

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**АГРОБІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**ПОГОДЖЕНО**

**Декан агробіологічного факультету**

д. с.-г. наук, професор

\_\_\_\_\_ Віталій КОВАЛЕНКО

(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

**Завідувач кафедри**

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

\_\_\_\_\_ Дмитро ЛІТВІНОВ

(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему **«Продуктивність гібридної кукурудзи за використання фертигації  
в різних зонах поля»**

Спеціальність: 201 Агрономія

Освітня програма: «Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництві»

Орієнтація освітньої програми: Освітньо-професійна

**Гарант освітньої програми**

д. с.-г. наук, професор

\_\_\_\_\_ Анатолій БИКІН

(підпис)

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

д.с.-г. наук, професор

\_\_\_\_\_ Анатолій БИКІН

(підпис)

**Виконав**

\_\_\_\_\_ Ярослав ВОЙТОВЕЦЬ

(підпис)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
АГРОБІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

Агрохімії та якості продукції

рослинництва ім.О.І.Душечкіна

д.с.-г. н., професор \_\_\_\_\_ Дмитро ЛІТВІНОВ  
(підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧУ**

**Войтовцю Ярославу Анатолійовичу**

Спеціальність 201 Агрономія

Освітня програма: «Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництві»

Орієнтація освітньої програми освітня професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Продуктивність гібридної кукурудзи за використанням фертигації в різних зонах поля»

затверджена наказом від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

Термін подання завершеної роботи на кафедру \_\_\_\_\_

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: матеріали та ґрунти господарства ТОВ «Біотех ЛТД», розташованого Київській області, Бориспільського району, в селі Городище.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Узагальнити наукові джерела щодо ефективності фертигації при вирощуванні кукурудзи.
2. Дослідити вплив фертигації на ріст, розвиток і формування врожаю гібридної кукурудзи.
3. Оцінити продуктивність культури в різних зонах поля.
4. Проаналізувати економічну та енергетичну ефективність фертигації.
5. Розробити рекомендації щодо оптимізації живлення кукурудзи за результатами дослідження.

Дата видачі завдання: «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи: \_\_\_\_\_ Анатолій БИКІН  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання: \_\_\_\_\_ Ярослав ВОЙТОВЕЦЬ  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «**Продуктивність гібридної кукурудзи за використання фертигації в різних зонах поля**» виконана на 53 сторінках комп'ютерного тексту, містить 4 розділи, висновки, 63 використаних посилань літератури, 2 рисунка та 11 таблиць.

У роботі подано результати польових досліджень, що проведені у ТОВ «Біотех ЛТД» Бориспільського району Київської області. Досліджено вплив різних зон поля на ріст, розвиток, морфологічні показники та врожайність гібридної кукурудзи за умов використання системи фертигації для оптимізації мінерального живлення. Наведено агрохімічну характеристику ґрунту, метеоумови території в період досліджень та результати біометричних вимірювань. Встановлено, що найвищі показники росту та продуктивності отримано на рівнинній зоні поля, де умови зволоження й живлення були найбільш збалансованими.

Отримані результати мають важливе практичне значення для оптимізації систем живлення кукурудзи в Лісостеповій зоні України, особливо на полях з істотною, просторовою неоднорідністю родючості ґрунтів.

**Ключові слова:** кукурудза, гібрид, ФАО, фертигація, зонування поля, продуктивність.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	<b>6</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ</b>	<b>8</b>
1.1. Значення кукурудзи та особливості її вирощування в Україні	8
1.2. Вплив мінерального живлення на продуктивність кукурудзи	10
1.3. Фертигація як елемент сучасних технологій вирощування	12
1.4. Просторова неоднорідність ґрунтів і зонування полів	16
1.5. Продуктивність гібридної кукурудзи за використання фертигації	19
Висновки до розділу 1	22
<b>РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ</b>	<b>23</b>
2.1. Організаційно-виробничі умови проведення досліджень	23
2.2. Погодно-кліматичні умови території проведення досліджень	24
2.3. Ґрунтові умови території проведення досліджень	26
2.4. Методика проведення дослідження	29
<b>РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ</b>	<b>33</b>
3.1. Морфологічні показники кукурудзи в різних зонах поля за використання фертигації	33
3.2. Накопичення сухої маси кукурудзи у різних зонах поля	35
3.3. Врожайність гібридної кукурудзи в різних зонах поля	37
3.4. Структура врожаю та якість зерна в різних зонах поля	38
Висновки до розділу 3	40
<b>РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОЩУВАННЯ ГІБРИДНОЇ КУКУРУДЗИ В РІЗНИХ ЗОНАХ ПОЛЯ</b>	<b>43</b>
4.1. Економічна ефективність зонального підходу до управління живленням	44
<b>ВИСНОВКИ</b>	<b>46</b>
<b>РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ</b>	<b>47</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	<b>48</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Однією з ключових проблем сучасного землеробства є забезпечення стабільного зростання продуктивності сільськогосподарських культур за умов раціонального використання ресурсів і збереження родючості ґрунтів. У зв'язку зі змінами клімату, нестабільним зволоженням та підвищенням цін на мінеральні добрива актуальним завданням стає впровадження технологій точного та ресурсозберігаючого удобрення.

Кукурудза – одна з провідних зернових культур України, що має стратегічне значення для виробництва кормів, біоенергетики та харчової промисловості. За останні роки спостерігається тенденція до збереження значних посівних площ кукурудзи у всіх агрокліматичних зонах України. Проте середня врожайність у багатьох господарствах залишається нижчою від потенціалу сучасних гібридів. Однією з причин цього є нерівномірність забезпечення рослин елементами живлення та вологою в різних зонах поля, що зумовлено неоднорідністю ґрунтового покриву та рельєфу.

Сучасні технології внесення розчинених добрив разом із поливною водою (фертигація) дозволяють регулювати живлення рослин відповідно до фаз росту і розвитку, погодних умов та особливостей конкретних зон поля. Використання фертигації на підставі результатів агрохімічного аналізу, дистанційного зонування та систем точного землеробства відкриває можливість суттєвого підвищення ефективності добрив.

Дослідження продуктивності гібридної кукурудзи за використання фертигації у різних зонах поля дає змогу оцінити не лише реакцію культури на просторову мінливість умов вирощування, а й визначити оптимальні дози, форми та строки внесення добрив. Такий підхід забезпечує підвищення урожайності, якості зерна та економічної ефективності вирощування.

Таким чином, обрана тема є актуальною з наукового, виробничого й екологічного поглядів, оскільки спрямована на підвищення ефективності використання добрив, зменшення антропогенного навантаження на

агроекосистему та підвищення конкурентоспроможності виробництва кукурудзи в Україні.

**Мета роботи** – встановити вплив фертигації на продуктивність гібридної кукурудзи залежно від різних зон поля.

Для досягнення мети необхідно виконати такі **завдання**:

- Проаналізувати сучасні літературні дані щодо ефективності фертигації в технологіях вирощування кукурудзи.
- Провести обстеження різних зон дослідного поля та визначити ступінь його неоднорідності.
- Встановити вплив фертигації на ріст, розвиток та формування елементів структури врожаю гібридної кукурудзи.
- Оцінити біологічну та господарську продуктивність культури за різних рівнів удобрення і зон поля.
- Визначити економічну та енергетичну ефективність застосування фертигації у технології вирощування кукурудзи.

**Об'єкт дослідження** – процес формування продуктивності гібридної кукурудзи в умовах різних агроекологічних зон поля.

**Предмет дослідження** – врожайність, структура врожаю, показники росту та розвитку рослин у різних зонах поля.

**Практичне значення** одержаних результатів полягає у можливості застосування фертигації за вирощування гібридів кукурудзи в умовах неоднорідних частин поля.

## РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1. Значення кукурудзи та особливості її вирощування в Україні

Кукурудза (*Zea mays* L.) – одна з найважливіших зернових культур світового землеробства. Вона має надзвичайно широкий спектр використання та відіграє ключову роль у формуванні продовольчої, кормової й енергетичної безпеки багатьох країн. За обсягами виробництва кукурудза посідає перше місце серед зернових культур у світі, поступаючись лише пшениці за площею посіву [1].

В Україні кукурудза є стратегічно важливою культурою аграрного сектору. За даними Мінагрополітики, площі її посівів упродовж останніх двох десятиліть стабільно зростають, а середня врожайність у сприятливі роки перевищує 7-8 т/га [2]. Така тенденція пояснюється високою адаптивністю сучасних гібридів до різних кліматичних умов, потенціалом зернової продуктивності та можливістю використання сучасних інтенсивних технологій.

Основна частка зерна кукурудзи в Україні використовується у тваринництві як концентрований корм, що забезпечує високу енергетичну цінність раціонів для великої рогатої худоби, свиней і птиці. Значні обсяги зерна йдуть на виробництво крохмалю, глюкозно-фруктозних сиропів, харчових концентратів, олії та біоетанолу [3].

Україна є одним із провідних світових експортерів кукурудзи. Частка цієї культури в загальному експорті зерна у 2023 р. перевищила 50% [4]. Кукурудза формує вагомий внесок у валютні надходження держави, а також у розвиток суміжних галузей – переробки, логістики, машинобудування.

*Природно-кліматичні умови вирощування.* Оптимальними для вирощування кукурудзи в Україні є умови Лісостепу та Степу, де поєднуються достатня кількість тепла, світла і родючі ґрунти. Для Полісся ця культура тривалий час мала обмежене поширення, однак у зв'язку з глобальним потеплінням і появою ранньостиглих гібридів ареал її вирощування розширюється [5].

Кукурудза належить до теплолюбних культур і потребує сумарної температури 2400-2800°C для повного розвитку. Високі врожаї формуються за умов рівномірного зволоження протягом вегетації. Оптимальна кількість опадів – 450-600 мм на рік, причому критичним є період викидання волоті та запилення [6].

*Біологічні та агротехнічні особливості.* Рослина має добре розвинену мичкувату кореневу систему, яка може проникати на глибину понад 1,5 м, що забезпечує відносну посухостійкість за умови сприятливої структури ґрунту. Кукурудза характеризується високою чутливістю до забезпеченості елементами живлення, особливо азотом, фосфором і калієм, що безпосередньо впливає на врожайність і якість зерна [7].

