

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА
РОБОТА

5.09 «367» 2023.03.13. 005 ПЗ
Глущенко Едуард Олександрович

2023 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет Агробіологічний

УДК 631.8:633.15

ПОГОДЖЕНО

Декан агробіологічного
факультету

д.с.-г.н., професор

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО
ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри агрохімії та
якості продукції рослинництва
ім. О.І. Душечкіна

Агрохімії та якості продукції
рослинництва ім. О.І. Душечкіна
д.с.-г.н., професор, член-кор.
НААН

Тонха О.Л.

“ ” 2023 р.

Бикін А.В.

“ ” 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Управління ґрунтовим режимом за
диференційованого внесення добрив під кукурудзу на
зерно.

Спеціальність 201 Агрономія

Світня програма Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництві

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

Професор, доктор с.г. наук

Бикін А.В.

(підпис)

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

д.с.-г.н., професор

Тонха С.Л.

(підпис)

(ПІБ)

Виконав

Глушенко Е.О.

(підпис)

(ПІБ студента)

КИЇВ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет Агробіологічний

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Агрохімії та якості
продукції рослинництва ім. О.Д. Духечкіна

Д.с.-г.н., професор Бикін А.В.
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ІПБ)

“ ” 2023 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ

Глущенко Едуарду Олександровичу

Спеціальність 201 Агрономія

Освітня програма Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництві

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Управління ґрунтовим режимом
поля за диференційованого внесення добрив під кукурудзу на зерно»
затверджена наказом ректора НУБіП України від «13.03.2023 р.».

№ « »
Термін подання завершеної роботи на кафедру .10.2023.

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи агрономічні
дослідження:

1. Наукові дослідження співробітників кафедри з прецизійного агровиробництва.
2. Документація ТОВ «Агро-Код 2008» з урожайності сільськогосподарських культур по роках і внесенні добрива.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Відібрати зразки ґрунту на дослідному полі відповідно зон неоднорідності.
2. В зразках ґрунту визначити вміст рухомого фосфору, калію, кальцію і магнію, вміст гумусу, гранулометричний склад ґрунту, мінерального азоту.
3. Визначити економічну ефективність вирощування кукурудзи в залежності від диференційованого внесення добрив ґрунтового покриття поля.

Дата видачі завдання “ ” 20 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Д.с.-г.н., професор.

(підпис)

Гонха О.Л.

Завдання прийняв до виконання

Глущенко Е.С.

Зміст

Реферат.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	8
РОЗДІЛ 2. МІСЦЕ, УМОВИ, ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	36
2.1 Місце та агрокліматичні умови проведення досліджень.....	36
2.2. Програма і методики проведення досліджень.....	41
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ.....	43
3.1. Забезпечення рухомими сполуками фосфору.....	44
3.2. Забезпеченість рухомим калієм в ґрунті.....	45
3.3. Мінеральний азот в ґрунті та його характеристика.....	47
3.4. Фізико-хімічні показники ґрунту.....	48
3.5. Статистичний аналіз досліджуваних результатів і диференційна норма внесення добрив.....	52
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ ЗА ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОГО ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ.....	56
ВИСНОВКИ.....	58
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60

Реферат

Тема дипломної роботи: Управління ґрунтовим режимом поля за диференційованого внесення добрив під кукурудзу на зерно.

Об'єкт досліджень: Залежність змін в кількості макро елементів живлення за диференційованого внесення та управління ґрунтовим режимом поля під час вирощування кукурудзи на зерно.

Предмет дослідження: мінеральний азот, рухомий фосфор, обмінний кальцій, реакція ґрунтового середовища, вміст гумусу в ґрунті досліджуваного поля, врожайність кукурудзи.

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, 4 розділів (тематичний огляд літератури, методика дослідження та результати досліджень, висновків, рекомендацій виробництву та списку використаних джерел). Основний текст дипломної роботи викладено на сторінках комп'ютерного тексту, включаючи таблиць і рисунків.

В розділі 1 «Управління ґрунтовим режимом поля за диференційованого внесення добрив під кукурудзу на зерно» подано основні відомості з обраної теми, а саме питання щодо специфіки диференційованого внесення добрив, особливостей живлення цієї культури,.

Розділ 2 «Умови та методи проведення досліджень» містить інформацію про характеристику ґрунтових і погодно-кліматичних умов господарства, технологія вирощування кукурудзи, методики польових і лабораторних досліджень.

У розділі 3 «Результати досліджень» представлені результати досліджень. Представлені результати агрохімічної діагностики поля.

В розділі 4 «Економічна ефективність вирощування кукурудзи за управління ґрунтовим режимом» проведено аналіз економічної ефективності вирощування рослин кукурудзи залежно від ступеня їх розвитку.

Ключові слова: кукурудза, агрохімічна діагностика поля, внесення добрив, економічна ефективність, прецизійне агровиробництво (точне землеробство).

ВСТУП

Кукурудза є основною зерновою культурою в світі. Виробництво, невпинно зростає, що пов'язано саме з подорожчанням енергоресурсів, кукурудза є основною сировиною, що використовується в процесі добування біоетанолу. На підвищення об'ємів вирощування цієї культури повпливало стале підвищення врожайності за використання сучасних технологій під час вирощування.

Ефективність використання добрив в певному ступені має залежність від умов клімату, природної родючості ґрунту та агротехніки. Раціональне їх використання у господарстві може сприяти отриманню максимального врожаю. Основною умовою якого є визначення ефективної родючості ґрунту і, зокрема, забезпеченості рухомими формами макро- і мікроелементів. Об'єктивну інформацію про наявність доступних для рослин елементів живлення може надати агрохімічний аналіз ґрунту. Застосування результатів якого дозволить спланувати структуру посівних площ, забезпечити ефективне живлення кожної сільськогосподарської культури, оптимізувати внесення добрив і зменшити витрати на вирощування. Такої ж думки притримуються і європейські виробники сільськогосподарської продукції, а також провідні агрофірми України.

Існує декілька варіантів планування агрохімічних досліджень і розрахунку варіантів удобрення. Один із них – «мудре» (wise) землеробство, при якому планування удобрення проводиться в основному за результатами агрохімічного обстеження. В умовах великих господарств зразки ґрунту репрезентують площу 10-12 га. «Мудре» землеробство дозволяє мати додатковий економічний ефект на рівні 10-15%.

Більш прогресивний варіант планування – точне землеробство. В основі наукової концепції якого лежать уявлення про існування ґрунтових неоднорідностей в межах одного поля, які можливо детектувати за допомогою програм на базі ГІС та датчиків GPS. І хоча дані інструменти дозволяють більш точно визначати рівень продуктивності культур, агрохімічний аналіз все ж

Більш прогресивний варіант планування – точне землеробство. В основі наукової концепції якого лежать уявлення про існування ґрунтових неоднорідностей в межах одного поля, які можливо детектувати за допомогою програм на базі ГІС та датчиків GPS. І хоча дані інструменти дозволяють більш точно визначати рівень продуктивності культур, агрохімічний аналіз все ж

залишається основним інструментом визначення родючості ґрунту і забезпечення поживними речовинами. Особливістю методів точного землеробства є те, що допустиму точність можна отримати при умові, що один зразок ґрунту репрезентує площу 1-2 га, на дуже вирівняних полях в умовах

України можливо 5 га. При застосуванні системи точного землеробства диференційне внесення мінеральних добрив дозволяє зменшити затрати на 20% та отримати додатково до 15% врожаю.

В Хмельницькій області технології точного землеробства почалися з впровадження у виробництво в ФГ «Агро-Код2008» у 2018 році. Першими

кроками з впровадження технології було складання електронних карт полів: ґрунтів, посівів, внесення добрив, врожайності, впроваджені нові технології в технічному парку підприємств. Сьогодні проводиться постійний аналіз ґрунтів

полів, що обробляються фермерським господарством. За рахунок диференційованого внесення добрив за даними Pusch, Maiara, et al. економія

добрив при вирощуванні сільськогосподарських культур складала: кукурудза 11%, яра пшениця – 30% [3].

Мета та завдання досліджень. Метою досліджень було на основі

аналізу агрохімічних показників за допомогою математико-статистичних

методів установити особливості впливу диференціації (адресного нормування) внесення мінеральних добрив ґрунту на врожайність кукурудзи на зерно.

Об'єкти досліджень – агрохімічні показники досліджуваного ґрунту, особливості впливу диференціації (адресного нормування) внесення мінеральних добрив ґрунту, врожайність кукурудзи на зерно.

Методи досліджень: 1) польовий – вивчення взаємодії факторів життя; лабораторні: а) вивчення поживного режиму ґрунту; б) кількісно-ваговий формування густоти рослин та продуктивного стеблостою, забур'яненості посівів та структури врожаю; математичні – дисперсійний; г) розрахунково-порівняльний – оцінюючи економічну ефективності досліджувальних заходів.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

НУБІП УКРАЇНИ

Технологія точного землеробства передбачає управління процесами специфічно для кожного місця в просторі. Технології дають змогу автоматизувати виконання та управління різними процесами диференційовано на значних територіях, що передбачає диференційоване внесення добрив чи пестицидів на різних ділянках. Кінцевою метою запровадження точного землеробства є налагодження функціонування процесів, які будуть якнайближче тотожні з природними Bogunovic et. al. [3].

НУБІП УКРАЇНИ

Топографічна мінливість є одним із основних факторів, що впливають на властивості ґрунту та врожайність. У роботі Sikander, et al. розглянуто концепцію та значення різних топографічних атрибутів та їхній вплив на фактори, що сприяють росту та врожайності сільськогосподарських культур, включаючи фізичні, гідравлічні, хімічні та біологічні властивості ґрунту та розподіл поживних речовин залежно від ландшафту. Вплив рельєфу на властивості ґрунту, ріст сільськогосподарських культур і врожайність залежить від типу та глибини ґрунту, клімату, системи вирощування сільськогосподарських культур і методів господарювання. Точні дані про висоту

НУБІП УКРАЇНИ

та отримані з них топографічні атрибути мають широке застосування в точному землеробстві, включаючи внесення насіння, добрив і води на конкретну ділянку, розмежування зон управління, проектування контурів або терас і планів точного вирівнювання, а також планування програм збереження ґрунту та води для посиленого прибутковості. Ця робота виявила відсутність досліджень із застосування вторинних топографічних атрибутів у сільському господарстві та внутрішньогосподарських досліджень щодо використання топографії в управлінні внесенням сільськогосподарських культур на конкретну ділянку.

НУБІП УКРАЇНИ

Дослідники пропонують проведення міждисциплінарних досліджень для покращення розуміння та сприяння застосуванню топографічної інформації в точному землеробстві. Крім того, необхідно підвищити обізнаність виробників щодо використання вбудованих технологій глобальної навігаційної

НУБІП УКРАЇНИ

супутникової системи (GNSS) кінематичного режиму реального часу (RTK) для збору точних тривимірних даних для управління конкретними об'єктами. Крім того, ця робота свідчила про необхідність створення зручних інструментів, які б допомагали виробникам використовувати зібрані топографічні дані для досягнення цілей точного землеробства [2].

Дослідженнями Bogunovic et. al. [3]. Наведені результати використання кількох коваріантів у надійному геостатистичному моделюванні хімічних властивостей ґрунту, що характеризується наявністю викидів. Різні методи просторового прогнозування порівнювали з використанням даних з двох

сільськогосподарських територій, розташованих на південному сході Бразилії: одна з ротаційним випасом худоби, а інша культивована цукровою тростиною.

Розглядаючи припис змінної норми добрива в контексті точного землеробства, використання кількох коваріантів для прогнозування чотирьох хімічних

властивостей ґрунту (фосфор (P), калій (K), ємність катіонного обміну (CEC) і

насичення основами (V)) було оцінено. Набір даних коваріантів був розділений на п'ять категорій, що представляють ґрунт, рослинність, рельєф, управління територією та географію. Було використано п'ять методів: обернене зважування

відстані (IDW), надійна множинна лінійна регресія (RMLR), надійний звичайний

крігінг (ROK), надійний універсальний крігінг з просторовими координатами в

тренді (RUK_{coord}) і надійний універсальний крігінг з коваріатами середовища

та управління в тренді (RUK_{covars}). Модель, заснована на середньому,

використовувалася як нульове посилення. Загалом, використання коваріантів у

надійних методах прогнозування покращує точність просторового

прогнозування властивостей ґрунту за наявності викидів. Однак цей ефект

спостерігався не у всіх ситуаціях, залежно від характеристик набору даних і

просторової мінливості полів. Практики управління є важливою інформацією

для моделювання тенденції цифрового картографування ґрунту для цілей

призначення добрив. RMLR дає результати прогнозування, які принаймні

еквівалентні результатам надійної геостатистики [3].

