

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

11.05 – МКР.1813 «С» 2024.11.10 08 ПЗ

Кулика Олександра Валерійовича

2024 р.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

АГРОБІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УДК:631.4:633.11"324"

ПОГОДЖЕНО

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Декан агробіологічного факультету

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

_____ **В. Коваленко**
(підпис) (ПІБ)

_____ **А.В. Бикін**
(підпис) (ПІБ)

« _____ » _____ 2024 р.

« _____ » _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

**На тему: «Управління продуктивністю пшениці озимої в
неоднорідних зонах поля»**

Спеціальність 201 агрономія

Освітня програма: Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництві

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

Д. с-г. н., професор, академік НААН

А.В. Бикін

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Д. с-г. н., професор, академік НААН

А.В. Бикін

Виконав

О.В. Кулик

Київ – 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ
Факультет агробіологічний

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
агрохімії та якості продукції рослинництва
_____ Бикін А.В.
("___" _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

_____ (прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність: 201 - агрономія

Освітня програма: Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництві

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: Управління продуктивністю пшениці озимої в неоднорідних зонах поля

затверджена наказом ректора НУБіП України від "___" _____ 20__ р.

№ _____

Термін подання завершеної роботи на кафедрі _____ (рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. _____

2. _____

3. _____

Перелік графічного матеріалу (за потреби)

Дата видачі завдання "___" _____ 20__ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ Бикін А.В.

Завдання прийняв до виконання _____ Кулик О.В.

РЕФЕРАТ

Тема дипломної роботи: Управління продуктивністю пшениці озимої в неоднорідних зонах поля.

Об'єкт досліджень – вплив азотного підживлення рослин пшениці озимої у різних зонах поля на характер росту та розвиток рослин, та рівень їх продуктивності.

Предмет досліджень – карти NDVI, біометричні показники, урожайність, якість зерна, економічна ефективність вирощування пшениці озимої.

Магістерська робота складається із вступу, 4 розділів, висновків і списку літератури.

У розділі 1 описано вимоги пшениці озимої до мінерального живлення, розкриті питання використання технологій точного землеробства у оптимізації азотного живлення пшениці озимої, вивчені переваги технологій точного землеробства.

У розділі 2 розкриті ґрунтові, погодно-кліматичні і технологічні умови проведення досліджень.

У розділі 3 представлені результати досліджень: карти NDVI, біометричні показники, урожайність і якість зерна за вирощування в різних за продуктивністю зонах поля.

У розділі 4 представлена економічна ефективність вирощування пшениці озимої у різних зонах поля за станом рослин.

У результаті проведених досліджень на полі ТОВ «Біотех ЛТД» було встановлено:

1. Азотне підживлення рослин пшениці озимої у різних зонах поля оптимізувало ріст і розвиток рослин, зокрема, збільшувалася висота рослин, кількість листків, пагонів на одній рослині та площа листкової поверхні.

2. Азотне підживлення у нормі 30 кг/га рослин пшениці озимої у оптимальній зоні поля сприяло формуванню максимальної врожайності (3,84

т/га) із вмістом в зерні білка 14,8% і клейковини 32,9%. Однак за такого рівня врожайності економічна доцільність вирощування цієї культури балансує на рівні точки беззбитковості (рівень рентабельності досягав лише 0,23%).

Зміст

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. УПРАВЛІННЯ ПРОДУКТИВНІСТЮ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ В НЕОДНОРІДНИХ ЗОНАХ ПОЛЯ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ).....	8
1.1 Особливості мінерального живлення пшениці озимої.....	8
1.2 Методи управління азотним живленням	12
1.3 Вплив просторової неоднорідності на доступність азоту та його споживання	14
1.4. Стратегії управління внесення азотом зі змінною нормою.....	15
РОЗДІЛ 2. УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
2.1. Ґрунтові умови території проведення досліджень	20
2.2. Погодні умови території проведення досліджень	21
2.3 Технологічні умови проведення досліджень	23
2.4 Методика проведення досліджень.....	24
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	25
3.1 Динаміка росту розвитку рослин пшениці озимої в різних зонах поля ...	25
3.2. Вплив різних зон поля та удобрення на біометричні показники рослин пшениці озимої.....	28
3.3 Вплив азотного підживлення на урожайність і якість зерна пшениці озимої у різних зонах поля	33
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗА ПІДЖИВЛЕННЯ АЗОТОМ В УМОВАХ НЕОДНОРІДНОСТІ ПОЛЯ.....	40
ВИСНОВКИ.....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	43
ДОДАТКИ.....	428

ВСТУП

Актуальність магістерської кваліфікаційної роботи. Пшениця озима є культурою, яка вирішує продовольчу безпеку світу. Україна має вагомe місце у вирішенні цього питання. Проте, кліматичні зміни загалом викликали інтенсивну нерівномірність опадів та тривалі посухи із великою кількістю днів із температурою понад 30 градусів. Це екстремальні умови росту і розвитку для цієї культури. Тож, технології вирощування цієї культури, і зокрема, технології удобрення потребують удосконалення.

Метою роботи було встановити ефективність азотного підживлення у різних зонах поля за вирощування пшениці озимої.

Завдання роботи полягати у вирішенні наступних питань:

1. Вивчити розвиток рослин за картами NDVI.
2. Визначити біометричні показники рослин у різних зонах поля.
3. Визначити урожайність і якість зерна пшениці озимої.
4. Розрахувати економічну ефективність вирощування пшениці озимої у різних зонах поля.

Об'єкт досліджень – фізіолого-біохімічні процеси в рослинах пшениці озимої у різних зонах поля за підживлення азотом.

Предмет досліджень – карти NDVI, біометричні показники, урожайність, якість зерна, економічні показники ефективності вирощування пшениці озимої.

Методи досліджень – польовий, біометричні, розрахункові.

Наукова новизна результатів. Отримані результати дозволяють стверджувати, що азотні підживлення пшениці озимої оптимізують ріст і розвиток рослин у кожній із зон поля та забезпечують приріст врожаю цієї культури.

РОЗДІЛ 1. УПРАВЛІННЯ ПРОДУКТИВНІСТЮ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ В НЕОДНОРІДНИХ ЗОНАХ ПОЛЯ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

1.1 Особливості мінерального живлення пшениці озимої

Пшениця озима є однією із пріоритетних зернових культур агропромислового сектору України. Наша держава експортує зерно у різні частини світу і має вагомий вплив на світову продовольчу безпеку. Тому технології вирощування цієї культури постійно удосконалюються, а її живлення потребує постійного поліпшення.

Азот має вагоме значення у живленні пшениці озимої. Він має вирішальне значення для росту рослин, оскільки відповідає за акумуляцію білка і є центральним компонентом хлорофілу, необхідного для фотосинтезу. Він також є ключем до досягнення високих врожаїв, що робить його одним з найбільш рентабельних елементів живлення в системах землеробства [6].

З усіх поживних речовин азот необхідний у найбільшій кількості. Якщо культурі не вистачає азоту, рослини виглядають відсталими у рості, а старіші листки першими стають блідими або жовтими, оскільки азот є дуже мобільним у тілі рослин. Рослини також можуть мати менші листки і у меншій кількості, досягаючи зрілості раніше, ніж рослини з достатнім забезпеченням азотом [24].

Доступність азоту знижується на легких або піщаних ґрунтах, особливо з низьким вмістом органічної речовини, оскільки він легко вимивається. Велика кількість опадів також призводить до посилення вимивання, що може мати більш виражений ефект восени, особливо на ґрунтах з низькими запасами азоту, коли коренева система ще мала. Обмежений ріст коренів внаслідок поганих ґрунтових умов, посухи або пошкодження шкідниками та хворобами зменшує здатність рослин засвоювати азот [1].

Азот відіграє важливу, але різноманітну роль у стійкості до хвороб. Одна з найбільш поширених думок про зв'язок азоту з хворобами полягає в

тому, що високі норми азоту призводять до збільшення кількості хвороб, але оптимальне азотне живлення зазвичай пригнічує хвороби. Це відбувається або у результаті механізмів стійкості, через утворення різних білків і ферментів, необхідних як для росту рослин, так і для стійкості до хвороб, чи через підвищення толерантності, оскільки рослини, що інтенсивно ростуть, переростають найбільш руйнівний вплив деяких хвороб [52].

Азот є ключовим компонентом амінокислот, тому його надлишок призводить до збільшення кількості амінокислот у рослинних тканинах. Такий мінеральний дисбаланс знижує стійкість до грибкових захворювань, створюючи більш сприятливе середовище для патогенів. Коли вміст азоту збільшується понад достатній рівень, кількість природних протигрибкових сполук у рослині зменшується, збільшуючи ризик зараження, але це також стимулює надмірний слабкий вегетативний ріст, сприятливий для хвороб і пошкодження комахами [30].

Фосфор відіграє важливу роль у передачі енергії в рослині, а тому є життєво необхідним у періоди швидкого росту. На ранніх стадіях росту він сприяє розвитку коренів, що також важливо для ефективного засвоєння інших поживних речовин. Більшість ґрунтів мають достатню кількість фосфору, щоб задовольнити ранні потреби в ньому [51]. Пізніше фосфор необхідний рослинам пшениці озимої для раннього цвітіння і відіграє важливу роль у процесі накопичення та передачі енергії. Для зернових культур важливо отримувати достатню кількість фосфору, щоб підвищити вміст білка в зерні. Рослини, яким не вистачає фосфору, виглядають відсталими у рості, у них погано росте коріння. Оскільки фосфор є малорухомим у ґрунті, ознаки нестачі фосфору першими проявляються на старіших частинах рослин: листки і стебла набувають темно-червонуватого або фіолетового кольору по краях. За винятком низькорослих рослин. Дефіцит фосфору може бути важко візуально діагностувати в польових умовах, тому може знадобитися проведення аналізу ґрунту та рослинних

тканин. Кислі, лужні та важкі глинисті ґрунти мають фіксуючі властивості, які роблять фосфат недоступним [1].