Важливими агротехнічними прийомами є правильний добір гібридів за ФАО-групами, своєчасна сівба, раціональне удобрення, контроль бур'янів і шкідників, а також збереження вологи в ґрунті. Застосування елементів точного землеробства та зрошення дає змогу підвищити ефективність використання ресурсів і стабільність урожайності.

Незважаючи на значний потенціал культури, в Україні зберігаються проблеми, пов'язані з просторовою неоднорідністю ґрунтів, нестачею зрошення, дефіцитом фосфору й калію, деградацією гумусного шару, а також впливом посушливих періодів у південних регіонах [8]. Додатковими викликами є здорожчання мінеральних добрив, коливання світових цін і наслідки воєнних дій, що ускладнюють експортну логістику зерна.

Таким чином, кукурудза є однією з ключових культур українського землеробства, яка визначає рівень продовольчої та економічної безпеки держави. Її потенціал значною мірою залежить від удосконалення систем удобрення, зрошення та впровадження інноваційних технологій, зокрема фертигації, що забезпечує оптимальне живлення рослин упродовж вегетації. Це створює передумови для підвищення продуктивності та стійкості гібридів у різних ґрунтово-кліматичних умовах.

## 1.2. Вплив мінерального живлення на продуктивність кукурудзи

Мінеральне живлення є одним із найвагоміших чинників, що визначають рівень продуктивності кукурудзи. Забезпечення рослин оптимальною кількістю елементів живлення на всіх етапах органогенезу сприяє формуванню потужної кореневої системи, інтенсивному росту надземної маси, збільшенню асиміляційної поверхні листків та ефективнішому використанню вологи.

Наукові дослідження свідчать, що кукурудза характеризується високою потребою в елементах мінерального живлення, особливо в азоті, фосфорі, калії та цинку [9, 10]. Винос елементів живлення з урожаєм зерна становить у середньому 25-30 кг N, 10-12 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> та 25–30 кг K<sub>2</sub>O на 1 т зерна [11]. Тому системи удобрення мають бути збалансованими і базуватись на результатах агрохімічного обстеження ґрунтів.

Азот є основним елементом, який найбільшою мірою впливає на ріст і врожайність кукурудзи. Він бере участь у синтезі білків, хлорофілу, ферментів і нуклеїнових кислот. Дефіцит азоту в ранні фази росту обумовлює затримку росту і розвитку, зниження інтенсивності фотосинтезу, зменшення кількості зерен у качані.

Дослідження українських і зарубіжних учених доводять, що оптимальна доза азотних добрив становить у межах 120-180 кг N/га залежно від родючості ґрунту й погодних умов [12]. Перевищення цієї норми може спричинити надмірне накопичення нітратів, затримку досягання і зниження стійкості до вилягання.

Ефективність азоту істотно зростає за поєднання з фосфорно-калійними добривами, що забезпечують оптимальне живлення рослин. Найкращі результати забезпечує поетапне внесення азоту: частину – під основний обробіток ґрунту, решту – у підживлення на етапах 5-7 листків та перед викиданням волоті [13].

Фосфор відіграє ключову роль у формуванні кореневої системи, енергетичних процесах (АТФ), синтезі нуклеїнових кислот і білків. Його

нестача особливо шкідлива на початкових етапах росту, коли формуються зачатки репродуктивних органів [14].

Дослідження показують, що за внесення 80-100 кг  $P_2O_5$ /га спостерігається підвищення врожайності зерна на 0,8-1,5 т/га порівняно з контролем без добрив [15]. На дерново-підзолистих ґрунтах ефективність фосфорних добрив зростає за їх локального (рядкового) внесення разом із насінням, оскільки молоді рослини мають слабку здатність засвоювати фосфор з нижніх шарів.

Важливою є форма фосфорних сполук. На карбонатних чорноземах рекомендують застосовувати водорозчинні форми, тоді як на кислих ґрунтах доцільно використовувати подвійний суперфосфат у поєднанні з вапнуванням [16].

Калій регулює водний режим рослин, процеси транспірації, фотосинтезу та стійкість до стресових умов. За його достатнього забезпечення покращується налив зерна, підвищується вміст крохмалю та маса 1000 зерен [17]. Дослідження доводять, що внесення калійних добрив у дозі 60-90 кг  $K_2O$ /га збільшує урожайність на 8-15% порівняно з контролем.

Мікроелементи (цинк, бор, мідь, марганець, молібден) мають специфічну роль у ферментативних і фізіолого-біохімічних процесах. Серед них найбільш дефіцитним для кукурудзи є цинк, що впливає на синтез ауксинів і стійкість до посухи. Позакореневе підживлення 0,3-0,5% розчинами сульфату цинку у фазі 5-8 листків може підвищити урожайність зерна на 0,5-0,8 т/га [18].

Надлишок або дефіцит одного елемента часто впливає на засвоєння інших. Так, надмір азоту може пригнічувати споживання калію, а нестача фосфору – обмежувати використання азоту. Оптимальне співвідношення N:P:K для кукурудзи за більшості умов становить приблизно 1:0,4:1 [19].

Раціональна система удобрення повинна враховувати: тип ґрунту та забезпеченість елементами живлення; попередник у сівозміні; запланований рівень урожайності; погодні умови поточного сезону.

Застосування добрив без урахування цих факторів може обумовити нераціональні витрати і зниження коефіцієнта використання поживних речовин.

Останніми роками все більшої популярності набувають *інтегровані системи живлення*, які поєднують використання мінеральних і органічних добрив, біопрепаратів та мікробіологічних інокулянтів. Такі системи сприяють поліпшенню структури ґрунту, активізації мікробіоти та підвищенню доступності поживних елементів [20].

Важливим напрямом є *фертигація* – внесення розчинених мінеральних добрив разом із поливною водою. Ця технологія забезпечує точне дозування поживних речовин, знижує втрати азоту через промивання і підвищує коефіцієнт використання елементів живлення до 80-90% [21]. Її ефективність для кукурудзи детально розглядається у наступному підпункті.

Мінеральне живлення є базовим чинником формування високої продуктивності кукурудзи. Збалансоване забезпечення рослин макро- та мікроелементами, врахування просторової неоднорідності ґрунтів, погодних умов і біологічних особливостей гібридів забезпечують не лише підвищення урожайності, а й стабільність продуктивності у стресових умовах. Подальше вдосконалення систем живлення має ґрунтуватися на принципах точного землеробства та застосуванні сучасних технологій фертигації.

### **1.3. Фертигація як елемент сучасних технологій вирощування**

Підвищення ефективності використання добрив і водних ресурсів є одним із головних завдань сучасного землеробства. Одним із напрямів вирішення цього завдання є *фертигація* – спосіб внесення мінеральних добрив разом із поливною водою через системи зрошення. Ця технологія поєднує процеси зрошення та живлення рослин, забезпечуючи рівномірне надходження поживних речовин у зону активного росту коренів упродовж усього періоду вегетації [22].

Фертигація є складовою систем точного землеробства, яке ґрунтується на раціональному використанні ресурсів і адаптації технологічних операцій до просторово-часової неоднорідності ґрунтового середовища [23].

Основна ідея фертигації полягає у подачі водорозчинних мінеральних добрив безпосередньо до кореневої зони в оптимальній концентрації. Це дозволяє регулювати живлення рослин у реальному часі відповідно до їхніх потреб на певному етапі розвитку.

До головних переваг фертигації належать [24, 25]:

- підвищення коефіцієнта використання елементів живлення (до 80–90% для азоту);
- зменшення втрат добрив через промивання та випаровування;
- можливість поетапного дозування поживних речовин упродовж вегетації;
- забезпечення рівномірності живлення в зоні коренів;
- покращення водного балансу рослин;
- скорочення витрат праці та пального порівняно з традиційним внесенням добрив.

Технологія фертигації особливо ефективна на культурах інтенсивного типу, таких як кукурудза, картопля, соя, овочі. У посушливих регіонах вона дозволяє отримувати стабільно високі врожаї навіть за обмежених водних ресурсів.

Залежно від типу зрошення, фертигація може здійснюватися через краплинні, спринклерні або дощувальні системи. Найбільш точне дозування забезпечує краплинне зрошення, при якому розчин добрив подається безпосередньо до кожної рослини через систему трубопроводів і емітерів [26].

Основні елементи системи фертигації:

- блок підготовки води (фільтри, резервуари, насоси);
- бак для приготування розчину добрив;
- інжектор або дозуючий насос;

- система контролю тиску, витрати та електропровідність розчину (ЕС-датчики).

Залежно від потреб культури, фертигацію проводять 1-3 рази на тиждень невеликими дозами, що дозволяє підтримувати стабільну концентрацію елементів живлення в кореневій зоні.

Для фертигації використовують водорозчинні мінеральні добрива: аміачну селітру, карбамід, кальцієву селітру, моноамонійфосфат, сульфат калію, хелатні форми мікроелементів. До розчину можуть додаватися біостимулятори, амінокислоти, гумати [27].

Склад поживного розчину підбирається залежно від фази розвитку рослин. У початкові етапи (2–5 листків) переважає фосфор для розвитку коренів. Період інтенсивного росту – азот і калій. У фазу наливу зерна – калій, кальцій, мікроелементи.

Контроль рН та електропровідності (ЕС) є обов'язковим. Для кукурудзи оптимальний рН живильного розчину становить 5,8-6,5, а ЕС – 1,5-2,2 мСм/см [28].

Численні дослідження підтверджують ефективність фертигації при вирощуванні кукурудзи. За даними експериментів в умовах Лісостепу України, застосування фертигації з нормою  $N_{120}P_{60}K_{60}$  забезпечувало приріст урожаю зерна на 1,8-2,3 т/га порівняно з традиційним поверхневим внесенням добрив [29].

У досліджах Інституту зрошуваного землеробства НААН (Херсонська обл.) встановлено, що при краплинному зрошенні із внесенням добрив за схемою  $N_{100}P_{40}K_{40}$  урожайність кукурудзи сягала 11,5 т/га, тоді як за звичайної системи удобрення – 8,9 т/га [30].

Іноземні дослідження свідчать про аналогічні результати. Наприклад, у роботах Lórez et al. [31] зазначено, що фертигація підвищує ефективність використання азоту (NUE) на 20–30 % та сприяє кращому розподілу біомаси у рослинах.

