

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕКОЛОГІЇ
КАФЕДРА АГРОХІМІЇ ТА ҐРУНТОЗНАВСТВА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

освітнього ступеня – магістр

на тему: ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО ЗА
ДОПОМОГОЮ ДЗЗ ЗАЛЕЖНО ВІД РІВНІВ АЗОТНОГО УДОБРЕННЯ

Виконав студент групи_АГ 64
спеціальності 201 «Агрономія»

Чейпеш Олег Миколайович

Керівник В. Я. Іванюк

Дубляни – 2024

Львівський національний університет природокористування
Факультет агротехнологій та екології
Кафедра агрохімії та ґрунтознавства

Освітнього ступеня «Магістр»
Спеціальність 201 «Агрономія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____.

Докт. біол., професор

наук. ступ., вч.зв.

(підпис)

П.С. Гнатів

(ініц. і прізвище)

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту **Чейпешу Олегу Миколайовичу**

Тема роботи Оцінка продуктивності кукурудзи на зерно за допомогою ДЗЗ залежно від рівнів азотного удобрення

Керівник кваліфікаційної роботи доцент кафедри агрохімії та ґрунтознавства **В.Я. Іванюк**

Затверджені наказом по університету № 632 / к-с від «21» листопада 2023 р

2. Строк подання студентом дипломної роботи 27 листопада 2024 року

3. Вихідні дані для дипломної роботи

1. Літературні джерела

2. Гібрид кукурудзи "П8834".

3. Варіанти досліджу: 1) контроль (без добрив);

2) Фон – $N_{1,25} P_{69,4} K_{81,25} Mg_{34} S_{24,6}$;

3) Фон + N_{90} ;

4) Фон + N_{120} ;

5) Фон + $N_{150} (N_{80} + N_{70})$;

6) Фон + $N_{180} (N_{90} + N_{90})$.

4. Ґрунт лучно-чорноземний

5. Природно-кліматична зона: Широколистяні ліси (Лісостеп)

4. Зміст дипломної роботи (перелік питань, які необхідно розробити)

Вступ

Розділ 1. Огляд літератури

Розділ 2. Умови та методика проведення досліджень

Розділ 3. Результати дослідження

Розділ 4. Охорона навколишнього природного середовища

Розділ 5. Охорона праці та захист населення

Висновки

Пропозиції виробництву

Бібліографічний список

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (подається конкретний перерахунок аркушів з вказуванням їх кількості)

Ілюстративні таблиці за результатами досліджень – 15 шт., графіки гідротермічних умов, показників родючості ґрунту, індексні карти, продуктивність якості кукурудзи на зерно – 18 шт.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняла	
З охорони навколишнього природного середовища	Хірівський П.Р. , зав. кафедри екології та біології, доцент			
З охорони праці та захисту населення	Ковальчук Ю.О. , доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання 20 грудня 2023 р.

Календарний план

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Полеві дослідження з питання впливу добрив на продуктивність кукурудзи	03.2024 – 10.2024 рр.	
2	Написання розділу 1. Огляд літератури	01.10.2023-20.06.2024 рр.	
3	Написання розділу 2. Умови та методика проведення досліджень	01.11.2023-30.03.2024 рр.	
4	Написання розділу 3. Результати дослідження	21.05.2024-20.10.2024 рр.	
5	Написання розділу 4. Охорона навколишнього природного середовища	21.11.2023 – 30.12.2023 рр.	
6	Написання розділу 5. Охорона праці і захист населення Формування висновків, списку використаних джерел і додатків	01.09.2024-20.11.2024рр.	

Студент

Олег Чейпеш

(підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи

Віктор Іванюк

(підпис)

РЕФЕРАТ

УДК 633.15:631.814

Оцінка продуктивності кукурудзи на зерно за допомогою ДЗЗ залежно від рівнів азотного удобрення. – Кваліфікаційна робота. Кафедра агрохімії та ґрунтознавства – Дубляни, Львівський НУП, 2024 р.

89 с. текст. част., 15 табл., 18 рис., 70 джерела, 2 додатки.

У ґрунтово-кліматичних умовах Львівської області на базі господарства «*****», відділення “Вирів” виконано дослідження з вивчення впливу різних норм азотних добрив на продуктивність кукурудзи. Досліджували варіанти без застосування добрив, внесення комбінованих фосфорно-калійних добрив, N_{90} , N_{120} , $N_{150}(N_{80} + N_{70})$, $N_{180} (N_{90}+N_{90})$. Для вивчення ефективності добрив був використаний гібрид П8834. Ґрунт дослідної ділянки – лучно-чорноземний.

Для оцінки розвитку рослин кукурудзи за різного удобрення використали дистанційну зйомку мультиспектральною камерою з подальшою побудовою індексних карт. Встановлено, що в умовах надмірної біомаси рослин висока кореляційна залежність спостерігається між індексом хлорофілу LCI та урожайністю кукурудзи – 0,85. Проаналізовано доцільність використання знімків отриманих з супутників Sentinel -2, Landsat.

Отримані результати досліджень показали що, для стабільної урожайності й прийнятних показників родючості ґрунту на лучно-чорноземному ґрунті доцільно під кукурудзу вносити $N_{1,25} P_{69,4} K_{81,25} Mg_{34} S_{24,6} + N_{90}$ у формі КАС-32.

З енергетичного погляду найраціональнішим під кукурудзу є варіант припосівного використання добрив, оскільки отриманий приріст енергії з врожаєм не компенсує затрати на виробництво високих норм азотних добрив.

Ключові слова: кукурудза, дистанційна зйомка, вегетаційні індекси, удобрення, урожайність, ефективність

Key words: corn, remote sensing, vegetation index, fertilizer, productivity, efficiency

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО ЗА ДОПОМОГОЮ ДЗЗ	9
1.1 Біологічні особливості та вимоги кукурудзи на зерно до умов вирощування.....	9
1.2 Вимоги кукурудзи до азотного живлення.....	12
1.3 Використання дистанційного зондування для оцінки стану рослин і прогнозування продуктивності.....	17
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	24
2.1 Місце проведення та метеорологічні умови за період проведення досліджень.....	24
2.2 Агрохімічна характеристика дослідної ділянки.....	27
2.3 Методика проведення досліджень.....	30
2.4 Агротехніка вирощування кукурудзи на дослідній ділянці....	34
РОЗДІЛ 3. ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО ТА ОЦІНКА ЇЇ РОЗВИТКУ ЗА ДОПОМОГОЮ ДЗЗ (Результати дослідження).....	36
3.1 Вплив рівнів азотного удобрення кукурудзи на вміст хлорофілу за допомогою N-тестер Yara.....	36
3.2 Використання супутникової та аерозйомки для оцінки розвитку кукурудзи до допомогою вегетаційних індексів.....	39
3.3 Вплив рівнів удобрення кукурудзи азотними добривами на урожайність.....	53
3.4 Економічна ефективність застосування азотних добрив.....	58
3.5 Енергетична ефективність застосування добрив.....	60
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	62

	7
4.1 Стан ґрунтів та використання земель.....	62
4.2 Водні ресурси, їх стан та охорона.....	64
4.3 Охорона атмосферного повітря.....	66
4.4 Стан охорони та примноження флори і фауни.....	67
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ.....	69
5.1 Аналіз стану охорони праці в господарстві «Континентал Фармерс Груп» Львівського району Львівської області.....	69
5.2 Покращення гігієни праці, техніки безпеки і пожежної безпеки при вирощуванні кукурудзи на зерно.....	71
5.3 Захист населення в надзвичайних ситуаціях.....	74
ВИСНОВКИ	77
ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....	78
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	79
ДОДАТКИ.....	87
ДОДАТОК А. Технологічна карта вирощування кукурудзи на зерно.....	88
ДОДАТКИ В. Статистичний аналіз даних врожайності кукурудзи на зерно, 2024 р.....	89

ВСТУП

Кукурудза серед усіх зернових культур виділяється високою потенційною продуктивністю, у зв'язку з чим вона є однією з важливих культур у сучасному землеробстві. Це зумовлено її біологічними і, зокрема, генетичними, фізіолого-біохімічними та морфологічними особливостями, які визначають захисно-приспосовані реакції на умови вирощування, а також забезпечують високоефективне використання факторів росту.

Максимальна цифровізація і автоматизація всіх процесів в сільському господарстві на правах усвідомленої необхідності входить в стратегії розвитку найбільших агропромислових компаній в світі. Прискорити зростання продуктивності сільського господарства, забезпечити стабільний результат впровадження інновацій та підвищити конкурентоспроможність підприємств в локальному і світовому масштабі дозволяють в першу чергу величезні обсяги зібраної інформації і просунуті системи управління даними (data science і data management). Крім того, за допомогою систем автоматизованого управління сільським господарством можна контролювати 2/3 чинників, що призводять до втрат врожаю.

Актуальність дослідження. Нині в Україні відбуваються процеси концентрації товарного виробництва в потужних господарських структурах, аграрно-промислових холдингах із значними стартовими капіталами. Зазначені процеси формують системо-утворюючі чинники, які визначають напрями розвитку аграрних технологій, зокрема цифровізацію технологій. Мультиспектральна зйомка дозволяє визначати: рівень вмісту азоту в ґрунті і тканинах рослини; провести моніторинг стану і розвитку посівів, прогнозувати врожайність; обчислення індекс листкової поверхні і т.п.;

Мета досліджень – встановити раціональний варіант удобрення кукурудзи на зерно, який забезпечить оптимальний вплив на урожайність та буде мати високу енергетичну й економічну ефективність. Оцінити можливість використання дистанційного зондування посівів, підібрати

вегетаційні індекси, які будуть мати сильну кореляційну залежність з урожайністю культури.

Завдання досліджень. При вивченні ефективності добрив під кукурудзу на зерно ми передбачили вирішення наступних завдань:

- вивчити вплив добрив на зміну показників вегетаційних індексів;
- оцінити вегетаційні індекси отримані зі даних супутників й мультиспектральної камери дрона;
- встановити продуктивність і якість урожаю кукурудзи;
- провести аналіз економічної й енергетичної ефективності рівнів удобрення кукурудзи азотом;

Об'єкт досліджень – гібрид кукурудзи П8834 та чотири рівні азотного удобрення.

Предмет дослідження – вміст хлорофілу у рослинах, врожайність і якісні показники насіння кукурудзи.

Методи дослідження: вимірювально-ваговий, спостереження, порівняння, лабораторно-аналітичні, розрахункові методи.

Наукова новизна отриманих результатів. В умовах Львівської області Львівського району на лучно-чорноземному ґрунті вивчено особливості впливу добрив на продуктивність кукурудзи та відповідні індекси, які характеризують розвиток рослин. Встановлено оптимальний варіант рівня внесення азотних добрив.

Практичне значення одержаних результатів. На основі отриманих результатів досліджень подано пропозиції щодо використання раціонального варіанту удобрення кукурудзи, який забезпечує формування стабільної продуктивності культури з високими показниками якості насіння.

РОДІЛ 1
ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ КУКУРУДЗИ
НА ЗЕРНО ЗА ДОПОМОГОЮ ДЗЗ
(ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

1.1 Біологічні особливості та вимоги кукурудзи на зерно до умов вирощування

Кукурудза (*Zea mays* L.) поряд з рисом і пшеницею є однією з найпоширеніших зернових культур у світі. Загальне світове виробництво кукурудзи у 2023 році перевищило мільярд тонн, причому на частку Америки та Азії припадало понад 48% і 31% відповідно. Європа посідає четверте місце серед усіх континентів за річним виробництвом, що становить 142 мільйони тонн. Кукурудза використовується для виробництва різноманітних харчових продуктів і продуктів переробки, включаючи крохмаль, підсолоджувачі, олії, напої, клеї, промисловий спирт і паливний етанол. У харчуванні людини кукурудза, разом із двома вищезгаданими злаками, становить понад 30% харчових калорій у 94 країнах, що є основним продуктом харчування понад 4,5 мільярдам людей [20].

З поживної точки зору кукурудза має важливий хімічний склад, який виділяє її серед зернових культур. Як правило, вміст олії в зернах кукурудзи коливається від 2% до 6%, причому приблизно 85% переважно зосереджено в зародку. Хоча олія становить незначну частку зерна, її кількість може відрізнятися серед сортів кукурудзи з відмінною генетичною основою. Лінолева кислота визнана єдиною незамінною жирною кислотою для людини, а кукурудзяна олія має понад 50% цієї специфічної жирної кислоти.. Вміст білка в кукурудзі, важливого харчового компонента, зазвичай коливається близько 10%, що є цінним джерелом дієтичного білка [14].

Кукурудза має різноманітний діапазон кольорів, від білого до жовтого, червоного, синього, фіолетового тощо. Ядра з синіми, фіолетовими та червоними відтінками особливо багаті антоціанами, відомими своїми добре

відомими антиоксидантними та біоактивними властивостями. Вміст антоціанів, каротиноїдів і фенольних сполук в кукурудзі змінюється залежно від її забарвлення [11].

Кукурудза в ботанічному відношенні є унікальною серед зернових культур. Вона однодомна (чоловічі та жіночі суцвіття на одній рослині), а зерна утворює на бічних, а не на кінцевих гілках. Кукурудза – перехреснозапилна тому природна популяція зазвичай гетерогенна.

Походження кукурудзи було предметом суперечок. Деякі дослідники стверджують, що кукурудза походить від дикої стручкової кукурудзи, яка зараз вимерла. Перші качани кукурудзи, які досі збереглися, мають вік близько 7000 років і були знайдені в печері в Мексиці. На той час, коли європейці досягли Америки, кукурудза досягла свого сучасного вигляду і була основним продуктом харчування в усій західній півкулі [50].

Для стандартизації визначень дослідники розробили шкалу для визначення різних стадій росту кукурудзи. Не всі рослини в полі досягають певної стадії одночасно. Тому науковці припускають, що культура досягає певної стадії, коли принаймні 50% рослин демонструють відповідні ознаки. Стандартизація визначень дозволяє пов'язувати проблеми, культурні практики та інші агрономічні спостереження з конкретними стадіями росту. Можна також порівнювати фенологію кукурудзи за різних умов навколишнього середовища та експериментальних обробок. Дослідники поділяють стадії росту на дві великі категорії: вегетативна (V) і репродуктивна (R).

Як тільки насіння кукурудзи вбирає воду, відбуваються певні хімічні зміни. Алейроновий шар вивільняє ферменти, які перетворюють крохмаль в ендоспермі на цукор, забезпечуючи таким чином енергію для росту проростка. Корінець подовжується першим, виходячи з насінневої оболонки. Потім пагін подовжується і колеоптиль прориває оболонку насіння для повного проростання. Подовження першого міжвузля (мезакотилія) штовхає

колеоптиль вгору до поверхні ґрунту. Насіння залишається в ґрунті. Тому проростання у кукурудзи гіпогеальне [14, 50].

Колеоптиль виходить із ґрунту через 6-10 днів після сівби (стадія росту VE) і незабаром припиняє ріст. Сонячне світло на поверхні ґрунту стимулює ріст та появу колеоптиль. Колеоптиль – це тонкий зелений пагін, який спостерігається, коли кукурудза вперше з'являється із землі. Колеоптиль не слід плутати зі справжнім листком, який має заокруглений кінчик. У молодій рослині розвивається кілька бічних коренів, які разом із корінцем складають первинні корінці. Хоча первинна коренева система становить невелику частку від загальної маси коренів, вона відіграють важливу роль у закріпленні сходів, забезпеченні водою та поживними речовинами для раннього росту. Основна (вторинна) коренева система розвивається пізніше.

Стебло складається з вузлів і міжвузлів, що чергуються. Кілька вузлів і міжвузлів залишаються ущільненими під землею. Над поверхнею ґрунту міжвузля подовжуються, в результаті чого за сприятливих умов довжина стебла досягає 2,5 м і більше.

З кожного вузла виростає один листок. Листя ростуть з протилежних сторін рослини по черзі. Кожен лист складається з листового піхви, листової пластинки та комірця. Комірець – позначає точку розширення листової пластинки від піхви листка. Зовнішній вигляд комірця вказує на те, що листова пластинка повністю розгорнута. Лист з'єднаний зі стеблом нижче коміра, де піхва листа прикріплена до вузла. Листкові піхви підтримують рослину до і під час подовження міжвузлів. Загальна кількість листків становить 16-23, залежно від генотипу та мов росту (зокрема, тривалості світлового дня та температури) [14].

Рослина має розгалужену кореневу систему. За оптимальних умов загальна довжина коренів, без корневих волосків, може досягати 1500 м. Якщо ріст коренів не обмежений, коренева система дорослої рослини поширюється приблизно на 1,5 м убік і вниз приблизно до 2,0 м або навіть глибше. Постійна коренева система має первинні і вторинні корені. Після

викидання волоті опорні корені розвиваються від перших двох-трьох надземних вузлів. Ці корені порівняно товсті, пігментовані і вкриті восковою речовиною. Опорні корені виконують подвійну функцію: підтримують рослину та споживають поживні речовини. На молодих рослинах виникають численні кореневі волоски. Кореневі волоски збільшують площу кореневої поверхні, яка піддається впливу ґрунту, і відіграють важливу роль у поглинанні води та поживних речовин [20, 50].

Найбільш придатний ґрунт для кукурудзи – це ґрунт із сприятливими морфологічними властивостями, хорошою водопроникністю, оптимальним режимом зволоження, достатньою та збалансованою кількістю поживних речовин для рослин та хімічними властивостями, які є сприятливими саме для кукурудзи.

1.2 Вимоги кукурудзи до азотного живлення

Азотне живлення рослин забезпечується завдяки вмісту в ґрунтах азотовмісних сполук різної міцності зв'язку, залежно від якої азотні сполуки можуть бути легкодоступними, середньодоступними, важкодоступними і недоступними (міцно зв'язаним) для споживання рослинами. Джерелом азотної секвестрації в ґрунтах є органічні і мінеральні добрива, рослинні рештки, біологічна азотфіксація, а також азотні сполуки, ідо містяться в техногенних викидах, атмосферних опадах і підґрунтових водах [32].

Валові запаси азоту в 30-сантиметровому шарі ґрунтів (0-30 см) коливаються в широких межах: від 1,37 т/га в дерново-підзолистих зв'язно-піщаних ґрунтах Полісся до 8,5 т/га в чорноземах типових багатогумусних глинистих і навіть до 18,5 т/га – в низинних торфових ґрунтах.

Процеси азотних трансформацій, як правило, супроводжуються непродуктивними втратами азоту через явища денітрифікації (втрати у виді газоподібних сполук) та вимивання (переважно у формі нітратів) [31].

Для живлення рослин, як відомо, в доступній для них формі знаходиться незначна частина валових запасів азоту – всього лише 1,5-2,5%

(мінеральні нітратні солі, водорозчинний та обмінно- вбирний амоній). Азот органічних сполук виступає як резервний фонд для поповнення мінеральних сполук азоту.

В умовах дефіциту азотного живлення спрацьовують механізми мобілізації азоту – компенсація цього дефіциту в ґрунтовому розчині за рахунок процесів мінералізації азотовмісних органічних речовин ґрунту та біологічної азотфіксації, тобто “азотні” функції ґрунтів носять характер чітко вираженої біологічної обумовленості. Незважаючи на це, функціонування процесів азотних трансформацій в ґрунтах підпорядковується основним термодинамічним принципам [20].

Використовуючи термодинамічні підходи до вивчення процесів “азотного” функціонування ґрунтів, можна з високим рівнем достовірності діагностувати стан азотного живлення рослин та прогнозувати його зміну, можливі шляхи оптимізації.

Кукурудза є культурою з високою потребою в азоті (N), необхідним для досягнення високої врожайності та проходження основних етапів росту. Азот має вирішальне значення для виробництва хлорофілу, синтезу білка та передачі енергії всередині рослини, які є ключовими для розвитку кукурудзи та потенціалу врожайності.

Потреба кукурудзи в азоті залежить від запланованої врожайності, типу ґрунту, клімату та попередньої культури. Ефективне управління азотом має вирішальне значення для запобігання надмірному внесенню, яке може збільшити витрати та екологічний ризик, або недостатньому внесенню, що може знизити врожайність.

На ранніх вегетативних стадіях поглинання азоту кукурудзою є низьким, оскільки вона формує свою кореневу систему. На цьому етапі йому потрібно близько 10-15% загальної потреби в азоті. У середній частині вегетативного періоду до початку утворення китиць (V6-VT) поглинання азоту значно збільшується, починаючи зі стадії V6, оскільки рослина

готується до швидкого росту. Під час формування китиць (стадія VT) кукурудза поглинає близько 70% загального азоту [50].

Під час репродуктивної стадії розвитку (R1-R6) кукурудза потребує постійного надходження азоту, щоб максимізувати розвиток зернівки. У цій фазі використовується близько 30% азоту. Дефіцит може значно вплинути на врожайність і якість зерна [14].

Дефіцит азоту в кукурудзі часто проявляється у вигляді пожовтіння або хлорозу нижнього листя, уповільненого росту та зменшення розміру листя, що може серйозно вплинути на врожайність, якщо додатково не внести азотні добрива.