Калій необхідний для пшениці озимої для оптимального процесу загартування рослин і формування холодо- і зимостійкості. Крім того, калій оптимізує міцність стебла, стійкість рослин до хвороб, посухо- і жаростійкість. За дефіциту калію на рослинах проявляється крайові опіки нижніх листків [15].

Магній - впливає на всі процеси в клітинах рослин, де відбувається передача хімічної енергії і її накопичення (фотосинтез, дихання, гліколіз і т.д.). Він входить до складу хлорофілу і активізує фотосинтетичну діяльність, процес дихання, забезпечує включення азоту в синтез білків, забезпечує транспортування фосфору по рослині [6].

Як складова частина багатьох захисних речовин для рослин (так званих фітоалексинів) сірка має позитивний вплив і на стійкість рослин до хвороб, наприклад до сірої гнилі та альтернаріозу та інших. Особливо важливу роль відіграє сірка в ензиматичних процесах рослин, роблячи можливим створення активних центрів. Бере участь у процесах синтезу білка і підвищує ефективність використання амідного азоту. Нестача сірки затримує нормальний ріст і розвиток рослин. У цьому випадку, як і при нестачі азоту, руйнується хлорофіл, збільшується загроза грибкових захворювань [54].

Із мікроелементів для позакореневого підживлення краще використати борну кислоту, сульфат міді, цинку, молібдену та марганцю. Також їх вносять у ґрунт разом з мінеральними добривами та передпосівним обробленням насіння солями мікроелементів. Інколи нестача кількох грамів одного з мікроелементів обмежує засвоєння інших елементів живлення і призупиняє зростання врожаю навіть на високих фонах живлення мікроелементами [51,52].

Марганець – активізує в рослинах дію різних ферментів, що мають важливе значення в окисно-відновлювальних процесах. Він бере участь в окисненні аміаку і у відновленні нітратів, сприяючи засвоєнню рослинами як

нітратного, так і амонійного азоту [6]. Цей елемент сприяє підвищенню цукрів у рослинах пшениці озимої, цим самим забезпечує вищу морозо- і зимостійкість, підвищує врожай [51,52].

Цинк бере участь у багатьох фізіологічних процесах, сприяє росту між вузлів, підвищує жаро-, посухо та морозостійкість рослин, вміст білка в зерні, стійкість рослин до ураження хворобами [51,52]. Цей елемент необхідний для утворення ростових субстанцій - ауксинів, впливає на синтез вітамінів В, С, РР а також хлорофілу [53].

Цинк позитивно впливає на доступність фосфору. Дефіцит цинку блокує надходження фосфору в рослинах і навпаки [53]. Особливу увагу на забезпеченість пшениці озимої цинком потрібно звертати під час внесення високих норм азотних і фосфорних добрив, вапнування, низьких температур. У рослин існує тісний взаємозв'язок між усіма життєво важливими процесами. Тому позакореневі підживлення підвищують ефективність добрив, які знаходяться в ґрунті [51,52].

Мідь значно впливає на формування генетичних органів, бор сприяє синтезу хлорофілу, впливає на формування генеративних органів, розвиток кореневої системи, особливо молодих коренів [53].

На різних етапах органогенезу пшениця озима потребує різну кількість різних елементів живлення. Так, на початкових етапах росту і розвитку рослин пшениця потребує фосфору і калію для оптимального процесу загартування і формування зимостійкості. Надмірна кількість азоту у цей період зумовлює переростання рослин, у наслідок чого вони випривають взимку. За відновлення вегетації навесні рослини потребують азоту, оскільки активізуються ротсові процеси. І протягом вегетації ця культура потребує ще кілька азотних підживлень для формування оптимального врожаю і якості зерна. Порушення співвідношення між макроелементами у системі живлення пшениці обумовлює враження рослин хворобами, зменшення врожайності, погіршення якості зерна [2].

Урожайність пшениці озимої залежить від зони зволоження, ґрунтово-кліматичних умов і ланок сівозміни, системи удобрення [55,56]. За вирощування цієї культури в сівозміні цей показник збільшується за різними даними на 0,34 - 1,53 т/га порівняно із беззмінними посівами [16,55]. В умовах достатнього зволоження найвищі врожаї зерна одержують, коли пшениця озима висівається по типовим попередникам – конюшина, люцерна, еспарцет, вико-вівсяна сумішка, горох [12]. З іншого боку, за даними Н.М. Макрушина, по кращих попередниках унаслідок значного наростання вегетативної маси в окремі роки спостерігається вилягання, ураження рослин іржею і борошнистою росою, що значно погіршує якість зерна [11].

Високий урожай зерна з підвищеним вмістом білка практично неможливо одержати на ґрунтах із низькою родючістю, якщо не вносити добрива, зокрема азотні. Саме азотне удобрення, особливо у пізні фази розвитку рослин, сприяє значному підвищенню вмісту білка та клейковини у зерні озимих культур [22].

Утім, за спостереженнями науковців, додаткове позакореневе підживлення сечовиною не завжди дає позитивний ефект щодо покращення якості зерна пшениці озимої, отже, й не виправдовує себе, особливо у посушливі роки [56].

1.2 Методи управління азотним живленням

Азот (N) є найбільш лімітуючим елементом живлення для вирощування пшениці озимої, що суттєво впливає на урожайність та [34]. Однак просторова мінливість властивостей ґрунту, топографії та мікроклімату на полях створює проблеми для ефективного управління азотом.

Специфічне управління азотом у точному агровиробництві використовується для підвищення ефективності використання цього елемента (NUE) у масштабі поля. Важливим є питання дослідження

взаємозв'язку між даними, отриманими з платформи безпілотного літального апарату (БПЛА), супутників і часовою та просторовою мінливістю врожаю на невеликих площі полях для більш чіткого і кращого розуміння і розширення знань про те як такі дані можуть підтримувати диференційне внесення азотних добрив під пшеницю озиму (*Triticum aestivum*). Мультиспектральні зображення, отримані за допомогою комерційно доступної платформи, БПЛА, і вміст доступного мінерального азоту в ґрунті (N_{\min}) використовуються для оцінки польової мінливості азотного статусу культури. Польові експерименти на ділянках дозволяють порівнювати рівномірні стандартні норми із змінними нормами застосування азоту [30].

Так, були проведені дослідження зі стандартними нормами азоту і змінними на малозабезпечених і забезпечених азотом ділянках. За рослинами спостерігали протягом кількох сезонів, щоб підтримувати три різні азотні підживлення. Дані двох вегетаційних сезонів (2017/2018 та 2018/2019) були використані для перевірки чутливості спектральних індексів рослинного покриву (SVI), що використовується, щодо розвитку біомаси і вмісту азоту. Урожайність зерна була в очікуваному діапазоні та вищою у диференційному внесенні порівняно з стандартним. Внесення азотних добрив було зменшено при внесенні диференційно від 5 до 40% залежно від неоднорідності поля. Використані методи забезпечили теоретичну основу для впровадження змінної норми внесення добрив у малих та середніх сільськогосподарських системах. У більшості тематичних досліджень було покращено приблизно на 10% використання азотних добрив шляхом перерозподілу та зменшення кількості добрив. Проте прогноз щодо мінералізації азоту в ґрунті та пов'язаного з цим поглинання азоту рослинами ще належить краще зрозуміти для подальшої оптимізації внесення азотних добрив у сезон [28].

Пшениця озима має складну схему поглинання та використання азоту протягом усього циклу росту. Гарнетт та ін. [18] розглянули фізіологічні механізми поглинання азоту в зернових культурах, підкресливши важливість як високоафінних, так і низькоафінних транспортних систем. Автори

відзначили, що ефективність поглинання азоту може значно відрізнятись серед сортів пшениці, що свідчить про потенціал для генетичного вдосконалення.

Barraclough та ін. [25] вивчали розподіл азоту у рослинах цієї культури і виявили, що до 80% азоту в зерні під час збору врожаю походить від реутилізації азоту, що зберігається у вегетативних тканинах. Це підкреслює важливість управління азотним живленням протягом усього циклу росту, а не лише під час наливу зерна.

Підвищення ефективності використання азоту має вирішальне значення для сталого виробництва пшениці. Раун і Джонсон [38] підраховали, що NUE для виробництва зернових у світі становить приблизно 33%, що вказує на значні можливості для покращення. Hawkesford [34] проаналізував різні підходи до покращення використання азоту в пшениці, включаючи генетичні, агрономічні та стратегії точного землеробства.

1.3 Вплив просторової неоднорідності на доступність азоту та його споживання

Властивості ґрунту можуть суттєво відрізнятись на різних ділянках поля, що впливає на доступність азоту та реакцію рослин на внесення азотних добрив. Дхітал і Раун [31] розглянули фактори, що впливають на ефективність використання азоту зерновими культурами, і підкреслили важливість органічної речовини, текстури і рН ґрунту у визначенні доступності азоту.

Shanahan та ін. [42] використовували картографування уявної електропровідності (ЕС) для характеристики мінливості ґрунту та управління внесенням азоту зі змінною нормою під пшеницю озиму. Вони виявили, що зони управління на основі ЕС можуть підвищити ефективність використання азоту порівняно з рівномірним внесенням.

Топографія поля впливає на рух води і властивості ґрунту, тим самим впливаючи на динаміку азоту. Кравченко та ін. [36] вивчали взаємозв'язок між топографією, властивостями ґрунту та врожайністю сільськогосподарських культур. Їхніми дослідженнями було встановлено, що топографічні фактори, такі як нахил і кривизна, є важливими передвісниками мінливості врожайності сільськогосподарських культур, що має значення для управління азотом. Також важливий вплив на азотне живлення мають фактори погоди, зокрема опади і температура, що суттєво впливають на динаміку азоту і реакцію пшениці на внесення азотних добрив.