Результати дослідження ґрунту є важливими факторами для

прибуткового застосування добрив, вапна та інших поправок у ґрунт. Коли результати тестування ґрунту поєднуються з інформацією про поживні речовини, доступні для різних культур, можна створити надійну основу для планування програми родючості (Hoefl et al., 1996). Відповідний тест може базуватися на місцевих умовах ґрунту та культури, а також на особистих уподобаннях. Стандартний тест зазвичай включає визначення доступного фосфору (P), обмінного калію (K), кальцію (Ca) і магнію (Mg), відсоток їх насичення, ємність катіонного обміну (CEC), рН і потребу в вапні. Деякі лабораторії також можуть перевіряти вміст органічних речовин (OM), солоність, нітрати, сульфати, певні мікроелементи та важкі метали (Foth and Ellis, 1988). Крім того, на середовище росту сільськогосподарських культур впливає структура ґрунту (вміст піску, мулу та глини), рівень ущільнення ґрунту, вміст вологи та інші механічні та фізичні властивості ґрунту. Одним із найважливіших аспектів тестування ґрунту є фактично отримання репрезентативних зразків ґрунту (тобто зібраних з достатньою просторовою щільністю на належній глибині та протягом відповідного часу). Практичні поради щодо збору та обробки зразків ґрунту надали Вітош та ін. (1995), Hoefl та ін. (1996), і Gelderman and Mallarino (1998). Однак розташування та кількість зразків ґрунту залежить від підходу, який використовується для управління родючістю ґрунту (Naylin et al., 1999). В даний час часто використовуються методи випадкової, адаптивної та сіткової вибірки. При випадковому відборі керни ґрунту отримують із випадкових місць на полі. При адаптивній вибірці вибрані місця залежать від попередньої інформації. З іншого боку, сітка вибірки передбачає систематичний збір проб із заздалегідь визначених тонок на полі. Жодна з існуючих практик відбору проб ґрунту не була визнана найефективнішою (Wollenhaupt et al., 1997) [4].

Для точного землеробства потрібен метод збору інформації про просторову мінливість ґрунту, який зменшує потребу у дорогому та інтенсивному відборі проб. Цього можна досягти шляхом використання того, що ми називаємо «середніми» та «пропорційними» варіограмами. Пошук літератури

дозволив зібрати варіограми для багатьох властивостей ґрунту, дозволивши порівняти величину мінливості та побудувати середні значення. Для властивостей ґрунту, які демонструють пропорційність між їх середнім квадратом і дисперсією, варіограму можна передбачити на основі середнього значення. Ці середні та пропорційні варіограми є потенційно корисними для

впроваджувачів точного землеробства, оскільки їх можна використовувати для планування оптимального відбору проб ґрунту та схем управління. Було виявлено, що якщо ви бажаєте впровадити індивідуальне управління з

роздільною здатністю 20×20 м, то відбір проб ґрунту, як правило, потрібно проводити з інтервалом 20–30 м залежно від цікавого атрибута. Представлено

діаграму підтримки прийняття рішень для диференційованого управління ґрунтом на основі порівняльної величини варіограми із середнім. Необхідно

здійснити подальшу роботу над розширенням бази даних, на якій базуються ці результати, і уточненням параметрів пропорційної варіограми відповідно до специфіки місця [5].

Прогнозується, що у 2050 році населення світу зросте на 35%, що збільшить попит на виробництво продуктів карчування; тому необхідно розробити стійкі системи сільськогосподарського виробництва, щоб

прогодувати зростаюче населення. Норми внесення добрив залежать від стану ґрунту, вологості поля, виду культур та інших факторів. Мінливість текстури ґрунту відіграє важливу роль у контролі мінливості вологи в межах поля та здатності утримувати поживні речовини, особливо в посушливих регіонах.

Таким чином, управління культурами та ґрунтами на певних ділянках відіграє вирішальну роль у ефективності використання поживних речовин (NUE), прибутковості та захисті навколишнього середовища [6].

Ґрунт є основним джерелом поживних речовин. Потреба в поживних речовинах змінюється з фазою росту рослини. Основні поживні речовини - це

сполуки, які впливають на цикл розвитку та метаболізм рослин. Як правило, ці поживні речовини відповідають за накопичення енергії, транспорт електронів і активність ферментів. Через функції, які вони виконують в рослині, вони не

можуть бути замінені іншими компонентами і необхідні для всіх рослин. На початку практикують підживлення, хімічні добрива [7].

Управління мінливістю ґрунту є невід'ємним аспектом точного землеробства (РА). Однак існуючі бази даних ґрунтів відповідають деяким вимогам до ПА. Характер цих вимог та їх вплив на інформацію про ґрунт

потребують подальшого вивчення. Поточні розробки щодо системи підтримки прийняття рішень (DSS) для РА в Нідерландах пролили світло на це питання.

Представлено два пов'язані з ґрунтом компоненти DSS: (i) побудова бази даних ґрунтів на рівні господарства та (ii) розмежування функціональних одиниць

ґрунту на рівні поля. Розроблені методи були перевірені на прикладі двох орних полів, розташованих на голландських морських глинистих ґрунтах. Основні ґрунтові дані були зібрані під час обстеження ґрунту 1:5000 і доповнені вторинними даними, отриманими за допомогою педотрансферних функцій.

Характеристика ґрунту зосереджена на функціональних властивостях, що описують специфічні характеристики ґрунту з точки зору водного режиму та динаміки поживних речовин. Розглядалися чотири властивості: (i) водний стрес, (ii) N-стрес, (iii) N-вилуговування та (iv) залишковий вміст N під час збору

врожаю. Вони були кількісно визначені для окремих ґрунтових профілів за

допомогою механістично-детермінованої імітаційної моделі. Чутливість до водного стресу була оцінена для посушливого року (1989), інші властивості кількісно визначені для вологого року (1987). На основі функціональної

подібності ґрунтові профілі були згруповані у функціональні класи за допомогою нечіткого класифікатора c-means. Стандартні методи інтерполяції та

алгоритм виявлення меж згодом ідентифікували функціональні одиниці ґрунту на кожному полі. Дисперсійний аналіз показав, що таким чином можна пояснити >65% просторової варіації. Це підтвердило, що (i) запропонована процедура

класифікації була ефективною і (ii) функціональні одиниці ґрунту є відповідними об'єктами для використання в якості одиниць управління ПТ [8].

Продовольча криза є однією з найбільших проблем у всьому світі. У зв'язку зі збільшенням населення планети попит на продукти харчування та

сільськогосподарську продукцію надзвичайно зріс. Тому сучасне сільське господарство відіграє важливу роль у задоволенні попиту на продукти харчування та сільськогосподарську продукцію (Pang et al., 2018). За

прогнозами, чисельність населення планети досягне 8,6 мільярдів і 9,8 мільярдів у 2030 і 2050 роках відповідно (da Costa et al., 2019). За даними Програми

розвитку ООН (ПРООН), 821 мільйон людей страждають від голоду та недоїдання, 63% яких припадає на Азію. Щоб подолати цю глобальну проблему, Організація Об'єднаних Націй встановила Ціль сталого розвитку (ЦСР 2),

спрямовану на подолання голоду, забезпечення продовольчої безпеки та

покращення харчування, а також сприяння сталому розвитку сільського господарства до 2030 року. Тому увага приділяється сільському господарству та агропродовольчий сектор, де мільярди грошей витрачаються на добрива,

головним чином для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур

і забезпечення продовольчої безпеки. Родючість ґрунту означає здатність ґрунту

підтримувати ріст сільськогосподарських рослин. Як правило, родючість ґрунту визначається фізичними, біологічними та хімічними властивостями ґрунту (Igalavithana et al., 2015). Низька родючість ґрунтів викликає серйозне

занепокоєння в більшості регіонів світу (FAO, 2011). ґрунти з посушливих і

напівпосушливих регіонів зазвичай мають дуже низьку водоутримувальну здатність і вміст поживних речовин, що не підходить для сільськогосподарських цілей (Khalifa and Yousef, 2015). Деградація ґрунту може вплинути на якість

ґрунту, наприклад, виснаження поживних речовин, засолення та зниження здатності утримувати воду, що обмежує виробництво їжі. 25% світових

сільськогосподарських угідь класифікуються як сильно деградовані, 44% помірно деградовані, а близько 10% – відновлені після деградації (El-Naggar et al., 2019) [9].

Бази даних, що ідентифікують просторовий розподіл властивостей ґрунту, необхідні для впровадження методів управління на конкретній території.

У цьому дослідженні досліджувалися просторові закономірності для дев'яти хімічних властивостей ґрунту на двох суміжних полях, одне в сівозміні

кукурудза (*Zea mays* L.)-соя [*Glycine max* (L.) Merr.] з неорганічними добривами, а інше — у 5-річному посіві кукурудзи-соєво-кукурудзяно-вівсяна (*Avena sativa* L.)-лугова сівозна з органічними джерелами живлення. Ми встановили сітки для відбору проб на обох полях і зібрали керни ґрунту на глибині 30 см.

Властивості ґрунту з сильними просторовими кореляціями (низька дисперсія самородка/співвідношення загальної дисперсії) і максимальна відстань, на яку корелювали ці властивості (діапазон), відрізнялися для двох полів. РН ґрунту, обмінний Са, загальний органічний С і загальний N сильно корелюють і мали діапазон значень понад 182 м на звичайному полі. Bray P і обмінний Mg сильно

корелюють із значеннями дальності менше 100 м в межах одного. Низьке співвідношення самородок/загальна дисперсія та невеликий діапазон значень P і Mg свідчать про неоднорідність розподілу, ймовірно, через тривале внесення

ґною тварин і міського мулу. Оскільки більшість дисперсій була структурною в органічному полі, розміщення точок відбору проб ближче одна до одної покращило б точність даних. Навпаки, відносно груба сітка вибірки з меншою кількістю точок вибірки, розташованих далі одна від одної, здається адекватною для звичайного поля. Щоб розробити точні стратегії відбору зразків для точного землеробства, слід задокументувати довгострокову історію управління полями,

оскільки, здається, методи впливають як на властивості, які сильно корелюють, так і на діапазон, до якого існує кореляція [10].

Розуміння мінливості врожайності сільськогосподарських культур у зв'язку з просторовими варіаціями властивостей ґрунту може допомогти більш ефективно застосовувати сільськогосподарські ресурси на конкретній ділянці.

Це дослідження було розроблено, щоб охарактеризувати та кількісно визначити просторову варіацію властивостей ґрунту та врожайності пшениці, а також окреслити карти рецептів для внесення добрив на конкретну ділянку. Результати класичних, геостатистичних та інтерпольованих карт виявили значну

просторову варіабельність властивостей ґрунту та врожайності сільськогосподарських культур, що потребує управління поживними речовинами для конкретної ділянки. Кластерний аналіз проводився для

групування даних про ґрунт і врожайність у п'ять зон продуктивності, які називаються «дуже низькою», «низькою», «середньою», «високою» та «дуже високою», без попереднього знання потенціалу продуктивності з внутрішньою однорідністю та зовнішня неоднорідність при рівні подібності понад 70%.

Результати кореляційної матриці свідчать про значні зв'язки між урожайністю та властивостями ґрунту [11].

Метою точного землеробства є адаптація сільськогосподарських операцій до різних потенціалів врожайності підділянок полів. Зміна дози добрив відповідно до місцевих умов може призвести до оптимізації використання поживних

речовин. Потенціал урожайності конкретного місця здебільшого визначається характеристиками поля але також через непередбачувані погодні умови (Blackmore, 1994; Blackmore, 2000). Однорідні ґрунтові умови не дають оптимізаційних можливостей за винятком захисту рослин, тому оптимізація

простору є недоцільною. Виразний неоднорідність передбачає наявність потенціалу для оптимізації та підвищення ефективності з точним землеробством. Поліпшення просторового розподілу азоту є особливо важливим тому, що азот має найсильніший вплив на врожайність, має вищий часовий і просторовий динаміка, і може сприяти забрудненню навколишнього середовища через

вимивання [12].

Більшість фізичних, хімічних і біологічних властивостей ґрунту в агрокосистемах змінюються в просторі, навіть якщо взяти до уваги невеликі відстані (Schnug та ін., 1985, Haneklaus та ін., 1997, Rueling та ін., 1997). Таким

чином, продуктивність сільськогосподарських культур пов'язана з властивостями ґрунту (врожайність, поглинання води та поживних речовин), вплив на навколишнє середовище (забруднення ґрунтових вод пестицидами та нітратами, евтрофікація прісноводних водних систем фосфатами зі стоку та осадів, викиди газів оксиду азоту, які відіграють вирішальну роль у тропосфері

та хімія стратосфери та забруднення повітря) і процеси деградації ґрунту самі по собі (втрата органічної речовини ґрунту, зменшення біорізноманіття, ерозія ґрунту) також будуть змінними в просторі. Агрономічна наука, яка в даний час

здебільшого спрямована на питання сталого сільського господарства, займається адаптацією агроекосистеми для отримання очікуваної продуктивності врожаю, враховуючи конкретні стандарти захисту навколишнього середовища та збереження природних ресурсів, включаючи ґрунт. Дійсно, агрономічні прийоми та способи лікування (реалістичне вираження агрономічної науки) зазвичай застосовуються надзвичайно однаково. Плуг призначений для роботи на однаковій глибині та отримання однакових результатів у широкому діапазоні ґрунтових умов; розпилувач нанесе таку ж кількість розчину; і фермер буде щасливий, якщо зможе порахувати рівно стільки ж висадженого насіння від початку до кінця свого посівного дня [13].

Система точного внесення добрив є основою для модернізації традиційного інтенсивного сільськогосподарського виробництва, одночасно одержуючи високі та якісні врожаї та мінімізуючи негативний вплив на навколишнє середовище. Це дослідження має на меті представити застосування як звичайних, так і сучасних методів прогнозування в точному внесенні добрив шляхом інтеграції агрономічних компонентів з просторовим компонентом інтерполяції та машинного навчання. У той час як звичайні методи були наріжним каменем прогнозування ґрунту в останні десятиліття, нові виклики обробки більших і складніших даних зменшили їх життєздатність у сьогоднішній час. Були розглянуті їхні недоліки, а саме нижча точність прогнозування, недостатня надійність щодо властивостей вхідних значень зразків ґрунту та вимоги до великого відбору зразків ґрунту, дорогого за коштами та часом [14].

