирощування кукурудзи значне місце займають операції з внесення мінеральних добрив і застосування засобів захисту рослин, що потребує дотримання вимог токсикологічної та хімічної безпеки. Роботи виконуються у засобах індивідуального захисту, що запобігають потраплянню добрив і пестицидів на шкіру та слизові оболонки. Зберігання цих речовин на території господарства здійснюється у спеціально обладнаних приміщеннях, які відповідають чинним вимогам до складів пестицидів та агрохімікатів. Проведення обприскування дозволяється лише за сприятливих метеорологічних умов, без поривів вітру, що можуть спричинити знесення робочого розчину за межі оброблюваної ділянки.

Важливим елементом охорони праці є забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов під час польових робіт. Працівники повинні мати доступ до питної води, аптечки першої медичної допомоги та місць для короткочасного відпочинку. У період інтенсивної спеки значення набуває раціональне планування режиму праці та відпочинку, що зменшує ризик перегрівання організму та перевтоми [65].

Окрему роль відіграє дотримання норм пожежної безпеки. Сухі рослинні рештки, мінеральні добрива, паливно-мастильні матеріали та працююча техніка створюють потенційний ризик виникнення пожежі, тому роботи проводяться з обов’язковим дотриманням вимог щодо недопущення відкритого вогню, куріння та неконтрольованого зберігання легкозаймистих матеріалів. Машини, що працюють на полі, обладнані вогнегасниками, а територія підтримується у стані, що унеможливлює швидке поширення вогню.

Таким чином, у ФГ «Хорста» організація охорони праці під час виконання досліджень з вирощування кукурудзи ґрунтується на дотриманні вимог чинного законодавства України, включає комплекс заходів технічного, організаційного та санітарно-гігієнічного характеру та спрямована на забезпечення безпечного і ефективного виконання польових робіт.

6.2. Охорона навколишнього природного середовища при застосуванні систем удобрення в умовах ФГ «Хорста»

Впровадження системи удобрення, дослідженої у дипломній роботі, має подвійний ефект: з одного боку, вона сприяє підвищенню врожайності та якості зерна кукурудзи, а з іншого — може впливати на стан навколишнього природного середовища. Еколого-агрохімічні аспекти застосування мінеральних добрив у сучасних умовах є важливими, оскільки надмірні дози або порушення технології внесення можуть спричинити збільшення втрат азоту, накопичення нітратів у продукції, вторинне засолення ґрунтів, зменшення вмісту гумусу та активізацію ерозійних процесів [66].

За даними наукової літератури, оптимізація норм і строків внесення добрив дає змогу значно зменшити ризики забруднення ґрунтових та поверхневих вод нітратами, зберегти структуру та родючість ґрунту, підвищити ефективність засвоєння елементів живлення рослинами. Раціональна система удобрення сприяє більш рівномірному розвитку кореневої системи кукурудзи, покращенню процесів фотосинтезу та підвищенню маси зерна, що загалом відображається на його харчовій та технологічній якості. Водночас вона мінімізує непродуктивні втрати елементів живлення та зменшує ризик накопичення токсичних форм азоту у продукції [66].

У ФГ «Хорста» ґрунтові умови, рівень забезпеченості поживними речовинами та особливості рельєфу потребують застосування збалансованих доз добрив, що враховують потенціал ґрунту та біологічні потреби гібриду кукурудзи. Застосування оптимізованих норм азоту дозволяє уникнути надмірного навантаження на ґрунтово-екологічну систему та одночасно забезпечити високі показники врожайності. Локальне внесення добрив зменшує ризик їх вимивання, а рослинні рештки, що залишаються на полі, сприяють накопиченню органічної речовини та покращують буферність ґрунту.

Дотримання правил зберігання та використання мінеральних добрив і засобів захисту рослин у господарстві запобігає забрудненню прилеглих територій і водних ресурсів. Наявність спеціалізованого складу забезпечує

екологічно безпечні умови зберігання пестицидів, що унеможливлює їх потрапляння у ґрунт та атмосферу. Проведення обробок із врахуванням погодних умов і дотриманням санітарних норм зводить до мінімуму ризик забруднення рослинницької продукції.