Попри численні переваги, фертигація має певні технічні та агрохімічні обмеження:

- ризик засолення верхнього шару ґрунту при надмірному внесенні концентрованих розчинів;
- можливість засмічення емітерів через недостатнє очищення води;
- необхідність постійного моніторингу рН і ЕС розчину;
- вища вартість встановлення системи порівняно з традиційним зрошенням [32].

Проте за правильного управління і регулярного контролю якості води ці недоліки мають технічне вирішення.

Фертигація є одним із базових елементів інтенсивного і точного землеробства. Вона дає змогу адаптувати систему живлення до конкретних ділянок поля з урахуванням просторової неоднорідності ґрунтів, погодних умов і фаз розвитку рослин.

Поєднання фертигації з технологіями GIS-моніторингу, дистанційного зондування та моделювання потреби у добривах створює основу для розроблення диференційованих систем живлення. Такі підходи забезпечують економію добрив на 20-30% при одночасному зростанні врожайності на 10-20% [33].

Отже, фертигація є перспективним напрямом удосконалення технологій вирощування кукурудзи, особливо в умовах змін клімату та нестачі вологи. Її застосування сприяє підвищенню ефективності мінерального живлення, екологічній стабільності виробництва та збереженню родючості ґрунтів.

Фертигація поєднує функції зрошення й удобрення, що забезпечує рослини поживними речовинами в доступній формі, синхронно з фазами росту. Вона підвищує ефективність використання елементів живлення, води та енергії, зменшує негативний вплив на довкілля і є ключовою технологією сталого землеробства. Для кукурудзи, як культури з високими вимогами до вологи та поживних речовин, фертигація відкриває можливості реалізації генетичного потенціалу продуктивності в умовах просторової неоднорідності ґрунтів.

#### 1.4. Просторова неоднорідність ґрунтів і зонування полів

Однією з ключових проблем сучасного землеробства є просторова неоднорідність ґрунтового покриву, яка істотно впливає на ефективність використання добрив, води та інших ресурсів. Ґрунт як природне тіло формується під впливом комплексу факторів – клімату, рельєфу, материнських порід, рослинності, гідрологічних умов і господарської діяльності людини. У результаті його властивості змінюються не лише в профілі, а й у просторі, що зумовлює варіабельність родючості навіть у межах одного поля [34].

Просторова неоднорідність ґрунтів характеризується змінами основних агрохімічних, фізичних і біологічних показників – вмісту гумусу, азоту, фосфору, калію, реакції середовища (рН), гранулометричного складу, вологості, щільності тощо. За даними досліджень, коефіцієнт варіації вмісту доступного фосфору в межах одного поля може коливатися від 25 до 60%, азоту – від 20 до 40% [35].

Різний рівень властивостей ґрунтів обумовлює нерівномірність росту і розвитку рослин, коливання урожайності, а також нераціональне використання добрив – в одній частині поля спостерігається дефіцит елементів живлення, тоді як в іншій – їх надлишок.

Таким чином, урахування просторової неоднорідності є базовою умовою підвищення ефективності систем удобрення і зрошення в сучасному землеробстві [36].

Дослідження просторової варіабельності ґрунтових властивостей здійснюється за допомогою комплексу методів – агрохімічного обстеження, дистанційного зондування, геостатистики, ГІС-аналізу та геоелектричної розвідки.

Агрохімічне обстеження – основний метод, який полягає у відборі зразків ґрунту за певною сіткою (наприклад, 2×2 або 4×4 га) і визначенні вмісту поживних елементів.

ГІС-технології (геоінформаційні системи) забезпечують обробку даних, створення карт родючості та інтеграцію інформації про рельєф, вологість і урожайність.

Геостатистичний аналіз (кригінг, варіограми) дозволяє оцінити ступінь просторової автокореляції показників і створити прогностні карти варіабельності [37].

Дистанційне зондування (ДЗЗ) – збирання інформації з безпілотників або супутників. За допомогою індексів (NDVI, SAVI, EVI) можна оцінити неоднорідність стану рослинного покриву, що опосередковано відображає різницю в ґрунтових умовах [38].

Застосування цих методів у комплексі створює основу для зонування полів та впровадження диференційованого удобрення і зрошення.

Зонування поля – це процес поділу території на ділянки з однорідними або подібними агрохімічними властивостями, що вимагають окремих режимів живлення, поливу чи обробітку.

За результатами агрохімічного аналізу створюються карти забезпеченості елементами живлення, на основі яких визначають норми добрив для кожної зони. Наприклад, на ділянках із низьким вмістом фосфору (менше 80 мг/кг ґрунту) норму фосфорних добрив збільшують на 20-30 %, тоді як на високозабезпечених (понад 150 мг/кг) – зменшують або виключають внесення [39].

Такий підхід дозволяє:

- зменшити загальні витрати добрив на 15-25%;
- підвищити ефективність використання азоту до 80%;
- знизити ризики забруднення підземних вод нітратами.

Система зонування також враховує мікрорельєф, водопроникність і потенційну ерозійну небезпеку. Для цього застосовують цифрові моделі рельєфу (ЦМР) та дані про вологість ґрунту, отримані за допомогою супутникових сенсорів [40].

У межах точного землеробства (Precision Agriculture) зонування полів є базовим елементом управління. На основі даних ГІС та ДЗЗ формується змінна карта-завдання (variable rate map), яка використовується для диференційованого внесення добрив, насіння або поливної води.

Наприклад, при використанні технологій Variable Rate Application (VRA) дози азоту на різних ділянках поля можуть відрізнятися на 30–50 кг/га залежно від фактичного рівня забезпеченості ґрунту. У дослідженнях, проведених у Київській області, застосування диференційованого удобрення за картами зонування забезпечило приріст урожаю кукурудзи на 0,9-1,4 т/га за одночасного зменшення витрат добрив на 18% [41].

Зонування також інтегрується з системами фертигації, що дозволяє вносити добрива дозовано відповідно до потреб окремих ділянок поля, підвищуючи точність і ефективність живлення [42].

Економічна ефективність зонування проявляється у скороченні витрат на добрива, паливо та воду. За даними низки вчених [43], упровадження системи зонування на площі 300 га дозволило зменшити витрати мінеральних добрив на 22% при підвищенні врожайності кукурудзи на 11%.

Екологічна ефективність полягає у зниженні антропогенного навантаження: менше виноситься нітратів у підґрунтові води, зменшується деградація ґрунту, підвищується стабільність агроландшафтів. Таким чином, зонування полів є одним із найважливіших інструментів сталого землеробства.

Просторова неоднорідність ґрунтів є об'єктивним природним явищем, що визначає відмінності у родючості, продуктивності та ефективності добрив. Вивчення й урахування цієї неоднорідності через зонування полів дозволяє оптимізувати системи удобрення, поливу та обробітку, підвищуючи рентабельність виробництва. Зонування полів, поєднане з технологіями точного землеробства, створює підґрунтя для ефективної реалізації інноваційних підходів, зокрема фертигації та диференційованого живлення кукурудзи.

## 1.5. Продуктивність гібридної кукурудзи за використання фертигації

Кукурудза є однією з найпродуктивніших зернових культур світового землеробства, однак реалізація її потенціалу значною мірою залежить від рівня забезпечення вологою та поживними речовинами. В умовах змін клімату та дефіциту опадів традиційні системи удобрення поступово втрачають ефективність, що зумовлює необхідність переходу до інтенсивних технологій живлення, зокрема фертигації.

Фертигація створює умови для рівномірного постачання елементів живлення впродовж вегетації, сприяючи формуванню потужної фотосинтетичної поверхні, оптимальному розвитку генеративних органів і підвищенню продуктивності гібридів кукурудзи [44].

Гібриди кукурудзи відзначаються високою інтенсивністю ростових процесів, що супроводжується значним споживанням поживних речовин. Їхні потреби у макро- і мікроелементах є більш стабільними, ніж у сортів, однак чутливість до дефіциту вологи та азоту залишається високою [45].

Для формування врожаю зерна 10 т/га рослини споживають у середньому 250-280 кг N, 100-110 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> і 250-300 кг K<sub>2</sub>O/га. Тому системи живлення гібридів мають бути максимально збалансованими і відповідати фазовим потребам розвитку: інтенсивне живлення азотом у фазі 5-8 листків, фосфором – у період закладання качана, калієм – під час наливу зерна [46].

Застосування фертигації дає змогу забезпечити поетапне надходження елементів живлення, що особливо важливо для гібридів інтенсивного типу з високою пластичністю до умов вирощування.

За даними експериментів Інституту зрошуваного землеробства НААН, застосування фертигації у нормі N<sub>120</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> забезпечувало збільшення площі листової поверхні кукурудзи гібридів DKC 5075 і MAS 24.M на 18-22% порівняно з контролем (традиційне внесення добрив), а показник чистої продуктивності фотосинтезу зростав на 0,9-1,1 г/м<sup>2</sup> за добу [47].

Фертигація також сприяє формуванню більш розвиненої кореневої системи: у фазі 10-12 листків маса сухих коренів зростає на 15-20% порівняно з

варіантами без зрошення [48]. Завдяки цьому підвищується засвоєння поживних речовин і поліпшується стійкість рослин до тимчасової посухи.

Важливою перевагою фертигації є можливість коригування живлення впродовж вегетації. Наприклад, у роки з надмірними опадами знижують концентрацію азоту, тоді як у посушливі періоди збільшують частку калію, що підвищує осмотичну стійкість рослин [49].

Результати багаторічних досліджень показують, що фертигація забезпечує істотне підвищення врожайності гібридів кукурудзи порівняно з традиційними системами удобрення.

У дослідях ДУ «Інститут сільського господарства Північного Сходу НААН» (Полтавська обл.) урожайність гібридів Monsanto DKC 5276 і Syngenta CX4030 за фертигації (N<sub>120</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>) сягала 11,2-11,8 т/га, що на 1,9-2,4 т/га перевищувало контроль [50].

В умовах Степу України (Херсонська обл.) гібриди KWS 381 і LG 30215 формували врожайність 10,5–11,0 т/га за краплинного зрошення з фертигацією, тоді як за поверхневого внесення добрив урожай не перевищував 8,7 т/га [51].

Міжнародні дослідження також підтверджують ці тенденції. За даними *Hernández et al.* [52], фертигація у нормі 180 кг N/га забезпечила підвищення врожайності зерна кукурудзи на 17-25 % порівняно з поверхневим внесенням азотних добрив у США та Іспанії.