Азот є поживною речовиною, яка найбільше обмежує врожайність кукурудзи. Культурі потрібен азот для виробництва амінокислот, білка та хлорофілу. Хлорофіл є ключовим компонентом для фотосинтезу. Недостатній вміст хлорофілу призводить до зниження потенціалу врожайності. Урожай кукурудзи в 10-12 т/га потребує приблизно від 120-150 кг/га азоту. Верхній діапазон стосується глинистих ґрунтів, оскільки вирощування кукурудзи на глинистих ґрунтах потребує більше азоту, ніж на піщаних або мулистих ґрунтах через фіксацію азоту (іонів амонію) між частинками глини до біологічно недоступної форми [44].

Управління азотним режимом при вирощуванні кукурудзи є однією з найбільших проблем для виробників кукурудзи кожного року. Рекомендується вносити азот у 2-3 прийоми від сівби до появи волоті, оскільки він дуже схильний до втрат у навколишнє середовище. Більшість виробників кукурудзи вносять загальне азотне добриво за один раз перед посівом кукурудзи. Значна кількість цього азоту в більшості років може бути втрачена протягом вегетаційного періоду через випаровування, денітрифікацію, вимивання та/або стікання, що призводить до втрати врожаю кукурудзи.

Втрата випаровуваності є дуже високою в жаркому та вологому кліматі та на лужних ґрунтах (рН більше 7,0).

Втрата від денітрифікації є основною проблемою для погано дренованих ґрунтів, але такий процес відбувається в будь-якому ґрунті з надмірною кількістю опадів, що створює заболочені анаеробні умови. Втрати від вилуговування високі в районах з великою кількістю опадів, особливо в піщаних ґрунтах з низькою ємністю катіонного обміну (СЕС) [14].

Незважаючи на те, що азот є одним із найпоширеніших елементів на Землі, він часто є обмежувальним фактором продуктивності культур. Азот є основним компонентом амінокислот, які функціонують як будівельні блоки білків, є компонентом хлорофілу – зеленого пігменту рослин, який необхідний для фотосинтезу. Адекватна наявність азоту в кукурудзі допомагає рослині досягти свого генетичного потенціалу врожайності.

У ґрунті N існує в трьох формах: органічний N, іони амонію (NH_4^+) та іони нітратів (NO_3^-). Органічний азот знаходиться в органічній речовині ґрунту, рослинних залишках і мікробній масі ґрунту. Хоча органічний N може становити більшу частину N у ґрунті, він недоступний для рослин, доки він не буде перетворений мікроорганізмами за допомогою процесу, який називається мінералізацією.

Мінералізація – це процес, у якому органічний N перетворюється на іони амонію або нітрату, які можуть поглинатися рослиною. Під час вегетації амоній швидко перетворюється на нітрат, що називається нітрифікацією. Нітрат є основною формою азоту, що поглинається рослиною [45].

Існує багато доступних форм азотних добрив, серед яких сечовина є найпоширенішою. Сечовина має високий вміст азоту (46%) і дуже швидко перетворюється на нітрат. Однак застереження полягає в тому, що коли сечовину вносити поверхнево, вона може бути піддана атмосферним втратам через випаровування. Тому рекомендується вносити сечовину в ґрунт, щоб мінімізувати ймовірність цього. Нітрат амонію сечовини є звичайною рідкою формою з вмістом N від 28 до 32%; це зазвичай використовується для підживлення та стартових добривах.

Сульфат амонію є розчинною формою N, яка забезпечує як N (21%), так і сірку (24%). Безводний аміак має найвищий вміст N з усіх доступних продуктів, 82% N. Нітрат амонію – це сіль, яка містить 34% N як з амонійною, так і з нітратною формами N. Ризик випаровування у нього менший, ніж у сечовини. Моноамонійфосфат (MAP) має 11% N, 52% P, з невеликою кількістю сірки, і часто використовується як сухе стартове добриво. Діамонійфосфат (DAP) у своєму складі має 18% N і 46% P.

Кукурудзою азот засвоюється протягом усього періоду активного росту. Однак поглинання прискорюється на стадії вегетативного росту (V6), коли рослина поглинає приблизно 10-14 кг N. На стадіях росту від V6 до V12 близько 25% загального азоту поглинається рослиною. Від стадії росту V12 до появи китиці (VT) ще 40% загального необхідного азоту поглинається культурою. Залишок необхідного азоту поглинається з VT до репродуктивної стадії R3 (молочна стиглість) [57].

Пожовтіння або хлороз старих листків у вигляді гострого загострення є ознакою дефіциту азоту. Дефіцит азоту під час сходів до стадії росту V6 може призвести до слабшої кореневої системи, особливо після стадії росту V4, коли рослина здійснює перехід від насінневих ресурсів до ґрунтових. Під час швидкого росту, який починається зі стадії росту V6 і продовжується до формування волоті (VT), коли стебло активно подовжується, а поглинання інших поживних речовин (особливо K) може бути зменшено. Це може мати негативні наслідки для ефективності фотосинтезу [57].

Дефіцит азоту під час наповнення зерна може призвести до ремобілізації N із стебел і коренів до зерен, що розвиваються. Це може призвести до ослаблення стебел, що може зумовити зараження шкочинними організмами.

1.3 Використання дистанційного зондування для оцінки стану рослин і прогнозування продуктивності

У світі, де населення постійно зростає, рослинництво необхідно контролювати та прогнозувати, щоб забезпечити продовольчу безпеку. Тому необхідно мати інструменти, які дозволяють зрозуміти функціонування сільськогосподарських культур і оцінити врожайність сільськогосподарських культур.

Надземна біомаса рослин є найбільш використовуваним показником, пов'язаним з виробництвом сільськогосподарських культур, оскільки вважається ключовою ознакою в оцінці виробництва рослинництва. Marchezan C., Paulo A., [52] стверджують, що при аналізі врожайності зазвичай поділяють його на біологічний та економічний аспекти. За даними Yue et al. [69], біологічна врожайність стосується, зокрема, вмісту органічної речовини, що виробляється та накопичується культурою під час її циклу росту. У той же час економічний урожай називався виробництвом зерна і відповідав кінцевій кількості продукції даної культури. Battude та ін. [29] і Jinru et al. [48] стверджують, що ранній і прогнозний моніторинг виробництва біомаси, а також врожайності виробництва зерна є важливим для управлінських установ, оскільки він дозволяє коригувати діяльність, пов'язану з сільськогосподарським виробництвом.

Традиційно спосіб отримання надземної біомаси рослин полягає у використанні методів відбору проб із ділянки, зважування та обліку біомаси посівів [47]. Цей спосіб надійний і показує релевантні результати; однак це займає багато часу та непрактично використовувати для великих площ поля. Поява методів дистанційного зондування дозволила аналізувати великі площі за коротші періоди часу порівняно з традиційними методами, таким чином зменшуючи витрати на аналіз і отримуючи результати майже в реальному часі для фермера. Застосування ДЗЗ може варіюватися від високопродуктивного фенотипування врожайності до аналізу абіотичного або біотичного стресу, який може обмежити ріст культур [40].

Удосконалення у використанні як безпілотних літальних апаратів (БПЛА), так і мульти- і гіперспектральних камер зі все меншими розмірами та нижчою ціною дозволило отримувати зображення, що охоплюють певні області з більшим діапазоном часових і просторових масштабів і набагато вищою роздільною здатністю, ніж надані супутниковими знімками.

Обробка космічних та БПЛА знімків дає змогу отримати індекси рослинності (вегетаційні індекси), які використовуються в різних роботах. VI – це математичні комбінації коефіцієнтів відбиття в різних спектральних смугах електромагнітного спектра, які можуть бути індикаторами фотосинтетичної активності та інтенсивності рослинності [51]. Більшість VI використовують довжини хвиль, що стосуються червоного, червоного краю та ближнього інфрачервоного спектру [46], але є інші VI, які все ще використовують довжини хвиль, що стосуються синьої та зеленої смуг. Рослинність у полі не має однакового спектрального відбиття, оскільки вона не має рівномірного розвитку та росту. Після створення певного VI стає можливим розрізняти та перевіряти вищі та нижчі значення пікселів відповідно до чутливості, що дозволяє будувати моделі оцінки/прогнозування зображеної поверхні поля та посівів, які утримуються на ньому [65] .

Вегетаційні індекси все частіше використовуються в наукових дослідженнях, оскільки їх дуже легко отримати, особливо через їхню надійність щодо отриманих результатів. Варто згадати деякі з їх використання в різних наукових дослідженнях, наприклад, для оцінки лісової біомаси, прогнозування біомаси сільськогосподарських культур, визначення водного стресу в сільськогосподарських культурах, визначення концентрація хлорофілу в листі і вимірювання вмісту азоту.

Більш прості підходи, засновані на розрахунку ефективності (теорія ефективності використання світла, дозволяють оцінити врожайність, яка базується на емпіричних взаємозв'язках між індексами рослинності за допомогою дистанційного зондування і біомаси та врожайності культур in

situ. Ці моделі легко параметризувати, але їхнє застосування обмежується місцем дослідження та наземним набором даних, для якого встановлено співвідношення .

Donald, С.М. та ін [36] досліджували врожайність кукурудзи в Італії за допомогою моделі PolyCrop. Paredes та ін. показали адекватність моделі FAO AquaCrop для оцінки біомаси та врожайності кукурудзи. Крім того, Constantin et al. нещодавно продемонстрували однакову продуктивність моделей ґрунт-культура STICS і AqYield для прогнозування врожайності та вмісту води в ґрунті для зрошуваних культур у контексті набору даних *in situ* та відсутності нітратного стресу. Такі роботи підкреслюють потенціал напівемпіричних підходів для точної оцінки врожайності. Однак більшість із цих моделей застосовувалися лише в локальному масштабі, оскільки вони не розроблені для просторового підходу.

Численні дослідження виявили великий потенціал методів, заснованих на поєднанні даних дистанційного зондування з напівемпіричними моделями сільськогосподарських культур для оцінки виробництва сільськогосподарських культур на великих площах Saravia, D.; (2022) використовували модель GRAMI в поєднанні з супутниковими зображеннями LANDSAT для моніторингу регіональної врожайності пшениці на півдні Іспанії.

LI та ін. (2014) отримали досить хороші оцінки регіональної врожайності кукурудзи, використовуючи пов'язану модель WOFOST-HYDRUS у поєднанні з даними Landsat ETM+ із нижчою часовою роздільною здатністю. Основним недоліком цих досліджень є те, що для калібрування моделі потрібні дані про біомасу та врожайність безпосередньо з поля, тоді як такі дані рідко доступні на великих територіях, оскільки їх отримання вимагає багато часу. Крім того, навіть якщо вони доступні, вони завжди оцінюються з досить сильною невизначеністю.

Потенціал високих часових і просторових даних дистанційного зондування для опису просторово-часової мінливості біофізичних змінних

культур уже було продемонстровано Naboudane, D. [43] і нещодавня доступність даних дистанційного зондування з високою просторовою та тимчасовою роздільною здатністю (HSTR), таких як Formosat-2. А нещодавно зображення Sentinel-2 пропонують нові перспективи для моніторингу та моделювання посівів.

Урожайність культур змінюється в межах зон поля через просторову мінливість фізичних і хімічних властивостей ґрунту, методів господарювання та локалізованого пошкодження шкідниками і хворобами. Інформація про мінливість врожайності в межах поля допомагає фермерам покращити їхні управлінські рішення, прибуток. Першим кроком у точному землеробстві є моніторинг урожайності, який є одним із фундаментальних елементів для розмежування зон господарювання на основі попередніх карт урожайності. Для розмежування зон неоднорідності потрібна інформація про характеристики ґрунту та архівні практики управління для поля, тоді як моніторинг врожайності оцінює кінцевий результат цих практик наприкінці вегетаційного періоду [49].

Супутникове дистанційне зондування пропонує широкий спектр індикацій для параметрів культури та рослинності, таких як індекс площі листя (LAI), накопичення азоту в листі, частка поглинутої фотосинтетично активної радіації (FPAR) та біомаса сільськогосподарських культур. Більшість із цих параметрів стосувалися великого масштабу регіону чи країни порівняно з небагатьма заявками на місцевому рівні. Найбільш поширеними причинами такої тенденції є висока вартість отримання та обробки даних, а також відсутність наземних правдивих даних і точності вимірювань [49].

У більшості досліджень моніторингу врожайності з використанням даних дистанційного зондування пропонуються дві основні стратегії. Перший метод інтегрує дані RS з метеорологічними даними та фізіологічними моделями рослин для моніторингу розвитку культур, а потім і врожайності [35]. Інший метод покладається на дані ДЗЗ для прогнозування

врожайності культур, які мають прямий зв'язок між біомасою та індексом врожаю [41]. Збиральний індекс – це співвідношення між урожаєм зерна та надземною біомасою культури. Перший метод є складним і вимагає багато вхідних даних, тоді як останній метод не дає пояснення фізіологічного процесу.

Розробка емпіричних рівнянь між вегетаційними індексами (VI) і врожайністю є простим і оперативним способом оцінки мінливості в межах поля, тоді як розроблені рівняння мають просторові та часові обмеження для застосування в іншому полі чи іншому сезоні. Було розроблено велику кількість VI для опису росту сільськогосподарських культур і подальшої врожайності.

Деякі добре відомі: нормалізований диференційований індекс рослинності (NDVI), індекс рослинності, скоригований на ґрунт (SAVI), індекс надмірної рослинності (EVI), зелений нормалізований диференційований індекс рослинності (GNDVI), індекс стійкості до зелених атмосферних впливів (GARVI), різниця червоного краю (NDRE) [28].

Спеціальні модифікації шляхом диференціального зважування деяких діапазонів (зокрема ближнього інфрачервоного діапазону) були застосовані для забезпечення конкретних індексів для моніторингу врожайності сільськогосподарських культур, таких як індекс рослинності широкого динамічного діапазону (WDRVI) [33] та рослинність із зеленим хлорофілом – індекс (GCVI) [49]. Вибір найбільш підходящого вегетаційного індексу та фази розвитку культури для оцінки врожайності є важливим кроком у розробці емпіричної моделі врожайності [16].

Peng Y.; Gitelson, A.A. [58] представили метод прогнозування врожайності на основі супутникових зображень Landsat 5 і Landsat 7 і погодних даних, які використовуються як вхідні дані з симуляцією моделі посівів. Цей підхід було перевірено на різних полях на основі звітів фермерів у США, і загальний R^2 для кукурудзи становив 0,35.

Schwalbert, R.A. [63] повідомив, що GNDVI, отриманий із зображень літака на час формування зерна, забезпечив найвищу кореляцію (0,7 до 0,92) з урожаєм кукурудзи. Below Fred [30] використовували індекс зеленості, отриманий із зображень Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), щоб передбачити врожайність кукурудзи в масштабі Угорщини з точністю 90% наприкінці липня (за 70 днів до збирання).

Нещодавнє дослідження було проведено в Бразилії та США, щоб дослідити різні VI, отримані із зображень Sentinel-2, для прогнозування урожайності зерна кукурудзи в масштабі поля. Використовували знімки за 20 днів від цвітіння. Це дослідження показало, що NDRE, GNDVI та NDVI продемонстрували високу продуктивність для прогнозування мінливості поля та забезпечили значення R^2 0,32 для універсального рівняння оцінки врожайності кукурудзи [49].

В даний час різні сільськогосподарські моделі на основі зображень ДЗЗ були розроблені з використанням методів машинного навчання [47]. Методи машинного навчання потенційно забезпечують вищу точність і стабільнішу продуктивність порівняно зі звичайними кореляціями, оскільки вони навчаються моделювати.

Таким чином, дисперсія результатів спостереження пояснюється або параметричним, або непараметричним підходами. Параметричні підходи простіші, потребують менше даних для навчання, але менш підходять для складних задач. Непараметричні моделі важче інтерпретувати щодо вхідних функцій, вони вимагають більше часу та даних для навчання але вони більш гнучкі.

Yue, J. та ін. [69] порівняли різні методи машинного навчання для оцінки LAI сої за допомогою зображень безпілотних літальних апаратів (БПЛА) і повідомили, що радіочастота є найбільш прийнятною технікою, коли вибіркові ділянки та варіації LAI були відносно великими.

Marques Ramos A.P. та ін. [54] використовували SVM та штучні нейронні мережі (ANN) для класифікації гіперспектральних зображень на

основі норм внесення азоту та методів боротьби з бур'янами на кукурудзяному полі, і результати показали, що SVM забезпечує дуже низькі показники неправильної класифікації порівняно з ANN. Крім того, вони рекомендували методику SVM для раннього виявлення стресу в кукурудзі, яка могла б допомогти в ефективному ранньому застосуванні специфічних для ділянки засобів правового захисту. Були застосовані алгоритми MR, ANN, SVM та RF на даних RS БПЛА для прогнозування надземної біомаси кукурудзи, і їхні результати показали, що RF забезпечує найбільш збалансовані результати з низькою похибкою.

В умовах півдня Італії понад 80% кукурудзяних полів мають площу понад 10 га. Угрупування супутників Sentinel-2 забезпечує зображення з просторовою роздільною здатністю 10 м для червоного, зеленого, синього та ближнього інфрачервоного діапазонів (NIR), що еквівалентно 1000 пікселям на полі площею 10 га. Крім того, періоди вирощування кукурудзи – це весна та літо (з квітня по вересень), які мають менше хмар порівняно з іншими сезонами, а Sentinel-2 надає зображення з 5-денною періодичністю перегляду [53]. Таким чином, Sentinel-2 забезпечує зображення, які мають достатню просторову та часову роздільну здатність для моніторингу внутрішньопольової мінливості на італійських кукурудзяних полях.

Отже, як показав огляд літературних джерел на сьогодні зібрана значна кількість даних щодо оцінки розвитку рослин за допомогою дистанційного зондування. Однак, з появою нових технічних можливостей цей напрямок досліджень є надзвичайно актуальним.

РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Місце проведення та метеорологічні умови за період проведення досліджень

Дослідження проводили в умовах Львівського району Львівської області на полях агрохолдингу «Континентал Фармерс Груп» (філія Вирів). Розміщення ділянки на території відділку показано на рисунку 2.1.

Загальна площа ріллі, яку орендує господарство в масштабах філії становить 8000 га. Напрямок діяльності господарства є вирощування сільськогосподарських культур: пшениці озимої, ріпаку озимого, кукурудзи, сої, соняшнику і картоплі

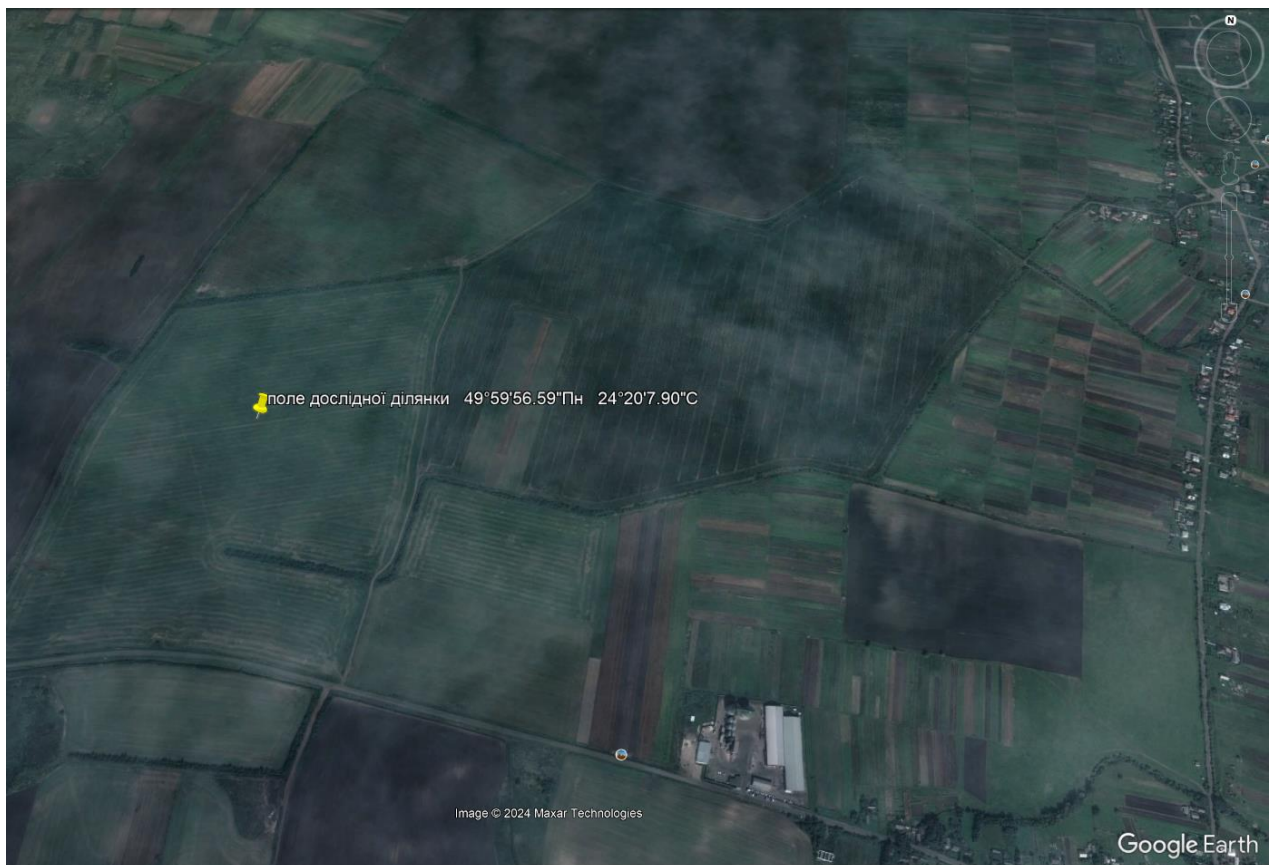


Рисунок 2.1 Космічна світлина дослідного поля зроблена супутником MAXAR з висоти 2,35 км.