Таким чином, рекомендована система удобрення позитивно впливає на формування якісних характеристик зерна кукурудзи та забезпечує зниження екологічного навантаження на агроландшафт. Її застосування сприяє підвищенню ефективності використання мінеральних добрив, збереженню родючості ґрунтів та мінімізації ризиків забруднення навколишнього природного середовища, що є важливою умовою сталого розвитку сільськогосподарського виробництва.

ВИСНОВКИ

1. Удобрення впливало на всі показники структури врожаю, за винятком кількості рядів зерен, яка залишалася генетично стабільною. Найкращі показники довжини качана, діаметра та маси зерна сформувалися за внесення $N_{120}P_{60}K_{40}$.
2. Урожайність гібридів DKC 3972 і P9074 істотно залежала від рівня мінерального живлення та густоти стеблостою. Найвищі показники отримано у варіанті $N_{120}P_{60}K_{40}$, де сформувалися оптимальні умови для озерненості та наливу зерна.
3. Низькі опади червня та серпня обмежили реалізацію потенційної маси 1000 зерен в обох гібридів. Відмінності між гібридами були мінімальними та не мали істотного впливу на кінцевий рівень урожайності.
4. Якісні показники зерна кукурудзи формувалися під одночасним впливом генотипу, рівня мінерального живлення та погодних умов вегетаційного періоду. Підвищення доз мінеральних добрив, насамперед азотних, сприяло зростанню вмісту протеїну та жиру в зерні при незначному зниженні частки крохмалю.
5. Натура та склоподібність зерна зростали з підвищенням рівня удобрення, що відображає кращий ступінь виповнення та щільності ендосперму.
6. Відмінності між гібридами DKC 3972 та P9074 щодо якості зерна були помірними: P9074 відзначався дещо вищим вмістом протеїну, жиру та натурою зерна, тоді як DKC 3972 зберігав дещо вищу частку крохмалю.
7. Застосування повної дози добрив $N_{120}P_{60}K_{40}$ забезпечило максимальну урожайність і найбільший умовно чистий прибуток, проте найвищий рівень рентабельності досягався в умовах внесення N_{60}. Це свідчить про те, що за сучасних цін на добрива та зерно найбільш економічно вигідним є середній рівень удобрення, тоді як повне удобрення забезпечує виробництву максимальний валовий дохід.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Петриченко В. Ф., Лихочвор В .В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур: підручник.5-те вид., виправ., допов. Львів: НВФ "Українські технології", 2020. 806 с.

2. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Рослинництво. Сучані інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів: НВФ «Українські технології», 2006. 730 с.

3. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Новак А. В. Вплив метеорологічних умов та удобрення на врожайність кукурудзи у ПравобережномуЛісостепу. Зб. наук. пр. Уманського НУС. 2023. Вип. 102. Ч. 1. С. 26–34.

4. Господаренко Г.М., Прокопчук І.В., Бойко В.П. Засвоєння елементів живлення з ґрунту й мінеральних добрив кукурудзою. Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. 2019. Вип. 95, 1 ч. С. 128–138.

5. Barlog P., Frackowiak-Pawlak K. Effect of mineral fertilization on yield of maize cultivars differing in maturity scale. Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura. 2008. Т. 7. №. 4. S. 5–17

6. Господаренко Г. М. Агрохімія. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2024. 572 с.

7. Господаренко Г. М. Агрохімія мікроелементів. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2023. 416 с.

8. Almodares A., Jafarinia M., Hadi M.R. The effects of nitrogen fertilizer on chemical compositions in corn and sweet sorghum. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences. 2009. Т. 6. №. 4. P. 441–446.

9. Камінський В. Ф., Асанішвілі Н. М. Формування якості зерна кукурудзи різних напрямів використання залежно від технології вирощування в Лісостепу. Корми і кормовиробництво, 2020. № 89. С. 74–84.

10. Іванюк В., Гнатів П., Оліфір Ю. Вплив азотних добрив на формування врожаю зерна кукурудзи й ефективність використання азоту. Вісник ЛНУП. Агрономія, 2022, 26: 170–176.

11. Говенько Р. В., Антал Т. В. Продуктивність кукурудзи залежно від виду азотних добрив, позакореневого підживлення та погодних умов. Аграрні інновації. 2022. № 15. С. 22–29.

12. Miao Y., Mulla D.J., Robert P.C., Hernandez J.A. Within-field variation in corn yield and grain quality responses to nitrogen fertilization and hybrid selection. Agronomy Journal. 2006. Vol. 98. P. 129–140.