У дослідженнях Diasono, 2013 показано результати з точного внесення азоту у посівах пшениці. Основні висновки такі:

(a) перш ніж приймати рішення щодо управління азотом, необхідні вимірювання та розуміння просторової мінливості ґрунту та статусу азоту в пшениці. Додаткове використання різних датчиків покращило оцінку властивостей ґрунту за відносно низької вартості;

(b) результати показують корисність повітряних зображень, дистанційного та проксимального зондування для прогнозування стану азоту врожаю за

допомогою адаптивних підходів, до управління в сезон;

(с) смуги червоного краю та ближнього інфрачервоного діапазону можуть проникати у вищу частину рослинності пологу. Ці вузькі смуги краще оцінюють урожайність зерна, азот культури та стан води, при цьому R^2 перевищує 0,70.

Крім того, різні гіперспектральні індекси рослинності обумовлюють високу мінливість 40–75 % N статусу пшениці;

(d) були розроблені різні діагностичні інструменти та процедури, щоб допомогти фермерам, які вирощують пшеницю, планувати змінні норми N.

Сезонні коригування в управлінні азотними добривами можуть враховувати конкретні кліматичні умови та потенціал врожайності, оскільки менше ніж 30 % просторової дисперсії може демонструвати часову стабільність;

(e) польові дослідження, в яких сенсорні системи управління азотом порівнювалися зі звичайними фермерськими практиками, показали значне підвищення ефективності використання азоту до 368 %. Ці системи заощаджували N добрива, від 10 % до приблизно 80 % менше N, і зменшували залишковий N у ґрунті на 30–50 %, не знижуючи врожайності та не впливаючи на якість зерна;

(f) точне управління азотом на основі зондування в реальному часі та внесення добрив мало найвищу прибутковість приблизно 5–60 доларів США на га – і порівняно з недиференційованим застосуванням [11].

Мінливість властивостей ґрунту є чинником, який значною мірою впливає на виробництво зернових культур і взаємодіє з належною оцінкою стану живлення культур, що є основоположним для підтримки управління на конкретній ділянці, здатного гарантувати стійке виробництво врожаю. Нині доступні кілька стратегій точного землеробства, які дозволяють регулювати введення азоту (N) відповідно до фактичних потреб культури. Багато методів розроблено для проксимальних датчиків, але все більша увага приділяється супутниковим системам керування азотом, багато з яких покладаються на оцінку стану азоту в посівах. У цьому дослідженні було перевірено надійність оцінки стану живлення культур шляхом оцінки індексу азотного живлення (NNI) із

супутникових зображень Sentinel-2 (S2), зосереджуючись на впливі мінливості властивостей ґрунту для моніторингу дефіциту азоту культур. Індекси рослинності (VI) і біофізичні зміни (BV), такі як індекс зеленої зони (GAI_S2), вміст хлорофілу в листі (Cab_S2) і вміст хлорофілу в кроні (CCC_S2), отримані на основі зображень S2, використовувалися для дослідження статусу азоту в рослинах і отримання NNI з точки зору його використання для керування внесенням азоту на певну ділянку. Польові експерименти проводили на кукурудзі та твердій пшениці, оброблюючи 4 групи ділянок, відповідно до характеристик ґрунту, визначених на карті ґрунту та кількісно визначених за допомогою аналізу зразків ґрунту, з різними обробками N [16].

Пшениця (*Triticum aestivum* L.), рис (*Oryza sativa* L.) і кукурудза (*Zea mays* L.) забезпечують приблизно дві третини всієї енергії в раціоні людини, і чотири основні системи землеробства, в яких вирощуються ці злаки, є основою харчування людини. Урожайність на одиницю часу та землі помітно зростає протягом останніх 30 років у цих системах в результаті інтенсифікованого управління культурами, що включає покращену зародкову плазму, більше внесення добрив, виробництво двох або більше культур на рік на тій самій ділянці землі та зрошення. Задоволення майбутнього попиту на продовольство

при зведенні до мінімуму розширення культивованих площ в першу чергу залежатиме від постійної інтенсифікації цих чотирьох систем. Спосіб досягнення подальшої інтенсифікації, однак, помітно відрізнятиметься від минулого, оскільки розрив між середньою врожайністю ферми та потенціалом генетичної врожайності скорочується. На даний момент темпи зростання потенціалу врожайності значно нижчі від очікуваного зростання попиту. Отже, середня врожайність ферми повинна досягти 70–80% максимальної потенційної врожайності протягом 30 років у кожній із цих основних зернових систем.

Досягнення сталого виробництва на таких високих рівнях без завдання шкоди навколишньому середовищу вимагає покращення якості ґрунту та точного управління всіма факторами виробництва в часі та просторі. Обговорюється масштаб наукового виклику, пов'язаного з цими цілями. Зроблено висновок, що

для досягнення екологічної інтенсифікації, необхідної для задоволення очікуваного зростання попиту на продовольство, мають відбутися серйозні наукові прориви в базовій фізіології рослин, екофізіології, агроекології та ґрунтознавстві [17].

Щільність відбору – це параметр, який дозволяє визначити просторову мінливість цікавих властивостей ґрунтів і є важливим для методів точного землеробства, таких як внесення добрив із змінною нормою. Ґрунтові датчики та спектроскопічні методи були досліджені та повідомлені як багатообіцяючі інструменти, хоча й демонструють певні обмеження у характеристиці хімічної родючості ґрунтів. Однією з причин обмежень є спосіб підготовки зразків. Тому метою цієї роботи було оцінити вплив просиювання та температури сушіння на визначення загального вмісту азоту, фосфору та калію за допомогою спектроскопії Vis-NIR та Mid-Infrared. Ми виявили, що спектроскопія дифузного відбиття у видимій та ближній інфрачервоній області спектрів показує кращу продуктивність моделей передбачення, ніж спектроскопія повного ослабленого відбиття в середньому інфрачервоному діапазоні. Ми не виявили значного впливу температури висихання чи розміру частинок ґрунту на прогностичну якість моделей, створених за допомогою спектроскопії Vis-NIR; таким чином, додаткові витрати часу та кошти на більш інтенсивну підготовку зразків ґрунту не будуть виправданими. Крім того, ми припускаємо, що висока похибка прогнозування може обмежити застосовність спектроскопії для керування внесенням добрив із змінною нормою в рамках точного землеробства [18].

Точне землеробство (РА) передбачає більш точний посів, внесення добрив, зрошення та використання пестицидів з метою оптимізації виробництва сільськогосподарських культур з метою збільшення прибутку виробника та захисту навколишнього середовища. Високоцінні культури, такі як картопля (*Solanum tuberosum* L.), визнані хорошими кандидатами для прийняття РА через високу вартість ресурсів. Крім того, чутливість урожайності та якості картоплі до управління культурами та умов навколишнього середовища робить точне управління економічно важливим. Просторова та часова мінливість ґрунтових

умов і росту культур добре задокументована. РА використовує геопросторову інформацію та технології для більш точного управління цією мінливістю. Методи інтенсивного відбору зразків ґрунту, монітори врожайності та датчики ґрунту та рослин можна використовувати, щоб визначити, де, коли та наскільки велика мінливість на полі. Роль агронома полягає в аналізі мінливості в межах поля, щоб визначити, як найкраще керувати нею. Доступні два основні підходи щодо мінливості культур і ґрунту: (1) внесення змінних норм (VRA) і (2) зони господарювання (MZ). Дослідження, які охоплювали 15 років, показали, що підхід MZ, заснований на детальній карті дослідження ґрунту (наприклад, масштаб 1:10 000), даних про властивості ґрунту або, в ідеалі, видимій електропровідності ґрунту, був більш ефективним, ніж VRA, в управлінні мінливістю та покращенні картоплі. продуктивності та рентабельності, одночасно зменшуючи вплив сільськогосподарської практики на навколишнє середовище [19].

Посилення тиску на продовольчу безпеку та сталість, а також необхідність зупинити деградацію навколишнього середовища зосередило увагу на підвищенні ефективності використання ресурсів ферм. Однією з відповідей на деякі аспекти цієї проблеми є використання технологій точного землеробства (PATs). Щоб полегшити їх впровадження, починаючи з 1980-х років у розвинутих країнах почали розвивати ініціативи. Незважаючи на низький рівень впровадження в інших країнах, подібні зусилля в останні роки були розпочаті в країнах, що розвиваються. Враховуючи це, розуміння тих основних факторів, які впливають на прийняття PAT, є життєво важливим. Настав час переглянути ці фактори та вивести з цього аналізу політичні наслідки для майбутніх дій. Цей огляд, заснований на дослідженнях обмеженого впровадження PAT у «досвідчених» країнах, екстраполює їхні висновки, щоб пояснити, чому фермери запровадили або не запровадили PAT. Водночас цей огляд узагальнює ключові ідеї для більш ефективного націлювання на «нових» підписників: напр. він дає деякі відповіді на запитання, хто з більшою ймовірністю прийме PAT. Крім того, огляд вказує на обмеження поточних досліджень у цій галузі та пропонує

прийняти надійну економічну модель або міждисциплінарний підхід для майбутніх досліджень [20].

Внесення добрив із змінною нормою вимагає знання просторового розподілу поживних речовин у ґрунті на полях. Для отримання цієї інформації можна використовувати відбір проб ґрунту за допомогою сітки, але він часто є

надто дорогим для визначення просторових структур поживних речовин у ґрунті в масштабі точного внесення добрив. Мета цього дослідження полягала в тому, щоб визначити, чи можна покращити ефективність вибірки сітки за допомогою

оцінок кокрігінгу з градієнтом нахилу як другорядною змінною, яку легко отримати з цифрових моделей рельєфу з високою роздільною здатністю. ґрунти

на двох пшеничних полях на півночі Монтани були відібрані у вузлах 100-метрової діагональної сітки. Карти вмісту фосфору та калію в ґрунті були побудовані за допомогою крігінгу та кокрігінгу. Спільний крігінг використовує

просторову кореляцію між двома змінними для прогнозування цікавої змінної з меншою інтенсивністю вибірки, часто з меншою похибкою оцінки, ніж однофакторний метод, такий як крігінг. Середня дисперсія оцінки для кокрігінгу порівняно з крігінгом була зменшена для всіх значень розглянутої кореляції.

Додаткова складність кокрігінгу може бути виправдана за умови, що існує вторинна змінна, яка просторово перехресно корельована з первинною змінною, що цікавить [21].

Просторові моделі для семи хімічних властивостей і текстур ґрунту досліджувалися на двох полях на півдні Іспанії (Монклова і Караколь, провінція

Севілья, Андалусія), щоб визначити їх просторовий розподіл для впровадження

практики внесення добрив на конкретну ділянку. Дві сітки відбору проб 35×20 і 35×35 м були встановлені в Караколі та Монклові відповідно. Чотирнадцять і вісім геоприв'язаних зразків ґрунту на гектар були зібрані на двох глибинах (0–

0,1 і 0,25–0,35 м) на початку листопада 1998 року перед удобренням і посадкою

озимих культур. Дані аналізували як статистично, так і геостатистично на основі варіограми. Модель просторового розподілу та рівень просторової залежності змінювалися як між місцями, так і всередині них. Десять властивостей ґрунту

показали відсутність просторової залежності як на глибині, так і на обраному інтервалі (лаг h). Так було для глини, органічної речовини та NH_4 у Монклові; і глина і NH_4 в Караколі. Вгау Р та обмінний К показали сильний неоднорідний розподіл на будь-якому полі та глибині. Важливо знати просторову залежність параметрів ґрунту, оскільки керувати параметрами з сильною просторовою залежністю (нерівномірним розподілом) буде легше, а точну схему внесення добрив для конкретної ділянки легше розробити для голяного землеробства [22].

Ґрунтова екосистема є складною, яка утворюється внаслідок різних процесів вивітрювання гірських матеріалів. Це є складається з мінеральних і органічних фракцій, що дає специфічні фізичні, хімічні, мінералогічні та біологічні властивості (Esu, 2005, Kingsley et al., 2019, Akpan-Idiok et al., 2012). На ці властивості також впливає різні екологічні змінні, такі як мікрокліматичні, рельєф, геологія, біологічні організми та ін серед іншого (Shukla, 2009; Jenny, 1941; Esu, 2005), що призводить до їхньої просторової різниці на невеликій території області (Таунсенд, Вітоусек і Трумбар, 1995). Тому ґрунтове картування є обов'язковим. Картографування ґрунтів, з іншого це процес збирання, опису, обробки, класифікації та прогнозування властивостей ґрунту (Esu, 2005). Він також надає найновішу інформацію щодо форм рельєфу, терас і рослинності (Denton et al., 2017; Браун та ін., 1978). Важливо те, що ці оновлені інвентаризації ґрунтів є надійними для політики та прийняття рішень точне землеробство (Denton et al., 2017) [23].

