

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Российский государственный аграрный университет-
МСХА имени К.А. Тимирязева»

На правах рукописи

НУРИ ЯММА

**ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙ И КАЧЕСТВО
ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЮЖНОМ АФГАНИСТАНЕ**

Специальность: 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин
растений

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Белопухов Сергей Леонидович

Москва - 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	12
1.1 Биологические особенности озимой пшеницы.....	12
1.2 Мировое производство пшеницы	16
1.2.1 Производство пшеницы в Афганистане	18
1.3 Влияние минеральных удобрений (NPK) на рост, урожайность и показатели качества озимой пшеницы.....	23
1.4 Влияние NPK на аминокислоты в пшенице	43
2. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	45
2.1 Объекты исследования	45
2.2 Условия проведения исследований	45
2.3 Методы исследования:.....	50
3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	61
3.1 Влияние уровней минерального питания на ростовые показатели озимой пшеницы.....	63
3.2 Действие различных условий минерального питания на урожайность и элементы структуры продуктивности озимой пшеницы в Южном регионе Афганистана	65
3.3 Влияние доз азота, фосфора и калия на показатели качества озимой пшеницы в Южном регионе Афганистана	77
3.4 Влияние уровней азота, фосфора и калия на экономические показатели производства озимой пшеницы сорт Чонт-01 в Южном Афганистане.....	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	105

Предложения производству.	106
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	107
ПРИЛОЖЕНИЕ	131

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Пшеница (*Triticum aestivum* L.) относится к роду *Triticeae* семейства злаковых Poaceae (Gramineae), включающем основные зерновые культуры, и является одним из восьми источников пищи (пшеница, рис, кукуруза, сахар, крупный рогатый скот, сорго, просо и кассава), которые обеспечивают 70 - 90% всех калорий и 66 - 90% белка, потребляемого в развивающихся странах. В глобальном масштабе пшеница является важнейшим основным продуктом питания для 40% населения (Goyal и др., 2010; Peng и др., 2011).

Пшеница, потребляемая в качестве цельного зерна, является высокопитательным источником пищи, обеспечивающим множество необходимых питательных веществ и пищевых волокон. Детям и взрослым рекомендуется включать в свой рацион несколько порций цельнозерновых продуктов в день, обеспечивая разнообразие продуктов, соответствующих критериям продуктов с высоким содержанием цельного зерна (Shewry и др., 2015). Пищевые волокна, присутствующие в пшенице, могут способствовать чувству сытости, помогая поддерживать здоровый вес (American Heart Association, 2016). Кроме того, пшеница служит важным источником натуральных и обогащенных микроэлементами питательных веществ, включая пищевые волокна, белки и незаменимые пищевые минералы (Hefferon, 2015).

Площадь Афганистана составляет 63 млн га, из которых около 7,6 млн га пригодны для земледелия. Пшеница, рис, ячмень и кукуруза являются основными зерновыми культурами, выращиваемыми в стране, причем на пшеницу приходится 80,2% общей продукции зерновых. Таким образом, пшеница является важнейшей культурой для обеспечения продовольственной безопасности страны (Khaliq, Voz, 2018). Средняя площадь под зерновыми культурами составляет: пшеница - 2,2 млн га; рис - 0,13 млн га; ячмень - 0,19 млн га; кукуруза - 0,145 млн га; (Rashid, 1997). Производство пшеницы в Афганистане колеблется от 2,6 до 5,2 млн т (ФАО, 2016). По оценкам ФАО, сделанным в 2017 году, средняя урожайность пшеницы в

Афганистане составила 1,96 т/га. Этот показатель значительно ниже средней мировой урожайности пшеницы, которая составляет 3,48 тонны на гектар (т/га).

Однако, несмотря на имеющийся сегодня уровень производства, Афганистан сильно зависит от импорта пшеницы для удовлетворения внутренних потребностей. Население страны, которое неуклонно растет, достигло примерно 42 миллионов человек, что требует усилий по достижению самодостаточности в производстве пшеницы (Worldometer, 2022). Министерство сельского хозяйства, ирригации и животноводства (MAIL) признало необходимость своевременной оценки внутреннего производства пшеницы для решения потенциальных проблем продовольственной безопасности и достижения целей самообеспеченности (Waziri и др., 2013).

Основными удобрениями, используемыми для пшеницы в Афганистане, являются азот в виде мочевины (46%N) и фосфор в виде DAP (диаммонийфосфат $46\%P_2O_5 + 18\%N$), которые вносят под сельскохозяйственные культуры в различных количествах. Однако для разных регионов Афганистана отсутствие знаний об оптимальной дозе внесения азота, фосфора и калия под пшеницу разных сортов приводит к потере питательных веществ и, как следствие, к снижению урожайности пшеницы и качества зерна. Для решения этих проблем становится важным внедрение оптимизированных методов управления питательными веществами, урожайностью пшеницы и качеством зерна. Применение соответствующих стратегий внесения удобрений и обеспечение сбалансированного внесения питательных веществ может помочь преодолеть Афганистану дефицит питательных веществ и улучшить рост и урожайность пшеницы. Это подчеркивает важность проведения исследований.