Ассенг та ін. [24] використовували моделювання посівів для оцінки впливу мінливості температури на продуктивність пшениці та використання азоту. За результатами досліджень науковців було встановлено, що високотемпературні періоди впливають на продуктивність пшениці та її реакцію на внесення азоту. Вони виявили, що високотемпературні періоди під час наливу зерна сприяють зниженню врожайності і вмісту білка в зерні, що підкреслює необхідність впровадження і застосування адаптивних стратегій управління азотом.

1.4. Стратегії управління внесенням азоту зі змінною нормою

Технологія змінних норм (VRT) дозволяє регулювати норми внесення азоту на основі просторової мінливості властивостей ґрунту та потреб культури. Раун та ін. [39] розробили методи для внутрішньої сезонної оцінки потенціалу врожайності та визначення чутливості пшениці озимої до азотного живлення з використанням датчиків нормалізованого різницевого вегетаційного індексу (NDVI). Цей метод був широко прийнятий і вдосконалений для використання в управлінні точного азотного живлення.

Diasono та ін. [32] у своїх дослідженнях по вивченню внесення азоту зі змінною нормою на пшениці виявили, що такий підхід може підвищити

ефективність використання азоту на 10-15% порівняно до внесення азоту рівномірним способом, залежно від ступеня варіабельності поля і точності системи управління.

Технології дистанційного зондування посівів стали потужним інструментом для оцінки азотного живлення посівів у реальному часі та управлінні його внесенням під культуру. Самборські та ін. [41] дослідили використання проксимального оптичного зондування для управління азотним живленням на пшениці та інших зернових культурах. У результаті досліджень було встановлено, що спеціальні сенсорні системи підвищують ефективність використання азоту та зменшують вплив на навколишнє середовище відносно традиційних методів управління.

Дослідники Сао та ін. [28] розробили новий підхід та спосіб, що поєднує гіперспектральне зондування за алгоритмами машинного навчання для оцінки вмісту азоту у рослинах пшениці озимої. Їхній метод визначення показав підвищену точність порівняно до традиційних вегетаційних індексів, що підсилює потенціал передових технологій зондування для ще більш деталізованого управління азотним живленням.

Супутникове та повітряне дистанційне зондування є цінним інструментом для оцінки просторової нерівномірності росту сільськогосподарських культур та азотного живлення. Мулла [37] досліджував використання систем дистанційного зондування в прецензійному агровиробництві, включаючи застосування для управління азотним живленням пшениці озимої. Автор підкреслював високий потенціал застосування мультиспектральних та гіперспектральних зображень для моніторингу посівів, зокрема, азотного живлення і управління його внесенням за допомогою змінних норм добрив.

Zarco-Tejada та ін. [44] використовував гіперспектральні зображення високої роздільної здатності, отримані за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для оцінки флуоресценції хлорофілу та ефективності процесу фотосинтезу у листках пшениці озимої, демонструючи всім

потенціал передових технологій гіперспектральних камер для раннього виявлення азотного стресу у пшениці.

Важливим етапом також є інтеграція джерел даних та систем прийняття рішень. Ефективним способом у цьому є управління азотним живленням на строкатих полях. Такий підхід вимагає інтеграції декількох джерел даних та інструментів підтримки прийняття рішень. Kempenaar та ін. [35] розглядали системи прийняття рішень у точному агровиробництві і звернули увагу на важливість поєднання даних про ґрунт, урожай і погоду для оптимізації і якісного прийняття рішень щодо управління азотним живленням у технологічній карті вирощування сільськогосподарських культур.

Науковець Кастріньяно та ін. у 2018 році розробили мультисенсорний і мультимасштабний підхід для розподілу зон управління у твердій пшениці, інтегрувавши дані наземного та дистанційного зондування із картуванням ґрунту і врожайності. Їхній метод підвищив характеристику польової неоднорідності та точність розробки рекомендацій щодо управління азотним живленням [29].

Такі підходи до прецизійного управління азотним живленням можуть підвищити продуктивність та ефективність використання азоту на неоднорідних полях, їхня економічна ефективність залежить від величини неоднорідності поля та вартості впровадження. Viermacher та ін. [27] провели економічний аналіз застосування диференційованого внесення азоту на пшениці озимій і виявили, що такий підхід дозволяє збільшити чистий прибуток до 13% порівняно із рівномірним внесенням, в залежності від цін на зерно і добрива.

З екологічної точки зору, такий спосіб внесення азотних добрив може значно знизити втрати азоту та пов'язані з цим екологічні наслідки для навколишнього середовища. Бассо та ін. [6] використовували підхід системного моделювання для оцінки екологічних переваг диференційованого внесення азотних добрив у вирощуванні пшениці озимої. Вони встановили,

що внесення азоту за допомогою змінних норм зменшує вимивання азоту на 50% порівняно із рівномірним його внесенням, при цьому зберігаючи та підвищуючи врожайність культури.

Незважаючи на значний прогрес у способах прецизійного управління азотним живленням для пшениці озимої, деякі сфери потребують поглиблених досліджень, зокрема:

1. Удосконалення точності моделей прогнозування, розробка більш точних моделей для прогнозування споживання азоту і реакції сільськогосподарських культур за різних умов навколишнього середовища. Машинне навчання та застосування штучного інтелекту є перспективними в цій галузі.

2. Інтеграція факторів стресу. Більшість сучасних систем управління азотним живленням зосереджуються насамперед на забезпеченні рослин азотом, але взаємодія з іншими стресовими факторами (наприклад, водний стрес, тепловий стрес, фітотоксичність) може суттєво поліпшувати засвоєння рослинами азоту. Розробка інтегрованих підходів, які враховують різні обмежувальні фактори одночасно, є важливою сферою для майбутніх досліджень [40].

3. Покращення часової роздільної здатності. Більшість сучасних підходів до точного управління азотним живленням покладаються на обмежену кількість інформації протягом вегетаційного періоду. Розробка систем безперервного моніторингу та адаптивного управління зможе ще більше підвищити ефективність якіснішого управління живлення сільськогосподарських культур [43].

Управління азотним живленням пшениці озимої в неоднорідних польових умовах вимагає всебічного розуміння динаміки азоту, просторової мінливості та інструментів, доступних для точного управління. Досягнення в галузі сенсорних технологій, застосування змінних норм внесення добрив та систем підтримки прийняття рішень пропонують перспективні рішення для оптимізації ефективності використання азоту та продуктивності пшениці в

умовах просторової мінливості. Однак успішне впровадження цих підходів залежить від ретельного економічного аналізу, врахування впливу на навколишнє середовище та адаптації до місцевих умов. Майбутні дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення прогнозних моделей, інтеграцію різних джерел даних та розробку більш адаптивних і чутливих систем управління для вирішення складних проблем управління азотом на гетерогенних пшеничних полях.

РОЗДІЛ 2. УМОВИ І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Ґрунтові умови території проведення досліджень

ТОВ «Біотех ЛТД» розташоване в Бориспільському районі Київської області у межах терасової частини Придніпровської низини, яка має слабо хвилястий рельєф. На території господарства переважають темно-сірі лісові ґрунти. Цей ґрунт характеризується наступним профілем:

HE 0-23 см – гумусовий, сильно елювіований, бурувато-сірий, вологий, пілувато-середньосуглинковий, німіцногрудковий, слабо ущільнений, припудрений присипкою SiO₂, перехід різкий.

H(h) 24-43 см – ілювіальний, в верхній частині помітно гумусований, сіро-бурий, вологий, важкосуглинковий, щільний, дуже перекопаний черв'яками, грані структурних окремоостей припудрені присипкою SiO₂, перехід поступовий.

I2 44-89 см – ілювіальний, безгумусний, темно-бурий, важкосуглинковий, грудкувато-призматичний, дуже щільний, грані структурних окремоостей покриті червоно-бурою колоїдним лакуванням і припудрені SiO₂, перехід поступовий.

Pi 120-140 см – слабоілювіальний лес, жовтувато-бурий, вологий, важкосуглинковий, крупногрудкуватий с рідкими колоїдними нальотами по гранях структурних окремоостей, перехід різкий.

Pk 141-260 см – бурувато-палевий, легкосуглинковий, карбонатний лес, видимі карбонати представлені псевдоміцелієми [65].

Гумусовий горизонт цього ґрунту сірого кольору, потужністю 25-30 см, вміст гумусу досить високий (до 6-7%) (табл. 2.1). Ґрунтовий розчин таких ґрунтів має кислу (рН=3,5-4,5) або слабокислу (рН=5-6) реакцію середовища.

Ґрунти господарства придатні для вирощування зернових, кормових, технічних та плодово-овочевих культур. Мають гарну структуру для

розвитку потужної кореневої системи, високий вміст наступних елементів: калій, магній, але потребують внесення азотних добрив у ранньовесняний період.

Таблиця 2.1

Характеристика темно-сірого ґрунту дослідного поля, 2024р.

Тип ґрунту	Вміст в шарі 0-20 см				рН водної витяжки
	гумус, %	мг/кг			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Темно-сірий опідзолений грубопилувато легкосуглинковий	2,03	13,0	87,2	149	5,50

Агрохімічні показники темно-сірого опідзоленого ґрунту дозволяють отримувати за належного технологічного забезпечення сталі врожаї пшениці озимої (табл. 2.1).

2.2. Погодні умови території проведення досліджень

Територія проведення досліджень характеризується помірно континентальним кліматом, м'якою зимою і спекотним літом. Середня річна температура становить +7,2⁰С, середня багаторічна температура липня (найтепліший місяць) - +19.2⁰ С, середня річна температура січня (найхолодніший місяць) - -5,0⁰С. Влітку часто спостерігаються високі температури, які викликають тривалі засухи. Взимку низькі температури за відсутності чи мінімального снігового покриву обумовлюють вимерзання озимини. У середньому ґрунт промерзає на глибину 85 см, а максимально – на 150 см [66]. Простежується нерівномірність кількості опадів і у весняно-літній період.