Просторова інтерполяція хімічних і фізичних властивостей ґрунту необхідна для моделювання його безперервного розподілу з дискретних геоприв'язаних зразків ґрунту, які в дій формі не демонструють репрезентативного стану сільськогосподарських угідь. Моніторинг просторово-часової динаміки параметрів ґрунту необхідний для сталого управління сільськогосподарськими землями через їх неоднорідність, на яку впливають едафічні процеси та системи сільськогосподарського виробництва, які важко зафіксувати та змодельовати. Виявлення входних параметрів для просторової інтерполяції, таких як щільність і метод відбору проб, а також неоднорідність

рельєфу, забезпечує більш економічний і ефективний відбір проб ґрунту шляхом коригування плану відбору проб для врахування цих факторів. Вплив цих сегментів з різною інтенсивністю позначається на неоднорідності сільськогосподарських угідь і може бути розділений на мікро- та макрорівень.

Мікрорівень включає одну або кілька сусідніх сільськогосподарських ділянок, тоді як макрорівень охоплює адміністративні одиниці від муніципалітетів до державного рівня. Одним із важливих застосувань просторової інтерполяції параметрів ґрунту на мікрорівні є точне картографування сільського господарства, яке впливає на фінансову вигоду фермерів та захист

навколишнього середовища через зменшення застосування мінеральних добрив і пестицидів. Проведені дослідження науковців на макрорівні спрямовані на прийняття кращих рішень щодо просторового планування та управління сільськогосподарськими землями. Визначення рівня впливу щільності відбору

проб ґрунту є важливим для обох рівнів досліджень, враховуючи високу вартість і неефективність часу звичайного польового відбору проб і лабораторного аналізу ґрунту [24].

Просторова мінливість параметрів ґрунту має першочергове значення в поясненні впливу факторів ґрунтогенезу та землекористування на ґрунти. Це

дозволяє використовувати різні ділянки землі для різних цілей і є центральне поняття в ґрунтовому картографуванні. Дослідження Franzluebbers і Hons (1996) порівняли розподіл доступних поживних речовин у ґрунті на полях під різними

системами землеробства та рекомендував важливість мати інформацію про ґрунт як керівництво для управління ґрунтами. Сільськогосподарські рішення завжди

має базуватися на зонах управління ґрунтом для підтримки точності сільськогосподарство (Kathumo, 2007; Ali et al., 2022). Зони управління розмежувати ферми на основі властивостей ґрунту, щоб керувати внесенням добрив (Фріджен та ін., 2004; Бао-вей та ін., 2018; Алі та ін., 2019; Макенті та ін., 2020 рік; Алі та ін., 2022) [25].

Збільшення попиту на продовольство внаслідок зростання світового населення спонукало до широкомасштабного використання добрив. Через

обмеження ресурсів і низьку ефективність використання добрив витрати для фермера різко зростають. Нанотехнології пропонують великий потенціал для адаптації виробництва добрив із бажаним хімічним складом, підвищення ефективності використання поживних речовин, що може зменшити вплив на навколишнє середовище, і підвищення продуктивності рослин. Крім того, контрольоване вивільнення та цілеспрямована доставка нанорозмірних активних інгредієнтів може реалізувати потенціал сталого та точного землеробства. У цій статті обговорюється огляд розумного та точного землеробства на основі нанотехнологій. Розглядаються наукові прогалини, які необхідно подолати, і фундаментальні питання, на які необхідно знайти відповіді для безпечного та ефективного розвитку та впровадження нанотехнологій [26].

Існуючі рекомендації щодо управління поживними речовинами для тютюну димової сушки (*Nicotiana tabacum*) у центральному Китаї зазвичай однакові для великих регіонів. Це призводить до надмірного внесення в райони з високим рівнем поживних речовин і недостатнього внесення в райони з низьким рівнем поживних речовин. Тому розуміння просторової мінливості поживних речовин у ґрунті має важливе значення для визначення місцевих потреб тютюну в добривах. Цілі цього дослідження полягали в тому, щоб (i) кількісно визначити просторову мінливість властивостей ґрунту на полях плантації тютюну та (ii) створити контурні карти для цих змінних. Зразки ґрунту (0-20 см) були взяті з 81 точки на приблизно 100-метровій сітці в березні 2007 року з використанням глобальної системи позиціонування для визначення місць розташування зразків. За допомогою геостатистичних методів було проаналізовано сім хімічних властивостей і структуру ґрунту. РН ґрунту, загальний азот, пісок і глина показали сильну просторову залежність із співвідношенням самородок/підвіконня в діапазоні від 16% до 20%. Органічна речовина ґрунту, доступний фосфор (АР), доступний калій (АК), здатність до катіонного обміну та мул показали помірну просторову залежність із співвідношенням самородок/підвіконня в межах від 30% до 50%. Лужний Ні у ґрунті не показав просторової залежності (чистий самородковий ефект) у

вибраному інтервалі відбору проб. Діапазони просторової залежності змінювалися від 274 м (загальний N) до 1066 м (ємність катіонного обміну). Чітко неоднорідний розподіл і низький зовнішній компонент мінливості для AP і AK вказують на те, що карти просторового розподілу для AP і AK можуть бути використані як основа для внесення добрив на конкретній ділянці [27].

Досягнення глобальної продовольчої безпеки є одним із найбільших викликів 21 століття. Дрібні фермери, які складаються з приблизно 2 мільярдів людей у 475 мільйонах домогосподарств у всьому світі (FAO, 2015), зазвичай стикаються з багатьма обмеженнями на шляху підвищення своєї продуктивності.

Ці обмеження включають обмежені знання та наявність поживних речовин, деградовані ґрунти, тиск шкідників і хвороб, мінливість клімату, обмежений доступ до зрошення та механізації та ненадійну інфраструктуру (Binswanger-Mkhize and Savastano, 2017; Holden, 2018; Sheahan and Barrett, 2017a). Серед цих обмежень низька родючість ґрунту та вплив на ефективність добрив є особливо важливими через повсюдне зниження родючості та пов'язані з цим витрати на врожайність та прибутки сільського господарства (Magenya and Barrett, 2009) [28].

Поживні речовини ґрунту є життєво важливими для підтримки росту та розвитку рослин і мають важливе значення для підтримки якості ріллі та забезпечення виробництва продуктів харчування. Ефективне підтримання та довготривала стабільність поживних факторів у ґрунті є важливими для захисту регіонального екологічного середовища та підтримки стабільності екосистеми.

Поживні речовини ґрунту залежать від багатьох елементів, таких як клімат, вихідний матеріал, біологія, час і діяльність людини. Ці змінні можуть призвести до складної просторової мінливості в різних масштабах. Неоднорідність поживних речовин у ґрунті безпосередньо впливає на продуктивність ґрунту, і детальне розуміння їхнього просторового розподілу має вирішальне значення для точного управління поживними речовинами та відповідних стратегій удобрення. Таким чином, ретельне дослідження регіональної мінливості поживних речовин у ґрунті може слугувати основою для впровадження змінних

методів удобрення, що гарантує високу врожайність та якість культури. Це має велике значення для наукової розробки програм удобрення на фермах, покращення використання поживних ресурсів і впровадження точних методів удобрення [29].

У процесі сільськогосподарського виробництва на врожайність польових культур впливає взаємодія різноманітних факторів. Азот (N), фосфат (P) і калій (K) досліджувалися в усьому світі як основні поживні елементи, які особливо необхідні для росту культур. Основним методом підвищення врожайності є контроль надходження N, P і K на основі існуючого вмісту поживних речовин у ґрунті. Зв'язок між поживністю ґрунту, внесенням добрив і врожайністю дуже складний. Виходячи з вмісту поживних речовин у ґрунті, важливою проблемою стало досягнення оптимальної врожайності шляхом ефективного використання врожаю під час вирощування польових культур. Він має різко нелінійні характеристики та характеристики чорного ящика, і його важко кількісно визначити традиційними аналітичними методами (Zhang et al., 2003). Традиційні методи аналізу врожайності сільськогосподарських культур і внесення добрив в основному включають метод балансу поживних речовин і метод функції ефекту добрив. Концепція методу балансу поживних речовин зрозуміла, а теорію легко зрозуміти, однак існує багато параметрів, які необхідно визначити, що призводить до низької точності. Метод функції ефекту добрива може об'єктивно відображати як добриво, так і інші фактори для єдиного та комплексного ефекту, а точність удобрення є високою та відповідає фактичній ситуації. Однак необхідно проводити різні експерименти для різних ґрунтів, клімату, землеробства, сорту тощо, а також потрібно накопичувати інформацію за різні роки. Це займає багато часу і, крім того, цей метод також вимагає складних математичних статистичних операцій; тому його нелегко освоїти широким верствам населення [30].

Геопростатистичні методи широко застосовуються для визначення просторової мінливості параметрів ґрунту в невідомих точках, оскільки вони є головною перевагою для класичної статистики через включення обмежених

даних вимірювань. Мета цього дослідження полягала в тому, щоб дослідити просторову мінливість різних параметрів ґрунту, визначених різними геостатистичними методами, включаючи звичайний крігінг (OK) і радіальну базисну функцію (RBF) на сході річки Карун, на південь від Ахваза, Іран, з метою рекомендацій щодо практики запліднення. Загалом 250 зразків ґрунту (0–30 см) були випадковим чином зібрані з досліджуваної території та проаналізовані на рН, солоність (ЕС), доступний калій (АК), CaCO_3 , пісок, мул та глину. Точність підготовлених карт була визначена за допомогою аналізу перехресної перевірки з використанням середньоквадратичної помилки (RMSE), середньої абсолютної помилки (MAE), середньої помилки зміщення (MBE) і графіка Q-Q. С. V. значення показали найвищий просторовий розподіл для ЕС (49,4%), АК (39,6%) та піску (56%). Однак змінна рН мала невелику мінливість (С. V. 3,7%), а глина (24,7%) і мул (21%) мали помірну мінливість. Аналіз варіограми показав ефективні діапазони для рН (610,9), ЕС (255,7), АК (253,16), CaCO_3 (31,6), піску (61П), мулу (254) і глини (252). Згідно з результатами, метод RBF може забезпечити вищу точність для ЕС, CaCO_3 , піску та мулу, а ОК є більш точним методом для оцінки рН, АК та глини. Такі результати можна застосувати для належного поводження з сільськогосподарськими землями та підвищення ефективності виробництва врожаю шляхом рекомендації ефективних методів удобрення [31].

Стає сільське господарство вимагає нових технологій добрив з високою ефективністю та меншим впливом на навколишнє середовище (Kassem et al., 2022). За останні 20 років світове виробництво сільськогосподарських культур зросло більш ніж на 60%, що безпосередньо вплинуло на використання багатоеlementних добрив. У світі спостерігалося значне зростання використання неорганічних синтетичних добрив, які прямо чи опосередковано впливають на викиди парникових газів, які впливають на зміну клімату (Han et al., 2019). Надмірне внесення добрив також призводить до вимивання поживних речовин у ґрунтові та поверхневі води та накопичення елементів у ґрунтах культур, що спричиняє зміни навколишнього середовища (Mikula та ін., 2020). Новий підхід

у розробці технології добрив інтегрує відходи, досягаючи властивостей контролюваного вивільнення поживних речовин (Skłuzurezak та ін., 2019, 2021).

Ця рішення мінімізує виснаження невідновлюваних ресурсів і забезпечує точне живлення рослин. Необхідно вносити добрива, які доставляють поживні речовини на цільову ділянку в кількості, що відповідає потребам рослини, без вимивання з навколорітрової зони. Добрива з контролюваним вивільненням, майбутнє точного землеробства, відповідають цим вимогам [32].

Дослідження, представлене в цій статті, базується на гіпотезі про те, що підхід машинного навчання підвищує точність прогнозування властивостей

грунту. Кореляції, отримані в цьому дослідженні, важливі для розуміння загальної стратегії прогнозування властивостей ґрунту за допомогою датчиків оптичної спектроскопії. Виявлено, що прогноз однокомпонентних властивостей

грунту був менш точним. Крім того, вплив рівнів категорій був не таким значним, як очікувалося, коли вибирали між 3-рівневою, 5-рівневою або 13-

рівневою характеристикою поживних речовин для деяких поживних речовин, які можна використовувати для більш точної стратегії характеристики поживних речовин. Було проведено порівняльний аналіз ґрунту з місцевої ферми з

подібною структурою та ґрунтів, зібраних у різних місцях Словенії, що дало

кращий прогноз для місцевої ферми. Нарешті, вплив аналізу головних компонентів було перевірено з використанням 5, 10, 20 і 50 перших головних компонентів, що вказує на кращу продуктивність машинного навчання при використанні 50 головних компонентів [33].

Європейська водна політика спрямована на досягнення доброго екологічного стану в усіх річках, озерах, прибережних і перехідних водах до 2027 або, найпізніше, до 2030 (Європейська комісія, 2011). На рівні ЄС Водна

рамкова директива (ВРД) визначає основні заходи щодо пом'якшення погіршення якості води внаслідок сільськогосподарської діяльності. Згідно з

ВРД, усі річки та інші водні об'єкти в кожній державі-члені повинні підтримувати високий екологічний статус (якщо вони йому призначені) або досягати та підтримувати принаймні добрий статус, коли це не так (ВРД,

2000/60/EC). Наразі в ЄС більше половини водних об'єктів не мають належного екологічного стану, як того вимагає ВРД ЄС, причому поживні речовини є однією з головних причин деградації (Foster and Chilton, 2021). Європейський молочний сектор є другим за величиною сільськогосподарським сектором в ЄС,

де молоко виробляється переважно від корів (97% у 2016 році). Молочне скотарство — це пасовищна система, яка залежить від постійно високих урожаїв трави, що вимагає використання хімічних добрив. Враховуючи потребу в інтенсифікації молочного виробництва та надзвичайну важливість забезпечення

захисту якості води, ефективне використання добрив є важливим. Фосфор (P)

вважається другою за важливістю поживною речовиною для росту трав після азоту (N), і його застосовують на пасовищах переважно через хімічні добрива (Heskenmüller та ін., 2014). Однак надмірне використання може призвести до

втрат із ґрунту у водойми, що призведе до евтрофікації та погіршення якості

екосистеми (Gourley et al., 2012). Повідомлялося, що втрати фосфору в

сільському господарстві значною мірою сприяють дифузному забрудненню водойм по всій Європі (Carpender, 2008), що наголошує на необхідності скорочення використання фосфорних добрив. Цей факт, разом із обмеженою

природою ресурсів P, ефективне використання фосфорних добрив у молочних

системах має важливе значення (Mihaițescu et al., 2015) [36].