Завдяки використанню інтенсивних технологій урожайність культур у господарстві є вище середньої. Зокрема, пшениці у середньому по

господарстві отримують 68 ц/га, ріпаку озимого – 36 ц/га, сої – 38 ц/га, кукурудзи на зерно – 115 ц/га, картоплі – 415 ц/гаю

У структурі посівних площ переважає пшениця озима – 30%, ріпак озимий – 5%, соя – 33%, кукурудза – 32, інші – 5%. У рослинництві постійно опрацьовують нові технології вирощування культур для досягнення найвищої врожайності та покращення механізації технологічних процесів.

Клімат території дослідження помірно континентальний із теплим літом, помірною зимою і достатньою кількістю опадів – формується під впливом радіаційних умов, циркуляції повітряних океанічних та континентальних повітряних мас. Перші з них поширюються у вигляді циклонів із Атлантичного океану; влітку вони зумовлюють хмарність, опади, зниження температури повітря, взимку – снігопади. З цими повітряними масами пов'язані західні та південно-західні вітри. Суха і холодна погода в зимовий період спричинена дією східних антициклонів. Холодні повітряні маси, що проникають на територію району з півночі, зумовлюють пізні весняні й ранні осінні приморозки.

Кількість денної сонячної радіації – від 532 кал/см² у червні до 130 кал/см² у грудні. Радіаційний баланс становить майже 40 ккал/см² за рік. Висота Сонця над горизонтом у червні в полудень досягає 63-65°, у грудні 17-19°, під час рівнодення – 40-42°. Тривалість дня – 8-16,5 год.

Вітри (найчастіше північно-західні та південно-західні, найменше – північні та південні) характерні для всіх пір року, особливо для літа. Активна циклонна діяльність зумовлює велику кількість опадів. У межах району дослідження випадає 650-800 мм опадів за рік. Переважна більшість опадів (70-75 %) випадає в теплий період року, найменше – взимку. Влітку часто бувають зливи, нерідко – грози, іноді – град.

В останні роки сніговий покрив на території району є нетривалий. Річний коефіцієнт зволоження – 1,11, і означає, що кількість опадів домінує над випаровуванням.

Динаміку температури повітря по декадах та у середньому за місяць наведено у таблиці 2.1.

Як бачимо з наведених даних середньодобова температура повітря у найбільш активні періоди вегетації червень-серпень становила 19,7-20,4 °С, у липні спостерігали максимальна температура становила 35 °С. Посушливим був травень, упродовж якого випало 17 мм опадів, достатньо зволожений червень – 106 мм і липень – 79 мм. Максимальна сумарна кількість сонячної радіації була на початку росту кукурудзи – 723 МДж/м².

Таблиця 2.1 Усереднені метеопказники за даними супутникового моніторингу с. Вирів, (“*****”)







Crop type: Corn

Planting date: Thursday, April 4, 2024

Report language: English

Field location: Честині, (50.0006 lat, 24.3361 lng)

Weather data

Month	Average temperature (°C)	Minimum temperature (°C)	Maximum temperature (°C)	Total precipitation (mm)	Total sunshine duration (hours)	Total shortwave radiation (MJ/m ²)
						
April 2024	11.17	0.90	23.90	44.30	231.58	439.37
May 2024	16.18	2.80	27.50	17.10	402.80	723.53
June 2024	19.96	9.00	32.00	105.70	361.57	677.45
July 2024	22.40	13.30	35.40	78.80	367.67	661.50
August 2024	19.69	14.30	27.40	39.60	74.78	134.22

Таким чином, агрокліматичні умови зони дослідження були достатньо сприятливими для вирощування кукурудзи на зерно теплим квітнем і травнем та помірно теплим літнім періодом.

2.2 Характеристика ґрунту дослідної ділянки

Ґрунт відіграє важливу роль у житті та діяльності суспільства. Будучи основою для розвитку сільського господарства, ґрунтові ресурси є довгостроковим капіталом, за рахунок якого люди живуть і розвиваються. Для збереження умов життя населення та їх покращення необхідно продумати використання цього незамінного ресурсу. Ґрунт сам по собі є основою нашого життя.

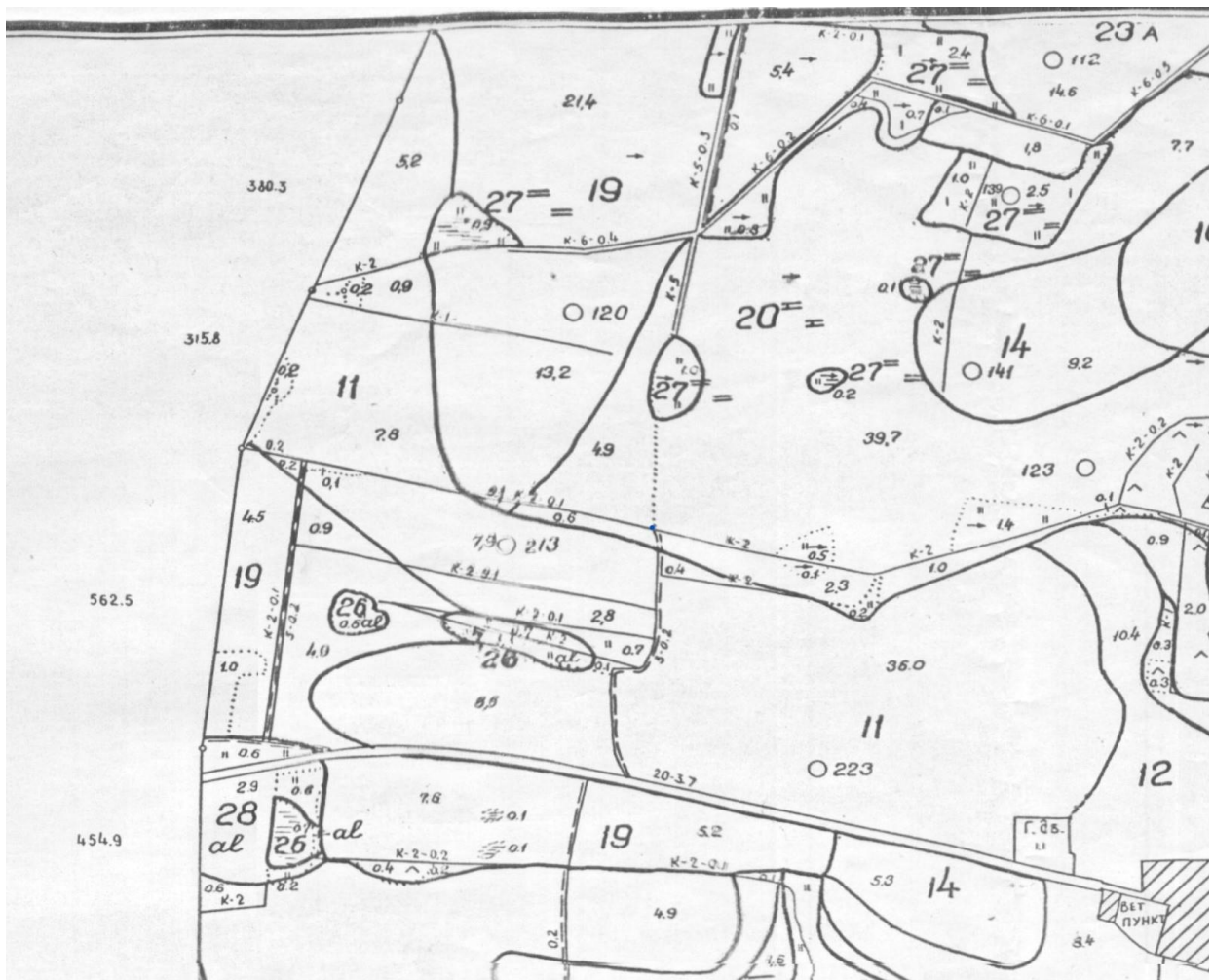


Рисунок 2.2 Фрагмент ґрунтової карти землекористування с. Вирів Львівської області господарства Контінентал Фармерз Груп

Дослідна ділянка знаходилась на лучно-чорноземному ґрунті. У Львівській області ці ґрунти займають площу 8,1 тис. кв. га, що становить 0,3% від загальної площі області. Під ріллею зайнято 5,2 тис. га, що становить 70,3% площі лучно-чорноземних ґрунтів та 0,7% площі ріллі

Львівської області. Лугові та чорноземні ґрунти характеризуються високою природною родючістю і є одними з кращих в області.

Це ґрунти стародавнього землеробства, які упродовж багатьох століть використовувалися людиною у сільському господарстві. На сьогодні лучні чорноземи інтенсивно використовуються, в основному, як рілля для вирощування просапних, зернових і овочевих культур. Відповідно до Земельного кодексу України вони належать до категорії особливо цінних ґрунтів.

Лучно-чорноземні ґрунти найбільш поширені у фізико-географічному районі Малеого Полісся; в межах фізико-географічної області Волинської височини – Сокальських гір; в межах фізико-географічних районів Подільської височини – височини Вороняк, фрагментарно – на Городоцько-Комарнівській.

Лучно-чорноземні ґрунти формуються на рівнинних, добре зволжених, переважно акумулятивних рівнинах, старих долинах стоку, схилах і на окраїнах великих болотних масивів. Мікрорельєф виражений слабо, переважно у вигляді неглибоких блюдцеподібних заглиблень і невисоких горбистих підвищень. Ґрунтоутворюючі породи, на яких сформувалися лучно-чорноземні ґрунти, це переважно лесові суглинки з легкими та середніми глинистими зернами, важкі суглинки та глинисті елювії з мергелів і лучних мергелів.

Зволоження ґрунту атмосферне і слабке, переважно капілярне. Вони виникають під добре розвиненим луговим трав'яним покривом внаслідок інтенсивного прояву процесів торф'яного і слабоглинистого ґрунтоутворення. Вони характеризуються добре розвиненим, глибоким гумусним профілем чорноземного типу, зернистою структурою, високим вмістом гумусу, майже нейтральною або лужною реакцією ґрунтового розчину та слабкими ознаками зледеніння.

Опис профілю ґрунту дослідної ділянки:

H(e) 0–42 см. Гумусово-акумулятивний горизонт темно-сірого забарвлення; легкосуглинковий; в орному шарі пилювато-зернисто-грудкуватий; у підорному грудкувато-середньозернистий (щільна плужна підшва горіхувато-брилуватої структури); у нижній частині ледь помітна кремнеземна присипка SiO_2 ; слабоущільнений середньошпаруватий; рясні червоточини і копроліти; перехід до наступного горизонту поступовий хвилястий. ¶

Hpi(e) 42–70 см. Верхній перехідний гумусовий горизонт; темно-сірого забарвлення з буруватим відтінком, який посилюється донизу; легкосуглинковий; зернисто-горіхуватої структури; ущільнений, грубошпаруватий; скелетани SiO_2 на стінках червоточин і агрегатів; рясно червоточини і копроліти; перехід поступовий кишечеподібний. ¶

Phi(e) 70–98 см. Нижній перехідний слабоілювіюваний горизонт з ознаками прогумусованості і часткової елювіюваності; сірувато-бурого забарвлення з кишечеподібними гумусовими заклинками у нижній частині; легкосуглинковий; горіхувато-грудкуватої структури; ущільнений, тонкошпаруватий; червоточини; перехід поступовий дифузний. ¶

Ph 98–122 см. Слабогумусований сильнокротовинний лесоподібний легкий суглинок; строкатого сірувато-бурого фонового забарвлення з численними темно-сірими кротовинами; неміцної грудкувато-брилуватої структури; перехід помітний хвилястий. ¶

P(h)k 122–171 см. Нерівномірно гумусований строкатий слабokrотовинний карбонатний лесоподібний суглинок; середньосуглинковий; безструктурний (у кротовинах грудкуватий); ущільнений, тонкошпаруватий; карбонати у формі просочування і журавчиків; перехід ясний хвилястий. ¶

Pk 171–210 см. Карбонатний лесоподібний легкий суглинок з виразними ознаками ґрунтового перезволоження у формі іржаво-бурих і сизих плям, залізо-марганцеві бобовини. ¶

У таблиці 2.2 показано основні агрохімічні показники лучно-чорноземного ґрунту ділянки дослідження. Вміст гумусу в ґрунті дослідної

ділянки становить 3,1%, реакція ґрунтового розчину кисла – обмінна кислотність становить 4,9 одиниці. Уміст нітратного азоту середній, амонійного низький, кількість легкогідролізного азоту становить 117 мг/кг повітряно-сухого ґрунту. Середній вміст фосфору і калію – середній.

Таблиця 2.2 Агрохімічна характеристика ґрунту дослідної ділянки

pH _{H2O}	pH _{KCl}	Hг, ммоль/100	гумус,%	ЄКО	N_NO ₃ , мг/кг	N_NH ₄ , мг/кг	N легко- гідролізний, мг/кг	P ₂ O ₅ , рухомий	K ₂ O, обмінний
5,7	4,5	2,35	2,7	12,9	20,5	4,2	115	61	133
6,2	5,2	2,38	3,1	16,5	22,4	4,9	116	97	123
6	5	2,9	3,4	16,7	19,6	4,3	121	102	94
усереднені дані по ділянці									
6,0	4,9	2,5	3,1	15,4	20,8	4,5	117,0	87,0	117,0

Отже, властивості ґрунту на якому провели дослідження є достатньо хорошими. Даний ґрунт відносить до кращих ґрунтів області має досить добрі потенціальні можливості для формування врожаю кукурудзи на зерно та інших поширених сільськогосподарських культур, поступається лише чорноземам типовим.

2.3 Схема досліду та методика проведення досліджень

У науково-дослідній роботі з вивчення ефективності добрив використовуються різні методи дослідження: польові, рослинні та лабораторні. Найбільшу цінність має польовий експеримент, оскільки отримані на ньому результати характеризують ефективність азотних добрив в умовах дії комплексу різних природних факторів, а такий вплив неможливо досягти іншими методами дослідження. Проте, для підтвердження отриманих даних необхідно провести вегетаційні і лабораторні експерименти для характеристики окремих чинників [36].

Для вивчення дії різних рівнів азотних добрив на кукурудзу в умовах Львівського району Львівської області на базі господарства «Контінентал

Фармерз Груп» був закладений польовий дослід в чотирикратній повторності. Посівна площа під варіантом 75 м², а обліковували – 50 м². Схема дослідів включала такі варіанти (табл. 2.3):

Дослідження проводили в польовій сівозміні з таким чергуванням культур: пшениця озима – картопля – кукурудза – соя.

Таблиця 2.3. – Схема дослідів з вивчення рівнів удобрення азотом на продуктивність кукурудзи на зерно

N	Норма добрив	Вид добрив	Добрива у фізичній масі, кг/л	Час внесення
1	Контроль без добрив	–	–	–
2	Фон - N _{1,25} P _{69,4} K _{81,25} Mg ₃₄ S _{24,6}	Корн-Калі (K ₄₀ , Mg ₆ , S ₅) + Суперфосфат потрійний (P ₄₆) + Сульфат магнію гран. (Mg ₂₂ , S _{14,6})	200 + 140 + 100	локальне внесення при сівбі+весною під обробіток
3	Фон+N ₉₀	КАС-32	213	*ПК
4	Фон+N ₁₂₀	КАС-32	284	ПК
5	Фон+N ₁₅₀ (N ₈₀ + N ₇₀)	КАС-32	189+166	ПК+ВВСН 19- 20
6	Фон+N ₁₈₀ (N ₉₀ +N ₉₀)	КАС-32	213+213	ПК+ВВСН 19- 20

ПК – передпосівна культивування

КАС – основне рідке азотне добриво, що використовується на культурах впродовж вегетації. Містить в своєму складі амідну, амонійну та нітратну форму азоту. Основне рідке добриво з пролонгованою віддачею

азоту рослині. Може використовуватись у фертигаційних установках. Виступає деструктором поживних решток. Головні переваги добрива:

- рідке висококонцентроване азотне добриво;
- легко вноситься у ґрунт;
- містить три форми азотних добрив - пролонгована дія азоту;
- може використовуватись у бакових сумішах;
- використовується як деструкційна речовина;
- ефективне добриво для внесення азоту з мінімальною заробкою у ґрунт.

Густина КАС 32 – 1,32 кг/л, рН продукту – 8,5-8,9 Розчинність – 750-800 г/л.

Вплив різних рівнів азотного живлення на кукурудзу і зокрема вміст хлорофілу ми використовували N-тестер Yara. Точка вимірювання повинна знаходитися в середині пластини першого, повністю розвиненого листа. Тридцять випадкових вимірювань в полі, виконаних з використанням звичайної схеми "W", дають середнє значення, яке використовується для визначення кількості азоту потрібного рослині. Отримання рекомендації щодо внесення можливо тільки в тому випадку, якщо жоден інший елемент живлення не обмежує ріст рослини.

Вимірювання N-тестер Yara залежать від різних культур і стадії росту. З цієї причини вимірювання приладу повинні бути відкалібровані з урахуванням цих вимірювань.

Для дистанційного зондування посівів використовували Браузер Sorernicus. Це комплексна програма спостереження за Землею за допомогою системи супутників та наземних систем, а також комплекс похідних програмних продуктів та сервісів для застосування даних від екологічних та аграрних проблем до питань безпеки та реагування на надзвичайні ситуації.

Завдяки цій програмі маємо можливість отримувати знімки від супутників Sentinel-2 в розрішені 20 м на піксель.

Для детальної ідентифікації і оцінки розвитку кукурудзи упродовж вегетації ми використовували дрон DJI Mavic 3m з мультиспектральною камерою, яка дає можливість знімати об'єкт з розширенням кілька сантиметрів на піксель.

Характеристика мультиспектральної камери

Датчик зображення	1/2.8-дюймовий CMOS, роздільна здатність: 5 Мп
Об'єктив	Кут огляду: 73,91° (61,2° x 48,10°) Еквівалентна фокусна відстань: 25 мм Діафрагма: f/2.0 Фокусування: фіксований фокус
Смуга частот мультиспектральної камери	Зелений (G): 560 ± 16 нм; Червоний (R): 650 ± 16 нм; Край червоний (RE): 730 ± 16 нм; Ближній інфрачервоного (NIR): 860 ± 26 нм;
Діапазон посилення	1x-32x
Витримка затвора	Електронний затвор: 1/30~1/12800 с
Максимальний розмір зображення	2592×1944
Формат зображення	TIFF
Формат відео	MP4 (MPEG-4 AVC/H.264)
Режим фотозйомки	Одиночний: 5 Мп Таймлапс: 5 Мп TIFF: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 с
Роздільна здатність відео	H.264 FHD: 1920x1080@30fps Відеоконтент: NDVI/GNDVI/NDRE
Максимальний бітрейт відео	Трансляція: 60 Мбіт/с

Кількісні структурні показники врожаю кукурудзи проводили відповідно до загальноприйнятих методик.

Статистичну обробку одержаних наукових даних виконували методом дисперсійного аналізу з використанням пакету EXSEL, що забезпечило високу точність та достовірність одержаних результатів.

2.4. Агротехніка вирощування кукурудзи на зерно на дослідному полі

Технологія вирощування культури на дослідному полі була загальноприйнята, традиційна. Упродовж двох років висівали гібрид кукурудзи фірми Піонер «П8834».

Гібрид рекомендовано вирощувати у зоні Полісся та Лісостеп. Група стиглості – середньоранній. Рекомендована густота на час збирання для зони достатнього – 70–75 тис./га, нестійкого – 60–65 тис./га.

Простий гібрид із зубовим типом зерна, має добрий стартовий розвиток. Висока рослина із високим кріпленням качана, стійкий до стеблового полягання та має високий вміст крохмалю. ФАО – 280. Група стиглості – середньоранній. Має відмінну віддачу вологи, добру посухостійкість. Стійкість до сажкових хвороб 6 балів, придатність до монокультури дуже добра. Не рекомендується вирощувати за мінімального обробітку ґрунту. Найвища урожайність спостерігається за оптимальних строків сівби.

Внесення добрив здійснювали у відповідності до схеми досліду. Основний обробіток ґрунту провели диско-чизельним агрегатом на глибину 23-25 см. Передпосівну обробку насіння провели препаратами ЛУМІДАПТ КЕЛЬТА $K_2O-1,0\%$, $N-0,5\%$, $V_2O_5-0,128\%$, $Co-0,008\%$, $Cu-0,136\%$, $Fe-0,88\%$, $Mn-0,60\%$, $Mo-0,04\%$, $Zn-0,136\%$ + РЕДІГО М протіоконазол, 100 г/л + металаксил, 20 г/л + ЛУМІФЛЕКС Іноконазол, 450 г/л + МАКСИМ 025 FS Флудиоксоніл, 25 г/л + ПОНЧО ВОТІВО 610 FS Клотіанідин, 508 г/л + *Bacillus firmus*, 102 г/л

Сівбу проводили пунктирним способом з шириною міжрядь 70 см на глибину 4-6 см. Норма висіву 80 тис. насінин/га. Сіяли кукурудзу 19 квітня – 2020 року та 24 квітня 2021 року.