На рис. 2.1 представлений температурний режим території досліджень за 2024 рік. Січень характеризувався помірними температурами із мінімальним зниження до -10°C . Лютий і березень характеризувалися плюсовими температурами до $+10^{\circ}\text{C}$. Наступні місяці характеризувалися температурними показниками у межах $+20^{\circ}\text{C}$... $+30^{\circ}\text{C}$. Максимальними показниками характеризувався липень і серпень, де температура перевищувала $+30^{\circ}\text{C}$ і навіть сягала $+40^{\circ}\text{C}$.

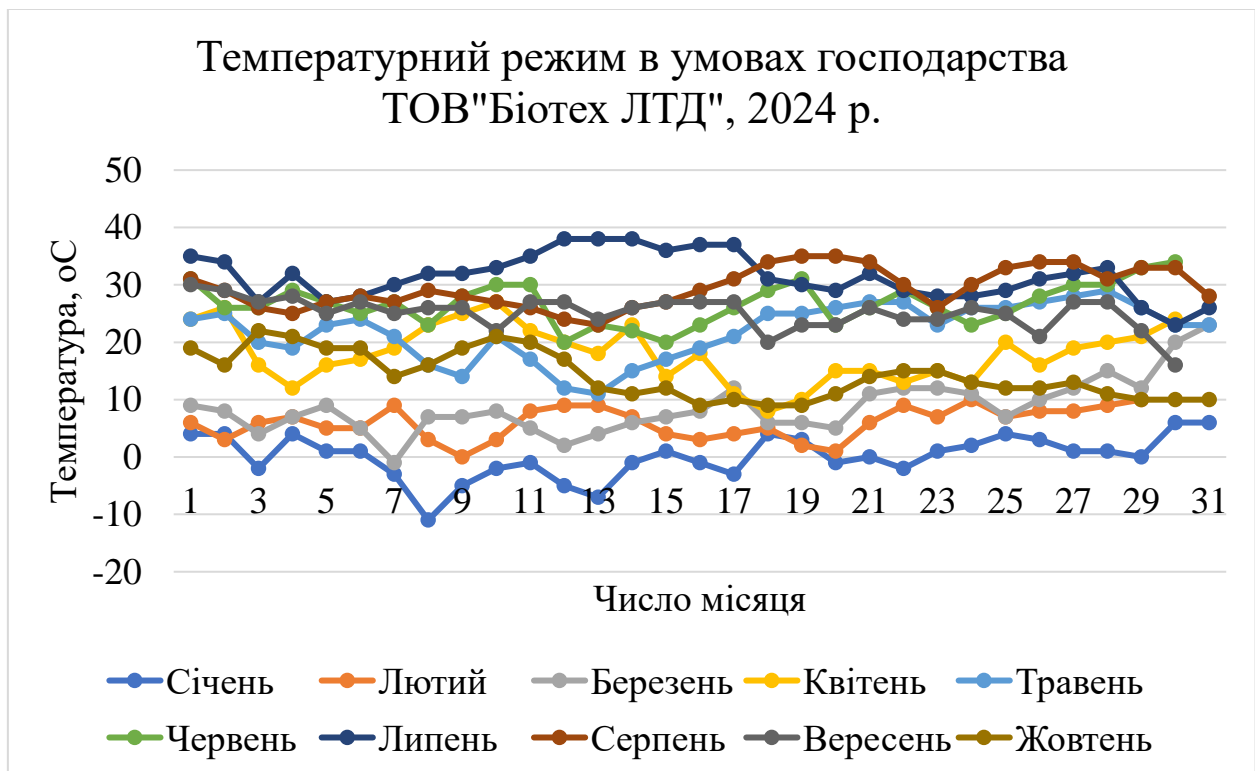


Рис. 2.1. Графік температури повітря на території господарства за січень-жовтень 2024 р.

На рис. 2.2 представлена кількість опадів на території досліджень у 2024 році. Кількість опадів була нерівномірною і в основному не перевищувала 10 мм по днях. Лише у квітні та червні було до 20 мм і до 40мм.

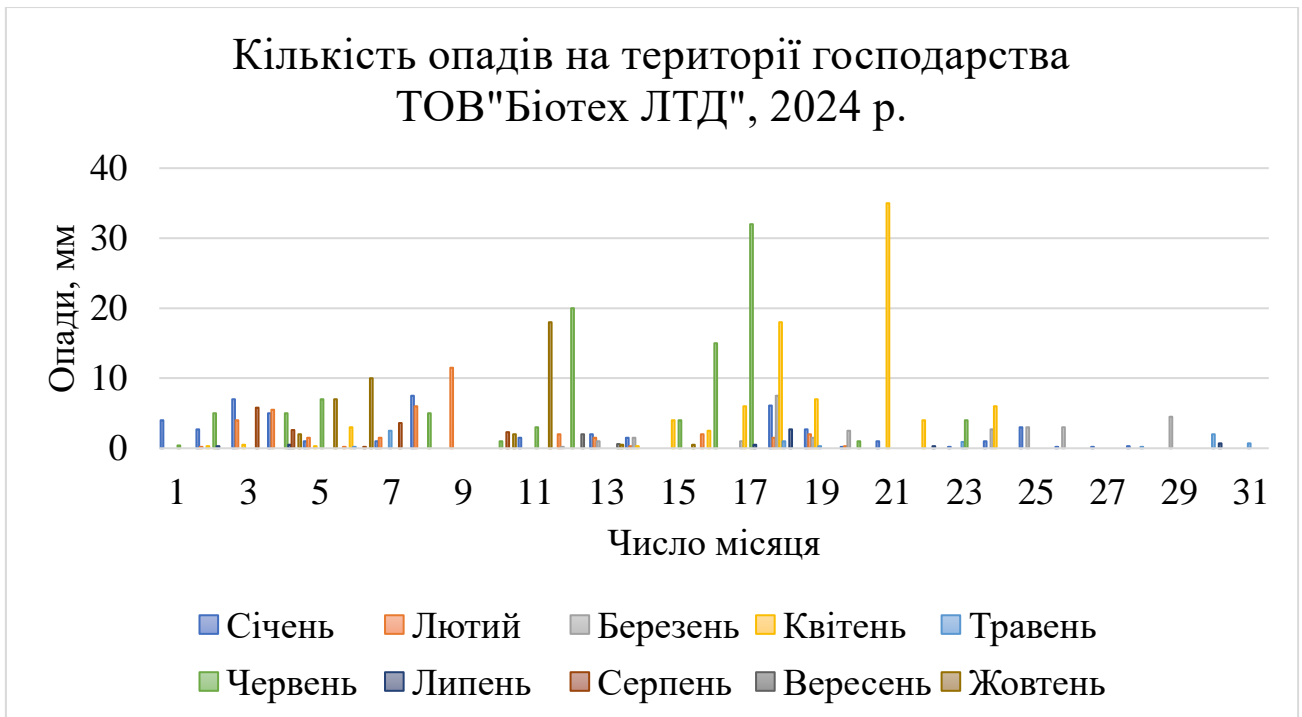


Рис. 2.2. Інтенсивність опадів на території господарства за січень-жовтень 2024 р.

Тож, температурний режим і кількість опадів протягом вегетації пшениці озимої зумовлювали стреси для рослин, що викликає необхідність пошуку шляхів оптимізації живлення рослин за таких умов.

2.3 Технологічні умови проведення досліджень

Технологія вирощування пшениці озимої включала наступні операції:

1. Основний обробіток ґрунту. Підвезення добрив виконали за допомогою Case і МЖТ-10. Внесли КАС-32 (64 кг/га азоту), калію хлористого (60 кг/га калію) і РКД 8:24 (8 кг/га азоту і 24 кг/га фосфору) за допомогою Техноми. Виконали дискування за допомогою Fendt 6936 і дискатора. Протруїли насіння пшениці озимої препаратом Селект Макс у нормі 1,7л/т і ГросКоренеростом у нормі 2 л/т. Сіяли насіння за допомогою Fendt 936 і Amazone.

2. Догляд за рослинами передбачав азотне підживлення за допомогою КАС-32+2,4S за допомогою Valtra і юнігрін. Система захисту рослин передбачає 1 развє внесення препаратів Фалькон 0,6 л/га, Пріма Форте 0,5 л/га і Карате Зеон 0,15 л/га, а також 2 внесення Оріус 0,7 л/га.

Збір врожаю виконали за допомогою JDS670.

2.4 Методика проведення досліджень

Дослідження із пшеницею озимою проводилися у виробничих посівах ТОВ «БіотехЛТД» в с. Городище Бориспільського району Київської області.

На полі із пшеницею було виділено 3 зони продуктивності: із неоптимальним станом розвитку рослин, середнім і оптимальним (рис. 2.3). Кожна ділянка була поділена на 2 частини. Одна із них виступала контролем, а на іншій ділянці були проведені підживлення азотом по 0,5 кг аміачної селітри. Розмір кожної ділянки становив 50 м². Протягом вегетації були проведені біометричні обліки стану рослин пшениці озимої в основні фази росту та розвитку.