Оптимальне внесення фосфорних (P) добрив є бажаним для підвищення ефективності виробництва ресурсів, покращення економічної прибутковості та мінімізації екологічних збурень. З огляду на високий рівень фосфору в багатьох

орних ґрунтах, принаймні в Західній Європі, зменшення вмісту P є реальною

метою (Csatho et al. 2007). Тим не менш, оптимізація також може призвести до

збільшення дозування P для використання потенціалу врожайності ґрунту.

Наявність фосфору в рослинах є складним результатом історії внесення

фосфору, а також багатьох і частково взаємодіючих властивостей ґрунту. Однак

P_{avl} становить лише невеликий відсоток від загального P ґрунту. Для оцінки P_{avl}

і розрахунку дозування добрив схвалені різні екстрагенти. Jordan-Meille та ін.

(2012) переглянули європейські тести ґрунтового фосфору та рекомендації щодо

внесення добрив. Принцип скрізь подібний: екстракція P хімічними реагентами супроводжується калібруванням значень P_{av1} на основі польових випробувань, щоб отримати рекомендації щодо добрив.

У Німеччині екстракція ацетату лактату кальцію (CAL) (Schüller 1969) є стандартним методом тестування ґрунту для визначення P_{av1} і формує основу рекомендацій щодо удобрення P (LWK 2015). Зауважте, що P_{av1} , визначений звичайними випробуваннями ґрунту, є операційно визначеним і не враховує хімічні форми зв'язування P (Hartmann et al. 2019). Доступні поживні речовини

та інші властивості ґрунту, які прямо чи опосередковано впливають на ріст сільськогосподарських культур, можуть значно відрізнятись в межах полів (Patzold та ін. 2008). Точне землеробство вирішує цю проблему шляхом адаптації внесення добрив у різних зонах поля (Gebbers and Adamchuk 2010); така

оптимізація може призвести до економічних вигод у довгостроковій перспективі (Schulte-Ostermann and Wagner 2018). Однак загальною сільськогосподарською практикою є відбір складених зразків ґрунту, які вважаються репрезентативними для досліджуваної території. У Німеччині офіційні консультативні служби рекомендують один комплексний зразок ґрунту на 3 га площі (LWK 2015). У

більшості випадків добриво P все ще вноситься рівномірно, оскільки фермери відчувають невпевненість у тому, як розділити окреме поле на зони управління.

Зони з різними властивостями ґрунту можна виділити при проведенні обстеження ґрунту різними методами зондування. Сенсорні карти часто розгадують неоднорідність ґрунту та пояснюють коливання, наприклад, урожайності зерна або загальної біомаси (Mertens та ін. 2008; Sun та ін. 2011).

Така інформація комерційно надається консультантами та допомагає визначити зони управління або відбору проб ґрунту. Проте звичайне вимірювання ґрунту, таке як електромагнітна індукція, найчастіше дає інформацію, яка безпосередньо не пов'язана з доступними правилами прийняття рішень (Sylvester-Bradley et al. 1999); особливо це стосується фосфору [37].

У проєкті Forschungsverbund Agrarökosysteme München (FAM) підтверджено нові розробки неруйнівних методів визначення властивостей

грунту та рослин. Інформацію про ґрунт із просторовою роздільною здатністю можна отримати за допомогою електромагнітної індукції, ближньої інфрачервоної спектроскопії та опосередковано шляхом кореляції рослинних насаджень із властивостями ґрунту. Використовуючи такі методи, можна охарактеризувати текстуру ґрунту, вуглець у ґрунті та доступну для рослин воду

в ґрунті. Отримання відповідних властивостей ґрунту за допомогою безконтактних сенсорних методів є дуже ефективним і надає довгострокову інформацію для оптимізованого керування. Дистанційне та проксимальне зондування дозволяє визначати біомасу рослин, вміст азоту та поглинання азоту.

Оцінка вмісту азоту, біомаси та поглинання азоту рослинами шляхом безконтактних оптичних вимірювань є перспективним методом для прийняття управлінських рішень фермерами. У центрі уваги цього розділу – спеціальне сільське господарство, яке спрямоване на оптимізацію вхідних ресурсів на рівні

поля та ферми та може принести користь як фермеру (з точки зору чистого прибутку), так і навколишньому середовищу (через зниження рівня викидів). Результати рекомендують прийняти змінну норму внесення азотних добрив. Спеціальне сільське господарство може збільшити ефективність використання азоту та зменшити вплив на навколишнє середовище. Загалом виявляється, що

потенційна користь для навколишнього середовища від внесення азотних добрив на конкретній ділянці збільшується разом із різницею врожайності на полі та сприятливими погодними умовами. Поєднання картографічного та онлайн-

підходів сприятиме подальшому покращенню. Методи, застосовані та нещодавно розроблені в рамках дослідження FAM, пропонують великий потенціал для подальшого застосування. Перспективними напрямками є спеціальний обробіток ґрунту, посів та захист рослин. Від таких досягнень виграють як інтегроване, так і органічне землеробство [38].

Система збору польової інформації є основною передумовою впровадження точного внесення добрив і зрошення. Виявлення та отримання біологічних характеристик і інформації про середовище росту агролісомеліоративних рослин є важливою основою для точного внесення

добрив та зрошення. Основна інформація про сільськогосподарські угіддя має вирішальний вплив на ріст культур і кінцеву врожайність. Швидка та недорога технологія збору інформації з високою щільністю, високою роздільною здатністю має велике значення для застосування та просування точного внесення

добрив та зрошення. Технології отримання інформації про сільськогосподарські угіддя в основному зосереджені на ґрунтах сільськогосподарських угідь, посівах, мікрометеорології, шкідниках і хворобах, а також екстремальних лихах. Основні методи збору даних включають звичайні польові дослідження, регулярний моніторинг на основі позиціонування GPS, дистанційне зондування та

моніторинг зображень з багатьох джерел безпілотних літальних апаратів (БПЛА), а також автоматичний моніторинг бездротових датчиків. Польову інформацію можна грубо розділити на дані про властивості ґрунту, місце розташування, ріст культур, навколишнє середовище сільськогосподарських

угідь та інформацію про врожайність. Він має характеристики великої кількості, багатовимірності, динамічності, невизначеності, неповноти, розрідженості та сильної часової та просторової мінливості. На даний момент дослідження технології швидкого збору польової інформації все ще є відносно нерозвиненими і стали важливою темою для багатьох міжнародних

підрозділів [42].

Розуміння просторової та часової мінливості врожайності сільськогосподарських культур є необхідною умовою для впровадження управління внесенням сільськогосподарських культур на конкретну ділянку.

Уявна електропровідність ґрунту (ЕСа), освітленість ґрунту та рельєф легко отримати дані, які можуть пояснити мінливість врожайності. Цілі цього дослідження полягали в тому, щоб оцінити просторову та часову мінливість врожайності бавовни (*Gossypium hirsutum* L.) і визначити взаємозв'язок між урожайністю та ЕСа ґрунту, рельєфом і яскравістю оголеного ґрунту на рівні

поля протягом кількох сезонів вегетації. Для цього дослідження було вибрано поле площею 50 га, на якому з 2000 по 2003 та 2005 роки вирощували бавовник на південних високих рівнинах Техасу. Урожайність негативно корелювала з

яскравістю голого ґрунту ($-0,47 < r < -0,33$ для червоної смуги) і позитивно корелювала з ЕСа ($0,08 < r < 0,29$ для 30-см ЕСа і $0,28 < r < 0,44$ для 90-см ЕСа). Урожайність мала сильнішу кореляцію з відносною висотою та нахилом, ніж із кривизною профілю та плоскою кривизною. У сукупності, ЕСа, топографічні ознаки та яскравість голого ґрунту пояснили до 70,1 % мінливості врожайності бавовни. Яскравість голого ґрунту та ЕСа були тісно пов'язані з текстурою ґрунту. Світліші ґрунти з низькими значеннями ЕСа мали менший вміст глини. Врожайність і властивості ґрунту мали сильнішу кореляцію в сухі сезони вегетації, ніж у вологі сезони вегетації. Модель мінливості врожайності бавовни була відносно стабільною в різні періоди вегетації. Структура ґрунту була одним із найбільших факторів, що впливають на мінливість врожайності бавовнику. Результати цього дослідження створюють основу для управління цільовою врожайністю та змінною нормою внесення води, добрив, насіння та інших ресурсів [48].

Збільшення населення світу за останнє десятиліття створює серйозну проблему для розвитку сільськогосподарського сектора. Потрібна радикальна зміна, щоб отримати оптимальну кількість із належною якістю та екологічними стандартами. Тому все частіше використовуються інноваційні методи вирощування, щоб максимізувати кількість виробленої продукції, мінімізуючи ризик забруднення навколишнього середовища. Точне землеробство – це стратегія управління землеробством, яка використовує такі технології, як глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS) і програми географічної інформаційної системи (GIS), щоб оцінити просторову та часову мінливість агроєкосистеми та диференційовано керувати нею для підвищення ефективності поля. Точне землеробство (PF) може бути застосоване до різних культур, включаючи вирощування оливок, з позитивними наслідками. Оливкові сади є однією з основних культур у середземноморському середовищі, яка характеризується широким діапазоном технологій вирощування, від традиційних до суперінтенсивних систем, з відповідними наслідками для агрономічного управління. Дослідження в області точного вирощування оливок

в основному зосереджені на дослідженні мінливості поля, тоді як мало досліджень було проведено щодо змінної норми застосування (VRA) різних факторів виробництва. VRA може впливати на різні агрономічні методи, такі як зрошення, засоби захисту рослин і внесення добрив. Протягом багатьох років надмірне удобрення оливкових культур було звичайною практикою без урахування просторової та часової мінливості поля, що призводить до економічних, якісних та екологічних наслідків. Надмірне застосування добрив призводить до негативних ефектів якості, таких як зменшення поліфенолу та дисбалансу вегетативного росту по відношенню до продукції [49].

Просторова мінливість властивостей ґрунту протягом тривалого часу спостерігалася на рівномірно керованих полях. Розуміння просторових характеристик властивостей ґрунту було б корисним у розробці індивідуального управління. Уніфіковане управління призводить до надмірного внесення в райони з високим рівнем поживних речовин і недостатнього внесення в райони з низьким рівнем поживних речовин. Метою цього дослідження було кількісне визначення ступеня просторової мінливості властивостей ґрунту. Це важливо для якості тютюну на полях плантацій тютюну димової сушки (*Nicotiana tabacum*). За допомогою геостатистичних методів проаналізовано 14 властивостей ґрунту. Органічна речовина ґрунту (OB) мала значну позитивну кореляцію з активним OB ґрунту, загальним N (TN), доступним N, доступним фосфором, доступним калієм, Cu, Fe та Mn. TN, Zn, ємність катіонного обміну та мул показали сильну просторову залежність із співвідношенням самородоксил у діапазоні від 3,39% до 23,43%. Інші властивості ґрунту показали помірну залежність, із співвідношенням самородок-підвіконь від 30,87% до 49,99%. Просторова залежність коливалася від 34,3 м (Zn) до 376,3 м (Mn). Контурна карта OM показала найбільшу схожість з картою TN. Варіографія та крігінг є корисними інструментами для стратегій відбору проб ґрунту та застосування змінної норми в землеробстві на певних ділянках [50].

Існує кілька потенційних джерел інформації для підтримки точного управління внесенням врожаю. У цьому дослідженні оцінювалися дані

випробувань ґрунту, зображення дистанційного зондування глибокого ґрунту та інформація моніторингу врожайності на предмет їхнього потенційного внеску в точне управління кукурудзою (*Zea mays L.*). Дані були зібрані з п'яти фермерських полів у центральному Нью-Йорку в 1999, 2000 та 2001 роках.

Геостатистичні методи були використані для аналізу просторової структури родючості ґрунту (рН, Р, К, NO₃ та вміст органічної речовини) та змінних урожайності (врожайність, реакція гібрида та реакція на запліднення N), тоді як зображення дистанційного зондування було оброблено за допомогою аналізу

головних компонентів. Для оцінки зв'язків у даних використовували обробку

просторових даних і кореляційний аналіз геоінформаційної системи (ГІС). Вміст органічної речовини, рН, Р і К були дуже постійними протягом тривалого часу та показали високий або помірний рівень просторової автокореляції, що свідчить про те, що відбір проб ґрунту в масштабі 2,5–5,5 га можна використовувати як

основу для визначення зон управління родючістю. Рівень нітратів у ґрунті сильно залежав від сезонних погодних умов і продемонстрував низький потенціал для управління азотом на певних ділянках. Дані аерофотознімків були пов'язані з вмістом органічної речовини в ґрунті, а в деяких випадках і з урожайністю, головним чином через ефект дренажних моделей. Дані

аерофотознімків подано корелювали з показниками родючості ґрунту, а тому не були корисними для визначення зон управління родючістю. Реакція врожайності на відбір гібридів і норми внесення азотних добрив сильно відрізнялися по роках і показали незначне виправдання для управління залежно від ділянки.