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

14. Любич В. В., Господаренко Г. М., Стоцький В. В. Урожайність кукурудзи за різних доз і поєднань мінеральних добрив. Актуальні питання агротехнологій : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Умань, 25 жовтня 2022 р.). Умань : УНУС, 2021. С. 42–44.

15. Котельников Д. Ефективність способів обробітку ґрунту та живлення посівів кукурудзи на півдні України : автореф. на здобуття вченого ступеня канд. с.-г. н за спеціальністю: 06.01.02. «Землеробство» Херсон, 2015. 23 с.

16. Господаренко Г., Прокопчук І., Бойко В. Урожайність і якість зерна кукурудзи за різного удобрення в польовій сівозміні. Вісник Львівського НАУ. Агрономія. 2021. № 25. С. 142–145.

17. Рудавська Н. М., Гук Р. М. Вплив удобрення на формування врожаю гібридів кукурудзи. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2017. Вип. 61. С. 123–134.

18. 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.

19. Каленська С. М., Таран В. Г., Данилів П. О. Особливості формування урожайності гібридів кукурудзи залежно від удобрення, густоти стояння рослин та погодних умов. Таврійський науковий вісник. 2018. №. 101. С. 42–49.

20. Bruno Maia, Abdo Rahmen Cassim, Marcos Renan Besen and at. Nitrogen Fertilizers Technologies for Corn in Two Yield Environments in South Brazil. Plants 2022, 11, 1890. URL: https://www.mdpi.com/journal/plants. (Дата звернення 13.10.2025).

21. Dilip K. Biswas, Bao-Luo Ma. Effect of nitrogen rate and fertilizer nitrogen source on physiology, yield, grain quality, and nitrogen use efficiency in cornCanadian Journal of Plant Science. 15 June 2016 URL: https://www.researchgate.net/publication/304005637_Effect_of_nitrogen_rate_and_fertilizer_nitrogen_source_on_physiology_yield_grain_quality_and_nitrogen_use _efficiency_in_corn. (Дата звернення: 14.10.2025).

22. Omar S., Abd Ghani R., Khaeim H., Sghaier A.H., Jolánkai M. The effect of nitrogen fertilisation on yield and quality of maize (Zea mays L.). Acta Alimentaria 51 (2022) 2, 249–258.

23. Господаренко Г.М. Удобрення кукурудзи. Агробізнес сьогодні. 2010. №10(185), травень. С. 18–19.

24. Pellerin Sylvain, Mollier Alain, Plinet Daniel. Phosphorus Deficiency Affects therate of Emergence and Number of Corn Adventitious Nodal Roots. Agronomy Journal. 2000. Vol. 92. P. 690–697.

25. Наумов Є. О. Тривалість вегетаційного періоду гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від норм і форм внесення азотних добрив. Таврійський вісник. Випуск 132. 2023. С. 161–167.

26. Городній М.М. Агрохімія: Підручник. К.: Арістей. 2008. 933 с.

27. Господаренко Г. М. Система застосування добрив: Підручник. Київ : ТОВ «ТРОПЕА», 2022. 376 с.

28. Любар В. Органогенез кукурудзи як технологічна складова. Зерно. 2015. № 3 (108). С. 98–102.

29. Надь Янош. Кукурудза. Вінниця : Корзун Д. Ю., 2012. 580 с.

30. Ярошко М. Значення фосфору у живленні сільськогосподарських культур. Агроном. 2013. № 3. С. 30–32.

31. Говенько Р. В., Антал Т. В. Продуктивність кукурудзи залежно від виду азотних добрив, позакореневого підживлення та погодних умов. Аграрні інновації. 2022. Вип. 15. С. 22–29.

32. Дудка М., Черчель В. Позакореневе підживлення: необхідність чи альтернатива? Пропозиція (інформаційний щомісячник). 2014. №6. С. 64–69.

33. Коваленко О., Поляничников С.П., Ковбель А.І. Шляхи підвищення коефіцієнту засвоєння поживних елементів. Агроном. 2015. №1(47), лютий. С. 28–29.