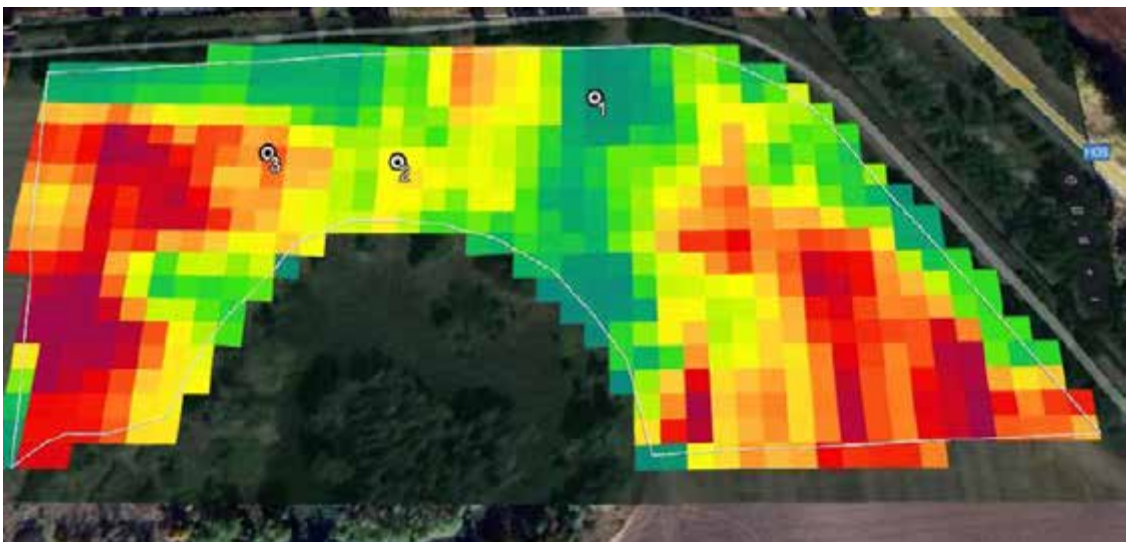


Рис. 2.3. Карта NDVI поля пшениці озимої із виділеними зонами неоднорідності продуктивності рослин.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Динаміка росту і розвитку рослин пшениці озимої в різних зонах поля

Індекс NDVI (нормалізований індекс різниці рослинності) показує різницю між поглинутим і відбитим рослинами червоного і ближнього інфрачервоного світла. Здорові рослини завжди більше відбивають інфрачервоного світла. У сільському господарстві цей індекс дає можливість вивчати розвиток рослинності на полі.

Цей параметр має свої плюси і мінуси також. Від'ємні значення цього показника характеризують ґрунт без рослин. Серед мінусів слід звернути увагу на те, що він не вирізняє види рослин, тому враховує і розвиток бур'янів. Це слід враховувати, якщо поля забур'янені.

На рис. 3.1 представлений стан розвитку рослин пшениці озимої на 1 травня. Індекс NDVI для оптимально розвинених рослин становив 0,80-0,85, середньо розвинених – близько 0,75 і слабо розвинених – 0,65-0,70.

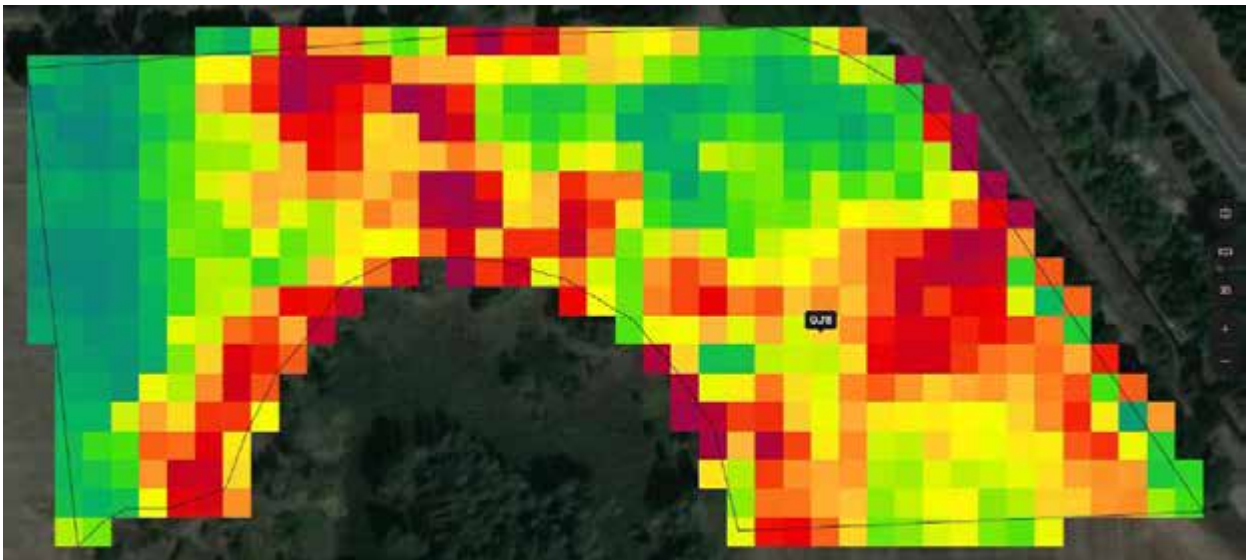


Рис. 3.1. Карта NDVI поля пшениці озимої станом на 1.05.2024 р.

До 25 червня стан рослин пшениці озимої змінився. Індекс NDVI складав 0,70-0,76 для оптимально розвинених рослин, 0,50-0,53 для середньорозвинених і 0,35-0,45 для слабо розвинених рослин (рис. 3.2).

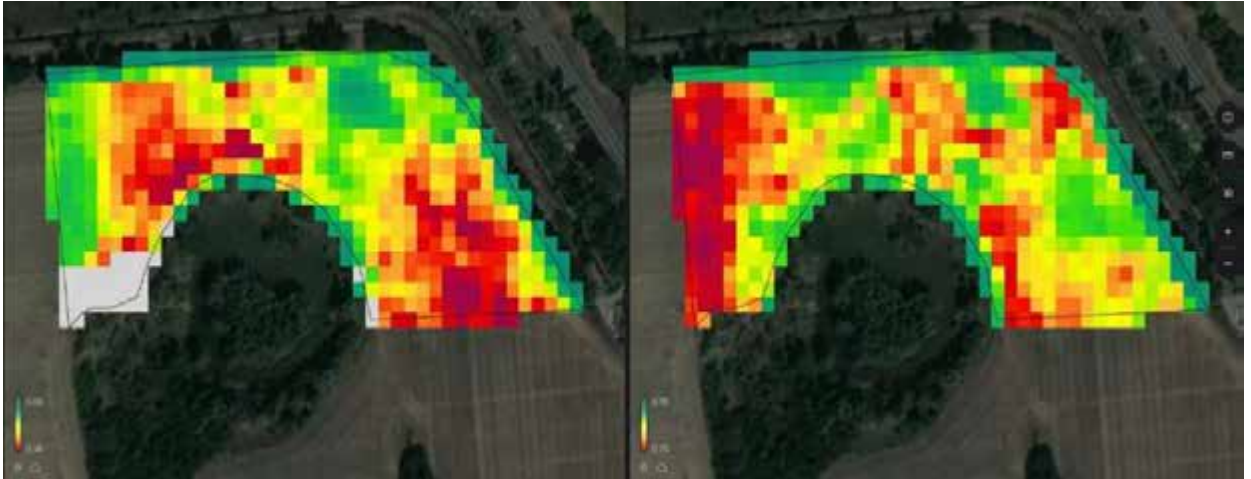


Рис. 3.2. Карта NDVI поля пшениці озимої станом на 25.06.24 і 15.07.24.

Станом на 15 липня індекс NDVI для рослин пшениці озимої становив 0,50-0,54 для оптимально розвинених, 0,35-0,40 для середньо розвинених і 0,25-0,29 для слабо розвинених рослин (рис.3.2).

При дослідженні карти ухилів поля (рис.3.3), де проводився аналіз стану розвитку рослин пшениці озимої, було встановлено, що всі 3 зони різної продуктивності поля і розвитку рослин розміщені на частині поля, яка характеризується ухилом до 3^0 і характеризується як слабо нахилена і плоска.

До того ж, ми проаналізувати поле під пшеницею озимою за картою висот (рис. 3.4). У результаті визначили, що виділені нами ділянки для досліджень із різним рівнем продуктивності поля і розвитку рослин припали на частини поля із різними висотами. Так, ділянка із оптимальним розвитком рослин розміщена на частині поля із висотою 114-115 м, із середньо розвиненими – на висоті 112-113 м, і слабо розвинені 113-114 м над рівнем моря.

Тож, слід зазначити, що протягом вегетації рослин пшениці озимої індекс NDVI змінювався. Він поступово зменшувався, хоча тенденція розвитку рослин за зонами зберігалася.



Рис. 3.3. Карта ухилів досліджуваного поля із пшеницею озимою.

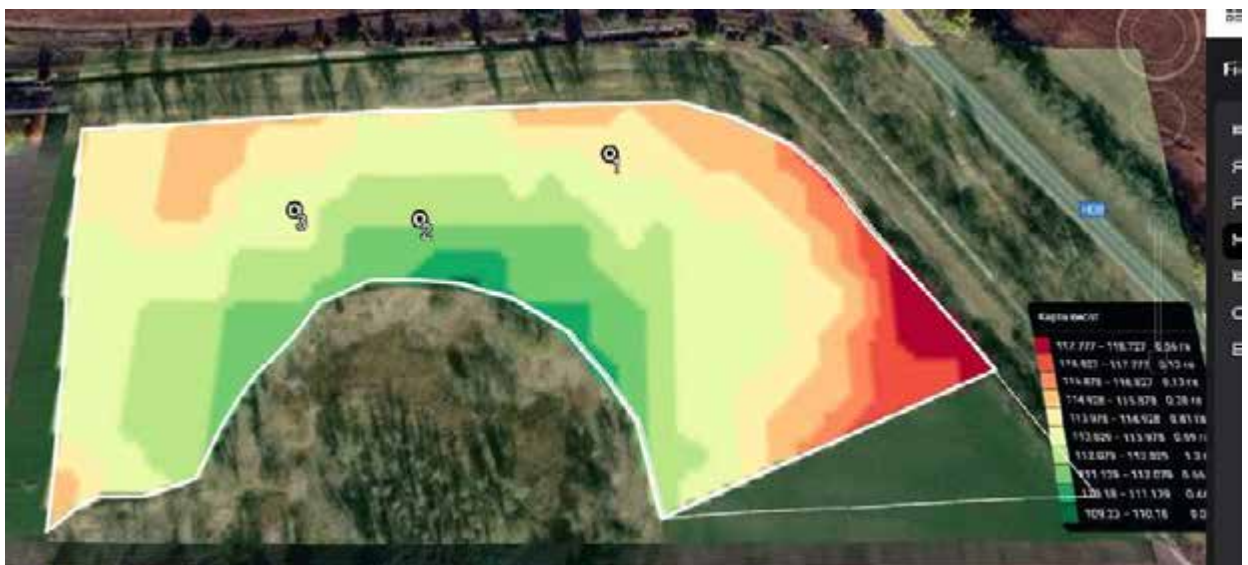


Рис. 3.4. Карта висот досліджуваного поля із пшеницею озимою.