Перед збирання врожаю в усіх варіантах дослідів густота кукурудзи залишилась однаковою 73-75 тисяч рослин на гектар.

У фазі ВВСН 16 проти шведської та гессенської мухи, личинок лучного метелика використовували інсектицид Престо (клотіанідин, 200 г/л + лямбда-цигалотрин, 50 г/л) за норми витрати 0,3-0,4 л/га. У бакову суміш додавали мікроелементи з високим вмістом цинку. У фазі викидання волоті проти кукурудзяного метелика, бавовникої совки застосували Кораген – 0,15 мл/га.

Кукурудзу збирали у період повної стиглості за вологості 21% прямим комбайнуванням.

РОЗДІЛ 3.
ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО ТА ОЦІНКА ЇЇ
РОЗВИТКУ ЗА ДОПОМОГОЮ ДЗЗ
(РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ)

3.1 Вплив рівнів азотного удобрення кукурудзи на вміст хлорофілу за допомогою N-тестер Yara

Прямі польові вимірювання вмісту хлорофілу на великих територіях вимагають величезних затрат праці, а отже є вартісними і тривалими. Оскільки вміст азоту в листі сильно корелює з вмістом хлорофілу, його можна оцінити опосередковано на основі оптичних властивостей листя.

Вміст хлорофілу може істотно змінюватися як просторово, так і емпорально, а його наземний відбір проб не піддається частому охопленню великих неоднорідних територій. Щоб уникнути трудомістких деструктивних методів відбору проб і методів лабораторного аналізу використовують польові вимірювання концентрації хлорофілу в листі за допомогою портативних пристроїв, таких як SPAD-502 (Minolta Osaka Company, Ltd., Японія), Yara N-тестер (Yara International ASA, Осло, Норвегія). Використання тестерів є неруйнівними для рослини і досить надійними, але вони все ще займають багато часу та дороговартісні, особливо коли вони використовуються для цілей моніторингу великих неоднорідних ділянок. Навпаки, методи дистанційного зондування, зокрема використання супутникових зображень, пропонують великий потенціал для частої оцінки хлорофілу в регіональному та місцевому масштабі.

Ручні вимірювачі хлорофілу або датчики опосередковано та миттєво вимірюють вміст азоту в листі. Вони можуть надати значення індексу вмісту N (NNI), що є важливою інформацією для коригування кількості азотних добрив відповідно до фактичної кількості N у рослині. Незважаючи на те, що ці вимірювання є неруйнівними, вони потребують численних повторень у масштабі поля.

У своїх дослідженнях ми використали Yara N-тестер, щоб оцінити вплив азотних добрив у формі КАС-32 на фотосинтетичний потенціал культури, і зокрема на вміст хлорофілу. Визначення проводили в динаміці упродовж росту культури.

Як видно з таблиці 3.1, рис. 3,1 - 3,2 зростання норми внесення КАС-32 істотно вплинуло на концентрацію хлорофілу в молодих листках кукурудзи. Найчіткіше різниця спостерігалась у кінці вегетації культури. Це пов'язано з фізіологією рослини. На початку вегетації кількість азотних сполук є переважно достатньою і нестачу азоту виявити важко. Окрім, цього нестача елементу проявляється на нижніх листках культури, а згідно методики N-тестер застосовують на верхньому повністю розгорнутому листку. У фазі цвітіння кукурудзи різниця між контрольною ділянкою і N₁₂₀ становила 28 одиниці, а між N₁₅₀ і N₁₈₀ майже не змінилась. Також значного впливу комбінованого добрива з відсутністю азоту і контрольною ділянкою не було.

Таблиця 3.1 Вплив рівнів азотного удобрення кукурудзи на показники Yara N-тестер, відносні одиниці

N	Норма добрив	Фаза розвитку культури, ВВСН		
		63	73	75
1	Контроль без добрив	808	714	643
2	Фон - N _{1,25} P _{69,4} K _{81,25} Mg ₃₄ S _{24,6}	812	726	648
3	Фон+N ₉₀	832	735	675
4	Фон+N ₁₂₀	836	754	689
5	Фон+N ₁₅₀ (N ₈₀ + N ₇₀)	853	790	756
6	Фон+N ₁₈₀ (N ₉₀ + N ₉₀)	857	806	758

У фазі молочної стиглості спостерігалась зниження вмісту азоту до 643-758 одиниці. Тенденція показує зростання проблем з азотом на перших двох варіантах.



Рисунок 3.1 Стан кукурудзи за різних рівнів азотного удобрення.
Справа – N_{120} , зліва – контроль. ВВСН 63



Рисунок 3.2 Стан кукурудзи за різних рівнів азотного удобрення.
Справа – N_{120} , зліва – контроль. ВВСН 85

Упродовж вегетації азотні добрива позитивно вплинули на утворення хлорофілу. Відбулось підвищення показника хлорофілу на 25-85 або 3,5-11,8%.

Таблиця 3.2 Вплив рівнів азотного удобрення кукурудзи на показники Yara N-тестер, усереднені дані за вегетацію

N	Норма добрив	Показник тестера	Відхилення, одиниць	Відхилення від контролю, %
1	Контроль без добрив	722	–	–
2	Фон - N _{1,25} P _{69,4} K _{81,25} Mg ₃₄ S _{24,6}	729	7	0,9
3	Фон+N ₉₀	747	25	3,5
4	Фон+N ₁₂₀	760	38	5,2
5	Фон+N ₁₅₀ (N ₈₀ + N ₇₀)	800	78	10,8
6	Фон+N ₁₈₀ (N ₉₀ +N ₉₀)	807	85	11,8

3.2 Використання супутникової та аерозйомки для оцінки розвитку кукурудзи до допомогою вегетаційних індексів

Оцінка стану розвитку та сили рослинного покриву є центральною для розуміння функціонування агроєкосистем. Моніторинг моделей розвитку сільськогосподарських культур є ключовим компонентом управління господарством, оскільки максимізація врожайності вимагає, щоб сільськогосподарські рослини отримували поживні речовини в оптимальній кількості. Крім того, вимірювання змінних рослинного покриву протягом вегетаційного періоду є необхідним для розуміння змін в агроєкосистемах, а також для підвищення врожайності та якості шляхом застосування добрив на конкретній ділянці.

Для моніторингу агроєкосистеми використовують вегетаційні індекси. Вегетаційний індекс (VI) – показник, що розраховується в результаті операцій з різними спектральними діапазонами (каналами) даних дистанційного зондування, і має відношення до параметрів рослинності в даному пікселі знімка. Ефективність VI визначається особливостями відображення; ці індекси виведені, головним чином, емпірично.

Найбільш важливими змінними є індекс площі листя (LAI), біомаса і вміст хлорофілу в листі. Дійсно, вимірювання хлорофілу в культурах надає інформацію про фізіологічний стан рослини, оскільки концентрація хлорофілу в листі пов'язана з вмістом азоту і, отже, з фотосинтезом. Точна оцінка просторового розподілу має велике значення для регіональних і глобальних досліджень динаміки вуглецю та доступності азоту. Концентрація хлорофілу в рослинності залежить від наявності азоту в ґрунті та поглинання азоту культурами, які є важливими факторами управління в точному землеробстві; він змінюється на різних стадіях розвитку рослин і змінюється, коли культурні рослини піддаються різним видам природних і антропогенних стресів.

Індекси вмісту хлорофілу (табл. 3.3) пов'язані з глибиною поглинання хлорофілом. Вони включають смуги в зеленій і червоній частинах сонячного спектру, і були розроблені для вимірювання поглинання світла хлорофілом у червоній області (670 нм). Науковці розробили індекс коефіцієнта поглинання хлорофілу (CARI), який вимірює глибину поглинання хлорофілу при 670 нм відносно зеленого піку відбиття при 550 нм і відбиття 700 нм. Потім CARI було спрощено для отримання MCARI. Співвідношення (R_{700}/R_{670}) було введено, щоб мінімізувати комбінований ефект відбиття нижнього ґрунту та нефотосинтетичних об'єктів. Тим не менш, MCARI все ще чутливий до властивостей фонового відбиття, тому його важко інтерпретувати при низькому LAI. Щоб покращити його чутливість до низьких значень хлорофілу, Naboudane et al. [42] запропонували модифіковану версію MCARI, тобто трансформований CARI.

Останнім часом з'явилися нові індекси хлорофілу, на основі довжини хвилі в області “червоного краю”. Dash і Curran [35] запропонували наземний індекс хлорофілу (MTCI) із зображення спектрометра середньої роздільної здатності (MERIS), який виявився найбільш підходящим індексом для отримання вмісту хлорофілу. MTCI продемонстрував сильну кореляцію з REР з підвищеною чутливістю до високих значень вмісту хлорофілу. Він став офіційним продуктом MERIS Європейського космічного агентства.

Таблиця 3.3 Основні вегетаційні індекси для оцінки розвитку рослин, зокрема кукурудзи на зерно

Index	Formula	Reference
Chlorophyll indices		
MCARI**	$[(R_{700} - R_{670}) - 0.2 * (R_{700} - R_{550})] * (R_{700} / R_{670})$	Daughtry <i>et al.</i> (2000)
TCARI**	$3 * [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 * (R_{700} - R_{550}) * (R_{700} / R_{670})]$	Haboudane <i>et al.</i> (2002)
MTCI**	$[(R_{750} - R_{710}) / (R_{710} - R_{680})]$	Dash and Curran (2004)
DD**	$[(R_{750} - R_{720}) - (R_{700} - R_{670})]$	Le Maire <i>et al.</i> (2004)
R-M**	$(R_{750} / R_{720}) - 1$	Gitelson <i>et al.</i> (2005)
TCI**	$[1.2 * (R_{700} - R_{550}) - 1.5 * (R_{670} - R_{550}) * \sqrt{R_{700} / R_{670}}]$	This study
Vegetation indices		
NDVI	$(R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670})$	Rouse <i>et al.</i> (1974)
RDVI	$(R_{800} - R_{670}) / \sqrt{(R_{800} + R_{670})}$	Rougean and Breon (1995)
SAVI	$(1 + 0.5) * (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.5)$	Huete (1988)
OSAVI	$(1 + 0.16) * (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.16)$	Rondeaux <i>et al.</i> (1996)
MSAVI	$0.5 * [2 * R_{800} + 1 - \sqrt{(2 * R_{800} + 1)^2 - 8 * (R_{800} - R_{670})}]$	Qi <i>et al.</i> (1994)

Індекси рослинності: найбільш відомим і широко використовуваним індексом рослинності є нормалізований різницевий індекс рослинності (NDVI). Він використовує контраст між максимальним поглинанням червоного кольору завдяки пігментам хлорофілу та максимальним відображенням інфрачервоного випромінювання, спричиненим структурою клітин листя. NDVI наближається до рівня насичення у випадках щільної та багатошарової біомаси та демонструє нелінійний зв'язок із біофізичними параметрами, такими як біомаса та зелений. Щоб компенсувати фонові впливи ґрунту, були розроблені скориговані на ґрунт індекси, які мінімізують

вплив фону. Провідним індексом у такому покращенні є індекс рослинності, скоригований за ґрунтом (SAVI).

З огляду на відмінності фону ґрунту розробили вдосконалений SAVI (MSAVI) з коефіцієнтом саморегулювання L , який не входить до складу MSAVI.

Супутникові знімки маючи багато переваг, однак їх можливо застосовувати лише на великих за площею дослідних ділянок. Безкоштовними є дані зі супутників Sentinel-2 і Landsat, але у них найбільше розширення становить 10 м (100 м² на піксель). Для аналізу невеликих ділянок (посівна площа дослідної ділянки становить 75 м²) необхідно використовувати зйомку за допомогою дрону (оптичне розширення 2,2 см на піксель).

За допомогою DJI Mavic 3m з мультиспектральною камерою та програмним забезпеченням PIX4Dfields ми провели оцінку впливу різних рівнів азотного живлення на стан і біомасу кукурудзи (табл. 3.4). Обліт проводили 8 серпня у фазі BBCH 73 – початкова молочна стиглість у кукурудзи.

Серед стандартних спектральних вегетаційних індексів NDVI найбільш підходить для моніторингу динаміки розвитку сільськогосподарських культур, оскільки вимірює фотосинтетично активну біомасу рослин. Його можна використовувати протягом усього сільськогосподарського сезону, за винятком тих випадків, коли рослинний покрив занадто мізерний і не має достатньої спектральної відбивної здатності. Найточніші дані він дає на стадії активного росту культур.

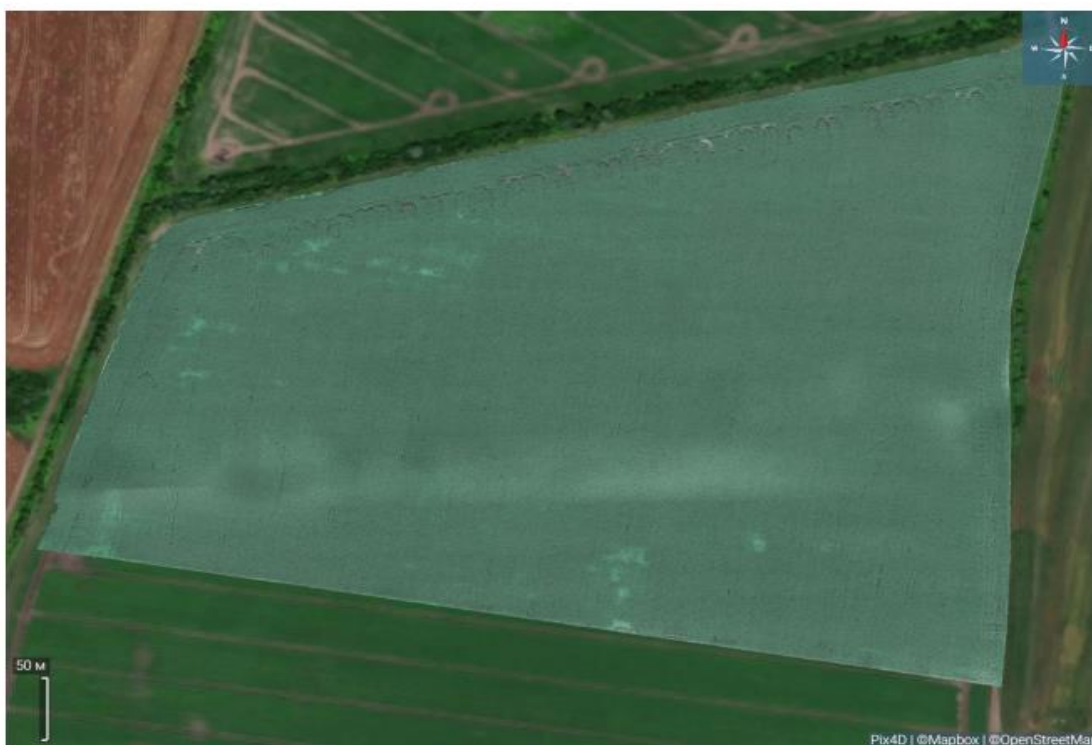
Індекс хлорофілу листя (LCI) – це міра вмісту хлорофілу в листках рослин. Хлорофіл відповідає за зелений колір рослин і відіграє вирішальну роль у фотосинтезі, процесі, за допомогою якого рослини перетворюють сонячне світло в енергію. Розуміючи індекс хлорофілу листя, вчені та дослідники можуть отримати уявлення про стан та життєздатність рослин.

Індекс хлорофілу листя зазвичай визначають за допомогою технології дистанційного зондування. Дистанційне зондування передбачає використання датчиків і пристроїв обробки зображень для збору даних про об'єкт або територію на відстані. У випадку індексу хлорофілу листя технологія дистанційного зондування може бути використана для вимірювання коефіцієнта відбиття світла від листя рослин, який потім можна використовувати для оцінки вмісту хлорофілу.

Ортомозаїка - Поле

Ортомозаїка

CROP LAND



Деталі шару

Час отримання	Інформація недоступна
Центр	50.0005535, 24.3360630 (WGS84)
Область	~22,658 га
Розмір пікселя на місцевості (GSD)	2,288 см/пк
Діапазони	5 (Green, Red, Red edge, NIR, Alpha)

Рисунок 3.3 Ортомозаїка поля. Дата зйомки 08.08.2024

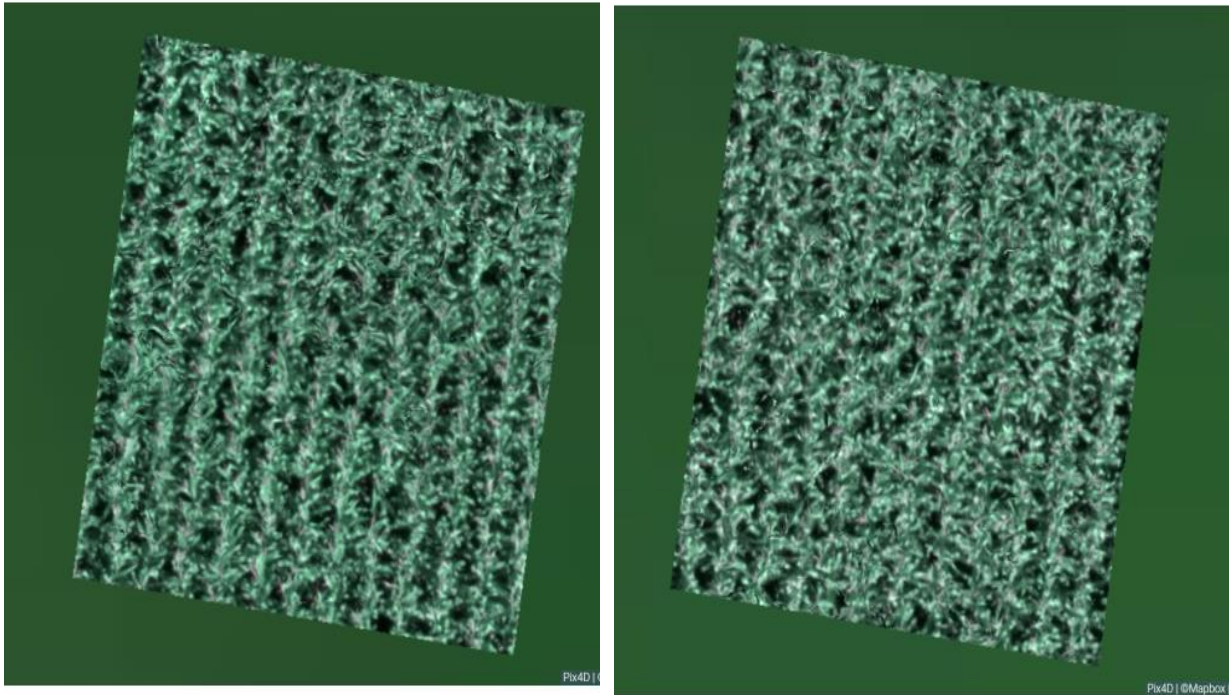
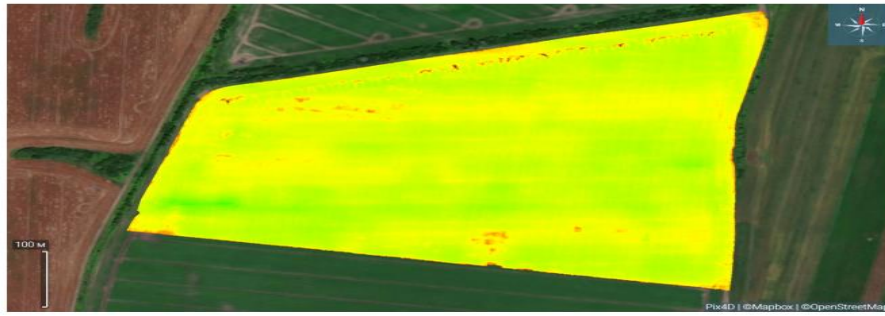


Рисунок 3.4 Ортомозаїка ділянки досліду (правдиве зображення): контроль – ліворуч та внесення N_{180} – праворуч.