Підсумовуючи, ми рекомендуємо мережеве управління вапном, фосфором і калієм, але в межах нашої обмеженої досліджуваної території не існувало жодних обґрунтувань для управління N або гібридами на певному місці [51].

Отже, літературний аналіз дає можливість зробити висновок щодо важливості вибору форм і методів для оцінки ґрунтової неоднорідності.

РОЗДІЛ 2. МІСЦЕ, УМОВИ, ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА

ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

НУБІП України

2.1 Місце та агрокліматичні умови проведення досліджень

Дослідження проводились у 2023 році на дослідних полях ФГ «Агро-Код2008», що розміщені в селі Костянець, Хмельницького району, Хмельницької області. Дослідна ділянка знаходилась в північній частині Хмельницького району, в північно-західній частині правобережного лісостепу та відноситься до північного агрокліматичного району області.

Клімат району проведення досліджень помірно-континентальний з теплим літом, м'якою зимою та достатньою кількістю опадів. Кількість сонячної радіації місцевості збільшується з півночі на південь і зумовлює зміну середньорічної температури від $+6,8^{\circ}\text{C}$ в північних районах, до $+7,3^{\circ}\text{C}$ в південних. З північного-заходу до південного-сходу зростає континентальність клімату області. Хмельницька область розташована вглибині материка і на її клімат впливають континентальні повітряні маси, які приносять суху погоду.

На території області, де знаходиться господарство випадає 630-710 мм опадів на рік. Більша частина опадів випадає влітку, менша – взимку. Влітку спостерігаються зливи, грози, іноді – град. З другої половини грудня починає формуватися сніговий покрив, який утримується до першої декади березня.

Висота снігового покриву складає 10-15 см. За забезпеченістю теплом, зволоженням території і тривалістю сонячного сяйва, район господарства

Рис. 2.1 Карта знаходження району досліджень

відноситься до північного агрокліматичного району; сума активних температур до 2450 градусів, середньорічна температура повітря $+6,8^{\circ}\text{C}$, підвищена вологість повітря, тривалість сонячного світла 1800 год/рік, сніговий покрив 90-95 днів.

НУБІП України



Рис. 2.2 Карта розміщення району досліджень (Вікіпедія)

Модуль річкового стоку змінюється в області з північного-заходу на південний-схід від 4 до 1,8 л/с з 1 км², континентальність клімату збільшується в даному напрямку. Навесні спостерігається повінь, інші режими гідрології річок включають зимову та літню межень, що порушується дошовими паводками (Департамент екології та природних ресурсів Хмельницької обласної державної адміністрації, 2013).

Рельєф та гідрологічні умови

Територія Хмельницької області знаходиться в межах центрально-східної частини Подільської і крайньої східної частини Волинської височин. Північну частину області де знаходяться поля ФГ «Агро-Код2008» Хмельницький район, характеризується невеликими абсолютними висотами.

До зовнішніх факторів, що вплинули на формування рельєфу відносяться діяльність поверхневих вод, що утворює промоїни, яри, балки, долини та інші утворення. Господарська діяльність людини та її нерациональні форми також мають негативний вплив на руйнування природних рельєфних форм.

В районі угідь, що обробляє ФГ «Агро-Код2008» знаходиться Горинь-Слуцька або Північноподільська височина з середніми абсолютними висотами

280-300 м (до 350 м). Загальний нахил височини направлений із заходу і півдня на схід та північ, що тотожно з напрямом течії ріки Случ з притоками Ікопоть, Деревичка, Хемора та р. Горинь з Полквою та Вілею. В північній частині височина опускається уступом на 20-30 м до Шенетівської рівнини (Геренчук, 1980).

Отже, рельєф угідь ФГ «Агро-Код2008» Хмельницької області різноманітний та сформувався під впливом внутрішніх та зовнішніх сил, які зумовили формування відповідного ґрунтового покриву та умов розвитку сільського господарства.

Ґрунтоутворюючі породи

Ґрунтоутворюючі або материнські породи – це поверхневі горизонти гірських порід, на яких утворюються ґрунти. Гірські породи поділяються на магматичні, осадові та метаморфічні.

Поля, що обробляються фермерським господарством знаходяться в лісостеповій зоні України. Відповідно ґрунтовий покрив сформувався під впливом ґрунтоутворних порід, таких як лесі, лесовидні суплилки, алювіальні відклади. Ґрунтоутворними процесами є дерновий і підзолистий (Купчик, та ін., 2010).

Агрометеорологічні умови в рік досліджень

В рік проведення досліджень метеорологічні фактори були відмінними від середніх багаторічних показників та характеризувались підвищеними температурами в літні місяці, недостатньою кількістю опадів. Так як посів пшениці озимої відбувається восени, а збір – влітку наступного року, то нами були проаналізовані дані кліматичних показників району цілого року. Для аналізу використані дані гідро-метеостанції міста Старокостянтинів. До аналітичних показників віднесли середню температуру за місяць, кількість опадів та висоту снігового покриву.

Таблиця 2. Кліматичні умови району проведення досліджень

Показник	Температура, °С				Опади, мм				Висота сніг. покриву, см			
	2021	2022	2023	Багаторіч.	2021	2022	2023	Багато річ.	2021	2022	2023	Багаторіч.
Січень	-5,4	-4,5	-0,6	-5,5	80	47	53	42	25,5	10,5	6,4	14,1
Лютий	-1,3	-0,4	-0,8	-4,7	56	16	23	37	34,5	6,2	4,2	15,0
Березень	-2,5	6	4,4	-0,2	115	37	34	34	30,5	3		16,8
Квітень	9,3	9,4	8,1	6,8	24	36	31	55	17,9		1,5	9,7
Травень	16,9	15,2	14,4	13,6	67	133	45	69				
Червень	19,1	16,4	18,4	16,5	141	43	41	100				
Липень	18,5	20,1	19,9	18,5	52	84	21	108				
Серпень	18	19	21,2	17,4	40	75	6,5	76				
Вересень	11,7	14,1	16,1	13,1	146	9,9	67	59				
Жовтень	9,4	7,8	6,7	7,3	12	5,9	27	39				
Листопад	6,4	1,9		1,5	94	50	18	44				
Грудень	-0,1	-1,8		-3,1	25	60		51	2,9	0,6	0	3,0
Середня	8,3	8,6		7,0	49,7	33,3	59,5	22,3	6,4	3,0		11,7
Всього					852,0	596,8	366,5	714	111,3	25,7	12,1	58,5

Джерело Укрметеоцентр

Середня температура в 2023 році була відносно вищою від середніх температур у 2021-2022 роках та становила $+10,4^{\circ}\text{C}$, при $+8,5^{\circ}\text{C}$ у двох попередніх. В 2023 році особливо теплими були літні місяці та початок осені, в середньому температура у червні-вересні 2023 року була на $1,8^{\circ}\text{C}$ вищою, ніж у попередні два місяці.

За 2022/2023 вегетаційний рік (01.10.2022-10.08.2023) середньорічна температура склала $+7,1^{\circ}\text{C}$, що відзначається підвищеними температурами в червні-липні. Найбільш холодним періодом у 2023/2023 вегетаційному році був кінець грудня-початок січня, 31 грудня та 7 січня були зареєстровані абсолютні мінімуми в $-19,3^{\circ}\text{C}$, а максимум був зареєстрований 8 липня - $+33,7^{\circ}\text{C}$. В порівнянні з багаторічними показниками, температурні показники 2022 року є вищими.

Грунтові умови

Рельєф місцевості - рівнинний. Грунтові води залягають на глибині 2-4 м.
 Грунт дослідної ділянки - чорнозем опідзолений малогумусний крупно-пилувато-середньосуглинковий на лесовидних суглинках.

Грунт характеризується наступними агрохімічними та воднофізичними.
 (табл.2.1.).

Таблиця 2.1. Агрохімічна характеристика ґрунту дослідного поля

Глибина взяття зразка, см	Вміст гумусу, %	pH водної витяжки	Сума увібраних основ, мг- екв. на 100 г ґрунту
0-30	4,03	6,37	21,9
30-45	2,38	6,30	22,0
70-80	1,36	6,30	19,1
130-140	0,86	7,30	15,0

Вміст гумусу в орному шарі (за Тюріним) – 4,03%, pH водної витяжки
 6,37 - 7,3.

2.2. Програма і методики проведення досліджень

Дослідження по вивченню особливостей формування продуктивності пшениці залежно від рівнів забезпечення чорнозему опідзоленого рухомими сполуками фосфору і обмінного калію.

Дослідження проводились на дослідних полях в с. Костянець, Хмельницького району, Хмельницької області.

- Визначення динаміки елементів живлення в ґрунті: рухомих форм фосфору і обмінного калію - за Чиріковим .

- Зразки ґрунту відбиралися систематично, у фазі розвитку за ВВСН згідно з ISO 10381-2. Підготовка до хімічного аналізу здійснювалася згідно ДСТУ ISO 11464:2001. Вміст рухомих форм фосфору визначався за методом Чирікова.

- Облік урожаю методом суцільного обмолоту кожної ділянки з наступним перерахунком на 100% чистоту та 14% вологість .

- Варіаційно-статистична обробка урожайних даних – методом дисперсійного аналізу за Доспеховим Б.О.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ.

У виробництві господарств, в тому числі ФГ «Агро-Код2008», використовуються системи глобального позиціонування, аналіз ґрунту в заданих точках, супутникова та аерофотозйомка, інші програми для забезпечення управління виробництвом, диференційоване внесення добрив.

Диференційне внесення добрив (DIF) є важливим методом в сільському господарстві, який спрямований на оптимізацію внесення добрив на поля з метою збільшення врожаю та зменшення витрат. Основна ідея полягає в тому, щоб внести добрива в різних частинах поля відповідно до їхніх потреб,

які можуть відрізнятися в залежності від ґрунтових властивостей, попереднього вирощуваного культурного рослини, структури ґрунту та інших факторів. Основні принципи та переваги диференційного внесення добрив такі на думку фахівців *Студії аграрних систем, 2022* [1]:

Зменшення витрат: Диференційне внесення добрив дозволяє точно визначити потреби кожної зони поля в добривах. Це допомагає зменшити надмірне внесення добрив у певних зонах, що може призвести до надмірного споживання ресурсів та забруднення навколишнього середовища.

Збільшення врожаю: Завдяки точному дозуванню добрив, кожна частина поля отримує необхідну кількість поживних речовин для культурних рослин. Це сприяє покращенню росту та розвитку рослин і збільшує врожайність.

Покращення якості врожаю: Диференційне внесення добрив дозволяє підібрати добрива з правильним співвідношенням поживних речовин для кожної зони поля, що сприяє покращенню якості врожаю, такого як розмір, смак і поживна цінність.

Оптимізація ґрунтових властивостей: Аналіз ґрунту і внесення добрив відповідно до його потреб дозволяє покращити ґрунтові властивості та забезпечити оптимальні умови для росту рослин.

Екологічні переваги: Мінімізація надмірного внесення добрив сприяє зменшенню забруднення навколишнього середовища токсичними речовинами та різкому впливу на екосистеми.

Диференційне внесення добрив є ефективним підходом до управління ресурсами в сільському господарстві і може покращити врожайність та якість вирощених культурних рослин, знизити витрати та негативний вплив на навколишнє середовище [1].

3.1. Забезпечення рухомими сполуками фосфору

Висновки про наявність фосфору для рослин можуть бути зроблені тільки на основі аналізу рухомих форм цього елемента в ґрунті. Таким чином, наявність рухомих засвоєваних фосфатів у ґрунті стає ключовою для ефективного використання ґрунтів у сільському господарстві. Для того щоб регулювати концентрацію рухомих фосфатів і забезпечити ними сільськогосподарські культури під час вегетації, необхідно вивчити фактори та закономірності їхньої просторово-часової динаміки.



Рис.3.1 Картограма забезпеченості ґрунту поля №2 рухомими сполуками фосфору (P-А1), мг/кг ґрунту

В таблиці 3.1. представлені дані по вмісту рухомих фосфатів за методом Чирікова в полі №2.

Таблиця 3.1 Вміст рухомих сполук фосфору в ґрунті поля №2

Номер ділянки	P ₂ O ₅ , мг/100 г	P ₂ O ₅ , мг/кг	Забезпеченість фосфором
1	12,6	126	Середня
2	6,4	64	Низька
3	6,0	60	Низька
4	5,7	57	Низька
5	5,5	55	Низька
6	7,3	73	Низька
7	4,1	41	Дуже низька
8	9,4	94	Низька
9	5,3	53	Низька
10	5,0	50	Низька
11	17,0	170	Середня
12	14,4	144	Середня

Найвищий вміст рухомих форм фосфору виявлено на одинадцятій ділянці - 17,0. Кількість рухомого фосфору значно знижується в варіантах з низьким рівнем - від 9,4 до 5,0. Найнижча динаміка рухомих сполук фосфору спостерігалася в варіанті з дуже низьким вмістом рухомих сполук - 4,1 мг/100 г ґрунту. Оскільки коефіцієнт варіації становить 49, рекомендується використовувати диференційне внесення фосфорних добрив.