3.2. Вплив різних зон поля та удобрення на біометричні показники рослин пшениці озимої

Про динаміку розвитку рослин пшениці озимої впродовж вегетації та їх стан ми аналізували, проводячи біометричні спостереження та обліки.

Так, у фазу куцнення рослин пшениці озимої їх висота становила у неоптимальній зоні поля 15,5 см, тоді як у середній була 17,7 см. Максимальної висоти рослини досягали у оптимальній зоні, де цей показник становив 20,3 см (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Біометричні показники рослин пшениці озимої сорту Ахім у фазу куцнення в різних зонах поля, 2024 р.

Зона поля	Висота рослин, см	Довжина головного кореня, см	Кількість рослин, шт/м ²	Кількість пагонів, шт/рослину	Кількість листків, шт/рослину
неоптимальна	15,5	3,0	44,1	2,0	3,0
середня	17,7	4,7	51,5	3,0	4,0
оптимальна	20,3	6,5	55,0	4,0	5,0

Довжина головного кореня рослин у зонах поля, різних за продуктивністю, теж відрізнялася. У неоптимальній зоні корінь був довжиною 3,0 см, у середній зоні – 4,7 см, а у оптимальній – 6,5 см.

Кількість рослин також була різною у різних зонах поля пшениці озимої. У слабо продуктивній цей показник становив 44,1 шт. на 1 м², у

середній зоні – 51,5 см, а у оптимальній 55,0 см. На одній рослині формувалося в середньому 2,0 листки в неоптимальній зоні поля, 3,0 – у середній зоні і 4,0 у оптимальній. Аналогічна була тенденція щодо кількості пагонів на рослині пшениці озимої.

У фазу трубкування рослин пшениці озимої були вищими у результаті ростових процесів. У слабо продуктивній зоні поля рослини були висотою 45,8 см, у середній зоні – 47,2 см, у оптимальній зоні – 48,9 см (табл. 3.2). Хоча висота рослин суттєво не відрізнялася у середній і продуктивній зонах поля.

Довжина головного кореня стала значно більшою у всіх зонах поля порівняно із попередньою фазою росту і розвитку рослин у результаті інтенсивного росту рослин. У неоптимальній зоні поля головний корінь був довжиною 30,0 см, у середній – 39,0 см, у оптимальній – 45,0 см.

Кількість рослин на метрі квадратному суттєво не відрізнялась порівняно із попередньою фазою росту і розвитку рослин пшениці озимої. Тенденція змін по зонах поля мала аналогічний характер. Кількість пагонів на одній рослині була однаковою у середній і оптимальній зонах поля і становила 4,5 шт./рослину.

Азотне підживлення оптимізувало ріст і розвиток рослин пшениці озимої у різних за продуктивністю частинах поля. Рослини були краще розвиненими. Рослини були вищими. У неоптимальній зоні рослини були висотою 50,1 см, у середній – 51,8 см, у оптимальній 52,9 см. Головний корінь рослин був краще розвинений і був довжиною 38,0 см у неоптимальній зоні, 39,0 см у середній і 4,0 см у оптимальній зоні. Кількість рослин на 1 м² суттєво не відрізнялася від варіантів без підживлення у різних за продуктивністю частинах поля. Аналогічна тенденція була і щодо кількості пагонів на одній рослині.

У фазу колосіння рослини пшениці озимої стали більш розвиненими (табл. 3.3).

Рослини стали вищими: у слабо продуктивній зоні рослини досягали 71,0 см у висоту, у середній 75,5 см, у оптимальній 79,0 см (табл. 3.3). За азотного підживлення рослини були вищими. У слабо продуктивній зоні поля висота рослин становила 85,3 см, у середній 85,5 см, у оптимальній 86,9 см. Слід звернути увагу, що за висотою рослини у різних зонах поля пшениці озимої азотного підживлення в цей період вирівнялися.

Таблиця 3.2

Біометричні показники рослин пшениці озимої сорту Ахім у фазу трубкування в різних зонах поля, 2024 р.

Зона поля	Висота рослин, см	Довжина головного кореня, см	Кількість рослин, шт/м ²	Кількість пагонів, шт/рослину
без підживлення				
неоптимальна	45,8	30,0	44,2	3,0
середня	47,2	39,0	51,4	4,5
оптимальна	48,9	45,0	55,3	4,5
з підживленням				
неоптимальна	50,1	38,0	43,9	3,5
середня	51,8	39,0	51,0	4,7

оптимальна	52,9	45,0	55,5	4,8
------------	------	------	------	-----

Таблиця 3.3

Біометричні показники рослин пшениці озимої сорту Ахім у фазу колосіння в різних зонах поля, 2024 р.

Зона поля	Висота рослин, см	Кількість продуктивних пагонів, шт./роsl.	Кількість листків, шт./роsl.	Довжина міжвузль, см	Площа листків, см ² /роsl.	Листковий індекс
без підживлення						
неоптимальна	71,0	5,2	21,0	11,6	121	4,23
середня	75,5	5,0	23,0	12,5	126	4,41
оптимальна	79,0	4,0	25,0	12,9	136	4,76
з підживленням						
неоптимальна	85,3	4,1	23,0	12,2	129	4,52
середня	85,5	5,2	24,0	12,6	137	4,80

оптимальна	86,9	5,3	27,0	13,1	145	5,08
------------	------	-----	------	------	-----	------

Кількість продуктивних стебел становила 5,2 шт./рослину у слабо продуктивній зоні, 5,0 у середній і 4,0 у оптимальній зоні за відсутності азотного підживлення. У варіантах із азотним підживленням у слабо продуктивній зоні поля кількість продуктивних пагонів пшениці озимої на одну рослину була меншою і становила 4,1. У той час як у середній і оптимальній зонах цей показник зріс до 5,2 і 5,3 відповідно за зонами поля. Це обумовлено кращим розвитком рослин у цих зонах, що дозволило їм сформувати і зберегти більшу кількість продуктивних стебел.

Кількість листків на одній рослині зроста порівняно із попередньою фазою росту і розвитку рослин пшениці озимої. Так, у неоптимальній зоні кількість листків на одній рослині становила 21,0 шт., у середній зоні – 23,0 шт., у оптимальній – 25,0 шт. За азотного підживлення кількість листків на одній рослині зроста і становила 23,0 шт. у неоптимальній зоні, 24,0 шт. у середній зоні і 27,0 шт. – у оптимальній зоні.

Довжина міжвузль за проведення азотного підживлення незначно відрізнялась від варіантів без підживлення. Так, у неоптимальній зоні довжина міжвузль становила 11,6 см у варіанті без підживлення і 12,2 см із підживленням. У середній зоні відповідно 12,5 см і 12,6 см, у оптимальній зоні – 12,9 і 13,1 см.

Площа листків на одній рослині пшениці озимої у фазу колосіння була різною у різних зонах поля. Так, у неоптимальній зоні цей показник становив 121 см², у середній зоні він складав 126 см², а у оптимальній – 136 см². За проведення азотного підживлення площа листків на одній рослині зроста і складала 129 см² у неоптимальній зоні поля, 137 см² у середній зоні поля, 145 см² - у оптимальній зоні.

Листовий індекс рослин пшениці озимої у фазу колосіння складав 4,23 у неоптимальній зоні поля без азотного підживлення. За підживлення цей показник досягав рівня 4,52. У середній зоні поля у варіанті без підживлення він становив 4,41 і із підживленням – 4,80. У оптимальній зоні поля досягав рівня 4,76 і 5,08.

Тож, слід відмітити, що рослини пшениці озимої у різних за продуктивністю частинах поля мали різну динаміку росту і розвитку. Краще розвиненими за фазами росту і розвитку вони були у оптимальній зоні. Азотне підживлення сприяло кращому розвитку рослин у кожній зоні поля, проте найкраще розвиненими були рослини пшениці у оптимальній зоні.

3.3 Вплив азотного підживлення на урожайність і якість зерна пшениці озимої у різних зонах поля

Пшениця озима має вагоме місце у структурі посівних площ агропідприємств України. Експорт цієї культури є значною часткою у формуванні економіки України. Наша держава експортує зерно у різні частини світу, у багатьох із яких це є життєво важливим. Тож, вирощування цієї культури є пріоритетним для України, а оптимізація живлення рослин у екстремальних погодних умовах потребує вивчення.

У результаті проведених досліджень нами встановлено, що рівень врожайності пшениці озимої був по полю нерівномірний і відрізнявся за зонами продуктивності (табл. 3.4). Так, урожайність зерна у слабо продуктивній зоні досягала рівня 3,05 т/га. У середній зоні цей показник складав 3,27 т/га, що на 0,22 т/га (7,21%) більше ніж у слабо продуктивній зоні. У оптимальній зоні урожайність склала 3,33 т/га, що на 0,28 т/га більше порівняно із неоптимальною.

Азотні підживлення сприяли зростанню врожайності у кожній зоні поля пшениці озимої. Урожайність у неоптимальній зоні склала 3,51т/га, у

середній 3,72 т/га, у оптимальній – 3,84 т/га. Так, у неоптимальній зоні поля урожайність зросла до 3,51 т/га, що на 0,46 т/га (15,1%) більше порівняно із цією ж зоною без підживлення. У середній зоні приріст становив 0,46 т/га (13,4%), а у оптимальній 0,51 т/га (15,3%).