Індекс хлорофілу листя розраховується для вимірювання вмісту хлорофілу в листі. Існують різні методи розрахунку LCI, які часто залежать від конкретних довжин хвиль, які використовуються в аналізі. Загальний підхід використовує вимірювання відбиття в певних діапазонах. Однією з таких формул для LCI є: $LCI = 850/710 - 1$

Обґрунтування цього індексу полягає в тому, що ближня інфрачервона область (NIR) чутлива до внутрішньої структури листка та вмісту вологи в ньому, тоді як область червоного краю тісно пов'язана з вмістом хлорофілу. Даний індекс використовується для ділянок без відкритої рослинності. На рисунку 3.2 і 3.3 наведено зображення індексу хлорофілу листя, а також загальний ортоплан дослідного поля. Станом на 8 серпня індекс LCI становив 0,621 з розмахом даних 0,402-0,791

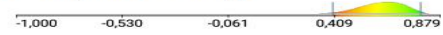
LCI - Поле
Індекс



Деталі шару

Час отримання	Інформація недоступна
Центр	30.000000, 24.300000 (WGS84)
Область	~22,636 га
Розмір пікселя на місцевості (GSD)	2,288 см/пк
Діапазони	1 (Gray)

Гістограма та Легенда



Налаштування візуалізації

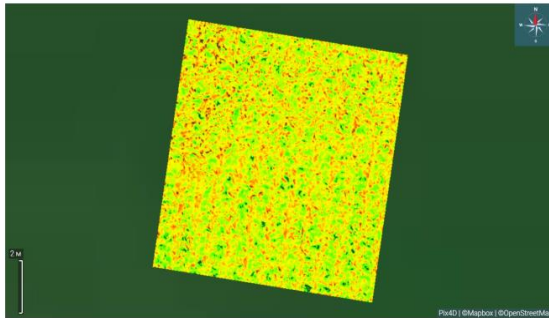
Вирівнювання гістограми: Вимкнуті
Обране мінімальне значення: 0,402
Обране максимальне значення: 0,791
Значення поза діапазоном: Прозорі

Статистика

Площа шару: 22,636 га
Усереднений індекс: 0,621
СКВ індексу: 0,090
Усереднений індекс (видимий): 0,622
СКВ індексу (видимого): 0,085

Рисунок 3.4 Індекс хлорофілу листа (LCI-індекс) на усьому полі досліді. Дата зйомки 08.08.2024

LCI - Поле - 1_4
Індекс



Деталі шару

Час отримання	Інформація недоступна
Центр	49.792330, 24.330100 (WGS84)
Область	~75,607 м²
Розмір пікселя на місцевості (GSD)	2,288 см/пк
Діапазони	1 (Gray)

Гістограма та Легенда



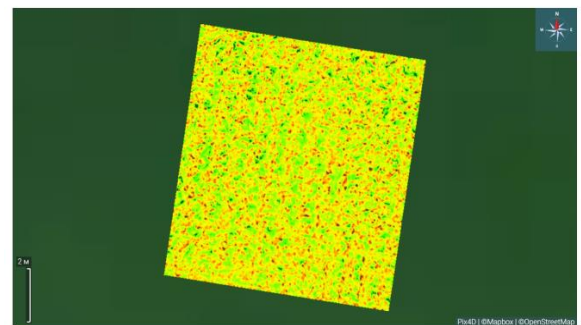
Налаштування візуалізації

Вирівнювання гістограми: Вимкнуті
Обране мінімальне значення: 0,331
Обране максимальне значення: 0,742
Значення поза діапазоном: Прозорі

Статистика

Площа шару: 75,607 м²
Усереднений індекс: 0,599
СКВ індексу: 0,096
Усереднений індекс (видимий): 0,599
СКВ індексу (видимого): 0,092

LCI - Поле - 57_1
Індекс



Деталі шару

Час отримання	Інформація недоступна
Центр	30.000000, 24.300000 (WGS84)
Область	~75,525 м²
Розмір пікселя на місцевості (GSD)	2,288 см/пк
Діапазони	1 (Gray)

Гістограма та Легенда



Налаштування візуалізації

Вирівнювання гістограми: Вимкнуті
Обране мінімальне значення: 0,416
Обране максимальне значення: 0,776
Значення поза діапазоном: Прозорі

Статистика

Площа шару: 75,525 м²
Усереднений індекс: 0,614
СКВ індексу: 0,085
Усереднений індекс (видимий): 0,615
СКВ індексу (видимого): 0,081

Рис. 3.5 Показник активності хлорофілу (LCI- вегетаційний індекс) на контролі 0,599 (ліворуч) та внесені N₁₈₀ 0,618 (праворуч). Дата зйомки 08.08.2024

Встановлено зміну LCI під впливом азотних добрив, що свідчить про високий градаційний контраст між ділянками в період максимальної біомаси рослин (табл. 3.4). На відміну від LCI нашими дослідженнями не встановлено різниці між варіантами з використанням NDVI оскільки, він добре працює на ділянках з незначною біомасою. Середнє арифметичне з чотирьох повторень на контрольній ділянці становить 0,557 одиниці, а після застосування азотних добрив зростає до 0,619-0,637. Доведено високу кореляційну залежність між LCI і рівнем удобрення.

Мінімальна різниця була між нормою добрив N_{90} і N_{120} . Також встановлено, що внесення добрив, які не містять азот (другий варіант) майже не впливає на зростання індексу LCI в кукурудзи.

Таблиця 3.4 Вплив рівнів азотного удобрення кукурудзи на показники вегетаційного індексу LCI

N	Норма добрив	Значення індексу					
		I	II	III	IV	X сер	S
1	Контроль без добрив	0,524	0,553	0,559	0,551	0,547	0,016
2	Фон - $N_{1,25} P_{69,4} K_{81,25} Mg_{34} S_{24,6}$	0,533	0,537	0,585	0,574	0,557	0,026
3	Фон+ N_{90}	0,614	0,611	0,62	0,63	0,619	0,008
4	Фон+ N_{120}	0,626	0,629	0,608	0,626	0,622	0,010
5	Фон+ $N_{150} (N_{80} + N_{70})$	0,634	0,627	0,622	0,627	0,628	0,005
6	Фон+ $N_{180} (N_{90} + N_{90})$	0,631	0,632	0,638	0,647	0,637	0,007

Для розрахунку вегетаційного індексу NDRE використовуються спектральні канали ближнього інфрачервоного діапазону (NIR) та спеціальний канал для вузької ділянки спектру, переходу від видимого

червоного до ближнього інфрачервоного (так звана область червоного краю). Переважно його використовують для моніторингу посівів на стадії дозрівання.

Індекс MCARI (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index) вимірює глибину поглинання хлорофілу та дуже чутливий до коливань концентрації хлорофілу, а також варіацій індексу площі листя (LAI). На значення MCARI не впливають умови освітлення, відбиття фону від ґрунту та інших спостережуваних нефотосинтетичних матеріалів.

Формула індексу MCARI = $((\text{VNIR} - \text{Red}) - 0.2 * (\text{VNIR} - \text{Green})) * (\text{VNIR} / \text{Red})$

Наші розрахунки показали (табл.3.5), що на даній стадії розвитку кукурудзи він не має прямої кореляційної залежності від рівнів удобрення. Навпаки із зростанням норми внесення КАС-32 він знижувався, за винятком максимальної норми N₁₈₀.

Таблиця 3.5 Вплив рівнів азотного удобрення кукурудзи на показники вегетаційного індексу MCARI

N	Норма добрив	Значення індексу					
		I	II	III	IV	X сер	S
1	Контроль без добрив	0,586	0,586	0,562	0,56	0,574	0,014
2	Фон - N _{1,25} P _{69,4} K _{81,25} Mg ₃₄ S _{24,6}	0,585	0,591	0,591	0,574	0,585	0,008
3	Фон+N ₉₀	0,587	0,566	0,562	0,577	0,573	0,011
4	Фон+N ₁₂₀	0,582	0,555	0,571	0,568	0,569	0,011
5	Фон+N ₁₅₀ (N ₈₀ + N ₇₀)	0,552	0,576	0,556	0,545	0,557	0,013
6	Фон+N ₁₈₀ (N ₉₀ + N ₉₀)	0,556	0,573	0,586	0,602	0,579	0,020

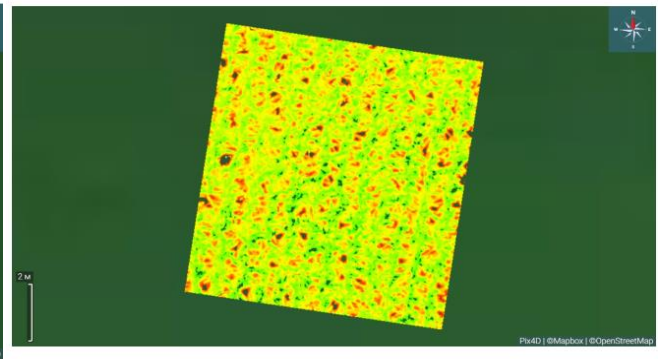
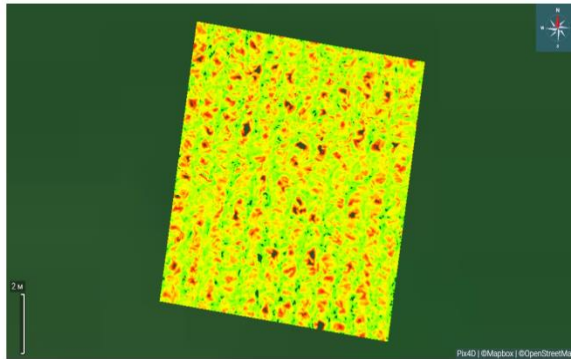
Візуально ділянку без внесення добрив та з внесенням N_{180} показано на рисунку 3.6.

MCARI - Поле - 1_4
Індекс

CROP LAND

MCARI - Поле - 57_4
Індекс

CROP LAND



Деталі шару

Час отримання	Інформація недоступна
Центр	49.7992304, 24.3307004 (WGS84)
Область	~75,607 м ²
Розмір пікселя на місцевості (GSD)	2,288 см/пк
Діапазони	1 (Gray)

Гістограма та Легенда



Налаштування візуалізації

Вирівнювання гістограм: Вимкнуті
Обране мінімальне значення: 0,195
Обране максимальне значення: 0,852
Значення поза діапазоном: Прозорі

Статистика

Площа шару: 75,607 м²
Усереднений індекс: 0,561
СКВ індексу: 0,156
Усереднений індекс (видимий): 0,562
СКВ індексу (видимого): 0,149

Деталі шару

Час отримання	Інформація недоступна
Центр	30.0001479, 24.3303072 (WGS84)
Область	~75,683 м ²
Розмір пікселя на місцевості (GSD)	2,288 см/пк
Діапазони	1 (Gray)

Гістограма та Легенда



Налаштування візуалізації

Вирівнювання гістограм: Вимкнуті
Обране мінімальне значення: 0,209
Обране максимальне значення: 0,874
Значення поза діапазоном: Прозорі

Статистика

Площа шару: 75,683 м²
Усереднений індекс: 0,602
СКВ індексу: 0,157
Усереднений індекс (видимий): 0,601
СКВ індексу (видимого): 0,149

Рисунок 3.6 Модифікований хлорофіл-індекс MCARI на контролі (ліворуч) та внесенні N_{180} (праворуч). Дата зйомки 08.08.2024

GNDVI – модифікований NDVI індекс. У ньому також використовується інфрачервоний діапазон спектру, але видимий червоний замінюється видимим зеленим (540-570 нм). Ключова особливість GNDVI в тому, що він вимірює вміст хлорофілу у рослинах точніше, ніж NDVI. Використовують для виявлення рослин, що зів'яли або старіють, за відсутності крайнього червоного каналу, для моніторингу вегетації з густим покривом чи стадії дозрівання культур.

Норма азотних добрив істотно вплинула на GNDVI (табл. 3.5). У середньому з чотирьох повторень на ділянці без застосування добрив він становив 0,558, тоді як після внесення 90 кг діючої речовини КАС-32 цей показник зріс до 0,650.

Таблиця 3.6 Вплив рівнів азотного удобрення кукурудзи на показники вегетаційного індексу GNDVI

N	Норма добрив	Значення індексу					
		I	II	III	IV	X сер	S
1	Контроль без добрив	0,534	0,564	0,570	0,562	0,558	0,016
2	Фон - N _{1,25} P _{69,4} K _{81,25} Mg ₃₄ S _{24,6}	0,544	0,542	0,587	0,580	0,563	0,024
3	Фон+N ₉₀	0,651	0,648	0,657	0,643	0,650	0,006
4	Фон+N ₁₂₀	0,639	0,642	0,620	0,639	0,635	0,010
5	Фон+N ₁₅₀ (N ₈₀ + N ₇₀)	0,647	0,640	0,634	0,640	0,640	0,005
6	Фон+N ₁₈₀ (N ₉₀ +N ₉₀)	0,645	0,648	0,651	0,660	0,651	0,006

Окрім зйомки мультиспектральною камерою з дрону ми опрацювали супутникові знімки, щоб оцінити розвиток біомаси кукурудзи (рис. 3.7-3.13)



Рисунок 3.7 Вплив рівня внесення азотних добрив на індекс вегетації NDVI. Один піксель – 100 м². Дата зйомки 16.07.2024 Sentinel-2

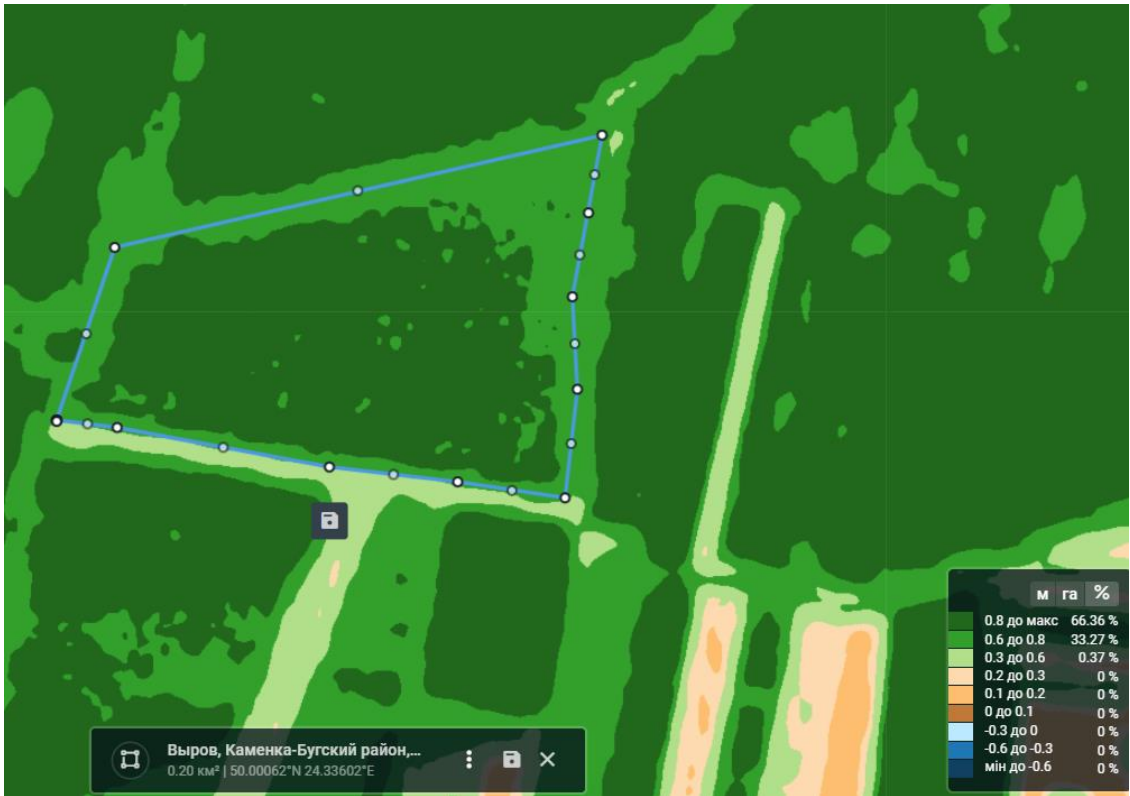


Рисунок 3.8 Вплив рівня внесення азотних добрив на індекс вегетації EVI. Один піксель – 100 м^2 . Дата зйомки 16.07.2024 Santinel-2



Рисунок 3.9 Вплив рівня внесення азотних добрив на індекс вегетації EVI. Один піксель – 100 м^2 . Дата зйомки 16.08.2024 Santinel-2

Для визначення вмісту хлорофілу використали індекс GCL (рисунок 3.10). Індекс хлорофілу GCI (Green Coverage Index) можна використовувати в дослідженнях рослинності як доповнення до звичайного NDVI. Новий вегетаційний індикатор дає змогу оцінити стан розвитку рослинності. Просте співвідношення між діапазонами дозволяє розрахувати GCI в середовищах ArcGIS, QGIS, gvSIG, SNAP, ENVI.

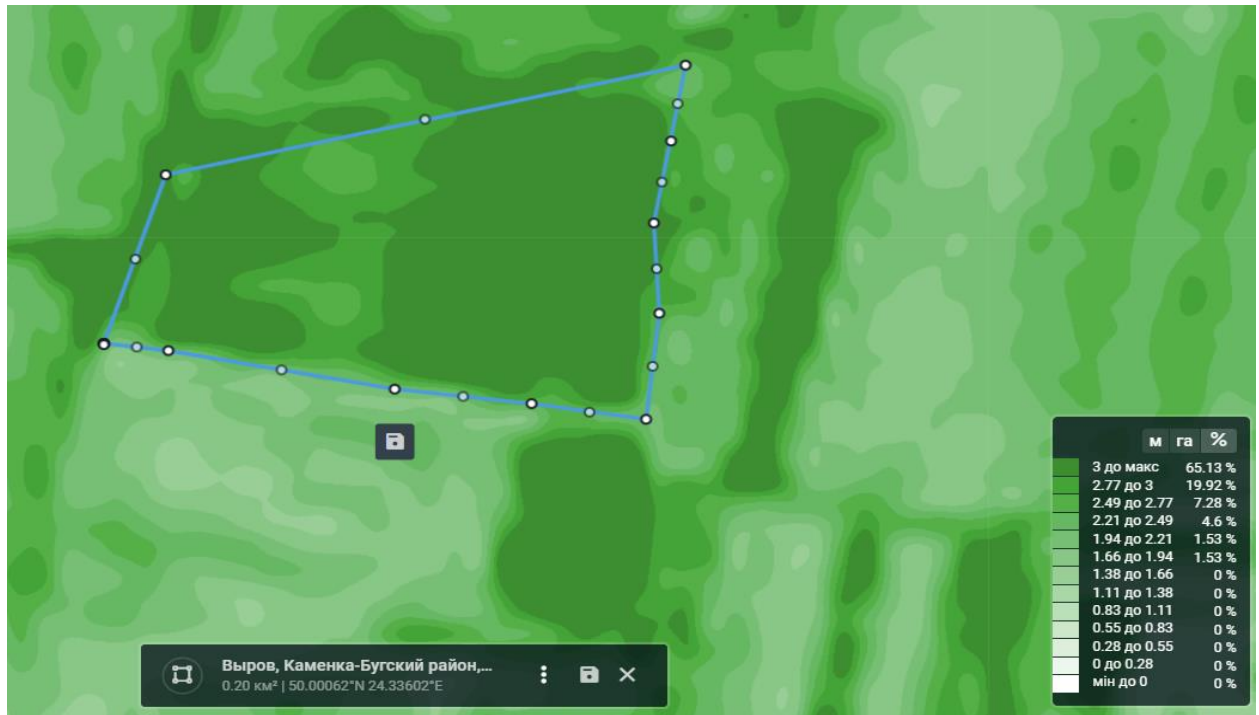


Рисунок 3.10 Вплив рівня внесення азотних добрив на індекс вегетації GCL. Один піксель – 100 м². Дата зйомки 28.06.2024 Sentinel-2

На відміну від традиційного індексу рослинності NDVI, індекс хлорофілу GCI зосереджується виключно на рослинній масі для обчислення загального вмісту хлорофілу у видимій зеленій та інфрачервоній смугах (або червоному краї для більшої чутливості). Ці конкретні смуги особливо чутливі до коливань вмісту хлорофілу в рослинності та можуть допомогти вам вивчити відбивну здатність рослинних мас на основі їх вмісту для практичного застосування точного землеробства.

За допомогою індексу GCI можна помітити фенологічний стан рослинності або наявність якогось типу захворювання. Основною причиною початку пожовтіння рослинних мас буде хлороз, викликаний нестачею

Формула індексу GCI = (NIR/зелений)-1.