Крім підвищення врожайності, фертигація позитивно впливає на показники якості зерна. Вміст «сирого» білка у зерні гібридів кукурудзи за фертигації збільшується на 0,8-1,2 %, крохмалю – на 0,5-0,9 %, а показник маси 1000 зерен – на 25-30 г [53].

Поліпшується і однорідність качанів: за рахунок рівномірного живлення формується більша кількість повноцінних зерен, що сприяє підвищенню товарності врожаю.

Економічна ефективність фертигації, за підрахунками Мельника і співавт. [54], становить 5,2-6,0 тис. грн чистого прибутку/га, а рівень рентабельності –

165-180%. Попри вищі початкові інвестиції у систему зрошення, окупність технології досягається вже на 2-3-й рік експлуатації.

Реакція гібридів на фертигацію залежить від їхнього генетичного потенціалу, тривалості періоду вегетації та типу використання (зернові, силосні, біоенергетичні).

Гібриди з коротким періодом вегетації (ФАО 180-220) швидше реагують на збалансоване живлення у ранні фази, тоді як середньостиглі (ФАО 300-350) краще використовують поетапне живлення протягом сезону [55].

Встановлено, що за умов фертигації гібриди інтенсивного типу (високорослі, з потужним фотосинтетичним апаратом) демонструють приріст урожаю до 25-30 %, тоді як менш пластичні – лише на 10-15 %. Це свідчить про необхідність підбору гібридів, адаптованих до зрошуваних умов та оптимального мінерального живлення.

Фертигація сприяє не лише підвищенню урожайності, а й екологічній стабільності агроecosystem. Завдяки точному дозуванню добрив зменшуються втрати нітратів і фосфатів, що запобігає забрудненню водних об'єктів. Крім того, рівномірне зволоження ґрунту знижує ризик деградації структури та ущільнення орного шару [56].

У дослідженнях ФАО (2023) зазначається, що впровадження фертигаційних технологій у посушливих регіонах дозволяє скоротити використання води на 25-35%, добрив – на 20-25%, без втрат урожайності [57].

Таким чином, фертигація гібридної кукурудзи є не лише технологічно, а й екологічно обґрунтованим напрямом інтенсифікації землеробства.

Фертигація створює оптимальні умови для реалізації генетичного потенціалу сучасних гібридів кукурудзи. Вона забезпечує поетапне надходження елементів живлення, покращує фізіолого-біохімічні процеси, підвищує урожайність і якість зерна. Застосування фертигації дає змогу поєднати високу продуктивність з екологічною стабільністю агроecosystem, що відповідає концепції сталого розвитку сільського господарства України.

## Висновки до розділу 1

Проаналізовано літературні джерела щодо сучасних підходів до вирощування гібридної кукурудзи в умовах Лісостепу України та визначено основні чинники, що впливають на її продуктивність. Кукурудза є культурою із високою реакцією на родючість ґрунту, рівень мінерального живлення та водний режим, тому успішне її вирощування потребує комплексного поєднання агротехнічних і біологічних прийомів.

Встановлено, що рельєф та неоднорідність поля суттєво змінюють умови росту рослин, формування ґрунтової вологи, а також розподіл поживних елементів у орному шарі. Саме ці фактори визначають просторову варіацію врожайності, яка може сягати 10-15 % навіть за однакової технології вирощування.

Окрему роль у підвищенні ефективності живлення рослин відіграє застосування фертигації, яка забезпечує рівномірне надходження мінеральних елементів разом із поливною водою та дозволяє підтримувати оптимальний стан ґрунтового середовища протягом усього періоду вегетації. Впровадження фертигаційних систем у поєднанні з технологіями точного землеробства створює передумови для зонального управління ресурсами й зменшення технологічної неоднорідності в межах поля.

Огляд теоретичних і практичних напрацювань свідчить, що підвищення врожайності кукурудзи можливе лише за умов інтегрованого підходу до управління родючістю ґрунту, який враховує просторову неоднорідність поля, особливості рельєфу та застосування сучасних систем фертигації. Це й зумовило вибір теми дослідження та формування завдань магістерської роботи.

## РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Організаційно-виробничі умови проведення досліджень

Польові дослідження проводилися у 2025 р. на базі господарства ТОВ «Біотех ЛТД», яке розташоване в Бориспільському районі Київської (с. Городище). Відстань до районного центру м. Бориспіль становить близько 10 км, а до м. Києва – 40 км.

Економіко-географічне положення господарства є сприятливим, оскільки територія розміщена поблизу центральної автомобільної траси «Київ–Черкаси», що забезпечує зручний під'їзд, ефективну логістику, ввезення матеріальних ресурсів і вивезення готової продукції.

Господарство спеціалізується на вирощуванні картоплі, зернових, зернобобових та технічних культур. Виробнича структура передбачає шестипільну сівозміну, де значну площу займає гібридна кукурудза.

Загальна площа сільськогосподарських угідь – 967,3 га, з яких рілля становить 100 %. Детальна структура посівних площ господарства подана в табл. 2.1.:

Таблиця 2.1

**Структура посівних площ в ТОВ «Біотех ЛТД», 2025 р.**

Культура		Площа, га	Частка, %
<i>Зернові та зернобобові</i>	Пшениця озима	180,0	18,6
	Кукурудза	129,3	13,4
	Всього:	309,3	32,0
<i>Технічні</i>	Соя	150,0	15,4
	Ріпак озимий	135,0	14,0
	Соняшник	180,0	18,6
	Всього:	465,0	48,0
<i>Бульбоплоди</i>	Картопля	193,0	20,0
	Всього:	193,0	20,0
<b>Загально:</b>		<b>967,3</b>	<b>100</b>

## 2.2. Погодно-кліматичні умови території проведення досліджень

Бориспільський район розташований на лівобережжі Дніпра в межах Київської області, у південно-східному секторі столичного регіону. Територія належить до Дніпровської терасової рівнини з переважанням слабохвилястого мезорельєфу, сформованого лесовими відкладами та алювіальними терасами. Район гідрографічно пов'язаний із басейном Дніпра, який визначає регіональні умови водозабезпечення та землекористування [58].

Клімат місцевості — помірно континентальний з м'якою зимою й теплим літом. Для Київської області загалом характерні середні температури січня близько  $-6^{\circ}\text{C}$ , липня близько  $+19,5^{\circ}\text{C}$ . Річна кількість опадів становить 500-600 мм, основна маса яких припадає на теплу пору року. За сучасними багаторічними узагальненнями для Києва (репрезентативного для району) середня температура січня у 1991-2020 рр. становила  $-3,2^{\circ}\text{C}$ , липня  $+21,3^{\circ}\text{C}$ , а середньорічна кількість опадів — близько 618 мм [59].

Грунтовий покрив району типовий для Лісостепового лівобережжя: поширені темно-сірі та сірі лісові опідзолені ґрунти на лесах, а також різновиди типових чорноземів, переважно малогумусні й лучно-чорноземні ґрунти в пониженнях рельєфу. Для області в цілому фіксується висока розораність, понад 80%, що посилює чутливість агроландшафтів до коливань зволоження та диктує необхідність ресурсозберігаючих систем живлення [60-61].

Територіальна близькість до Києва зумовлює значне антропогенне навантаження (транспорт, логістика, аеропорт), однак агровиробництво й надалі домінує у структурі землекористування. В цьому контексті адаптаційні підходи «кліматично розумного» землеробства (зокрема оптимізація водокористування та живлення) набувають практичного значення з огляду на тенденції до перерозподілу опадів і тепла у регіоні протягом останніх десятиліть [62-63].

В табл. 2.2. наведені погодні умови в період проведення польових досліджень за вирощування гібридної кукурудзи.

**Погодні умови на території господарства в період проведення досліджень  
(квітень-вересень 2025 року)**

Місяць	Середня температура, °С	К-сть опадів, мм	Відхилення від норми, мм	Кількість днів із $t > 25^{\circ}\text{C}$
Квітень	+9,8	34	-8	4
Травень	+16,2	47	-12	8
Червень	+20,5	62	5	14
Липень	+22,8	75	13	17
Серпень	+21,1	68	7	15
Вересень	+16,3	41	-4	6

За даними метеорологічних спостережень у господарстві ТОВ «Біотех ЛТД» у 2025 р. середня температура повітря впродовж вегетаційного періоду (квітень–вересень) становила  $+17,8^{\circ}\text{C}$ , що на  $0,9^{\circ}\text{C}$  вище багаторічної норми. Найвищі температури відмічались у липні ( $+22,8^{\circ}\text{C}$ ) та серпні ( $+21,1^{\circ}\text{C}$ ), коли також зафіксовано найбільшу кількість днів із температурою вище  $+25^{\circ}\text{C}$  – 17 та 15 відповідно. Такі умови сприяли активному росту рослин у період формування генеративних органів і наливу зерна.

Кількість опадів за вегетаційний період становила 327 мм, що на 1,5% нижче середньої багаторічної норми. Дефіцит вологи спостерігався у травні (-12 мм) і квітні (-8 мм), тоді як у червні-серпні кількість опадів перевищувала норму на 5-13 мм. Нерівномірність розподілу опадів обумовлювала тимчасове пересихання верхнього шару ґрунту на початку росту і розвитку культури, що потенційно могло вплинути на енергію проростання насіння та стартовий ріст кореневої системи.

### 2.3. Ґрунтові умови території проведення досліджень

У межах району мікрорельєф (плато, схили, зниження) формує просторову неоднорідність гідротермічного режиму та забезпеченості поживними елементами, що безпосередньо відбивається на стартовому рості та продуктивності кукурудзи. Для таких умов доцільним є зонування полів і використання технологій диференційованого удобрення та керованого водопостачання, зокрема фертигації, що узгоджується з природними властивостями ґрунтів Лісостепового лівобережжя.

Бориспільський район характеризується сприятливим для кукурудзи тепловим режимом та нестабільним режимом опадів. Він відрізняється високою розораністю та локальною варіабельністю вологи й родючості за мезорельєфом. Це обумовлює потребу в точних, ресурсоефективних системах живлення та водокористування для стабілізації врожайності в роки із контрастними погодними умовами.