34. Бова Д., Думич В. Вплив норм унесення фосфорно-калійних добрив на ефективність вирощування кукурудзи на зерно в умовах заходу України. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2022. Вип. 31. С. 159–168. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ttar_2022_31_17

35. Корчагіна І. Польовий раціон для кукурудзи. Agroexpert: практичний посібник аграрія. 2011. № 5. С. 14–17.

36. Надь Яношь. Кукурудза. Вінниця : Корзун Д. Ю., 2012. 580 с.

37. Сайко В.Ф., Лобас М.Г., Яновський І.В., Малієнко А.М. та ін. Наукові основи ведення зернового господарства. К. : Урожай, 1994. 336 с.

38. Санін В. Позакореневе підживлення кукурудзи мікродобривами. Пропозиція (інформаційний щомісячник). 2011. № 5. С. 62–63.

39. Наумов Є.О. Техніко-економчна оцінка способів удобрення кукурудзи в умовах північного сходу України. Вісник Сумського національного університету. Серія «Агрономія і біологія». Випуск 3 (53), 2023. С. 52–58.

40. Труфанов О. Мікроелементи, хелати, мікродобрива. Пропозиція. 2013. №5. С. 63–65.

41. Ranum P., Peña-Rosas J. P., Garcia-Casal M. N. Maize in human nutrition. Annals of the New York Academy of Sciences. 2014. Pp. 40–45.

42. Ciampitti I. A., Vyn T. J. Grain nitrogen concentration and nitrogen use efficiency in maize. Field Crops Research. 2013. Pp. 135–147.

43. Басюк П. Л., Грабовський М. Б. Вплив мікродобрив та регуляторів росту на якісні показники зеленої маси кукурудзи. Український журнал природничих наук. 2025. №13. С. 241–253.

44. Rashid M., Anjum F. M., Ahmed A., Randhawa M. A., Hussain S. Maize grain structure and industrial applications. Journal of Cereal Science. 2021. 100: 103231.

45. Massignam A. M., Chapman S. C., Hammer G. L., Fukai S. Physiological determinants of maize grain yield as affected by nitrogen supply and planting density. European Journal of Agronomy. 2009.30(3). Pp. 132–143.

46. Zörb C., Senbayram M., Peiter E. Potassium in agriculture – status and perspectives. Journal of Plant Physiology. 2014. 171(9). Pp. 656–669.

47. Рожков А. О., Огурцов Є. М. Рослинництво : навчальний посібник. Харків : Тім Пабліш Груп, 2017. 362 с.

48. Полторецький С. П., Яценко А. О., Полторецька Н. М. Хлібні культури ІІ групи : методичні вказівки до практичних і самостійних робіт. Умань : Уманський НУС, 2019. 23 с.

49. Якунін О. П., Заверталюк В. Ф., Губар О. В., Окселенко О. М., Заверталюк О. В. Кукурудза харчова (технологічні аспекти вирощування) : монографія / за ред. О. П. Якуніна. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2016. 208 с.

50. Кукурудза: систематика, походження, ботанічний опис і біологічні особливості. URL: https://osvita.ua/school/biology/botanika/23163/ (дата звернення: 30.10.2025).

51. Вакуленко Я. М. Особливості росту й розвитку та формування зернової продуктивності кукурудзи залежно від способів сівби в умовах Інституту зернових культур НААН України : магістерська робота. Дніпро : Дніпровський державний аграрно-економічний університет, 2020. 64 с.

52. Рожков А. О., Огурцов Є. М. Рослинництво : підручник. Харків : Друкарня «Мадрид», 2019. 380 с.

53. Рослинництво. Кукурудза, сорго і круп’яні культури. BukLib.net. URL: https://buklib.net/books/24262/ (дата звернення: 30.10.2025).

54. Насіння кукурудзи ДКС 3972 (DKC 3972) від DEKALB. Zelenamriya. URL: https://zelenamriya.com.ua/nasinnya-kukurudzi/dekalb-dkc-3972 (дата звернення: 01.11.2025).

55. DKC 3972. SuperAgronom.com. URL: https://superagronom.com/nasinnya-zernovi-kukurudza/dks-3972-id20707 (дата звернення: 01.11.2025).

56. P9074. Corteva Agriscience Україна. URL: https://www.corteva.com.ua/products-and-solutions/pioneer-products/corn/P9074.html (дата звернення: 01.11.2025).