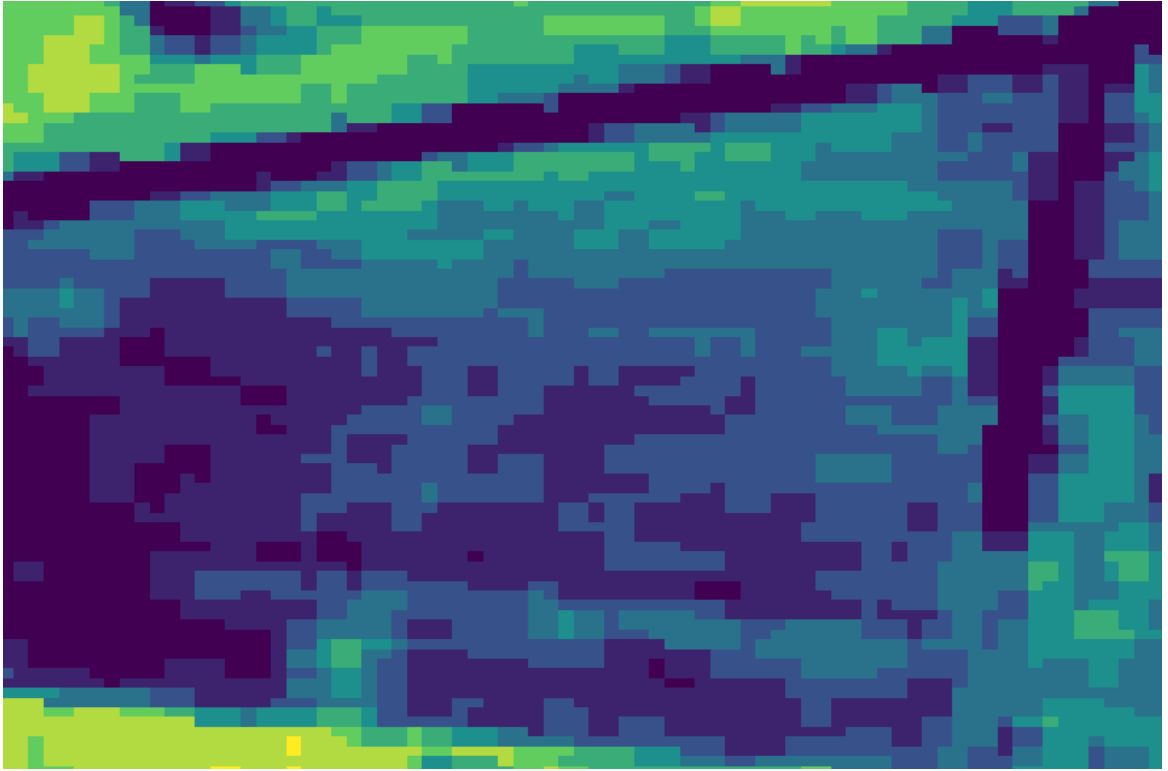


Рисунок 3.11 Вплив рівня внесення азотних добрив на індекс вегетації кукурудзи, псевдокольори. Один піксель – 100 м² . Дата зйомки 19.09.2024 Santinel-2

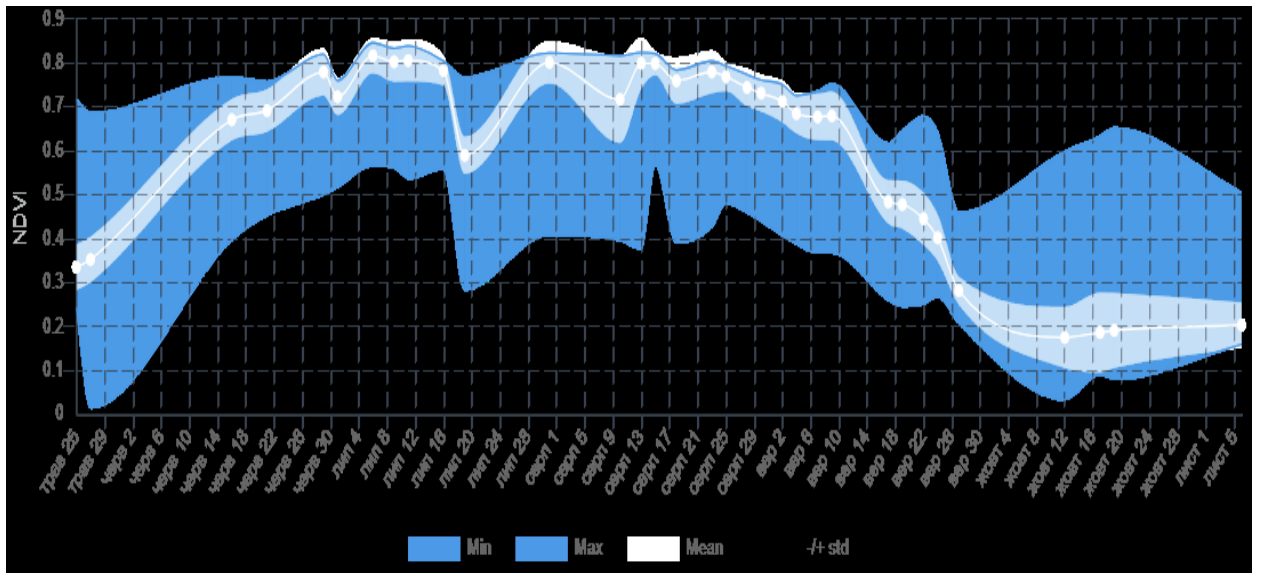


Рисунок 3.12 Графік розвитку біомаси кукурудзи на зерно побудований за даними індексу NDVI, 2024 р .

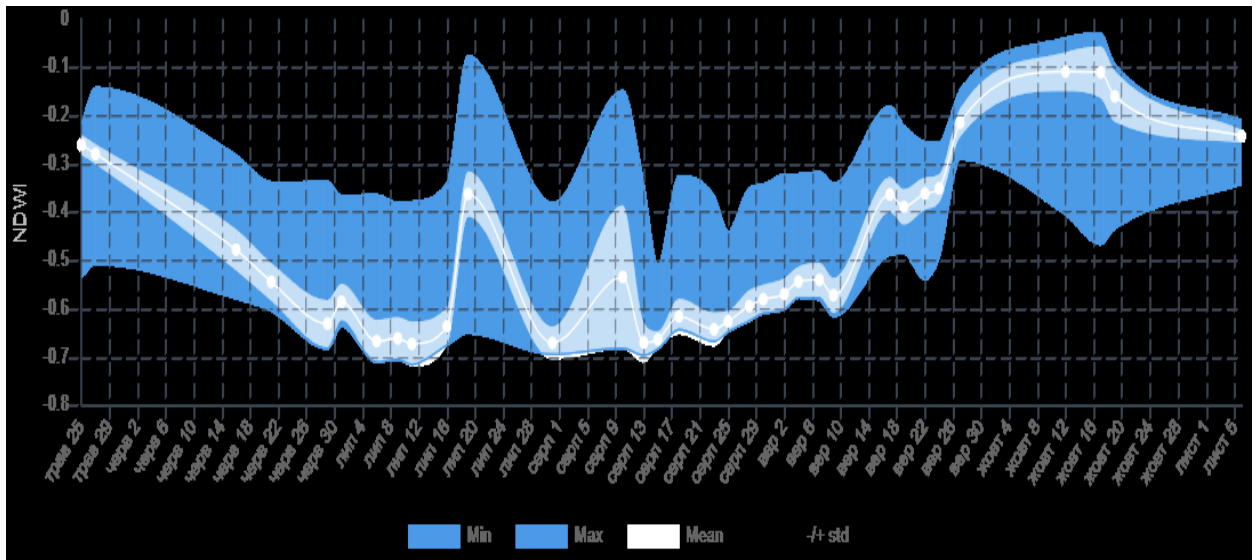


Рисунок 3.12 Графік розвитку біомаси кукурудзи на зерно побудований за даними індексу NDWI, 2024 р.

Станом на 28 червня 2024 року відсоток площі понад 3 одиниці (максимальний) займав площу 65%, від 2,77-3,00 майже 20%. Отже, на кінець червня спостерігаємо значний вміст хлорофілу у зеленій масі кукурудзи.

Отже, з наведених результатів показано, що використовуючи дані дистанційної зйомки дрону з мультиспектральною камерою, а також супутникових знімків можна оцінити розвиток кукурудзи за різних норм азотного живлення.

3.3 Вплив рівнів удобрення кукурудзи азотними добривами на урожайність

Важливим та об'єктивним показником оцінки окремих ланок технології вирощування сільськогосподарських культур є величина врожайності.

У наших дослідженнях високий рівень врожаю зерна кукурудзи був зумовлений хорошими погодними умовами, окультуренням поля, а також добре удобреним попередником. Усі наведені чинники сприяли високій урожайності навіть на контрольній ділянці, де добрива не вносили (табл. 3.7–3.9).



Рисунок 3.13 Обліт поля DJI 3m, с. Вирів –27.05 2024 р.



Рисунок 3.14 Розвиток кукурудзи на 27.05 2024 р. Зліва – правдивий колір, справа – штучні кольори



Рисунок 3.15 Загальний стан поля при обльоті 17 червня 2024 р.



Рисунок 3.16 Загальний стан поля при обльоті 08 серпня 2024 р.

На час збирання кукурудзи (табл. 3.7) погода була сонячна і без опадів, це сприяло рівномірному дозріванню кукурудзи та активній віддачі вологи. Не встановлено різкого впливу рівнів удобрення кукурудзи на вологість зерна. Розмах вологості між варіантами становив лише 0,4%.

Таблиця 3.7 Вплив рівнів азотного удобрення кукурудзи на вологість зерна при збиранні

N	Норма добрив	Вологість зерна, %					
		I	II	III	IV	X сер	S
1	Контроль без добрив	22,4	22,2	22,3	20,9	22,0	0,70
2	Фон - N _{1,25} P _{69,4} K _{81,25} Mg ₃₄ S _{24,6}	22,3	21,7	22	22,1	22,0	0,25
3	Фон+N ₉₀	22,7	21,8	22,6	22,0	22,3	0,44
4	Фон+N ₁₂₀	22,6	22,7	22,4	21,7	22,4	0,45
5	Фон+N ₁₅₀ (N ₈₀ + N ₇₀)	22,4	21,1	22,4	22,0	22,0	0,61
6	Фон+N ₁₈₀ (N ₉₀ + N ₉₀)	21,3	23,2	22,2	22,9	22,4	0,84

Таблиця 3.8 Вплив добрив на урожайність зерна кукурудзи, вихідні дані, т/га

N	Норма добрив	Урожайність, т/га					
		I	II	III	IV	X сер	S ²
1	Контроль без добрив	12,4	12,2	12,2	11,6	12,1	0,35
2	Фон - N _{1,25} P _{69,4} K _{81,25} Mg ₃₄ S _{24,6}	13,8	13,1	12,5	13,5	13,2	0,56
3	Фон+N ₉₀	14,1	14,7	14,4	15,4	14,7	0,56
4	Фон+N ₁₂₀	14,4	14,5	15,1	15,7	14,9	0,60
5	Фон+N ₁₅₀ (N ₈₀ + N ₇₀)	14,7	14,6	14,2	14,8	14,6	0,26
6	Фон+N ₁₈₀ (N ₉₀ + N ₉₀)	14,9	15,1	15,6	15,9	15,4	0,46

У перерахунку на базову вологість на ділянках без застосування добрив урожайність становили 11,0 т/га. Така висока урожайність пояснюється багатим на поживні речовини лучно-чорноземного ґрунту, значному удобренню попередника – картоплі і сприятливими природними умовами у найбільш вимогливі фази росту кукурудзи. Внесення припосівних добрив, а також фосфорно-калійних ($N_{1,25} P_{69,4} K_{81,25} Mg_{34} S_{24,6}$) дозволяє додатково отримати одну тону зерна. Урожайність на ділянках де внесли N_{90} на фоні фосфорно-калійних добрив зростає на 2,2 т/га. Така ж продуктивність кукурудзи була і після додаткового внесення 60 кг д.р. КАС-32, що підтверджує їх неефективність.

Таблиця 3.9 Урожайність зерна кукурудзи за базової вологості (14%), т/га

N	Норма добрив	Урожайність, т/га					
		I	II	III	IV	X сер	S ²
1	Контроль без добрив	11,19	11,04	11,02	10,67	10,98	0,22
2	Фон - $N_{1,25} P_{69,4} K_{81,25} Mg_{34} S_{24,6}$	12,47	11,93	11,34	12,23	11,99	0,49
3	Фон+N ₉₀	12,67	13,37	12,96	13,97	13,24	0,56
4	Фон+N ₁₂₀	12,96	13,03	13,63	14,29	13,48	0,62
5	Фон+N ₁₅₀ (N ₈₀ + N ₇₀)	13,26	13,39	12,81	13,42	13,22	0,28
6	Фон+N ₁₈₀ (N ₉₀ + N ₉₀)	13,64	13,48	14,11	14,25	13,87	0,37

HP₀₅, т/га

0,67

Дослідженнями встановлено, що внесення припосівного локального добрива Корн-Калі (K_{40}, Mg_6, S_5) + Суперфосфат потрійний (P_{46}) + Сульфат магнію гран. ($Mg_{22}, S_{14,6}$) сприяє зростанню урожайності на 9%, а додаткового внесення азотних добрив у формі КАС 32 – 20,2-26,1%. Найвищий врожай був за внесення N_{180} , проте надвишка є мінімальною і знаходиться в межах статистичної похибки.

Таблиця 3.10 Вплив рівнів азотного удобрення на врожайність зерна кукурудзи, усереднені дані по повтореннях

N	Норма добрив	Врожай, т/га	Відхилення, одиниць	Відхилення від контролю, %
1	Контроль без добрив	10,98	–	–
2	Фон - N _{1,25} P _{69,4} K _{81,25} Mg ₃₄ S _{24,6}	11,99	+0,99	9,0
3	Фон+N ₉₀	13,24	+2,24	20,4
4	Фон+N ₁₂₀	13,48	+2,48	22,5
5	Фон+N ₁₅₀ (N ₈₀ + N ₇₀)	13,22	+2,22	20,2
6	Фон+N ₁₈₀ (N ₉₀ +N ₉₀)	13,87	+2,87	26,1

Отже, можна зробити висновок, що в умовах дослідження застосування із значним запасом поживних речовин немає доцільності вносити під кукурудзу на зерно максимальні норми азотних добрив. Між вегетаційним індексом хлорофілу LCI та продуктивністю кукурудзи спостерігається сильний прямий кореляційний зв'язок – $R = 0,84$. На відміну від LCI станом на 08.08.2024 р. між індекс MCARI та врожайністю кореляції не встановлено.

3.4. Економічна ефективність застосування азотних добрив

У ринкових умовах ведення сільського господарства основним завданням є впровадження ресурсозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур, які потребують ретельного обліку матеріальних витрат за виробництво продукції та пошуку шляхів їх зниження, у тому числі завдяки використанню високоефективних гербіцидів та поєднання діючих речовин.

Аналізуючи дані (табл. 3.11) можемо констатувати, що додаткові вкладення, зокрема добрив у наших конкретних умовах не мали економічної доцільності. Найкращі економічні показники були на варіанті без застосування добрив. Вартість фосфорно-калійних добрив (12700 грн/га) перевищує дохід від надбавки врожаю. Хоча валовий дохід максимальним був на шостому варіанті N₁₈₀, проте рівень рентабельності на ньому є меншим від контролю на 66%. Для підтримання необхідного балансу поживних речовин ми рекомендуємо вносити 90-120 кг/га діючої речовини азоту, оскільки за такої схеми отримуємо найвищий умовно-чистий прибуток.

Таблиця 3.11. – Економічні показники вирощування зерна кукурудзи

Варіант досліджу	Урожай, т/га	Вартість валової продукції грн./га	Витрати			Собівартість 1 т, грн.	Умовно чистий прибуток грн./га	Рівень рентабельності, %
			усього	Фон	КАС			
Контроль без добрив	10,98	85644	32400	–	–	2951	53244	164
Фон - N _{1,25} P _{69,4} K _{81,25} Mg ₃₄ S _{24,6}	11,99	93522	45100	12700	–	3761	48422	107
Фон+N ₉₀	13,24	103272	49880	12700	4780	3767	53392	107
Фон+N ₁₂₀	13,48	105144	51470	12700	6370	3818	53674	104
Фон+N ₁₅₀ (N ₈₀ + N ₇₀)	13,22	103116	53070	12700	7970	4014	50046	94
Фон+N ₁₈₀ (N ₉₀ + N ₉₀)	13,87	108186	54660	12700	9560	3941	53526	98

Примітка: ціни на продукцію і затрати розраховані станом на 2024 р. Вартість 1 т зерна кукурудзи становить 7800 грн.

Отже отримані результати досліджень дають можливість зробити висновок що, для підтримуючої родючості ґрунту і прийнятних показників родючості ґрунту під кукурудзу на лучно-чорноземному ґрунті доцільно вносити N_{1,25} P_{69,4} K_{81,25} Mg₃₄ S_{24,6} + N₉₀ у формі КАС-32.

3.5. Енергетична ефективність застосування добрив

У світовій практиці окрім традиційного методу оцінки ефективності виробництва культур використовують метод енергетичної оцінки, який передбачає оцінку витраченої енергії на вирощування продукції, а також енергію що акумулюється у фітомасі рослин. Енергетична оцінка дозволяє знайти шляхи раціонального використання енергії у землеробстві.

Енергетичний аналіз інтенсивних технологій вирощування кукурудзи визначено за методикою, описаною Ю.О. Тараріко (2005) [56].

Енергоємність 1 кг кукурудзи на силос (суха речовина) становить 16,39 МДж, азотних добрив 86,8 МДж, фосфорних 12,6 МДж, калійних – 8,3, а органічних добрив 0,42 МДж [37].

При складанні технологічної карти вирощування кукурудзи на зерно необхідно звернути увагу на раціональне використання енергетичних ресурсів. В наших дослідях ми визначали коефіцієнт енергетичної ефективності, енергоємність врожаю, енерговитрати (табл. 3.12).

Таблиця 3.12 – Енергетична оцінка вирощування зерна кукурудзи

Варіант дослідів	Урожайність зерна (с. р.), т/га	Енерговитрати на 1 га посіву, МДж	Енерговитрати на добрива, МДж	Енергоємність урожаю зерна, ГДж/га	Додаткова енергія, ГДж/га	К _е по зерну
Контроль без добрив	9,44	27740	–	154,8	127,0	4,58
Фон - N _{1,25} P _{69,4} K _{81,25} Mg ₃₄ S _{24,6}	10,31	29590	1850	169,0	139,4	4,71
Фон+N ₉₀	11,39	37384	9644	186,6	149,2	3,99
Фон+N ₁₂₀	11,59	39982	12242	190,0	150,0	3,75
Фон+N ₁₅₀ (N ₈₀ + N ₇₀)	11,37	42580	14840	186,3	143,8	3,38
Фон+N ₁₈₀ (N ₉₀ +N ₉₀)	11,93	45178	17438	195,5	150,3	3,33

Оскільки енерговитрати на азотні добрива займають значну частку загальних енерговитрат максимальні вони були за внесення N_{180} на шостому варіанті – 45178 МДЖ, що на майже 17500 більше ніж на контролі. На цьому ж варіанті, як показали наші розрахунки, був найменший коефіцієнт енергетичної ефективності. З усіх рівнів удобрення ми рекомендуємо за цих конкретних умов вносити 90 кг/га д.р. КАС-32. Такий захід дозволить отримати майже 190 Гдж енергії в зерні з К_ее майже 4 одиниці.

Розділ 4

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Стан ґрунтів та використання земель

Оскільки функційність екосистеми – це важлива основа сільського господарства, стійкість і позитивні побічні ефекти – важливі критерії для прийняття заходів щодо адаптації сільського господарства. За підрахунками експертів, більше 90 % світового продовольчого виробництва безпосередньо залежить від ґрунту. Це свідчить про його велике значення для продовольчої безпеки.

Ґрунт – це невідновлюваний ресурс, що стає дефіцитним. Він відіграє центральну роль у стабілізації клімату. Клімат впливає на багато процесів в ґрунтах: їхнє формування, розвиток, властивості та функції [1,8].

Враховуючи всі фактори цінності ґрунтів та функцію у формуванні клімату, для їх захисту необхідний перехід до стійкого сільського господарства. Збереження та раціональне використання ґрунтів зробить їх більш стійкими до кліматичних умов.

Науково-технічний прогрес світового землеробства і в нашій країні передбачає все зростаючі темпи застосування агротехнічних, агрохімічних, меліоративних, лісомеліоративних і інших засобів.

По цьому шляху ідуть економічно високо розвинуті країни світу, по цьому шляху підуть і країни, що розвиваються. Іншого реального шляху крім землеробства, яке забезпечує людей продуктами харчування, на землі немає.

Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва зумовила низку негативних явищ, які призвели в першу чергу, до погіршення структури земельних ресурсів, зниження родючості ґрунту на посилення ерозійних процесів, втрати гумусу, порушення водного режиму, фізичних властивостей ґрунту, забруднення його отрутохімікатами, пестицидами, відходами промисловості.

Спеціалісти сільського господарства, а також інших галузей народного господарства повинні добре знати способи наукового обґрунтованого і ефективного використання всіх існуючих засобів в практиці землеробства, можливі джерела забруднення ними навколишнього середовища. Негативні екологічні наслідки такого забруднення, а також шляхи його попередження або зниження до рівня, який не є небезпечним для людей [17].

На сьогоднішній день в Україні охорона земельних ресурсів регламентується відповідними законодавчими актами.

Земля як природний ресурс постійно піддається природному та антропогенному впливу. Сучасні технології вирощування рослин ґрунтуються на використанні великої кількості мінеральних добрив та пестицидів і це не завжди сприяє захисту навколишнього природного середовища. Великої шкоди ґрунтам завдає ерозія, забруднення промисловими відходами, які потрапляють в ґрунт в основному із стічними водами.

В технології вирощування соняшника є деякі небезпечні для ґрунту агрозаходи. Це, зокрема, полицевий основний обробіток ґрунту восени, який створює небезпеку виникнення водної ерозії ґрунту на схилі землях. Та внесення високих норм мінеральних та органічних добрив.

З метою запобігання ерозійним процесам потрібно застосовувати протиерозійну систему обробітку ґрунту, вона є найбільш екологічно безпечною для Західного регіону України [27].

При проведенні основного обробітку ґрунту використовуються важкі трактори, під час руху вони переущільнюють ґрунт, погіршують фізичні властивості ґрунту, водний режим, руйнується його структура, що призводить до зниження родючості ґрунту.