3.2. Забезпеченість рухомих калієм в ґрунті

Недостатній рухливий калій може спричинити затримку обміну речовин, що в свою чергу може активізувати дисиміляційні процеси, порушуючи водний обмін. Це, в свою чергу, може призвести до нестачі врожаю. У картограмі 3.2 та таблиці 3.2 наведено дані про забезпеченість рухомих калієм в ґрунті дослідного поля.



Рис.3.2. Картограма забезпеченості ґрунту дослідного поля рухомим

калієм

НУБІП України

НУБІП України

Таблиця 3.2 Забезпеченість ґрунту дослідного поля рухомих калієм

Номер ділянки	K ₂ O, мг/100 г	K ₂ O, мг/кг	Забезпеченість калієм
1	18,1	181	Середня
2	11,8	118	Середня
3	13,3	133	Середня
4	11,6	116	Середня
5	13,3	133	Середня
6	14,5	145	Середня
7	16,9	169	Середня
8	15,7	157	Середня
9	13,3	133	Середня
10	19,3	193	Середня
11	20,5	205	Підвищена
12	15,7	157	Середня

Найнищий вміст рухомого калію був виявлений у одинадцятому варіанті, досягаючи 20,5 мг/100 г. В порівнянні з цим, вміст калію був відносно нижчим в варіантах із середнім рівнем – від 19,3 до 11,6 мг/100 г, а найменша динаміка виявилася у варіанті з середнім вмістом калію – 11,6 мг/100 г. Медіана вмісту калію у ґрунтах дослідного поля становила 151 мг/кг, верхній квантиль – 172 мг/кг, нижній квантиль – 133 мг/кг.

3.3. Мінеральний азот в ґрунті та його характеристика

Кукурудза, як культура, проявляє велику потребу в азоті для свого повноцінного росту та розвитку, а також для формування білків. Забезпечення азотом є критичним на різних етапах життєвого циклу рослини. На початкових етапах росту рівень використання азоту є досить низьким. Низька абсорбція азоту, іноді пов'язана з низькими температурами навесні, може спричинити зневоднення листя та тимчасове зупинення росту рослини.

З фази 6-8 листків починається активне використання азоту рослиною, але

в період від появи волоті до цвітіння цей мінеральний елемент використовується навіть більш інтенсивно. До фази 8 листа азот є менш активно абсорбованим, в той час як від фази 8 листа до фази молочно-воскової стиглості вже абсорбується більше 85% всього азоту, використаного рослиною протягом вегетації. Залишок азоту поглинається вже на стадії досягання, становлячи від 9 до 13%.

Недостатня кількість азоту може призводити до формування низькорослих рослин зі світло-зеленими дрібними листочками.

Фаза цвітіння є найбільш критичною для абсорбції азоту. Завдяки високим денним температурам відбувається процес мінералізації, а також вивільнення азоту з ґрунту, і кукурудза здатна краще асимілювати його, порівняно з іншими зерновими культурами.

Таблиця 3.3. Забезпеченість мінеральним азотом дослідного поля, мг/100 г

Поле	N-NH ₄	N-NO ₃	Мінеральний азот	Забезпеченість мінеральним азотом
1	1,1	5,9	7	Дуже низький
2	1	5,5	6,5	Дуже низький
3	1,8	6,7	8,5	Дуже низький
4	0,9	5,1	6	Дуже низький
5	0,9	3,3	4,2	Дуже низький
6	1,1	6	7,1	Дуже низький
7	1	4,5	5,5	Дуже низький
8	1,5	3,9	5,4	Дуже низький
9	1,2	4,9	6,1	Дуже низький
10	1	6,4	7,4	Дуже низький
11	1,6	8,5	10,1	Низький
12	1,2	8,2	9,4	Дуже низький

Аналізуючи таблицю 3.3, важливо відзначити, що 93% площі характеризується дуже низьким рівнем забезпечення, тоді як лише 7% відзначається низьким рівнем мінерального азоту. Медіанне значення мінерального азоту в ґрунтах дослідного поля складає 6,8 мг/100 г ґрунту,

верхній кuartиль - 7,7 мг/100 г ґрунту, а нижній кuartиль - 5,9 мг/100 г ґрунту.

3.4. Фізико-хімічні показники ґрунту

Важливо пам'ятати, що вирощування кукурудзи вимагає не тільки оптимальної реакції ґрунтового середовища, але й інших факторів, таких як вологість, добрива, насіння та догляд за рослинами. Комплексний підхід до вирощування кукурудзи допоможе досягти оптимального врожаю зерна. Фізико-хімічні показники ґрунту впливають на:

1. Доступність поживних речовин: Близька до нейтрального рН сприяє доступності поживних речовин для рослин. Кукурудза потребує певних макро- та мікроелементів для нормального росту і розвитку, і в нейтральному або слабко кислому ґрунті ці елементи краще доступні для рослин.

2. Зниження токсичності алюмінію: В кислих ґрунтах може бути підвищений вміст токсичного алюмінію, що може заважати росту рослин.

Близька до нейтрального рН допомагає зменшити цю токсичність.

3. Збалансований мікробний склад ґрунту. ґрунт з близькою до нейтральної кислотності сприяє розвитку корисних мікроорганізмів, що можуть підтримувати здоровий ріст рослин і розкладати органічний матеріал, збільшуючи доступність поживних речовин.

4. Менше стресу для рослин/ Кукурудза зазвичай краще росте в ґрунтах зі стабільною кислотністю, оскільки вона може страждати від стресів, пов'язаних з кислими або лужними ґрунтами.

На картограмі, яка представлена на рис. 3.3, відображено взаємодію ґрунтового середовища у дослідному полі.



Рис. 3.3 Картограма реакції ґрунтового середовища дослідного поля

Аналізуючи результати експерименту, які представлені в таблиці 3.4, ми можемо визначити, що реакція ґрунтового середовища визначається як близька до нейтральної і має позитивний вплив на вирощування кукурудзи на зерно.

НУБІП України

НУБІП України

Таблиця 3.4. Гранулометричний склад ґрунту та деякі фізико-хімічні показники дослідного поля

Ділянка	Вміст фізичної глини % (USAID)	Гранулометричний склад	Гумус, %	Рівень забезпеченості гумусом	pH (H ₂ O)	Ступінь кислотності
1	18	Середньосуглинковий	3,0	Середній	6,6	Близький до нейтрального
2	18	Середньосуглинковий	2,9	Середній	6,4	Близький до нейтрального
3	18	Середньосуглинковий	3,3	Підвищений	6,4	Близький до нейтрального
4	18	Середньосуглинковий	3,2	Підвищений	6,7	Близький до нейтрального
5	18	Середньосуглинковий	2,8	Середній	6,2	Близький до нейтрального
6	18	Середньосуглинковий	3,2	Підвищений	6,1	Близький до нейтрального
7	18	Середньосуглинковий	3,0	Середній	6,5	Близький до нейтрального
8	18	Середньосуглинковий	3,0	Середній	6,4	Близький до нейтрального
9	18	Середньосуглинковий	3,0	Середній	6,5	Близький до нейтрального
10	18	Середньосуглинковий	3,2	Підвищений	6,4	Близький до нейтрального
11	18	Середньосуглинковий	3,5	Підвищений	6,9	Близький до нейтрального
12	17	Середньосуглинковий	3,3	Підвищений	6,9	Близький до нейтрального

Грунт із середньосуглинковим гранулометричним складом виявляється оптимальним для вирощування кукурудзи на зерно і проявляє такі позитивні характеристики:

1. **Водопроникність:** Текстура середньосуглинкового ґрунту є оптимальною, сприяючи утриманню вологи в родючому шарі. Це особливо важливо для кукурудзи, яка вимагає достатнього забезпечення вологою, особливо під час активного росту та цвітіння.

2. **Дренаж:** Середньосуглинковий ґрунт зазвичай відзначається ефективним дренажем, що запобігає застою води та кореновому гнилі, що може шкодити рослинам.

3. **Легка обробка:** Середньосуглинковий ґрунт зазвичай легко піддається обробці та має сприятливу структуру для вирощування рослин. Це спрощує процес посіву та догляду за кукурудзою.

4. **Запас поживних речовин:** Наявність достатнього запасу поживних речовин у ґрунті може сприяти росту та розвитку кукурудзи, впливаючи на врожайність зерна.

5. **Боротьба з ерозією:** Ґрунт середньосуглинкового ґіну може бути менше схильним до ерозії, оскільки має поліпшену структуру та утримує рослинні залишки.

3.5. Статистичний аналіз досліджуваних результатів і диференційна норма внесення добрив

6. Установити особливості впливу диференціації (адресного нормування) внесення мінеральних добрив на агрохімічні показники ґрунту та врожайність кукурудзи на зерно можливо за допомогою математико-статистичних методів оцінки достовірності результатів досліджень.

Таблиця 3.5 містить статистичний аналіз мінеральних сполук азоту, рухомого калію і фосфору на дослідному полі.

Таблиця 3.5. Статистичний аналіз мінеральних сполук азоту, рухомого калію і фосфору

Показник	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
об'єм вибірки	12	12	12
середнє	6,9	82,3	153,3
стандартне відхилення	1,7	42,1	29,0
помилка середнього	0,5	12,1	8,4
коефіцієнт варіації,%	24%	49%	18%
мінімальне значення	4,2	41,0	116,0
нижній кuartиль	5,9	54,5	133,0
медіана	6,8	62,0	151,0
верхній кuartиль	7,7	102,0	172,0
максимальне значення	10,1	170	205,0

Аналіз таблиці 3.5 свідчить про високий показник варіації у 49 і 24 для рухомого фосфору і мінерального азоту відповідно, а для калію цей показник становить середнє значення у -18%. Таким чином, рекомендується застосування диференційованого внесення фосфорних, калійних і азотних добрив на дослідному полі.

Були розраховані дози добрив і урожайність для 2022 року, де використовувалася постійна норма добрив NPK (150:52:52), і для 2023 року, коли впроваджувалася диференційна норма. Ці дані наведені у таблиці 3.6.

Важливо зазначити, що в 2022 році в господарстві використовувалася постійна норма внесення добрив NPK на рівні (150:52:52). За допомогою диференційного внесення добрив на кожній з дослідних ділянок нам вдалося досягти зменшення витрат добрив, при цьому отримуючи більшу врожайність.

Таблиця 3.6. Норми добрив у 2023 році та урожайність кукурудзи на

зерно

Поле	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Врожайність кукурудзи на зерно, т/га		Приріст врожаю т/га
				2023	2022	
				1	122	
2	125	37	47	10,15	6,87	3,28
3	113	39	45	9,82	6,53	3,29
4	127	41	47	8,97	5,93	3,04
5	137	42	45	10,39	6,72	3,67
6	120	31	43	10,44	6,94	3,53
7	130	50	40	11,38	7,81	3,77
8	131	19	41	11,14	7,57	3,82
9	127	43	45	10,65	7,14	3,51
10	119	45	36	10,93	7,44	3,49
11	104	24	35	10,95	7,46	3,49
12	108	32	41	10,62	7,11	3,51

Підвищення врожайності на експериментальних ділянках у 2023 році коливається від 3,04 тони на гектар до 3,82 тони на гектар. Це свідчить про те, що внесення добрив за диференційованою схемою, порівняно з єдиною схемою на усьому полі в 2022 році, разом із сприятливими погодними умовами дало значний приріст у врожаї, при цьому суттєво знижуючи витрати на добрива на рівні від 30% до 200%.

Зважаючи на високі витрати на добрива, диференційоване внесення починає відігравати ще більш суттєву роль у забезпеченні рослин мінеральними речовинами.



а



б



в

Рис 3.5. Картограми урожайності кукурудзи на зерно у 2023 році по

длянках

НУБІП України

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ ЗА ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОГО ВНЕСЕННЯ ДОБРІВ

НУБІП України

Кукурудза визначається як одна з найбільш продуктивних злакових культур універсального призначення, що вирощується для різних цілей:

Н [продовольчого, кормового та технічного використання. Загалом, близько 15-20% світового виробництва кукурудзяного зерна використовується на продовольчі потреби, 15-20% на технічні цілі, та 60-65% – на корм для худоби.]

Н [Кукурудза використовується людством як продовольча культура з давніх часів, із загальною кількістю більше 300 виробів, що виготовляються з неї, багато з яких є сировиною для інших продуктів.]

Н [Важливо відзначити агротехнічне значення кукурудзи як культури з глибоким кореневищем, яка є відмінним попередником для ярі культури завдяки тому, що залишає ґрунт збагаченим органічними рештками та позбавленим від бур'янів. Річне світове виробництво кукурудзяного зерна продовжує зростати, випереджаючи виробництво інших сільськогосподарських культур. Актуальним залишається пошук пріоритетних напрямків підвищення ефективності виробництва кукурудзи на зерно, з урахуванням регіональних особливостей.]

Н [Для розрахунку економічної ефективності була взята ціна кукурудзи 4000 грн/т, діамофоски 25000 грн/т, калій хлористий 13000 грн/т, амофос -22000 грн/т. Загальні витрати на 1 га (насіння, обробіток, збирання, накладні) були взяті на рівні 6000 грн/га.]