Ґрунт дослідної ділянки – *темно-сірий опідзолений грубопилуватий легкосуглинковий на лесі* із рН 5,6 та вмістом гумусу 2,1%, рухомого фосфору 138 мг/кг, обмінного калію 110 мг/кг та мінерального азоту 14 мг/кг. Отже він характеризувався низьким вмістом гумусу, слабко-кислою реакцією ґрунтового середовища, високим ступенем забезпечення рухомими сполуками фосфору та обмінного калію, низьким вмістом мінерального азоту. За результатами зонального обстеження (табл. 2.3), у основі схилу та на рівнині спостерігається підвищення вмісту поживних речовин порівняно з вершиною схилу, що пов'язано з процесами акумуляції ґрунтового матеріалу.

### Агрохімічна характеристика ґрунту дослідної ділянки (шар 0–20 см)

Показник	Одиниця виміру	Значення	Характеристика забезпеченості*
Вміст гумусу (за Тюрнімом)	%	2,1	низький
pH сольової витяжки (KCl)	од. pH	5,6	слабокисла реакція
Гідролітична кислотність (Нг)	мг-екв/100 г ґрунту	2,5	середня
Сума ввібраних основ (S)	мг-екв/100 г ґрунту	20,3	середня
Ступінь насичення основами (V)	%	89	високий
ВМІСТ: Рухомого фосфору (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	мг/кг	138	високий
Обмінного калію (K <sub>2</sub> O)	мг/кг	110	високий
Мінерального азоту	мг/кг	14	низький
Щільність складення	г/см <sup>3</sup>	1,27	помірна
Вологоємність (НВ)	%	24,6	–

\*Відповідно до шкал агрохімічної оцінки родючості ґрунтів України (за Бабичем, 2010).

Рельєф місцевості – мезорівнинний, з помірними коливаннями висот, що зумовлює неоднорідність ґрунтового покриву та водного режиму, а отже – ймовірну просторову варіабельність продуктивності посівів. Саме цю особливість було обрано для проведення досліджень з оцінки ефективності фертигації у різних зонах поля: *плато, рівнина та низовина*.

## Агрохімічні показники ґрунту в різних зонах поля, 2025 р.

Зона поля	Глибина, см	Вміст				
		гумусу, %	мінерального азоту, мг/кг	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг	pH (сол. витяжки)
вершина схилу	0–20	1,9	10,0	120	98	5,4
схил	0–20	2,1	13,0	130	106	5,6
основа схилу	0–20	2,3	16,0	142	113	5,7
рівнина	0–20	2,2	15,0	138	110	5,6

Результати агрохімічних аналізів свідчать, проте що ґрунт дослідної ділянки є малогумусним, слабокислим із достатнім забезпеченням рухомими формами фосфору та калію незалежно від зони. Найнижчий вміст гумусу (1,9 %) і азоту (10 мг/кг) відмічено на вершині схилу, де через ерозійні процеси та зменшення потужності орного шару формується менш родючий ґрунтовий профіль. У нижніх елементах рельєфу, навпаки, спостерігається акумуляція дрібнодисперсних часток і продуктів гуміфікації, що забезпечує підвищений вміст елементів живлення.

Розподіл елементів родючості за зонами поля формує передумови для диференційованого підходу до живлення культур. В умовах досліду, під час реалізації системи фертигації, такі особливості рельєфу та агрохімічного складу ґрунту враховувалися для оптимізації доз добрив і вибору режиму подачі розчину. Це дозволяє ефективніше використовувати добрива, підтримувати стабільний рівень живлення кукурудзи та зменшувати ризики локального дефіциту елементів у верхніх частинах поля.

## 2.4. Методика проведення досліджень

Метою досліджень було вивчення впливу різних зон поля на морфологічні показники, біомасу та продуктивність гібридної кукурудзи за умов застосування системи фертигації для оптимізації мінерального живлення.

Дослідна ділянка представлена трьома зонами поля, що відрізняються за топографічним положенням:

- плато – підвищена частина з меншим запасом вологи;
- рівнина – зона з відносно стабільними гідротермічними умовами;
- низовина – понижена ділянка з підвищеною вологістю і щільністю ґрунту.

У кожній зоні було закладено по три облікові ділянки площею 50 м<sup>2</sup>. В усіх варіантах застосовували однакову технологію вирощування культури. Фертигація здійснювалась рівномірно по всій площі поля через систему дощування.

Для ілюстрації проведення польових робіт у досліді наведено фрагменти технологічного процесу вирощування гібридної кукурудзи в умовах господарства ТОВ «Біотех ЛТД».

На рис. 3.1 подано процес фертигації посівів кукурудзи, що проводився через систему дощування. Даний захід забезпечував рівномірне зволоження орного шару та надходження поживних елементів у кореневу зону рослин. Завдяки використанню фертигації досягалося підвищення ефективності засвоєння мінеральних добрив і стабілізація водного режиму в період активного росту культури.



**Рис. 3.1.** Фертигація рослин гібридної кукурудзи, 2025 р.

На рис. 3.2 зображено видалення волоті на материнських рослинах у процесі гібридизації. Дана операція є обов'язковим етапом при вирощуванні насінневої кукурудзи й забезпечує запобігання небажаному самозапиленню. Видалення волоті проводилось вручну та механізованим способом у фазу початку викидання суцвіття (ВВСН 61–63), що сприяло збереженню чистоти гібридного матеріалу та формуванню насіння з високими сортовими якостями.



**Рис.3.2.** Видалення волоті на материнських рослинах, 2025 р.

Для досліджень використовували батьківські форми кукурудзи селекції Monsanto (ФАО 260). Висів здійснювали з густотою 90-110 тис.насінин/га за схемою 2:6. Догляд за посівами включав стандартні агротехнічні операції: міжрядні культивації, захист від бур'янів і шкідників, полив, удобрення, видалення нетипових рослин, видалення волоті на материнських рослинах і т.д.

Технологічна схема вирощування кукурудзи на дослідній ділянці передбачала комплекс заходів, спрямованих на створення оптимальних умов живлення та захисту рослин. При посіві як стартове добриво застосовували мінеральну суміш NPK (6:26:26) у нормі 100 кг/га, що забезпечувало формування початкового запасу фосфору та калію у прикореневій зоні.

Упродовж вегетаційного періоду здійснювали два підживлення мікроелементами препаратами власного виробництва – «Біокорн 15» та «Біокорн 30» із нормою витрати 2 л/га кожного. Застосування цих препаратів сприяло активізації обмінних процесів і підвищенню стійкості рослин до стресових факторів.

Одним із ключових елементів технології була фертигація – подача поживних речовин разом із поливною водою. Для цього використовували робочий розчин аміачної селітри (90 кг/га), який вносили з об'ємом поливної води 100–150 м<sup>3</sup>/га. Окрім фертигаційних поливів, проводили дощування чистою водою з тією ж нормою витрати для підтримання оптимального рівня вологості ґрунту.

Система захисту рослин включала комплексну обробку гербіцидами, інсектицидами та фунгіцидами. Вносили ґрунтовий гербіцид «Примекстра Голд» у дозі 4 л/га, який забезпечував контроль однорічних злакових та дводольних бур'янів. У подальшому посіви обробляли страховим гербіцидом «Лаудіс» (0,5 кг/га) для знищення пізніше проростаючих бур'янів.

Для захисту від шкідників використовували інсектициди «Белт» (0,15 л/га) та «Ламдекс» (0,15 л/га), що забезпечувало зниження чисельності стеблового метелика та попелиць. Проти комплексу грибкових хвороб

застосовували фунгіцид «Амістар Екстра» у дозі 0,5 л/га, який сприяв збереженню асиміляційної поверхні та підвищенню стійкості посівів до стресів.

Таким чином, технологія вирощування кукурудзи на дослідній ділянці ґрунтувалася на поєднанні сучасних елементів живлення, фертигаційної системи та інтегрованого захисту рослин, що забезпечило високий рівень продуктивності культури.

Біометричні виміри проводили у фазі розвитку культури 11-12 ВВСН (1-2 листки), 20-22 ВВСН (5-6 листків) та 30 ВВСН (перед викиданням волоті).

Визначали такі показники:

- висоту рослин (см);
- густоту стояння (тис. шт./га);
- масу надземної частини та кореневої системи (г/рослину);
- площу листкової поверхні (м<sup>2</sup>/га);
- масу сухих рослин;

У фазу 89-97 ВВСН (повна стиглість) визначали:

- біологічну та фактичну врожайність (т/га);
- масу 1000 зерен (г).

Агрохімічні аналізи проводили за загальноприйнятими методиками (ЦИНАО, 2008). Біометричні вимірювання виконували на 20 типових рослинах кожної ділянки. Статистичну обробку даних здійснювали методом варіаційного аналізу з визначенням середніх значень, стандартного відхилення та коефіцієнтів варіації.

Отримані дані використано для встановлення впливу різних зон поля на показники росту, формування біомаси та врожайність кукурудзи.

Економічну ефективність розраховували за методикою Мінагрополітики України (Наказ № 132, 2017 р.) із визначенням собівартості, чистого прибутку та рівня рентабельності.

## РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1. Морфологічні показники кукурудзи в різних зонах поля за використання фертигації

Дослідження динаміки росту та розвитку рослин кукурудзи проводили для встановлення впливу різних зон поля на формування морфологічних показників культури. Різні зони поля – плато, рівнина та низовина – відрізняються за умовами зволоження, аерації ґрунту й рівнем забезпеченості елементами живлення, що зумовлює просторову варіабельність інтенсивності ростових процесів. Аналіз морфометричних показників на ранніх етапах вегетації дозволяє визначити потенційні відміни у формуванні біомаси, площі листової поверхні та подальшій продуктивності рослин.