Порушення збалансованості окремих елементів агроландшафтів призвело до істотної деградації ґрунтового покриву. Тому потрібні негайні заходи щодо поліпшення сучасного стану агроландшафтів та запровадження

нових ґрунтозахисних, економічно безпечних, менш енергоємних систем землеробства.

Для захисту ґрунтів необхідно вживати протиерозійні заходи, захищати ґрунт від забруднення агрохімікатами, важкими металами, попереджувати засолення ґрунтів; знизити промислові викиди в атмосферу. Потрібне знищення мінералізації ґрунтових вод, призупинення негативних процесів у ґрунті (біологічна активність) [8].

Знизити використання мінеральних добрив можливо за рахунок сівби сидератів, внесення органічних добрив, вдосконалення системи обробітку ґрунту.

Серед комплексу найважливіших протиерозійних заходів потужним агротехнічним засобом підвищення протиерозійної стійкості ґрунту є використання органічних і мінеральних добрив. Рослини на удобреному ґрунті розвивають більш міцну кореневу систему, покращують фізичні властивості ґрунту, що сприяє захисту ґрунту від ерозії. Правильний вибір форм, доз, строків і способів внесення і заробки добрив є важливим засобом попередження втрат поживних речовин при змиві і вилуговуванні з ґрунту.

4.2 Водні ресурси, їх стан та охорона

Вода – найбільш розповсюджена і найбільш важлива речовина на Землі. Сільське господарство – одне з найбільших споживачів і одночасно забруднювачів природних вод, через використання міндобрив, пестицидів та інших хімікатів, створення тваринницьких комплексів.

Через необґрунтоване внесення мінеральних добрив, особливо азотних, в умовах господарства, де режим зволоження носить промивний характер, існує явище евтрофікації водойм. Це відбувається внаслідок нагромадження у воді біогенних речовин, що надходять з підґрунтовими водами. Це призводить до заростання водоймища, обміління, утворення на його місці болота [18].

При використанні мінеральних добрив та різних агрохімікатів з метою недопущення забруднення джерел водопостачання враховуються напрям та швидкість вітру, щоб не допустити попадання цих речовин у водойми. Крім того повинні бути встановлені захисні зони.

Основними джерелами водопостачання, в зоні розміщення господарства є річки та підгрунтові води.

Враховуючи вищесказане, керівництво господарства разом з органами місцевої влади розробляють цілий ряд природоохоронних заходів захисту джерел водопостачання від забруднення і здійснення контролю за дотриманням встановлених вимог охорони довкілля.

В першу чергу в умовах господарства під час використання мінеральних добрив та пестицидів при вирощуванні сільськогосподарських культур і зокрема соняшника, враховується напрям та швидкість вітру з тим, щоб не допустити їх попадання у водні джерела. Для внесення підбираються такі препарати котрі вносять наземним способом з заробкою в ґрунт.

При будівництві складів для мінеральних добрив та отрутохімікатів, а також при організації гнойового господарства вибирають такі місця в гідрологічному відношенні, які виключають фільтрацію в ґрунтові води. Крім вказаних об'єктів створюють спеціальні вали для перехвату забруднених вод.

З метою запобігання забруднення водних джерел систематично здійснюється контроль за дотриманням встановлених вимог при підживленні та обприскуванні рослин; раціонального використання місцевого стоку води завдяки агротехнічним заходам, зокрема спеціальним зяблевим обробітком впоперек схилу, ґрунтопоглибленню, щілинуванню і т.п; недопущення розміщення поблизу водоймищ літнього утримання худоби, заборонаю миття сільськогосподарської техніки. Систематичному неконтрольованому проникненню пестицидів в підгрунтові води запобігає розміщення згідно санітарних норм складів отрутохімікатів.

4.3 Охорона атмосферного повітря

Сьогодні дуже актуальною проблемою в Україні є забруднення повітря. Шкідливий вплив забрудненого повітря на рослинний та тваринний світ вимагає проведення заходів для усунення джерел забруднення атмосфери.

Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва, зокрема, застосування добрив, пестицидів, сучасної техніки поряд з поліпшенням умов розвитку рослин сприяють надходженню в атмосферу з висхідними потоками повітря багатьох газів і пилоподібних речовин [8].

Основними джерелами забруднення атмосферного повітря при вирощуванні кукурудзи є вихлопні гази транспорту, мінеральні добрива, отрутохімікати.

Рослини дуже тісно пов'язані з повітрям — вони поглинають з нього вуглекислий газ, виділяють кисень, змінюють склад повітря і самі змінюються під його впливом.

З метою зменшення виділення в атмосферу вуглекислого газу в господарстві застосовують мінімальний обробіток ґрунту, що і сприяє зменшенню трансформації вуглекислого газу з органічної речовини ґрунту в атмосферу.

Збільшення в атмосфері таких забруднювачів як оксид сірки, азоту, озон сприяють погіршенню розвитку рослин. Механізм впливу забруднювачів може бути різним.

При будівництві складів для зберігання отрутохімікатів і мінеральних добрив, а також паливно-мастильних матеріалів вибрано майданчики з врахуванням напрямку вітрів, розміщення житлового масиву, рельєфу місцевості для кращого провітрювання території з метою запобігання забруднювачів у приземному морі повітря. Тваринницькі приміщення збудовані з врахуванням санітарно-захисних зон. Всі екологічно-небезпечні об'єкти озеленені.

З метою запобігання забруднення навколишнього природного середовища важливе значення має дотримання культури землеробства, вдосконалення і запровадження нових технологій вирощування сільськогосподарських культур, використання добрив і отрутохімікатів у сівозмін і під кожен культуру з врахуванням ґрунтово-кліматичних умов району, біологічних особливостей культур і сортів

4.4 Стан охорони та примноження флори і фауни

Тваринний і рослинний світ є джерелом одержання промислової і лікарської сировини, харчових продуктів та інших матеріальних цінностей, необхідних для задоволення потреб населення і народного господарства..

Використовуючи природу для своїх потреб людина змінює її і тим самим, у тій чи іншій мірі впливає на життєдіяльність рослин і тварин.

Прикладом є вирубка і викорчовування лісів, що призводить до зменшення деревних порід і кущів, до скорочення кількості рослин; вирубка лісів впливає на тваринне населення: змінюються умови існування лісових птахів і звірів, падає їх чисельність.

Людина в процесі виробничої діяльності змінює ландшафти. У результаті змінюються кліматичні умови, фізичний стан і хімізм атмосфери, стан водойм, ґрунтів, будова поверхні Землі. Все це призводить до змін рослинного і тваринного світу.

Одним з основних заходів для збільшення чисельності корисних комах, птахів і звірів є перехід до біологічних методів захисту рослин, з метою зменшення використання хімічних засобів, які негативно впливають на стан навколишнього природного середовища і спричиняють загибель корисних комах і тварин.

Значно зменшують популяції шкідників їх природні вороги – птахи (шпаки, синиці). Привабити та зберегти їх на території господарства можна шляхом розвішування шпаківень, синичників, годівниць.

Для покращення стану флори і фауни важливе значення має розширення природоохоронних знань, залучення населення до екологічної освіти. Людина повинна усвідомити яку важливу роль відіграють в її житті зникаючі та рідкісні рослини та тварини.

Широко застосовують в господарстві мікробіологічні препарати, які значно менше забруднюють навколишнє середовище, а також не знищують природних ворогів шкідників – птахів.

Вберегти корисні види можна шляхом застосування біологічних методів боротьби: розвішування феромонних пасток, ловчих поясів в садах, використання препаратів на природній основі (стробі, бітоксимбацилін та ін.). У випадку нагальної необхідності хімічного захисту його потрібно проводити в рекомендованих дозах та, обов'язково, з врахуванням економічного порогу шкодочинності.

Розділ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ

5.1. Аналіз стану охорони праці в господарстві «Континентал Фармерс Груп» Львівського району Львівської області

Прискорення науково-технічного прогресу в агропромисловому комплексі, інтенсифікація виробництва на основі нової, більш досконалої техніки, індустріальної технології, запровадження нових форм організації та управління виробництвом висувають на перший план завдання удосконалення системи заходів з охорони праці на виробництві, створення безпечних умов праці, збереження та зміцнення здоров'я працівників сільського господарства. Розроблюваний розділ має мету проаналізувати існуючий стан охорони праці в господарстві розробити заходи по покращенню умов і безпеки праці при вирощуванні кукурудзи.

Для запобігання широкому масштабу виробничого та побутового травматизму в світі і в Україні, зокрема, необхідно неухильно дотримуватися вимог правил техніки безпеки. Причому, якщо розглянути цю статистику диференційовано, то побачимо, що травматизм є основною причиною смертності людей віком від 2 до 41 року (звичайно, з урахуванням виробничого і побутового травматизму).

Тому питання безпеки робітників в першу чергу залежить від дотримання ними правил та інструкцій з безпеки та постійного і суворого контролю з боку контролюючих органів.

Відповідно до Закону України про охорону праці на підприємстві з кількістю працюючих менше 50 осіб повноваження щодо охорони праці можливо виконувати за сумісництвом особам, які мають відповідну підготовку.

У господарстві відповідно до Типового положенням про навчання та перевірку знань охорони праці було встановлено порядок і види навчання з охорони праці робітників.

Директор філії «Континентал Фармерс Груп» проводить інструктажі з охорони праці у кабінеті з відповідними записами у реєстраційному журналі. В господарстві проводять такі інструктажі з охорони праці як: вступний, первинний, повторний, позаплановий, цільовий. Усі працівники перед початком весняно-польових робіт проходять медичний огляд.

Спецодяг робітникам видається, але не в повному обсязі. У господарстві є кімната для переодягання і за необхідності для відпочинку, також на високому рівні організовано місце для вживання їжі. Є гаряча вода, за необхідності можна прийняти душ у приміщенні в комфортних умовах. Влітку також є літній душ.

Директор філії «Континентал Фармерс Груп» забороняє: експлуатацію несправних машин і устаткування, підйомно-транспортних засобів і т.д., а також проводити роботи з можливою погрозою для здоров'я та життя працівників господарства; обов'язково припиняє роботи, що ведуться з грубим порушенням правил безпеки праці. Інструкції з охорони праці розроблені на усі види робіт. До роботи допускається лише справне обладнання.

Щорічно в господарстві за напрямками діяльності розробляється розділ з "Охорони праці", який укладається у колективному договорі між керівником і працівниками.

Провідні спеціалісти господарства разом з інженером з техніки безпеки регулярно проводять інструктажі перед проведенням певного циклу польових робіт та слідкують за їх дотриманням.

Основними завданнями агронома із забезпечення охорони та гігієни праці в рослинництві є наступні впровадження інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур та нової техніки, створення

безпечних умов праці та високої трудової дисципліни, дотримання правил техніки безпеки та безпечних прийомів виробництва у рослинництві.

Аналіз виробничого травматизму і професійних захворювань господарстві здійснюється на основі актів про нещасний випадок (форма Н -1) професійні захворювання (звіти форми 7-ТВН).

Хоча техніці безпеки та охорони праці в господарстві приділяється велика увага, все ж мають місце певні порушення в технології вирощування окремих культур. Бажає бути кращим і фінансування на придбання спецодягу і спецхарчування.

5.2. Покращення гігієни праці, техніки безпеки при вирощуванні соняшника

Використання пестицидів й агрохімікатів потребує спеціальних знань, оскільки невміле поводження з ними може призвести до отруєння працівників, забруднення природного довкілля. Роботи з препаратами повинні проводити постійні бригади або особи, які пройшли медичний огляд, навчання та інструктаж з охорони праці.

Керівниками робіт призначають осіб, які мають певний досвід роботи з пестицидами й мінеральними добривами та пройшли курс спеціальної підготовки.

Всі роботи, що проводяться з хімічних обробіток ґрунту й рослин потрібно здійснювати під керівництвом агрономів або спеціалістів із захисту рослин. Працівники повинні бути ознайомлені з особливостями використання пестицидів й агрохімікатів, знати правила поводження з ними й бути забезпечені ЗІЗ. Роботи повинні бути механізовані [19].

Керівник робіт має стежити за станом і самопочуттям працівників. За першої скарги щодо погіршення здоров'я працівника негайно відстороняють від роботи, вживають заходи з надання домедичної та кваліфікованої медичної допомоги.

Виходити на поля, оброблені пестицидами, людям дозволено тільки після закінчення відповідних строків. У разі випадання напередодні опадів, великої роси й підвищення температури (більше 20 °С) виходити на поля робіт, не пов'язаних з розпушуванням ґрунту, дозволено в другій половині дня після 15:00 години. За добу перед виконанням ручних робіт із догляду за посівами соняшника необхідно попередньо механічно розпушити міжряддя, щоб прискорити випаровування хімічних сполук.

При виконанні ручних робіт на площі, яка була оброблена гербіцидами, робітники мають перебувати обличчям до вітру. За бокового вітру необхідно розташовуватися так, щоб його напрям був у бік ділянки, де виконуються ручні роботи.

Необхідність обробки посівів сільськогосподарських культур пестицидами в кожному конкретному випадку визначає спеціаліст із захисту рослин. Під час використання препаратів необхідно керуватися «Переліком хімічних і біологічних засобів боротьби зі шкідниками, хворобами рослин і бур'янів і регуляторів росту рослин, дозволених для застосування в сільському господарстві». Приготування розчинів пестицидів і заправлення обприскувачів мають бути лише механізованими і закритим способом за допомогою спеціальних насосів, шлангів та інших пристроїв.

Приготування робочих розчинів – найбільш трудомісткий і небезпечний процес. Роботи потрібно проводити в ранкові й вечірні години за мінімальних висхідних повітряних потоків. Як виняток, дозволено обробляння в денні години похмурих і прохолодних днів з температурою навколишнього повітря нижче +10°C.

Готувати робочі розчини з надзвичайно небезпечних і високонебезпечних препаратів дозволено тільки механізованим способом. Заборонено готувати розчини пестицидів безпосередньо в полі без засобів механізації. До місць обробки розчини потрібно доставляти в спеціальних ємностях, які мають бути щільно закриті спеціальними накривками з отвором

для всмоктувального шлангу. Не можна виконувати ремонтні роботи (за винятком дрібних) і регулювати апаратуру за наявності в ній пестицидів.

Працівники обов'язково повинні користуватися засобами індивідуального захисту. Під час приготування розчину у всіх діях (операціях) необхідно неухильно дотримуватися вимог безпеки: під час заповнювання вмістищ триматися підвітряного боку; стежити, щоб краплі (пил) не потрапляли на одяг і відкриті частини тіла, а в разі випадкового потрапляння відразу видалити їх за допомогою ватних тампонів, а потім змити це місце водою з милом.

Заправляти обприскувачі необхідно за допомогою спеціальних засобів. Перед початком роботи потрібно перевірити герметичність в обприскувачі всієї арматури, фланців, штуцерів, люків та інших магістральних з'єднань. Заповнює резервуари обприскувача заправник. Механізатор повинен перебувати поряд, щоб у разі необхідності надати допомогу потерпілому. Весь процес заправки має бути повністю механізованим. За наповненням вмістищ необхідно стежити тільки по рівнеміру – заборонено відкривати люк і перевіряти рівень заповнення візуально [21].

У спекотну погоду всі роботи з пестицидами можна проводити лише в ранішні й вечірні години, у похмуру – протягом усього робочого дня. Заборонено:

- працювати причіплювачам під час внесення сильнодіючих і високотоксичних препаратів;
- проводити обприскування й обпилювання перед дощем і під час дощу;
- обробляти рослини в період цвітіння, щоб зберегти корисних комах;
- обробляти пестицидами полуницю й малину після цвітіння, зелені овочеві культури (цибулю, кріп, салат, зелений горошок, петрушку) під час вегетації.

Пестициди, які можуть зіпсувати смак і запах харчових продуктів, заборонено застосовувати на посівах продовольчих культур з моменту утворення продуктивних органів. Необхідно неухильно дотримуватися термінів останнього обробки, які припиняють зазвичай за 25–30 днів до збирання врожаю.

5.3. Захист населення від надзвичайних ситуацій

Актуальність проблеми природно-техногенної безпеки населення України і її території у останні роки обумовлена тривожною тенденцією зростання числа небезпечних явищ, промислових аварій, катастроф, які призводять до значних матеріальних втрат, пошкодження здоров'я та загибелі людей. У зв'язку з цим зростає роль цивільного захисту населення від наслідків надзвичайних ситуацій різного походження.

Відповідно до цих документів місцеві держадміністрації, виконавчі органи влади на місцях у межах своїх повноважень забезпечують вирішення питань цивільної оборони, здійснення заходів щодо захисту населення і місцевості під час надзвичайних ситуацій (НС) різного походження. Керівництво організацій, установ та закладів, незалежно від форм власності та підпорядкування, створює сили для ліквідації наслідків НС та забезпечує їх готовність до практичних дій, організовує забезпечення своїх працівників засобами індивідуального захисту та проведення при потребі евакозаходів та інші заходи ЦО, передбачені законодавством.

Адміністрацією філії «Континентал Фармерс Груп» проводиться певна робота по забезпеченню цивільного захисту своїх працівників та населення. Зокрема, створений штаб ЦО, ряд служб і формувань по забезпеченню різних галузей і об'єктів від НС, зокрема: служба оповіщення, служба зв'язку, медична та аварійно-технічна служби, служби захисту рослин та тварин. Проте у зв'язку з великими фінансовими труднощами ці формування є недостатньо більших коштів та уваги з боку адміністрації.

На території господарства та прилеглих територіях знаходиться багато потенційно небезпечних об'єктів техногенного та природного походження,

до яких можна віднести: автомагістраль державного значення, залізницю при аваріях на якій можливі викиди небезпечних і токсичних речовин; високовольтну ЛЕП та трансформаторну підстанцію, підземний газопровід та лінії зв'язку, пошкодження яких загрожує життю людей; заправочний пункт ПММ, склад пестицидів та міндобрив. До ПНО та НС природного походження треба віднести: великі масиви торфовищ, які при пересиханні в літні місяці можуть загорятися внаслідок необережного поводження з вогнем, часті природні кліматичні НС, а саме – урагани, град, заметілі, шквальні вітри та інші, які можуть паралізувати життєдіяльність, є велика ймовірність підтоплень приміщень.

В адміністрації є розроблені плани ліквідації аварій та рятувальних невідкладних аварійно відновних робіт (РНАВР) при різних НС. Для реалізації цих планів виділяють наявні матеріально-технічні засоби. Плани ліквідації аварій та аварійно-відновних робіт повинні вводитися в дію відразу після отримання сигналу про НС, який поступає по радіо, телебаченню чи іншими джерелами зв'язку. Дуже важливим є оперативність і швидкість реагування на НС, тому що при запізненні значно зростають розміри втрат та можливі жертви серед населення. Населення, яке попало в епіцентр НС і підлягає евакуації, отримавши повідомлення про це, повинно неухильно виконувати розпорядження уповноважених осіб, взявши з собою документи, медикаменти, гроші та речі першої необхідності.

Велику роль при набутті навиків поведінки при НС має навчання населення з питань цивільного захисту. З цією метою регулярно проводяться лекції і заняття з ЦО з працівниками господарства. Основною метою такого навчання є прищеплення навичок і вмінь практичного використання засобів індивідуального захисту, поведінки при сигналах цивільної оборони та інших важливих діях.

Для виконання покладених завдань та функцій на формування ЦО у їх структурі створені такі служби і підрозділи: служба оповіщення і зв'язку, яка своєчасно інформує керівний склад, працівників і все населення про загрозу і

виникнення НС; медична служба, яка забезпечує комплектування і готовність медичних формувань; аварійно-технічна служба здійснює роботу по розбиранню завалів, локалізації і ліквідації аварій на об'єктах; матеріально-технічна служба – забезпечує необхідні ресурси.

В цілому стан охорони праці в «Континентал Фармерс Груп» задовільний, проте для покращення його ефективності необхідно застосовувати ряд заходів:

- ✓ покращити та проводити якісніше медичне обслуговування працівників господарства (вчасно та ретельно проводити медичний огляд);
- ✓ особливу увагу приділити вчасному проведенню усіх необхідних інструктажів, що передбачено чинним законодавством (первинний, вступний та цільовий інструктажі);
- ✓ більш повно забезпечити робітників господарства засобами захисту відповідно до роботи яку вони виконують;
- ✓ до роботи обов'язково перевіряти на технічну справність машини та допускати такі, що пройшли ретельну перевірку і робітники можуть бути впевнені, що ці машини відповідають усім необхідним вимогам щодо безпеки.
- ✓ проводити інструктажі з техніки безпеки перед посівом, доглядом та збиранням врожаю кукурудзи.
- ✓ виділити кошти на поновлення протипожежного інвентаря, механізованих засобів пожежогасіння;
- ✓ раціонально використовувати фінансові та матеріальні ресурси господарства, необхідні для запобігання надзвичайних ситуацій та реагування на них;
- ✓ поновлювати плакати з охорони праці, інструктивні матеріали та журнали.

ВИСНОВКИ

За результатами наших досліджень з вивченням впливу різних рівнів азотного живлення в господарстві «“*****”», відділення “Вирів” що знаходяться у Львівському районі Львівської області робимо наступні висновки:

1. Використання N тестеру дає можливість оцінити вплив добрив на вміст хлорофілу упродовж вегетації кукурудзи. Встановлено, що азотні добрива позитивно вплинули на утворення хлорофілу. Відбулось підвищення показника на 25-85 або 3,5-11,8%.