Таблиця 3.4

Урожайність пшениці озимої сорту Ахім у різних зонах поля (т/га), 2024 р.

Зона поля (за станом рослин)	Варіант дослідів		Приріст врожаю залежно від зон поля		Приріст врожаю залежно від підживлення і зон поля		Приріст врожаю залежно від підживлення в різних зонах поля	
	без підживлення (контроль)	з підживленням	т/га	%	т/га	%	т/га	%
неоптимальна	3,05	3,51	-	-	-	-	0,46	15,1
середня	3,27	3,72	0,22	7,21	0,21	5,98	0,45	13,4
оптимальна	3,33	3,84	0,28	9,18	0,33	9,40	0,57	15,3

Це пояснюється прямою дією азоту на ростові процеси рослини і прямою залежністю рівня врожайності від забезпечення рослин азотом.

Зерно пшениці озимої відрізнялося за показниками якості залежно від зони поля. Вологість зерна відрізнялася у неоптимальній зоні поля, де вона становила 12,6 % (табл. 3.5). У середній оптимальній зоні поля цей показник був практично однаковим і складав 13,2 і 13,4%. За проведення азотного підживлення вміст вологи по зонах поля був вирівняний і складав відповідно 13,2, 13,3 і 13,4 % відповідно по зонах: неоптимальна, середня і оптимальна, що було на рівні показників середньої і оптимальної зон поля без підживлення.

Натура зерна пшениці озимої у непродуктивній зоні поля складала 737 г/л. За проведення азотного підживлення натура зерна зросла на 23 г/л. У середній зоні натура зерна була 765 г/л, а за проведення підживлення зросла на 15 г/л. У оптимальній зоні поля натура зерна була на рівні 781 г/л, а за підживлення зросла на 9 г/л. Це свідчить про те, що в оптимальній зоні поля зерно формувалося у оптимальніших умовах, тому було виповненішим. У той же час, азотне підживлення оптимізувало ріст і розвиток рослин, що сприяло формуванню виповненішого зерна.

Вміст білка у зерні неоптимальної зони без підживлення відрізнявся від цього показника у середній і оптимальній зонах. Він становив 13,9 %. У середній і оптимальній зоні цей показник був 14,1 і 14,3 %. За азотного підживлення зріс до 14,3, 14,5 і 14,8% відповідно за зонами, що свідчить про оптимізацію накопичення білку за рахунок оптимізації азотного живлення.

Вміст клейковини теж мав подібну тенденцію. Цей показник становив 28,2% у слабо продуктивній зоні (без підживлення). За азотного підживлення вміст клейковини в зерні зріс до рівня 30,9%. У середній зоні вміст клейковини складав 29,4%, а за підживлення зріс на 2,9%. У оптимальній зоні вміст клейковини склав 31,9%, а за підживлення зріс на 1,0%.

Загальна скловидність зерна не відрізнялася за зонами поля, проте зросла від дії азотного підживлення на 5,0%.

Таблиця 3.5

Якість зерна пшениці озимої сорту Ахім у різних зонах поля, 2024 р.

Зона поля	Вологість зерна, %	Натура, г/л	Вміст, %		Загальна скловидність,%	Число падіння, с	Маса 1000 зерен, г
			білка	клейковини			
без підживлення							
неоптимальна	12,6	737	13,9	28,2	50,0	405	42,8
середня	13,2	765	14,1	29,4	50,0	403	44,6
оптимальна	13,4	781	14,3	31,9	50,0	402	45,8
з підживленням							
неоптимальна	13,2	760	14,3	30,9	55,0	400	46,7
середня	13,3	780	14,5	32,3	55,0	385	48,2
оптимальна	13,4	790	14,8	32,9	55,0	370	49,0

Число падіння не значно відрізнялося за зонами поля. За азотного підживлення зменшувалося у середній і оптимальній зонах поля.

Маса 1000 зерен зростала за зонами поля від неоптимальної до оптимальної. Азотне підживлення сприяло підживленню значення цього показника.

Тож, рослини пшениці озимої, які розвивалися у різних зонах поля, формували різну врожайність та якість зерна.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗА ПІДЖИВЛЕННЯ АЗОТОМ В УМОВАХ НЕОДНОРІДНОСТІ ПОЛЯ

Пшениця озима має провідне місце у вирішенні продовольчої безпеки світу. Економічне обґрунтування дає характеристику всім прийомам, які включає в себе технологія вирощування цієї культури.

Нами була визначена економічна ефективність вирощування пшениці озимої у різних зонах поля. Вартість врожаю у різних зонах поля відрізнялася і залежала від рівня врожайності (табл. 4.1). Так, у неоптимальній зоні поля вартість врожаю становила 22875 грн/га, а за проведення азотного підживлення 26325 грн./га. У середній зоні без підживлення вартість врожаю була 24525 грн/га, із підживленням 27900 грн/га. У оптимальній зоні поля без підживлення вартість врожаю була 24975 грн/га, а із підживленням 28800 грн/га. Виробничі витрати за зонами поля не відрізнялися, і зростали за рахунок вартості добрив за проведення азотного підживлення.

Собівартість зерна пшениці озимої становила у неоптимальній зоні 5688 грн/т, у середній 5306 грн/т, у оптимальній 5210 грн/т. За проведення азотного підживлення цей показник зріс і складав 6679 грн/т у неоптимальній зоні, 6301 грн/т у середній зоні і 6104 у оптимальній зоні.

Окупність витрат становила 0,32 грн/грн у неоптимальній зоні, 0,41 грн/грн у середній зоні, 0,44 грн/грн у оптимальній зоні. За проведення азотного підживлення цей показник становив 0,12, 0,19 і 0,23 грн/грн.

Таблиця 4.1

Економічна ефективність вирощування пшениці озимої сорту Ахім в різних зонах поля, 2024 р.

Зона поля	Урожайність, т/га	Вартість врожаю, грн/га	Виробничі витрати, грн./га	Дохід, грн./га	Собівартість продукції, грн./т	Окупність витрат, грн./грн.	Рівень рентабельності, %
без підживлення							
неоптимальна	3,05	22875	17350	5525	5688	0,32	31,8
середня	3,27	24525	17350	7175	5306	0,41	41,4
оптимальна	3,33	24975	17300	7625	5210	0,44	43,9
з підживленням							
неоптимальна	3,51	26325	23440	2885	6679	0,12	12,3
середня	3,72	27900	23440	4460	6301	0,19	19,0
оптимальна	3,84	28800	23440	5360	6104	0,23	0,23

ВИСНОВКИ:

1. Азотне підживлення у нормі 30 кг/га рослин пшениці озимої у різних зонах поля оптимізувало ріст і розвиток рослин, зокрема, зростала висота рослин, кількість листків, пагонів на одній рослині та площа листкової поверхні.

2. Азотне підживлення рослин пшениці озимої у оптимальній зоні поля сприяло формуванню максимальної врожайності 3,84 т/га із вмістом білка 14,8% і клейковини 32,9%. Однак за такого рівня врожайності економічна доцільність вирощування цієї культури балансує на рівні точки безбитковості (рівень рентабельності досягав лише 0,23%).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агрохімія. підручник / І.У. Марчук, О.В. Грищенко, Н.П. Бордюжа, І.П. Бордюжа, Н.М. Бикіна, В.М. Макаренко. 2024. 408 с.
2. Азотне живлення пшениці озимої на різних етапах органогенезу. Є питання...©Пропозиція. 13.12.2022.
<https://propozitsiya.com/ua/azotne-zhyvlennya-pshenyci-ozymoyi-na-riznyh-etapah-organogenezu-ye-pytannya>
3. Атлас почв Української ССР/ под. ред.. П.К. Крупського и Н.И. Полулана. – К.:Урожай. –1979. – 160с.
4. Волкогон В.В., Надкернична О.В., Ковалевська Т.М. та ін. Мікробні препарати у землеробстві. Теорія і практика. - К.: Аграрна наука, 2006. - 312 с.
5. Галік О.І., Басюк Т.О. Методичні вказівки “Довідкові дані з клімату України”. – Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2014. – 158 с.
6. Гамаюнова В.В., Смірнова І.В. Формування продуктивності пшениці озимої залежно від умов вирощування в південному Степу України // Вісник аграрної науки Причорномор'я. - 2018. - Вип. 3. - С. 52-59.
7. Гамаюнова В.В., Панфілова А.В. Продуктивність ячменю ярого залежно від елементів технології вирощування в умовах Південного Степу України // Вісник аграрної науки Причорномор'я. - 2019. - Вип. 3. - С. 51-58.
8. Господаренко Г.М. Агрохімія: Підручник. - К.: ННЦ "ІАЕ", 2010. - 400 с.
9. Господаренко Г.М., Черно О.Д., Любич В.В., Рябовол Я.С. Удобрення пшениці озимої за ресурсощадних технологій вирощування. - Умань: Видавець "Сочінський М. М.", 2018. - 332 с.
10. Господаренко Г.М., Прокопчук І.В., Бойко В.П. Засвоєння основних елементів живлення з ґрунту та мінеральних добрив озимою пшеницею // Вісник аграрної науки. - 2016. - № 6. - С. 11-15.