Морфологічні спостереження проводили у три фази росту і розвитку культури – 11-12 ВВСН (1-2 листки), 20-22 ВВСН (5-6 листків) та 30-31 ВВСН (початок формування міжвузль). В кожній зоні визначали висоту рослин, густоту стояння, масу цілої рослини, надземної частини та кореневої системи, а також площу листової поверхні як інтегральний показник фотосинтетичного потенціалу. Отримані результати дали змогу встановити вплив просторової неоднорідності ґрунтових умов на інтенсивність росту гібридної кукурудзи та закласти основу для подальшої оцінки врожайності за різних рівнів фертигації (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

#### Морфологічні показники рослин кукурудзи в різних зонах поля, 2025 р.

Зона поля	Показник					
	висота рослин, см	густина рослин, тис.шт/га	Маса, г			Площа листової поверхні, м <sup>2</sup> /га
			рослини	надземної частини	кореневої системи	
<b>Фаза росту і розвитку (11-12 ВВСН)</b>						
Плато	4,0	90,0	1,20	0,20	1,00	878

Рівнина	4,5	100	1,00	0,10	0,90	907
Низовина	3,0	110	0,80	0,04	0,76	866
<b>Фаза росту і розвитку (20-22 ВВСН)</b>						
Плато	64,0	90,0	200	162	38,0	3726
Рівнина	62,0	100	195	158	37,0	3780
Низовина	55,0	110	126	101	25,0	2772
<b>Фаза росту і розвитку (30-31 ВВСН)</b>						
Плато	98,0	90,0	400	335	65,0	5175
Рівнина	106	100	423	350	73,0	5400
Низовина	95,0	110	386	328	58,0	4455

У стадії росту і розвитку рослин 11–12 ВВСН найвищі показники висоти (4,5 см) і густоти стояння (100 тис. шт./га) були характерні для зони з рівниною, де умови вологозабезпечення були найбільш стабільними. У зоні плато рослини розвивалися на 11,1% повільніше порівняно з тими, що знаходились в рівнинній зоні, через менший запас вологи в орному шарі, а у низовині — на 33,3% через тимчасове перезволоження й ущільнення ґрунту.

У фазі 20–22 ВВСН різниця між зонами зберігалася. Найбільша маса надземної частини (162 г) та площа листкової поверхні (3726 м<sup>2</sup>/га) була характерною для рослин, що росли на плато. Це свідчить про добрий розвиток фотосинтетичного апарату. У низовині спостерігалось зниження показників унаслідок меншої аерації ґрунту та затримки мінералізації азоту. Найбільша площа листкової поверхні була характерна для зони з рівниною (3780 м<sup>2</sup>/га), що на 1,5% більше від зони плато та на – 26,7% за зону з низовиною.

Загалом, отримані дані свідчать про виражену просторову неоднорідність росту і розвитку рослин кукурудзи залежно від рельєфу. Вплив мікрональних особливостей на морфологічні параметри необхідно враховувати при плануванні фертигаційного режиму, доз живлення та густоти стояння гібридів.

### **3.2. Накопичення сухої маси рослин кукурудзи у різних зонах поля**

Накопичення сухої маси рослин кукурудзи є одним із головних показників, що характеризують інтенсивність ростових процесів і продуктивність фотосинтетичної діяльності рослин упродовж вегетації. Формування сухої речовини тісно пов'язане з умовами зволоження, забезпеченістю елементами живлення та температурним режимом ґрунту і повітря. Тому розподіл сухої маси за зонами поля є важливим індикатором впливу мікрорельєфу на активність росту і розвитку кукурудзи.

Дослідження показали, що у фазу 30 ВВСН (початок витягування стебла) інтенсивність нагромадження сухої маси суттєво різнилася залежно від типу зони поля. На рівнині, де умови зволоження були найбільш стабільними, рослини формували найбільшу масу надземних органів (423 г/роsl.). На плато, де відзначено менший запас вологи, спостерігалось незначне зниження (на 15%) цього показника. Найменше сухої маси утворювалось в низовинній зоні поля (на 27% менше порівняно з рівниною), що пояснюється ущільненням ґрунту та зниженням аерації кореневого шару через перезволоження (табл. 3.2)

**Динаміка накопичення сухої маси рослинами кукурудзи у фазу 30 ВВСН,  
2025 р.**

Зона поля	Суха маса, г/роsl.		
	надземної частини	кореневої системи	однієї рослини
плато	40,0	6,00	46,0
рівнина	42,0	6,00	48,0
низовина	24,0	3,00	27,0

В зоні рівнини рослини кукурудзи сформували найбільшу суху масу — 48 г/рослину, що на 4,3 % більше, ніж на плато, та на 43,2 % більше, ніж у низовині. Такі відміни обумовлені неоднаковим водно-повітряним режимом і ступенем аерації ґрунту. У понижених місцях поля надлишок вологи обумовлював часткове пригнічення кореневої системи, зниження активності дихання та меншого накопичення органічних речовин.

У зоні плато, де фіксували дещо знижений рівень вологості ґрунту, процеси фотосинтезу залишались активними, однак обмеження надходження вологи могло зменшувати швидкість транспорту асимілянтів. Тому показники сухої маси залишалися нижчими, ніж у рівнинній частині поля. Так індекс NDVI у фазу росту і розвитку 30 ВВСН (початок витягування стебла) у зоні плато становив – 0,63, а у рівнинній зоні – 0,79 відповідно. У низовинній зоні цей показник мав значення – 0,70. Тому найбільш оптимальні умови росту спостерігались саме на рівнині, де поєднувались достатнє зволоження, добрий дренаж і збалансоване живлення.

Отже, результати підтверджують, що рельєф поля істотно впливає на інтенсивність ростових процесів кукурудзи. Формування сухої речовини є чутливим індикатором мікрозональної неоднорідності, а оптимальні показники спостерігаються у рівнинній частині ділянки.

### 3.3. Врожайність гібридної кукурудзи в різних зонах поля

Урожайність є інтегральним показником, який відображає сумарний вплив комплексу факторів середовища на ріст і розвиток рослин. Серед них важливе місце займають умови зволоження, забезпеченість поживними речовинами, фізичні властивості ґрунту та його рельєф. Просторова неоднорідність поля, зумовлена рельєфом, безпосередньо впливає на розподіл вологи й елементів живлення, що визначає різницю у формуванні врожаю навіть за однакової технології вирощування.

Збір урожаю здійснювали після настання повної стиглості зерна, визначаючи біологічну та фактичну врожайність. Біологічна врожайність характеризує потенційну продуктивність рослин у перерахунку на суху речовину, а фактична — масу зерна, отриману після збирання з урахуванням втрат.

Проведені дослідження показали істотну варіацію врожайності кукурудзи залежно від зони поля. На рівнині, де спостерігалися оптимальні умови водного режиму й живлення, одержано найвищий показник урожайності. На плато урожайність була дещо нижчою через обмежене вологозабезпечення, тоді як на низовині зниження врожаю пов'язане з перезволоженням і ущільненням ґрунту, що пригнічувало ріст і розвиток рослин (табл. 3.3)

Таблиця 3.3

#### Врожайність гібридної кукурудзи залежно від зони поля, 2025 р.

Зона поля	Біологічна врожайність, т/га	Приріст врожаю		Фактична врожайність, т/га	Приріст врожаю		Відхилення від середн., %
		т/га	%		т/га	%	
без зонування поля (контроль)	14,5	-	-	8,33	-	-	-
плато	14,3	-	-	8,23	-	-	-1,20
рівнина	16,3	1,8	12,4	8,45	0,12	1,44	1,40
низовина	13,8	-	-	7,92	-	-	-5,00

Встановлено, що показники врожайності тісно пов'язані з мікрорельєфом поля. Найвищу біологічну врожайність (16,3 т/га) отримано на рівнині, де умови вологозабезпечення та живлення були найбільш збалансованими. Тут відзначено найвищі морфологічні показники рослин (висота, площа листкової поверхні, маса надземної частини) та більшу ефективність використання поживних елементів.

У зоні плато врожайність дещо нижча (8,23 т/га), що пов'язано з меншим запасом ґрунтової вологи та зниженням мінералізації органічних сполук у верхніх горизонтах. В умовах недостатнього зволоження фотосинтетична активність зменшувалася, що зумовлювало менше накопичення сухої речовини.

Найнижча фактична врожайність (7,92 т/га) формувалася на низовині, де впродовж вегетації відмічалось надмірне зволоження та ущільнення орного шару. Можливо умови обумовлювали зменшення доступності кисню для кореневої системи та порушення азотного живлення, що негативно позначилося на формуванні качанів.

Загальна закономірність полягає у тому, що врожайність кукурудзи зростає зі стабілізацією вологозабезпечення та рівномірним розподілом поживних речовин у ґрунті. Залежність між рельєфом і врожайністю підтверджує важливість зонального підходу до управління живленням — диференційоване внесення добрив і коригування режиму фертигації здатні вирівняти продуктивність у межах поля.

### **3.4. Структура врожаю та якість зерна в різних зонах поля**

Структура врожаю кукурудзи є результатом взаємодії багатьох чинників — умов живлення, вологозабезпечення, температурного режиму, а також морфологічних особливостей гібриду. Кількість рядів у качані, кількість зерен у ряду та маса 1000 зерен визначають кінцеву продуктивність культури і є важливими показниками для оцінки впливу зони поля на формування врожаю.

Визначення елементів структури врожаю проводили на 20 типових качанах з кожної зони поля. Отримані результати засвідчують різний вплив зони поля на основні елементи структури врожаю (табл. 3.4)

Таблиця 3.4

**Елементи структури врожаю гібридної кукурудзи в різних зонах поля, 2025 р.**

Зона поля	Кількість			Маса 1000 зерен, г
	рядів у качані, шт.	зерен в ряду, шт.	зерен в качані, шт.	
Плато	14,6	31,8	464	312
Рівнина	15,2	33,6	511	327
Низовина	14,0	30,5	427	297

Найкращі показники спостерігались на рівнині, де формувалось у середньому 15,2 ряди зерен у качані, що на 4,1% більше, ніж на плато, та на 7,9% більше, ніж у низовині. Також у рівнинній частині поля формувалося найбільше зерен у ряду (33,6 шт.), що зумовило загальну кількість понад 500 зерен у качані.

Такі відміни зумовлені оптимальним поєднанням вологи, температури й доступних поживних речовин. У зоні плато спостерігалось незначне зниження кількості зерен у ряду через дефіцит вологи у критичні фази формування генеративних органів (ВВСН 61-65). На низовині, навпаки, через надлишок води та підвищену щільність ґрунту знижувалась запилюваність качанів і частина зерен залишалася недорозвиненою.

Маса 1000 зерен також варіювала залежно від положення ділянки: найбільше значення зафіксовано у зоні рівнини (297 г), що на 2,8% вище, ніж на плато, і на 5,7% більше, ніж у низовині. Це свідчить про кращі умови наливу зерна, стабільніше живлення та ефективніший фотосинтез.

Якість зерна визначали за вмістом основних компонентів — білка, жиру та крохмалю (табл. 3.5). Показники коливалися в межах, характерних для гібридів середньостиглої групи, проте виявлено певну тенденцію до підвищення вмісту білка у більш родючих і добре дренованих зонах поля.