57. Насіння кукурудзи P9074. Інтернет-магазин «Фермер Центр». URL: https://fermer-center.com.ua/nasinnya-kukurudzi/pioneer-p9074 (дата звернення: 01.11.2025).

58. Кукурудза P9074. Агроексперт-Трейд. URL: https://agroexpert-trade.com/p9074 (дата звернення: 01.11.2025).

59. Назаренко І. І., Польчина С. М., Нікорич В .А. Грунтознавство: підручник. Чернівці: Книги – ХХІ. 2004. 400 с.

60. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Костогриз П. В., Опришко В. П. Основи наукових досліджень в агрономії: Підручник/ За ред. В.О. Єщенка. Вінниця : ПП «Едельвейс і К». 2014. 332 с.

61. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Любич В. В., Садовський І. С. Структура врожаю кукурудзи залежно від системи удобренняв умовах Правобережного Лісостепу. Землеробство та рослинництво: теорія і практика. 2023. №1(7). С. 26–38.doi: 10.54651/agri.2023.01.04.

62. Єрмакова Л. М., Свистунов Ю. В. Формування врожаю та якості зерна кукурудзи залежно від удобрення в Лівобережному Лісостепу. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2016 .№ 4 с. 60-62.

63. Крестьянінов Ю.В., Єрмакова Л.М., Антал Т.В. Економічна та енергетична ефективність вирощування кукурудзи залежно від

мінеральних добрив та позакореневого підживлення посівів. Наукові доповіді НУБіП України. 2020. №5. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2020_5_8.

64. Камінський В. Ф., Асанішвілі Н.М. Економічна ефективність технологій вирощування кукурудзи різного рівня інтенсивності. Вісник аграрної науки Причорноморя. 2020.№3.С.27-34.

65. Охорона праці в агропромисловому комплексі : підручник / А. С. Бєліков, К. М. Сухий, А. С. Кобець та ін. ; за ред. А. С. Бєлікова. Дніпро : Журфонд, 2025. 644 с.

66. Сільськогосподарська екологія : навч. посіб. / О. П. Ткачук, Ю. М. Шкатула, О. М. Тітаренко. Вінниця : ВНАУ, 2020. 542 с. URL: https://repository.vsau.org/getfile.php/24545.pdf

ДОДАТКИ

Додаток А

Дисперсійний аналіз врожайності гібридів кукурудзи

Дисперсійний аналіз гібриду DKC 3972

Таблиця А1

Вихідні дані та проміжні розрахунки

Варіант	Повт.1		Повт.2	Повт.3	Повт.4	Σ	x̄	S²
Контроль	55.89		56.96	60.5	59.45	232.8	58.2	4.48
N60	67.07		67.2	66.01	69.31	269.59	67.4	1.98
N60P30K40	73.01		69.87	73.63	65.09	281.6	70.4	15.38
N120P60K40	79.67		84.66	86.41	83.25	333.99	83.5	8.39

Загальна сума: 1117.98 Загальне середнє: 69.87

Таблиця А2

Результати дисперсійного аналізу

Джерело	SS	df	MS	Fфакт	$F_{теор0.05}$
Варіанти	1313.17	3	437.72	54.74	3.49
Помилка	71.97	9	7.996	-	-
Загалом	1402.89	15	-	-	-

$НІР_{0.5}$ = 4.52 ц/га Точність P = 2.02%

Дисперсійний аналіз гібриду P9074

Таблиця А3

Вихідні дані та проміжні розрахунки

Варіант	Повт.1	Повт.2	Повт.3	Повт.4	Σ	x̄	S²
Контроль	59.9	56.59	58.01	61.91	236.41	59.1	5.2
N60	68.52	65.78	71.33	67.97	273.6	68.4	5.3
N60P30K40	68.16	73.46	71.66	70.72	284.0	71.0	4.86
N120P60K40	86.67	84.67	86.6	77.26	335.2	83.8	20.01

Загальна сума: 1129.21 Загальне середнє: 70.58

Таблиця А4

Результати дисперсійного аналізу

Джерело	SS	df	MS	Fфакт	$F_{теор0.05}$
Варіанти	1245.72	3	415.24	40.22	3.49
Помилка	92.92	9	10.32	-	-
Загалом	1351.63	15	-	-	-

$НІР_{0.5}$ = 5.14 ц/га Точність P = 2.28%