Н [2023 р.- диференційна внесення добрив;
2022 р. – однакова норма добрив NPK на рівні (150:52:52).]

НУБІП України

Таблиця 4.1 Економічна ефективність вирощування кукурудзи на зерно за диференційного внесення

Ділянка	Врожайність кукурудзи на зерно, т/га		Вартість валової продукції, грн/га		Затрати на вирощування, грн/га		Умовно чистий дохід, грн/га	
	2023	2022	2023	2022	2023	2022	2023	2022
	1	10,33	7,23	41320	28920	12667	16113	28653
2	10,15	6,87	40600	27480	13057	16113	27543	11367
3	9,82	6,53	39280	26120	12679	16113	26601	10007
4	8,97	5,93	35880	23720	13280	16113	22600	7607
5	10,39	6,72	41560	26880	13580	16113	27980	10767
6	10,44	6,94	41760	27760	12528	16113	29232	11647
7	11,38	7,81	45520	31240	13503	16113	32017	15127
8	11,14	7,57	44560	30280	12354	16113	32209	14167
9	10,65	7,14	42600	28560	13295	16113	29307	12447
10	10,93	7,44	43720	29760	12818	16113	30902	13647
11	10,95	7,46	43800	29840	11472	16113	32328	13727
12	10,62	7,11	42480	28440	12111	16113	30369	12327

Максимальний умовний чистий дохід зафіксовано на 11 ділянці, де було високе забезпечення рухомим калієм та середнє азотом, досягаючи рівня у 32328 гривень на гектар. Мінімальний дохід, який склав 22600 гривень на гектар, зафіксовано на 4 ділянці. За внесення різних норм добрив у 2023 році умовний чистий дохід був втричі вищий порівняно з варіантом із стандартною кількістю добрив.

ВИСНОВКИ

1. Вміст рухомих форм фосфору на ділянці №11 досягав 17,0 мг/100 г, тоді як варіанти з низьким рівнем фосфору мали значення від 9,4 до 5,0 мг/100 г, і найнижчий вміст виявлено в дуже низькому варіанті – 4,1 мг/100 г ґрунту.

2. Медіана рухомого калію в ґрунтах дослідного поля становила 151 мг/кг, верхній кuartиль – 172 мг/кг, нижній кuartиль – 133 мг/кг.

3. За вмістом мінерального азоту 93% поля має дуже низьку забезпеченість, тоді як лише 7% - низьку. Медіана в ґрунтах дослідного поля по мінеральному азоту становила 6,8 мг/100 г ґрунту, верхній кuartиль – 7,7 мг/100 г, нижній кuartиль – 5,9 мг/100 г.

4. ґрунт дослідного поля характеризувався близькою до нейтральною реакцією, що позитивно впливає на вирощування кукурудзи на зерно.

5. Дослідне поле має високий показник варіації: 49 для рухомого фосфору, 24 для мінерального азоту і середній показник -18% для калію.

6. Збільшення врожайності на дослідних ділянках у 2023 році коливалося від 3,04 т/га до 3,82 т/га. Диференційоване внесення добрив разом з погодними умовами призвело до суттєвого зростання врожаю з одночасним зменшенням витрат на добрива на 30-200%.

7. Найвища урожайність кукурудзи на зерно досягла 10,95 т/га при вологості 14% на ділянці №11. Ця ділянка вирізнялася найбільшим вмістом рухомого фосфору, калію і мінерального азоту порівняно з іншими.

8. Найвищий умовний чистий дохід зафіксовано на 11 ділянці, де було підвищене забезпечення рухомих фосфором і середнє азотом, і склав 32328 гривень на гектар. Мінімальний дохід, який склав 22600 гривень на гектар, зафіксовано на 4 ділянці. Умовний чистий дохід в 2023 році за диференційного удобрення був втричі вищий, ніж при стандартній нормі добрив.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Рекомендації щодо диференційного внесення фосфорних, калійних і азотних добрив обумовлені високою варіабельністю вмісту цих елементів у ґрунті на дослідному полі. Зокрема, варіація рухомого фосфору і мінерального азоту складає 49% і 24%, відповідно, і середній показник для калію становить - 18%. Диференційне внесення добрив допоможе забезпечити оптимальні умови для росту рослин, враховуючи варіації в ґрунтовому середовищі та потреби рослин у поживних речовинах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Adamchuk, Viacheslav I., et al. "On-the-go soil sensors for precision agriculture." *Computers and electronics in agriculture* 44.1 (2004): 71-91.
2. Ameer, Sikander, et al. "Delineation of nutrient management zones for precise fertilizer management in wheat crop using geo-statistical techniques." *Soil Use and Management* 38.3 (2022): 1430-1445.
3. Bogunovic, Igor, et al. "Spatial variation of soil nutrients on sandy-loam soil." *Soil and tillage research* 144 (2014): 174-183.
4. Cambardella, C. A., and D. L. Karlen. "Spatial analysis of soil fertility parameters." *Precision agriculture* 1.1 (1999): 5-14.
5. Cambouris, A. Nth, et al. "Precision agriculture in potato production." *Potato Research* 57 (2014): 249-262.
6. Campolo, Jake, et al. "Evaluation of soil-dependent crop yield outcomes in Nepal using ground and satellite-based approaches." *Field Crops Research* 260 (2021): 107987.
7. Cassman, Kenneth G. "Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96.11 (1999): 5952-5959.
8. Clay, David E., et al. "Precision farming protocols. Part 2. Comparison of sampling approaches for precision phosphorus management." *Communications in soil science and plant analysis* 31.19-20 (2000): 2969-2985.
9. Coutinho, Marcos AN, et al. "Influence of soil sample preparation on the quantification of NPK content via spectroscopy." *Geoderma* 338 (2019): 401-409.
10. Crema, Alberto, et al. "Influence of soil properties on maize and wheat nitrogen status assessment from Sentinel-2 data." *Remote Sensing* 12.14 (2020): 2175.
11. Diacono, Mariangela, Pietro Rubino, and Francesco Montemurro. "Precision nitrogen management of wheat. A review." *Agronomy for Sustainable Development* 33 (2013): 219-241.

12. Dong, Yuhong, et al. "Precision fertilization method of field crops based on the Wavelet-BP neural network in China." *Journal of Cleaner Production* 246 (2020): 118735.
13. Griepentrog, H. W., and M. Kyhn. "Strategies for site specific fertilization in a highly productive agricultural region." *Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture*. Madison, WI, USA: ASA-CSSA-SSSA., 2000.
14. Guo, Wenxuan, Stephan J. Maas, and Kevin F. Bronson. "Relationship between cotton yield and soil electrical conductivity, topography, and Landsat imagery." *Precision Agriculture* 13 (2012): 678-692.
15. Guo-Shun, Liu, et al. "Spatial variability of soil properties in a tobacco field of central China." *Soil Science* 173.9 (2008): 659-667.
16. Haroon, Zainab, et al. "Potential of Precise Fertilization through Adoption of Management Zones Strategy to Enhance Wheat Production." *Land* 12.3 (2023): 540.
17. Hou-Long, Jiang, et al. "Spatial variability of soil properties in a long-term tobacco plantation in central China." *Soil Science* 175.3 (2010): 137-144.
18. Kingsley, John, et al. "Predictive mapping of soil properties for precision agriculture using geographic information system (GIS) based geostatistics models." *Modern Applied Science* 13.10 (2019): 60-77.
19. Kozar, Brian, Rick Lawrence, and Dan S. Long. "Soil phosphorus and potassium mapping using a spatial correlation model incorporating terrain slope gradient." *Precision Agriculture* 3 (2002): 407-417.
20. Kuang, Boyan, et al. "Sensing soil properties in the laboratory, in situ, and on-line: a review." *Advances in agronomy* 114 (2012): 155-223.
21. López-Granados, Francisca, et al. "Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain." *Plant and Soil* 246 (2002): 97-105.
22. Loures, Luís, et al. "Assessing the effectiveness of precision agriculture management systems in mediterranean small farms." *Sustainability* 12.9 (2020): 3765.

23. Lu, Yue, et al. "Precision Fertilization and Irrigation: Progress and Applications." *AgriEngineering* 4.3 (2022): 626-655.
24. Lund, E. D., C. D. Christy, and P. E. Drummond. "Practical applications of soil electrical conductivity mapping." *Precision agriculture* 99 (1999): 771-779.
25. Magri, Antoni, et al. "Soil test, aerial image and yield data as inputs for site-specific fertility and hybrid management under maize." *Precision agriculture* 6 (2005): 87-110.
26. McBratney, A. áB, and M. J. Pringle. "Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture." *Precision Agriculture* 1 (1999): 125-152.
27. Medel-Jiménez, Francisco, et al. "Modelling soil emissions and precision agriculture in fertilization life cycle assessment-A case study of wheat production in Austria." *Journal of Cleaner Production* 380 (2022): 134841.
28. Micha, Evgenia, et al. "Assessing the effect of soil testing on chemical fertilizer use intensity: An empirical analysis of phosphorus fertilizer demand by Irish dairy farmers." *Journal of Rural Studies* 97 (2023): 186-191.
29. Mikula, Katarzyna, et al. "Controlled release micronutrient fertilizers for precision agriculture—A review." *Science of the Total Environment* 712 (2020): 136365.
30. Mwendwa, Samuel M., et al. "Assessing spatial variability of selected soil properties in Upper Kabete Campus coffee farm, University of Nairobi, Kenya." *Heliyon* 8.8 (2022).
31. Nawar, Said, et al. "Delineation of soil management zones for variable-rate fertilization: A review." *Advances in agronomy* 143 (2017): 175-245.
32. Neupane, Jasmine, et al. "Spatial patterns of soil microbial communities and implications for precision soil management at the field scale." *Precision Agriculture* 23.3 (2022): 1008-1026.
33. Pätzold, Stefan, et al. "Predicting plant available phosphorus using infrared spectroscopy with consideration for future mobile sensing applications in precision farming." *Precision Agriculture* 21 (2020): 737-761.

34. Pusch, Maiara, et al. "Improving soil property maps for precision agriculture in the presence of outliers using covariates." *Precision Agriculture* 23.5 (2022): 1575-1603.
35. Rabia, Ahmed Harb, et al. "Principles and applications of topography in precision agriculture." *Advances in agronomy* 171 (2022): 143-189.
36. Radočaj, Dorijan, et al. "The effect of soil sampling density and spatial autocorrelation on interpolation accuracy of chemical soil properties in arable cropland." *Agronomy* 11.12 (2021): 2430.
37. Radočaj, Dorijan, Mladen Jurišić, and Mateo Gašparović. "The role of remote sensing data and methods in a modern approach to fertilization in precision agriculture." *Remote Sensing* 14.3 (2022): 778.
38. Raliya, Ramesh, et al. "Nanofertilizer for precision and sustainable agriculture: current state and future perspectives." *Journal of agricultural and food chemistry* 66.26 (2017): 6487-6503.
39. Roma, Eliseo, et al. "Application of Precision Agriculture for the Sustainable Management of Fertilization in Olive Groves." *Agronomy* 13.2 (2023): 324.
40. Schmidhalter, U., et al. "Precision farming—adaptation of land use management to small scale heterogeneity." *Perspectives for agroecosystem management*. Elsevier, 2008. 121-199.
41. Shahinzadeh, Noshin, et al. "Spatial variability of soil properties determined by the interpolation methods in the agricultural lands." *Modeling Earth Systems and Environment* 8.4 (2022): 4897-4907.
42. Sim, D. H. H., et al. "Encapsulated biochar-based sustained release fertilizer for precision agriculture: a review." *Journal of Cleaner Production* 303 (2021): 127018.
43. Skrzypczak, Dawid, et al. "Innovative bio-waste-based multilayer hydrogel fertilizers as a new solution for precision agriculture." *Journal of Environmental Management* 321 (2022): 116002.

44. Song, Shujun, et al. "County-Scale Spatial Distribution of Soil Nutrients and Driving Factors in Semiarid Loess Plateau Farmland, China." *Agronomy* 13.10 (2023): 2589.
45. Sparovek, Gerd, and Ewald Schnug. "Soil tillage and precision agriculture: A theoretical case study for soil erosion control in Brazilian sugar cane production." *Soil and Tillage Research* 61.1-2 (2001): 47-54.
46. Tey, Yeong Sheng, and Mark Brindal. "Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications." *Precision agriculture* 13 (2012): 713-730.
47. Trontelj ml, Janez, and Olga Chambers. "Machine learning strategy for soil nutrients prediction using spectroscopic method." *Sensors* 21.12 (2021): 4208.
48. Van Alphen, B. J., and J. J. Stoorvogel. "A functional approach to soil characterization in support of precision agriculture." *Soil Science Society of America Journal* 64.5 (2000): 1706-1713.
49. Wang, Xiukang, et al. "The effects of mulch and nitrogen fertilizer on the soil environment of crop plants." *Advances in agronomy* 153 (2019): 121-173.
50. Zhao, Shuaixiang, et al. "A precision compost strategy aligning composts and application methods with target crops and growth environments can increase global food production." *Nature Food* 3.9 (2022): 741-752.
51. Категорія: Досвід клієнтів, Новітні технології, Обладнання, Рекомендації [Електронний ресурс] // Студія аграрних систем. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://sasagro.com/ua/novitni-tehnologi%D1%97/tehnologiya-diferencziynogo-vnesennya-dobriv/>.