**Біохімічні показники зерна кукурудзи залежно від зони поля, 2025 р.**

Зона поля	Вміст		
	білка, %	жиру, %	крохмалю, %
Плато	8,5	4,3	70,4
Рівнина	8,8	4,5	70,3
Низовина	8,2	4,1	70,6

Зміни окремих біохімічних показників зерна пов'язані з неоднорідністю умов, які впливали на формування зерна. На рівнині зафіксовано найбільший вміст білка (8,8%), що зумовлено кращим азотним живленням і рівномірною фертигацією протягом вегетації. У низовині вміст білка був найнижчим (8,2%), що пов'язано з частковим вимиванням азоту внаслідок перезволоження ґрунту. Вміст крохмалю залишався стабільним у межах 70-71 %, що свідчить про збереження енергетичного потенціалу зерна.

**Висновки до розділу 3**

Рельєф поля є одним із найважливіших природних чинників, що визначають просторову неоднорідність агроєкосистеми та формують умови росту й розвитку сільськогосподарських культур. Він безпосередньо впливає на перерозподіл вологи, поживних речовин, інтенсивність ерозійних процесів, тепловий режим ґрунту і, відповідно, на формування врожаю кукурудзи.

Отримані результати досліджень свідчать, що в межах одного поля спостерігається чітка диференціація ґрунтово-кліматичних умов за елементами рельєфу. Вміст гумусу, азоту, фосфору й калію поступово зростає від верхніх до нижчих частин схилу, тоді як кислотність зменшується. Така зональність впливає на початкові етапи росту кукурудзи: у верхніх частинах (плато) рослини мають нижчі морфометричні показники через недостатню вологість, у

понижених — відзначається стриманий ріст через надлишкове зволоження і слабку аерацію ґрунту.

У фазах інтенсивного росту (20-30 ВВСН) ці відмінності проявлялися у різних темпах накопичення сухої речовини. Найбільшу біомасу рослини формували на рівнинних ділянках – 48 г/рослину, тоді як у низовині цей показник був удвічі нижчим (27 г/рослину). Це підтверджує, що рівнинні ділянки характеризуються найоптимальнішим поєднанням вологозабезпечення, температурного режиму та доступності поживних елементів.

Різниця в умовах рельєфу позначилась і на показниках урожайності. Найвищу фактичну врожайність зерна (8,45 т/га) отримано в зоні рівнини, тоді як на плато – 8,23 т/га, а в низовині – 7,92 т/га. Хоча різниця здається незначною, проте при екстраполяції на всю площу поля вона може становити до 0,5-0,7 т/га зерна, що є істотним резервом підвищення продуктивності.

Аналіз структури врожаю також підтвердив закономірності впливу рельєфу: кількість рядів у качані, кількість зерен у ряду та маса 1000 зерен досягають найвищих значень на рівнинних ділянках. Це свідчить про повноцінне живлення та сприятливий водно-повітряний режим у ґрунті, який забезпечує стабільний налив зерна. У низовинах, де фіксується перезволоження, знижується якість запилення, кількість повноцінних зерен у качані та загальна врожайність.

Якісні показники зерна (вміст білка, жиру й крохмалю) виявили помірну варіабельність: найвищий вміст білка (8,8%) і жиру (4,5%) зафіксовано у рівнинній частині поля, де мікроелементи й азот перебувають у найбільш доступній формі для засвоєння. На плато ці показники були трохи нижчими через нестачу вологи, а в низовині — через зниження мікробіологічної активності ґрунту.

Таким чином, встановлено, що рельєф поля суттєво впливає на всі етапи формування врожайності гібридної кукурудзи – від розвитку вегетативних органів до накопичення сухої маси та формування зерна. Для підвищення продуктивності культури доцільно використовувати елементи прецизійного

землеробства, які дозволяють здійснювати зональне регулювання доз добрив, зрошення та фертигації відповідно до агрохімічного стану і топографічних умов.

Зональний підхід у вирощуванні кукурудзи дає змогу не лише підвищити врожайність на 5-10%, але й оптимізувати витрати ресурсів, забезпечуючи стабільність виробництва навіть у роки з контрастними погодними умовами.

## РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОЩУВАННЯ ГІБРИДНОЇ КУКУРУДЗИ В РІЗНИХ ЗОНАХ ПОЛЯ

Економічна ефективність є одним із ключових критеріїв оцінки доцільності впровадження технологічних рішень у рослинництві. В умовах сучасного сільськогосподарського виробництва ефективне використання системи фертигації та зонального управління живленням дає змогу підвищити окупність вкладених коштів і зменшити собівартість продукції.

Проведені дослідження на базі ТОВ «Біотех ЛТД» показали, що врожайність кукурудзи істотно варіює залежно від положення ділянки згідно рельєфу поля. Це зумовлює різницю в економічних показниках, навіть за однакової технології вирощування. Для економічної оцінки визначали основні показники: урожайність, вартість валової продукції, виробничі витрати, чистий прибуток і рівень рентабельності.

*Таблиця 4.1*

### Економічні показники вирощування гібридної кукурудзи в різних зонах поля, 2025 р.

Показник	Зони поля			
	контроль	плато	рівнина	низовина
Урожайність в качанах, т/га	8,33	8,23	8,45	7,92
Ціна реалізації, грн/т	7 500	7 500	7 500	7 500
Вартість валової продукції, грн/га	62 475	61 725	63 375	59 400
Виробничі витрати, грн/га	17 675	17 675	17 675	17 675
Чистий прибуток, грн/га	44 800	44 050	45 700	41 725
Рівень рентабельності, %	253	249	259	236

Отримані результати свідчать, що найвищі економічні показники зафіксовано на рівнинній зоні поля, де врожайність була найбільшою (8,45

т/га). За цих умов чистий прибуток становив 45,7 тис. грн/га, а рівень рентабельності 259%.

На плато, де врожайність дещо нижча через дефіцит вологи, чистий прибуток склав 44,1 тис. грн/га, що лише на 3,6 % менше, ніж у рівнинній частині. Це свідчить про стабільність виробничої ефективності навіть за умов часткового водного стресу.

Найнижчі показники отримано в низовині — 41,7 тис. грн/га прибутку, але з високим рівнем рентабельності – 236%. Основною причиною є перезволоження та ущільнення ґрунту, що обумовлювало зниження продуктивності та ефективності використання добрив.

#### **4.1. Економічна ефективність зонального підходу до управління живленням**

За результатами проведених досліджень, варіація врожайності між зонами становить 6-7%, а між прибутками – до 3,9 тис. грн/га. Впровадження зонального управління фертигацією (диференційованої подачі поживних речовин залежно від мікрозони поля) дає змогу компенсувати ці коливання.

Оцінка потенційного ефекту від впровадження диференційованої фертигації показала, що оптимізація подачі розчину на рівні мікрозон може забезпечити додаткове підвищення урожайності на 0,4-0,6 т/га і збільшення прибутку на 2,5-3,0 тис. грн/га без істотного зростання виробничих витрат (табл. 4.2).

*Таблиця 4.2*

#### **Потенційний ефект від впровадження диференційованої фертигації**

Зона поля	Урожайність базова, т/га	Потенційна врожайність, т/га	Приріст, т/га	Потенційний прибуток, грн/га
Плато	8,23	8,60	+0,37	+2 775
Рівнина	8,45	8,65	+0,20	+1 500
Низовина	7,92	8,30	+0,38	+2 850

Економічний аналіз підтверджує, що неоднорідність рельєфу спричиняє просторову варіацію ефективності вирощування кукурудзи. Найвищий економічний ефект забезпечують ділянки рівнинної морфологічної зони, тоді як низовини потребують додаткової регуляції вологості та внесення добрив для стабілізації показників урожайності.

Використання фертигації на фоні зонального підходу дозволяє не лише вирівняти продуктивність у межах поля, а й підвищити загальну економічну віддачу технології. За розрахунками, у масштабі 100 га поля додатковий економічний ефект може становити понад 250 тис. грн чистого прибутку, що підтверджує високу доцільність застосування елементів точного землеробства в умовах Лісостепу України.

## ВИСНОВКИ

1. Найкращі умови росту та розвитку рослин кукурудзи обумовлювались на рівнинній частині поля, де рослини формували більшу висоту (106 см) , площу листкової поверхні (5400 м<sup>2</sup>/га) та суху масу (48 г/рослину), що на 43% перевищує показники низовини та на 4,2% показники зони плато відповідно.

2. Зона поля суттєво впливала на урожайність гібридної кукурудзи. Найвищу фактичну врожайність (8,45 т/га) отримано на рівнині. На плато урожайність становила 8,23 т/га, а в низовині – 7,92 т/га. Біологічна врожайність варіювала від 13,8 до 16,3 т/га.

3. Елементи структури врожаю (кількість рядів і зерен у качані, маса 1000 зерен) найкраще формувались у рівнинній частині поля. У низовині надлишок вологи сприяв зниженню запліднення качанів і зменшенню маси зерна (до рівня 127 г з качана), тоді як на плато розвиток обмежувався нестачею вологи (відповідно маса зерна з качана становила 145 г).

4. Біохімічний склад зерна також залежав від зони поля. Найвищий вміст білка (8,8%) і жиру (4,5%) був характерним для зерна, що формувалось на рівнині.

5. Найбільший прибуток і рівень рентабельності отримано в зоні рівнини – 45,7 тис. грн/га та 259% відповідно. Впровадження зонального управління фертигацією може забезпечити додаткове підвищення прибутку на 2,5-3,0 тис. грн/га.

## РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

За вирощування гібридної кукурудзи  $F_1$  в умовах Лісостепу України доцільно враховувати мікрорельєф поля як фактор просторової неоднорідності врожайності. У зоні плато рекомендовано збільшувати частоту фертигаційних поливів з меншою концентрацією добрив для запобігання водному дефіциту. У зоні низовини, навпаки, доцільно зменшити норми подачі води та використовувати фертигаційні розчини з меншим умістом азоту, щоб уникнути перезволоження і вимивання поживних речовин. На рівнинних ділянках варто підтримувати базову схему фертигації з урахуванням балансу між фазами росту і погодними умовами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабич А.О. Кукурудза: біологія, технологія, використання. – К. : Урожай, 2019. – 412 с.
2. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Статистичний бюлетень «Стан виробництва зернових культур». – К., 2024.
3. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Технологія вирощування сільськогосподарських культур. – Львів : Новий Світ-2000, 2020. – 648 с.
4. FAO. Ukraine Agricultural Overview 2023. – Rome : FAO Publications, 2023.
5. Коваленко П.І. Просторова адаптація гібридів кукурудзи до умов Полісся України // Агрохімія і ґрунтознавство. – 2022. – № 92. – С. 45–53.
6. Долгова О.В., Романенко С.М. Вплив погодних умов на формування врожайності кукурудзи в різних регіонах України // Вісник аграрної науки. – 2021. – № 6. – С. 32–39.
7. Іванчук С.О. Роль мінерального живлення у формуванні продуктивності кукурудзи // Агрохімія і ґрунтознавство. – 2020. – № 88. – С. 58–66.
8. Шевчук В.М. Сучасні проблеми вирощування кукурудзи в умовах змін клімату України // Землеробство і рослинництво. – 2023. – № 2. – С. 12–20.
9. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Технологія вирощування сільськогосподарських культур. – Львів : Новий Світ-2000, 2020. – 648 с.
10. Іванчук С.О. Роль мінерального живлення у формуванні продуктивності кукурудзи // Агрохімія і ґрунтознавство. – 2020. – № 88. – С. 58–66.
11. Balboa G.R., Ciampitti I.A. Nutrient uptake and partitioning in maize hybrids. *Field Crops Research*. – 2020. – Vol. 254. – P. 107830.
12. Григоренко В.М. Вплив норм азотного удобрення на продуктивність кукурудзи в умовах Лісостепу України // Вісник аграрної науки. – 2021. – № 9. – С. 44–51.

13. Юрченко О.М. Оптимізація строків підживлення кукурудзи азотними добривами // Землеробство і рослинництво. – 2019. – № 3. – С. 26–31.
14. Havlin J.L. та ін. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. – 9th ed. – Pearson, 2022. – 528 p.
15. Долгова О.В., Ковальчук А.В. Вплив фосфорного живлення на розвиток і врожайність кукурудзи // Агрохімія і ґрунтознавство. – 2022. – № 93. – С. 72–79.
16. Фурса Н.Г. Ефективність фосфорних добрив залежно від типу ґрунту та умов зволоження // Вісник Полтавської ДАА. – 2023. – № 1. – С. 19–25.
17. Олійник О.П. Роль калію у формуванні врожайності кукурудзи // Агрохімічний вісник. – 2021. – № 4. – С. 33–39.
18. Brown P.H., Cakmak I., Zhang Q. Form and function of zinc in plants. Plant Nutrition Journal. – 2021. – Vol. 17. – P. 71–90.
19. Мельник В.В. Баланс елементів живлення у системах удобрення кукурудзи // Землеробство і агрохімія. – 2020. – № 6. – С. 47–54.
20. Гуменюк І.А. Біологізація систем удобрення кукурудзи в умовах Степу України // Вісник аграрної науки. – 2022. – № 8. – С. 58–64.
21. López J.G., Hernández A.R. Fertigation strategies to improve nitrogen use efficiency in maize. Agronomy Journal. – 2023. – Vol. 115. – P. 1952–1966.
22. Петриченко В.Ф., Лихочвор В.В. Технологія вирощування сільськогосподарських культур. – Львів : Новий Світ-2000, 2020. – 648 с.
23. Гуменюк І.А. Точне землеробство як інноваційна система управління живленням рослин // Вісник аграрної науки. – 2021. – № 7. – С. 17–24.
24. Дорошенко С.В. Фертигація як інноваційна технологія підвищення ефективності удобрення культур // Агрохімічний вісник. – 2022. – № 3. – С. 42–48.
25. FAO. Irrigation and Fertigation Management in Sustainable Agriculture. – Rome : FAO, 2023. – 112 p.

26. Павлюк В.М. Технічні системи краплинного зрошення та їх використання у фертигації // Меліорація і водне господарство. – 2020. – № 2. – С. 33–39.
27. Бондар С.П. Використання водорозчинних добрив у фертигаційних системах // Агрохімія і ґрунтознавство. – 2021. – № 90. – С. 51–58.
28. Bar-Yosef B. Advances in fertigation management in irrigated crops. *Agricultural Water Management*. – 2022. – Vol. 268. – P. 107711.
29. Ковальчук А.В., Григоренко В.М. Вплив фертигації на продуктивність кукурудзи в умовах Лісостепу України // Вісник аграрної науки. – 2021. – № 8. – С. 39–45.
30. Шевчук В.М., Лисенко І.О. Результати досліджень ефективності фертигації кукурудзи при краплинному зрошенні // Зрошуване землеробство. – 2022. – № 77. – С. 22–28.
31. López J.G., Hernández A.R. Fertigation strategies to improve nitrogen use efficiency in maize. *Agronomy Journal*. – 2023. – Vol. 115. – P. 1952–1966.
32. Касьянов С.І. Екологічні ризики фертигації в умовах посушливого клімату // Екологічна безпека і збалансоване природокористування. – 2020. – № 2. – С. 14–20.
33. Chen Y., Zhou D. Precision fertigation and site-specific nutrient management for maize. *Field Crops Research*. – 2023. – Vol. 301. – P. 109128.
34. Лихочвар В.В., Григоренко В.М. Агрохімія : підручник. – Львів : Новий Світ-2000, 2021. – 524 с.
35. Іванчук С.О., Пащенко А.В. Варіабельність агрохімічних показників чорноземів у межах одного поля // Агрохімія і ґрунтознавство. – 2020. – № 89. – С. 41–48.
36. Cambouris A.N., Tremblay N. Soil spatial variability and precision fertilization: Review and perspectives. *Geoderma*. – 2022. – Vol. 420. – P. 115915.
37. Нікітін С.П. Геостатистичні методи аналізу неоднорідності ґрунтових властивостей // Ґрунтознавство і агрохімія. – 2021. – № 2. – С. 27–34.

38. Zhang X., Chen Y. Remote sensing applications in soil variability assessment. *Remote Sensing of Environment*. – 2023. – Vol. 283. – P. 113345.
39. Гуменюк І.А. Агрохімічне зонування полів як інструмент підвищення ефективності удобрення // *Вісник аграрної науки*. – 2022. – № 9. – С. 55–61.
40. Яковенко О.М., Левченко В.Ю. Використання цифрових моделей рельєфу для оцінки неоднорідності полів // *Землеробство і агрохімія*. – 2021. – № 6. – С. 30–36.
41. Ковальчук А.В., Паламарчук І.П. Результати впровадження диференційованого удобрення кукурудзи за картами родючості // *Агрохімічний вісник*. – 2023. – № 2. – С. 19–25.
42. Chen D., Li R. Site-specific fertigation management for maize under spatial soil variability. *Field Crops Research*. – 2023. – Vol. 302. – P. 109179.
43. Мельник В.В., Савчук Т.Ю. Економічна ефективність впровадження систем зонування у точному землеробстві // *Економіка АПК*. – 2022. – № 12. – С. 45–52.
44. Лихочвар В.В., Петриченко В.Ф. Технологія вирощування сільськогосподарських культур. – Львів : Новий Світ-2000, 2020. – 648 с.
45. Балюк С.А., Мельник В.В. Вплив добрив і гібридного складу на продуктивність кукурудзи // *Вісник аграрної науки*. – 2021. – № 10. – С. 29–36.
46. Ciampitti I.A., Vyn T.J. Maize nutrient requirements and partitioning. *Field Crops Research*. – 2022. – Vol. 280. – P. 108431.
47. Шевчук В.М., Лисенко І.О. Ріст і розвиток гібридів кукурудзи за різних систем удобрення // *Агрохімія і ґрунтознавство*. – 2022. – № 91. – С. 45–52.
48. Хомич В.І. Динаміка розвитку кореневої системи кукурудзи при фертигації // *Зрошуване землеробство*. – 2023. – № 78. – С. 22–29.
49. Balboa G.R., López J.G. Adaptive fertigation for maize under variable climate conditions. *Agronomy Journal*. – 2023. – Vol. 115. – P. 2218–2231.

50. Григоренко В.М., Долгова О.В. Продуктивність гібридної кукурудзи за фертигації в умовах Лісостепу // Вісник Полтавської ДАА. – 2022. – № 3. – С. 18–24.
51. Касьянов С.І., Павлюк В.М. Вплив фертигації на урожайність кукурудзи в умовах Степу України // Меліорація і водне господарство. – 2021. – № 4. – С. 27–33.
52. Hernández A.R., López J.G., Chen Y. Impact of fertigation on maize yield and nutrient use efficiency. *Irrigation Science*. – 2023. – Vol. 41. – P. 341–355.
53. Дорошенко С.В. Вплив фертигації на якість зерна гібридів кукурудзи // Агрохімічний вісник. – 2023. – № 2. – С. 42–48.
54. Мельник В.В., Савчук Т.Ю. Економічна ефективність застосування фертигації у виробництві кукурудзи // Економіка АПК. – 2022. – № 8. – С. 39–44.
55. Олійник О.П. Реакція гібридів кукурудзи різних груп стиглості на системи фертигаційного живлення // Вісник аграрної науки. – 2021. – № 12. – С. 33–40.
56. Кузнецова І.М. Екологічна оцінка фертигації як елементу інтенсивного землеробства // Екологічна безпека і природокористування. – 2022. – № 3. – С. 25–31.
57. FAO. *Efficient Fertigation Management for Sustainable Maize Production*. – Rome : FAO, 2023. – 94 p.
58. Екологічний паспорт Київської області. – Київ, 2023. – 112 с.
59. Київська область // Енциклопедія сучасної України. – Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-11238> (дата звернення: 10.09.2025).
60. Романова С.А., Грищенко О.М., Венглінський М.О., Ярмоленко Є.В. Гумусний стан ґрунтів Київської області // Родючість і охорона ґрунтів. – 2018. – № 4. – С. 17–24.
61. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Екологічний паспорт Київської області. – Київ : МЗДПРН, 2023. – 120 с.

62. Матеріали агрономічної дослідної станції НУБіП України (Васильківський район, Київська область). Кліматична характеристика зони Лісостепу Київської області. – НУБіП України, 2021. – 15 с.

63. Географічна характеристика Київської області. – Київ : [б. в.], 2013. – 25 с.