11. Єремєєв В.Н., Єфімов В.В. Регіональні аспекти глобальної зміни клімату // Вісник НАН України. - 2003. - № 2. - С. 14-19.
12. Кудря С.І., Клочко М.К., Кудря Н.А. Вплив попередників, добрив та погодних умов на урожайність пшениці озимої // Вісник Полтавської державної аграрної академії. - 2018. - № 4. - С. 42-48.
13. Лихочвор В.В. Мінеральні добрива та їх застосування. - Львів: НВФ "Українські технології", 2008. - 312 с.
14. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. - Львів: НВФ "Українські технології", 2014. - 1040 с.
15. Марчук І.У., Макаренко В.М., Розстальний В.Є., Савчук А.В. Добрива та їх використання: Довідник. - К.: Арістей, 2011. - 254 с.
16. Моргун В.В., Швартау В.В., Кірізій Д.А. Фізіологічні основи формування високої продуктивності зернових злаків // Фізіологія рослин і генетика. - 2010. - Т. 42, № 5. - С. 371-392.
17. Моргун В.В., Санін Є.В., Швартау В.В. Клуб 100 центнерів. Сорти та оптимальні системи вирощування озимої пшениці. - К.: Логос, 2012. - 132 с.
18. Патица В.П., Тихонович І.А., Філіп'єв І.Д. та ін. Мікроорганізми і альтернативне землеробство. - К.: Урожай, 1993. - 176 с.
19. Петриченко В.Ф., Лихочвор В.В. Рослинництво. Нові технології вирощування сільськогосподарських культур. - Львів: НВФ "Українські технології", 2020. - 806 с.
20. Польовий В.М. Оптимізація систем удобрення у сучасному землеробстві. - Рівне: Волинські обереги, 2007. - 320 с.
21. Танчик С.П., Центило Л.В., Цюк О.А. Наукові основи систем землеробства: Монографія. - Вінниця: ТОВ "Нілан-ЛТД", 2015. - 314 с.
22. Тараріко Ю.О., Сайдак Р.В., Сорока Ю.В. Оцінка впливу змін клімату на продуктивність основних сільськогосподарських культур // Вісник аграрної науки. - 2019. - № 4. - С. 11-17.

23. Ярчук І.І., Божко В.Ю., Мороз О.О. Вплив мінеральних добрив на врожайність та якість зерна пшениці озимої // *Агрономія*. - 2019. - Т. 2, № 1. - С. 47-52.
24. Asseng, S., Ewert, F., Rosenzweig, C., Jones, J. W., Hatfield, J. L., Ruane, A. C., ... & Williams, J. R. (2013). Uncertainty in simulating wheat yields under climate change. *Nature Climate Change*, 3(9), 827-832.
25. Barraclough, P. B., Howarth, J. R., Jones, J., Lopez-Bellido, R., Parmar, S., Shepherd, C. E., & Hawkesford, M. J. (2010). Nitrogen efficiency of wheat: genotypic and environmental variation and prospects for improvement. *European Journal of Agronomy*, 33(1), 1-11.
26. Basso, B., Dumont, B., Cammarano, D., Pezzuolo, A., Marinello, F., & Sartori, L. (2016). Environmental and economic benefits of variable rate nitrogen fertilization in a nitrate vulnerable zone. *Science of The Total Environment*, 545, 227-235.
27. Biermacher, J. T., Epplin, F. M., Brorsen, B. W., Solie, J. B., & Raun, W. R. (2009). Economic feasibility of site-specific optical sensing for managing nitrogen fertilize for growing wheat. *Precision Agriculture*, 10(3), 213-230.
28. Cao, Q., Miao, Y., Wang, H., Huang, S., Cheng, S., Khosla, R., & Jiang, R. (2013). Non-destructive estimation of rice plant nitrogen status with Crop Circle multispectral active canopy sensor. *Field Crops Research*, 154, 133-144.
29. Castrignanò, A., Buttafuoco, G., Quarto, R., Parisi, D., Viscarra Rossel, R. A., Terribile, F., ... & Sollitto, D. (2018). A geostatistical fusion approach using UAV data for probabilistic estimation of nitrogen status in crops. *Precision Agriculture*, 19(2), 257-277.
30. Chlingaryan, A., Sukkarieh, S., & Whelan, B. (2018). Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151, 61-69.
31. Cormier, F., Foulkes, J., Hirel, B., Gouache, D., Moënne-Loccoz, Y., & Le Gouis, J. (2016). Breeding for increased nitrogen-use efficiency: a review for wheat (*T. aestivum* L.). *Plant Breeding*, 135(3), 255-278.

32. Dhital, S., & Raun, W. R. (2016). Variability in optimum nitrogen rates for maize. *Agronomy Journal*, 108(6), 2165-2173.
33. Diacono, M., Rubino, P., & Montemurro, F. (2013). Precision nitrogen management of wheat. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(1), 219-241.
34. Garnett, T., Plett, D., Heuer, S., & Okamoto, M. (2015). Genetic approaches to enhancing nitrogen-use efficiency (NUE) in cereals: challenges and future directions. *Functional Plant Biology*, 42(10), 921-941.
35. Hawkesford, M. J. (2014). Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production. *Journal of Cereal Science*, 59(3), 276-283.
36. Kempenaar, C., Lokhorst, C., Bleumer, E. J. B., Veerkamp, R. F., Been, T., van Evert, F. K., ... & van der Vlugt, M. P. (2016). Big Data analysis for smart farming. Wageningen University and Research.
37. Kravchenko, A. N., Robertson, G. P., Snap, S. S., & Smucker, A. J. M. (2005). Using information about spatial variability to improve estimates of total soil carbon. *Agronomy journal*, 98(3), 823-829.
38. Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 358-371.
39. Raun, W. R., & Johnson, G. V. (1999). Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*, 91(3), 357-363.
40. Raun, W. R., Solie, J. B., Johnson, G. V., Stone, M. L., Mullen, R. W., Freeman, K. W., ... & Lukina, E. V. (2002). Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. *Agronomy Journal*, 94(4), 815-820.
41. Rütting, T., Aronsson, H., & Delin, S. (2018). Efficient use of nitrogen in agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 110(1), 1-5.
42. Samborski, S. M., Tremblay, N., & Fallon, E. (2009). Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. *Agronomy Journal*, 101(4), 800-816.

43. Shanahan, J. F., Kitchen, N. R., Raun, W. R., & Schepers, J. S. (2008). Responsive in-season nitrogen management for cereals. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(1), 51-62.
44. Tremblay, N., Wang, Z., Ma, B. L., Belec, C., & Vigneault, P. (2009). A comparison of crop data measured by two commercial sensors for variable-rate nitrogen application. *Precision Agriculture*, 10(2), 145-161.
45. Zarco-Tejada, P. J., González-Dugo, V., & Berni, J. A. J. (2012). Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. *Remote Sensing of Environment*, 117, 322-337.
46. Fageria N.K., Baligar V.C., Jones C.A. *Growth and Mineral Nutrition of Field Crops*. - CRC Press, 2010. - 586 p.
47. Hawkesford M.J., Barraclough P. *The Molecular and Physiological Basis of Nutrient Use Efficiency in Crops*. - Wiley-Blackwell, 2011. - 544 p.
48. Marschner P. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. - Academic Press, 2012. - 651 p.
49. White P.J., Gregory P.J. *The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions*. - Springer, 2008. - 296 p.
50. Mengel K., Kirkby E.A., Kosegarten H., Appel T. *Principles of Plant Nutrition*. - Springer, 2001. - 849 p.
51. Ehdaie B., Alloush G.A., Waines J.G. Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat // *Field Crops Research*. - 2008. - Vol. 106, Issue 1. - P. 34-43.
52. Hamnér K., Weih M., Eriksson J., Kirchmann H. Influence of nitrogen supply on macro- and micronutrient accumulation during growth of winter wheat // *Field Crops Research*. - 2017. - Vol. 213. - P. 118-129.
53. Shi R., Zhang Y., Chen X., Sun Q., Zhang F., Römheld V., Zou C. Influence of long-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Journal of Cereal Science*. - 2010. - Vol. 51, Issue 1. - P. 165-170.

54. Subedi K.D., Ma B.L. Assessment of some major yield-limiting factors on maize production in a humid temperate environment // *Field Crops Research*. - 2009. - Vol. 110, Issue 1. - P. 21-26.
55. Barłóg P., Grzebisz W., Feć M., Łukowiak R., Szczepaniak W. Row method of fertilizer application as a tool in improving nitrogen use efficiency in winter wheat // *Plant, Soil and Environment*. - 2010. - Vol. 56, No. 11. - P. 533-539.
56. Zhao F.J., Su Y.H., Dunham S.J., Rakszegi M., Bedo Z., McGrath S.P., Shewry P.R. Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin // *Journal of Cereal Science*. - 2009. - Vol. 49, Issue 2. - P. 290-295.
57. Malhi S.S., Lemke R., Wang Z.H., Chhabra B.S. Tillage, nitrogen and crop residue effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality, and greenhouse gas emissions // *Soil and Tillage Research*. - 2006. - Vol. 90, Issues 1-2. - P. 171-183.
58. Gooding M.J., Davies W.P. *Wheat Production and Utilization: Systems, Quality and the Environment*. - CABI Publishing, 1997. - 355 p.
59. Fageria N.K. *The Use of Nutrients in Crop Plants*. - CRC Press, 2009. - 448 p.
60. Epstein E., Bloom A.J. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. - Sinauer Associates, Inc., 2005. - 400 p.
61. Barker A.V., Pilbeam D.J. *Handbook of Plant Nutrition*. - CRC Press, 2015. - 773 p.
62. Gommers A., Thiry Y., Delvaux B. Rhizospheric mobilization and plant uptake of radiocesium from weathered micas: I. Influence of potassium depletion // *Journal of Environmental Quality*. - 2005. - Vol. 34, No. 6. - P. 2167-2173.
63. Römheld V., Kirkby E.A. Research on potassium in agriculture: needs and prospects // *Plant and Soil*. - 2010. - Vol. 335, No. 1-2. - P. 155-180.
64. Cakmak I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? // *Plant and Soil*. - 2008. - Vol. 302, No. 1-2. - P. 1-17.

65. Hirel B., Le Gouis J., Ney B., Gallais A. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches // *Journal of Experimental Botany*. - 2007. - Vol. 58, No. 9. - P. 2369-2387.

66. Barraclough P.B., Howarth J.R., Jones J., Lopez-Bellido R., Parmar S., Shepherd C.E., Hawkesford M.J. Nitrogen efficiency of wheat: Genotypic and environmental variation and prospects for improvement // *European Journal of Agronomy*. - 2010. - Vol. 33, Issue 1. - P. 1-11.

Додатки