2. В умовах надмірної біомаси рослин висока кореляційна залежність спостерігається між індексом хлорофілу LCI та урожайністю кукурудзи – 0,85. Проаналізовано доцільність використання знімків отриманих з супутників Sentinel -2, Landsat.

3. Для підтримуючої родючості ґрунту і прийнятних показників родючості ґрунту під кукурудзу на лучно-чорноземному ґрунті Внесення припосівних добрив, а також фосфорно-калійних ($N_{1,25} P_{69,4} K_{81,25} Mg_{34} S_{24,6}$) дозволяє додатково отримати одну тону зерна. Урожайність на ділянках де внесли N_{90} на фоні фосфорно-калійних добрив зростає на 2,2 т/га.

4 Внесення вищих норм азотних добрив не доцільно. Найвищий врожай (13,87 т/га) був за внесення N_{180} , проте надвишка є мінімальною і знаходиться в межах статистичної похибки.

5. Для підтримання необхідного балансу поживних речовин рекомендуємо вносити 90-120 кг/га діючої речовини азоту, оскільки за такої схеми отримуємо найвищий умовно-чистий прибуток.

6. З енергетичного погляду найраціональнішим під кукурудзу є варіант припосівного використання добрив, оскільки отриманий приріст енергії з врожаєм не компенсує затрати на виробництво високих норм азотних добрив.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

На підставі проведених досліджень в умовах Львівського району Львівської області на лучно-чорноземних ґрунтах для одержання високих та стабільних врожаїв зерна кукурудзи доцільно вносити N90 під передпосівну культивуацію на фоні N_{1,25} P_{69,4} K_{81,25} Mg₃₄ S_{24,6}. Такий рівень удобрення на достатньо родючих ґрунтах дає можливість отримати стабільну врожайність за рівня рентабельності майже 110%.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Агрохімія: підручник /Г.М. Господаренко. К. : Аграрна освіта, 2013. 406 с.
2. Андрущенко В., Дебруїн Д., Бутзен С. Споживання азоту кукурудзою // *Агроном*. 2019. № 1. С. 132-138.
3. Аріон О. В., Купач Т. Г., Дем'яненко С. О. Географія ґрунтів з основами ґрунтознавства. Навчально-методичний посібник. Київ, 2017. 226 с.
4. Асанішвілі Н. М. Ефективність елементів технології вирощування кукурудзи в умовах північної частини Лісостепу. *Збірник наукових праць Національного наукового центру Інститут землеробства НААН*. 2013. №. 3-4. С. 68–74.
5. Господаренко Г. Живлення та удобрення кукурудзи. *Агробізнес сьогодні*. 2015. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiiasohodni/item/547-zhyvlennia-ta-udobrennia-kukurudzy.html> (дата звернення: 12.06.2018р.).
6. Гудзь В. П., Примак І. Д, Будьоний Ю. В. Землеробство. К. : Урожай, 1996. 384 с.
7. Дослідна справа в агрономії : навч. посібник: у 2 кн. Кн. 1. Теоретичні аспекти дослідної справи / А. О. Рожков, В. К. Пузік, С. М. Каленська та ін.; за ред. А. О. Рожкова. Харків : Майдан, 2016, 316 с.
8. Енергозберігаючі агроєкосистеми. Оцінка та раціональне використання агроресурсного потенціалу України : Київ : ДІА, 2011. 576 с.
9. Єрмакова Л.М., Крестьянінов Є.В. Урожайність кукурудзи залежно від удобрення та гібриду на темно-сірих опідзолених ґрунтах. *Вісник ПДАА*. 2016. № 4. С. 63–65
10. Ільченко В. Ю. Пастухов В. І. Аналіз проектування екологічно-безпечної ресурсозберігаючої технології виробництва кукурудзи на

- зерно. *Вісн. Харків. держ. техн. ун-ту сіл. госп-ва*, 2000; Вип.1. С. 119-130
11. Камінський В. Ф., Асанішвілі Н. М. Економічна ефективність технологій вирощування кукурудзи різного рівня інтенсивності. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2020. Вип. 3. С. 27–34. DOI: 10.31521/2313092X/2020-3(107)-4
12. Камінський В. Ф., Асанішвілі Н. М. Формування якості зерна кукурудзи різних напрямів використання залежно від технології вирощування в Лісостепу. *Корми і кормовиробництво*, 2020. № 89. С. 74–84. DOI: 10.31073/kormovyrobnytstvo202089-07
13. Катренко Л. А. Охорона праці. Курс лекцій. Практикум: Навчальний посібник. – 3-тє вид., перероб. і допов. [Л. А. Катренко, Ю. В. Кіт, І. П. Пістун] – Суми: ВТД «Університетська книга», 2009. 540 с.
14. Кукурудза. Вирощування, збирання, консервування і використання : навч.-практ. посіб. / за заг. ред. Д.Шпаара. Київ : Альфа-стевія ЛТД . 2009. 396 с.
15. Лень О.І., Тоцький В.М., Гангур В.В., Єремко Л.С. Вплив системи удобрення та основного обробітку ґрунту на продуктивність гібридів кукурудзи. *Вісник ПДАА*. 2021. №2. С.52–58.
16. Логінова, І. Секрети кукурудзяного успіху // *Агроіндустрія*. 2019. № 7. С. 22-32.
17. Методика суцільного ґрунтового-агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України. Київ, 1994. 162 с.
18. Основи загальної екології. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт студентами факультету агротехнологій і екології за напрямом підготовки 6.040106 – «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». Видавничий центр ЛНАУ Дубляни, 2012. 99 с.

19. Основи охорони праці: Навчальний посібник / За ред. Я. І. Бедрія. – 3-тє вид., переробл. і дод. Львів : «Магнолія плюс», видавець СПД ФО В. М. Піча, 2004. 240 с.
20. Петриченко В.Ф., Лихочвор В.В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур: підручник. 5-тє, виправ., доповн. Львів: НВФ «Українські технології», 2020. 806 с.
21. Пістун І. П., Березовецький А. П., Березовецький С. А. Охорона праці в галузі сільського господарства (рослинництво). Навчальний посібник. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2009. 368 с.
22. Полупан М.І., Соловей В. Б., Величко В.А. Класифікація ґрунтів України / За ред.. М.І. Полупана. К.: Аграрна наука, 2005. 300 с.
23. Поспєлов С. В., Левченко Л. М., Чайка Т. О., Перепелиця А. А. Продуктивність культур у короткоротаційних сівозмінах залежно від обробітку ґрунту й удобрення в умовах лісостепу України, *Scientific Progress & Innovations: Вісник Полтавської Державної Аграрної Академії* № 4 (2020) С. 23-34
24. Практикум із землеробства: Навч. посібник / М.С. Кравченко, О.М. Царенко, Ю.Г. Міщенко та ін.; За ред. М.С. Кравченка і З.М. Томашевського. К.: Мета, 2003. 320 с.;
25. Царенко О.М., Злобін Ю.А., Скляр В.Г., Панченко С.М. Комп'ютерні методи в сільському господарстві та біології. Суми: Університетська книга, 2000. 203 с.
26. Цехмейструк М., Муфазаров Н., Манько К. Аспекти вирощування кукурудзи. *Агрономія сьогодні*. 2014. № 8 (279). С. 28–33. URL: <http://agrobusiness.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/436-aspekty-vyroshchuvanniakukurudzy.html>
27. Якість ґрунтів та сучасні стратегії удобрення / За ред. Д. Мельничука, Дж. Хофман, М. Городнього. Київ: Арістей. 2004. 488 с.

28. Baret F. and Guyot G., “Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 35, no. 2/3, pp. 161–173, Feb./Mar. 1991.
29. Battude, M.; Al Bitar, A.; Morin, D.; Cros, J.; Huc, M.; Marais Sicre, C.; Le Dantec, V.; Demarez, V. Estimating Maize Biomass and Yield over Large Areas Using High Spatial and Temporal Resolution Sentinel-2 like Remote Sensing Data. *Remote Sens. Environ.* 2016, 184, 668–681.
30. Below Fred. The Seven Wonders of the Corn Yield World http://cropphysiology.cropsci.illinois.edu/research/seven_wonders.html
31. Bender R.R., Haegele J.W., Ruffo M.L., Below F.E. (2013) Nutrient Uptake, Partitioning, and Remobilization in Modern, Transgenic Insect-Protected Maize Hybrids. *Agron J.* 105:161-170. doi:10.2134/agronj2012.0352
32. Biswas D. K., Ma B. L. Effect of nitrogen rate and fertilizer nitrogen source on physiology, yield, grain quality, and nitrogen use efficiency in corn. *Can J Plant Sci.* 2016. Vol. 403. P. 392–403.
33. Bundy, L.G. 2006. Side dressing nitrogen: useful on all soils? *Proc. of the 2006 Wisconsin Fertilizer, Agronomy & Pest Management Conference*, Vol. 45. pp 39-43.
34. Coque M, Gallais A. Genetic variation for nitrogen remobilization and postsilking nitrogen uptake in maize recombinant inbred lines: heritabilities and correlation among traits. *Crop Science.* 2007;47:1787–1796.
35. Dash J. and P. J. Curran, “The Merris terrestrial chlorophyll index,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 15, pp. 1–12, 2004.
36. Donald, C.M.; Hamblin, J. The Biological Yield and Harvest Index of Cereals as Agronomic and Plant Breeding Criteria. *Adv. Agron.* 1976, 28, 361–405.
37. Gabriel, J.L.; Zarco-Tejada, P.J.; Lopez-Herrera, P.J.; Perez-Martin, E.; Alonso-Ayuso, M.; Quemada, M. Airborne and ground level sensors for monitoring nitrogen status in a maize crop. *Biosyst. Eng.* 2017, 160, 124–133. [Google Scholar] [CrossRef]

38. Gallais A., Coque M., Quillere I., Prioul J. L., Hirel B. Modelling postsilking nitrogen fluxes in maize (*Zea mays*) using N-15-labelling field experiments. *New Phytol.* 2006. Vol. 172. P. 696–707.
39. Gastal, F.; Lemaire, G. N uptake and distribution in crops: An agronomical and ecophysiological perspective. *J. Exp. Bot.* 2002, 53, 789–799.
40. Gastal, F.; Lemaire, G.; Durand, J.L.; Louarn, G. Chap. 8: Quantifying crop responses to nitrogen and avenues to improve nitrogen-use efficiency. In *Crop Physiology*, 2nd ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2015; pp. 161–206.
41. Geipel, J.; Link, J.; Wirwahn, J.A.; Chaupein, W. A Programmable Aerial Multispectral Camera System for In-Season Crop Biomass and Nitrogen Content Estimation. *Agriculture* 2016, 6, 4.
42. Haboudane D., Miller J. R., Tremblay N., Zarco-Tejada P. J., and L. Dextraze, “Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 81, no. 2/3, pp. 416–426, Aug. 2002.
43. Haboudane, D.; Tremblay, N.; Miller, J.R. Remote Estimation of Crop Chlorophyll Content Using Spectral Indices Derived From Hyperspectral Data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2008, 46, 423–437.
44. Haegele J. W., Cook K. A., Nichols D. M., Below F. E. Changes in nitrogen use traits associated with genetic improvement for grain yield of maize hybrids released in different decades. *Crop Sci.* 2013. Vol. 53. P. 1256–1268.
45. Halvorson A. D., Grosso S.J.D., Alluvione F. Nitrogen Source Effects on Nitrous Oxide Emissions from Irrigated No-Till Corn. *Journal of Environmental Quality.* 2010. Vol. 39. P. 1554–1562.
46. Henriques, H.J.R.; Schwambach, D.A.; Fernandes, V.J.M.; Cortez, J.W. Vegetation Indices and Their Correlation with Second-Crop Corn Grain Yield in Mato Grosso Do Sul, Brazil. *RBMS* 2021, 20, 13.

47. Hunt, E.; Daughtry, C.; Eitel, J.; Long, D. Remote Sensing Leaf Chlorophyll Content Using a Visible Band Index. *Agron. J.* 2011, 103, 1090–1099.
48. Jinru, X.; Su, B. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *J. Sens.* 2017, 2017, 1353691.
49. Kayad, A.; Sozzi, M.; Gatto, S.; Marinello, F.; Pirotti, F. Monitoring Within-Field Variability of Corn Yield using Sentinel-2 and Machine Learning Techniques. *Remote Sens.* 2019, 11, 2873.
50. Kling JG., Edmeades G. 1997. Morphology and growth of maize. International Institute of Agriculnure, Ibadan, Nigeria. 2nd edibon 36 p.
51. Li, F.; Miao, Y.; Feng, G.; Yuan, F.; Yue, S.; Gao, X.; Liu, Y.; Liu, B.; Ustin, S.L.; Chen, X. Improving Estimation of Summer Maize Nitrogen Status with Red Edge-Based Spectral Vegetation Indices. *Field Crops Res.* 2014, 157, 111–123.
52. Marchezan C., Paulo A., Ferreira A., Leandro S., et. al. Nitrogen Availability and Physiological Response of Corn After 12 Years with Organic and Mineral Fertilization. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* 2020. Vol. 20 (3). P. 979–989.
53. Maresma, Á.; Ariza, M.; Martínez, E.; Lloveras, J.; Martínez-Casasnovas, J. Analysis of Vegetation Indices to Determine Nitrogen Application and Yield Prediction in Maize (*Zea mays* L.) from a Standard UAV Service. *Remote Sens.* 2016, 8, 973.
54. Marques Ramos, A.P.; Prado Osco, L.; Elis Garcia Furuya, D.; Nunes Gonçalves, W.; Cordeiro Santana, D.; Pereira Ribeiro Teodoro, L.; Antonio da Silva Junior, C.; Fernando Capristo-Silva, G.; Li, J.; Henrique Rojo Baio, F.; et al. A random forest ranking approach to predict yield in maize with uav-based vegetation spectral indices. *Comput. Electron. Agric.* 2020, 178, 105791.
55. Masclaux-Daubresse C., Daniel-Vedele F., Dechorgnat J., Chardon F., Gaufichon L., Suzuki A. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in

- plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Ann Bot.* 2010 Jun/ Vol. 105 (7). P. 1141–1157.
56. Omonode R. A., Halvorson A. D., Gagnon B., Vyn T. J. Achieving Lower Nitrogen Balance and Higher Nitrogen Recovery Efficiency Reduces Nitrous Oxide Emissions in North America's Maize Cropping Systems. *Front Plant Sci.* 2017. Vol. 8. P. 1080.
57. Onken A. B., Matheson R. L., Nesmith D. M. Fertilizer nitrogen and residual nitrate-nitrogen effects on irrigated corn yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1985. Vol. 49. P. 134–139.
58. Peng, Y.; Gitelson, A.A. Remote Estimation of Gross Primary Productivity in Soybean and Maize Based on Total Crop Chlorophyll Content. *Remote Sens. Environ.* 2012, 117, 440–448.
59. Peralta, N.R.; Assefa, Y.; Du, J.; Barden, C.J.; Ciampitti, I.A. Mid-season high-resolution satellite imagery for forecasting site specific corn yield. *Remote Sens.* 2016, 8, 848.
60. Randall G., Schmitt M. Strategies for split N applications in 2004. *Proceedings Wisconsin Fertilizer, Aglime and Pest Management Conference.* 2004. Vol. 43. P. 60–67.
61. Records Broken in 2019 NCGA Corn Yield Contest. 2019.
62. Saravia, D.; Salazar, W.; Valqui-Valqui, L.; Quille-Mamani, J.; Porrás-Jorge, R.; Corredor, F.-A.; Barboza, E.; Vásquez, H.V.; Arbizu, C.I. Yield Predictions of Four Hybrids of Maize (*Zea mays*) Using Multispectral Images Obtained from RPAS in the Coast of Peru. *Biology* 2022, 2022050231.
63. Schwalbert, R.A.; Amado, T.J.C.; Nieto, L.; Varela, S.; Corassa, G.M.; Horbe, T.A.N.; Rice, C.W.; Peralta, N.R.; Ciampitti, I.A. Forecasting maize yield at field scale based on high-resolution satellite imagery. *Biosyst. Eng.* 2018, 171, 179–192.
64. Stasiv O., Olifir Y. Formation of Corn Productivity in Crop Rotation Depending on Long-Term Fertilization and Liming. *Folia Pomer. Univ.*

- Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zootech. 2021. Vol. 358 (57) 1. P. 29–40.
65. Tremblay N., M. H. Bouroubi, P. Vigneault, C. Bélec, D. Haboudane, J. Miller, and J. Lewis, “Effects of nitrogen fertilization, soil conductivity and topography on wheat and corn growth,” in Proc. 8th Int. Conf. Precision Agriculture and Other Precision Resources Manage., Minneapolis, MN, Jul. 23–26, 2006.
66. Varvel, G.E.; Schepers, J.S.; Francis, D.D. Ability for In-Season Correction of Nitrogen Deficiency in Corn Using Chlorophyll Meters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1997, 61, 1233–1239.
67. Vian, A.L.; Bredemeier, C.; Silva, P.R.F.D.; Santi, A.L.; Silva, C.P.G.D.; Santos, F.L.D. Limites críticos de NDVI para estimativa do potencial produtivo do milho. *RBMS* 2018, 17, 91.
68. Wahab, I.; Hall, O.; Jirström, M. Remote Sensing of Yields: Application of UAV Imagery-Derived NDVI for Estimating Maize Vigor and Yields in Complex Farming Systems in Sub-Saharan Africa. *Drones* 2018, 2, 28.
69. Yue, J.; Feng, H.; Li, Z.; Zhou, C.; Xu, K. Mapping Winter-Wheat Biomass and Grain Yield Based on a Crop Model and UAV Remote Sensing. *Int. J. Remote Sens.* 2021, 42, 1577–1601.
70. Zhang, X.; He, Y.; Wang, C.; Xu, F.; Li, X.; Tan, C.; Chen, D.; Wang, G.; Shi, L. Estimation of Corn Canopy Chlorophyll Content Using Derivative Spectra in the O₂—A Absorption Band. *Front. Plant Sci.* 2019, 10, 1047.

Додатки

ДОДАТОК А

Технологічна карта вирощування кукурудзи на зерно

Місяць	Вид робіт	Механізований комплекс	Технологічні умови	Вид ресурсу	Найменування	Од. вим.	Норма внесення на 1 га
вирівнення ґрунту	комбінований обробіток	Horsch Djoker 8RT					
перед основним обробітком	Розкидання мінеральних добрив	Amazone ZG-B 8200 16207	кг 100-250	Добрива	відповідно до схеми		
	Розкидання мінеральних добрив	Amazone ZG-B 8200 16207	кг 100-250	Добрива	відповідно до схеми		
	Оранка	KUHN MASTER 183	25-27 см				
перед передпосівним обробітком	Розкидання мінеральних добрив	Amazone ZG-B 8200 16207	кг 100-250	Добрива	відповідно до схеми		
передь сівбою	Дискування	FARMET КОМПАКТОМАТ	5-6 см				
друга декада травня	Сівба	John Deere 8335R_Vaderstad Tempo_кукурудза	кукурудза				
				Насіння	P8846	п/о	1
після сівби	Обприскування	John Deere 4030R	200 л	ЗЗР	Ацетохлор	л,кг	1,5
ВВСН 14-15	Обприскування	John Deere 4030R	200 л	ЗЗР	Майстер Пауер	л,кг	1,3
					Нокаут Екстра	л,кг	0,08
					Солю Цинк	л,кг	0,5
				Добрива	КАС-32	т	0,2
ВВСН 17-18	Обприскування	John Deere 4030R	200 л	Добрива	Басфоліар 12-4-6	л,кг	1
					Солю Цинк	л,кг	1,5
					Солю Бор	л,кг	0,7
					Сульфат магнію	л,кг	5
				ЗЗР	Наповал	л,кг	0,2
за повної стиглості	Обмолот	New Holland					

ДОДАТОК В

Статистичний аналіз даних урожайності кукурудзи на зерно, 2024 р.

Варіанти	1	2	3	4	К-ть спост.	Суми	Середні
1	11,19	11,04	11,02	10,67	4	43,92	10,98
2	12,47	11,93	11,34	12,23	4	47,97	11,9925
3	12,67	13,37	12,96	13,97	4	52,97	13,2425
4	12,96	13,03	13,63	14,29	4	53,91	13,4775
5	13,26	13,39	12,81	13,42	4	52,88	13,22
6	13,64	13,48	14,11	14,25	4	55,48	13,87
Загальна сума					24	307,13	12,8
Дисперсія	Сума квадратів	Ступені свободи	Середній квадрат	Fф	F05		
Загальна	27,37	23	--	--	--		
Варіантів	23,76	5	4,75	23,7	2,93		
Залишок (помилки)	3,61	18	0,2	--	--		
Критерій суттєвості					23,7		
Критерій F на 5%-му рівні значимості					2,93		
Помилка досліджу					0,22		
Помилка різниці середніх					0,32		
Відносна помилка різниці середніх (%)					2,47		
Коефіцієнт варіації					3,5		
НІР абсолютне					0,67		
НІР відносне (%)					5,2		