Следовательно, крайне важно определить оптимальную дозировку NPK для получения максимальной урожайности и качества пшеницы в полусухом Южном регионе Афганистана. Фермерам в Афганистане не хватает знаний о сбалансированном внесении удобрений, особенно при выращивании пшеницы, что препятствует их способности достигать оптимальной урожайности. В связи с этим, данное исследование направлено на изучение влияния различных уровней

минеральных удобрений (NPK) на урожайность, а также качество пшеницы в полусухих условиях южного Афганистана.

Степень разработанности темы. Влияние NPK на рост и урожайность пшеницы является для многих стран хорошо изученным вопросом. Исследования показали, что применение минеральных удобрений NPK в оптимальных дозах приводит к повышению урожайности пшеницы в среднем на 20-30%. Исследования влияния NPK на рост и урожайность пшеницы проводятся во всем мире, однако в Афганистане до последнего времени таких полноценных исследований не было проведено. Вот некоторые из наиболее известных исследований в мире за последние годы, касающиеся повышению урожайности:

Исследования, проведенные в последние годы в России, показали, что применение минеральных удобрений на черноземных, каштановых, дерново-подзолистых, серых лесных почвах в различных агроклиматических регионах страны оказывает влияние на повышение урожайности до 27% и качество зерна. (Зотиков В.И., 2011, Прокина Л.Н., 2015, Ториков В.Е., 2015, Шеуджен А.Х., 2015, Агафонов Е.В., Никитин и др., 2019, Завалин А.А., 2018, Бижан С.П., 2019, Никитин Д.Ю., 2019, Кирпичников Н.А., 2020, Тютюнов С.И., 2020, Есаулко А.Н., 2021, Морозова Т.С., 2021, Шаповалова Н.Н., 2021, Ожередова А.Ю., 2022 и др.).

Исследование, проведенное в 2020 году в США, показало, что применение минеральных удобрений в дозе N110P90K70 привело к повышению урожайности яровой пшеницы на 30% по сравнению с контролем без удобрений. (O'Brien и др. 2020). Другие авторы, которые проводили исследования в регионах с близкими к условиям Афганистана агроклиматическим условиям, большое внимание уделяли оценке влияния разных доз азота, фосфора и калия на качественный состав зерна озимой пшеницы, технологические параметры (Ali A., 2011, 2020; Hefferon K. L., 2015; Noonari, S., 2016; Arif M., 2017; Holik L., 2018; Singh P., 2019; El-Mageed T. A., 2019; Genaev, M.A., 2019; Tabak, M., 2020; Wang, J., 2022; Zhang, X., 2022; Li, J., 2022; Soofizada Q., 2023; Kumar, S., 2024 и др.).

Цель и задачи исследования

Цель исследования – изучить влияние различных уровней минерального

питания на урожай и качество озимой пшеницы сорта Чонт – 01 в Южном регионе Афганистана.

В исследованиях были поставлены следующие задачи:

1. Оценить влияние разных уровней минеральных удобрений на урожай и элементы продуктивности, качество озимой пшеницы в условиях Южного региона Афганистана;
2. Оценить влияние разных уровней минеральных удобрений на показатели качества и аминокислотный состав зерна озимой пшеницы в условиях Южного региона Афганистана;
3. Определить содержание и вынос основных элементов питания с урожаем озимой пшеницы сорта Чонт-01 в зависимости от условий выращивания;
4. Оценить экономическую эффективность различных уровней минерального питания в условиях Южного региона Афганистана.

Научная новизна. Впервые в условиях засушливого Южного региона Афганистана проведены научные исследования для оценки действия разных доз минеральных удобрений на урожай и качество зерна озимой пшеницы сорта Чонт-01, установлена доза минеральных удобрений $N_{140}P_{60}K_{60}$ для получения высокой урожайности озимой пшеницы до 4 т/га и качества зерна. Приоритетно проведена оценка соотношения определенного количества азота, фосфора и калия для максимального эффективного влияния на урожайность пшеницы и качество зерна, соответствующего 3-ему классу товарной классификации.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость исследования по влиянию разных доз минеральных удобрений в условиях Южного региона Афганистана на урожай и качество зерна озимой пшеницы сорта Чонт-01 заключается в том, что оно позволяет оценить влияние различных доз удобрений на урожайность озимой пшеницы и качество продукции. В частности, исследование показало, что комплексное внесение минеральных удобрений (NPK) может значительно повысить урожайность пшеницы в условиях Южного региона Афганистана. Это имеет важное значение для региональной сельскохозяйственной

науки, сельхозтоваропроизводителей, поскольку дает возможность повысить продовольственную безопасность в Афганистане.

Получены новые знания для региональной сельскохозяйственной науки о взаимодействии между уровнями азота, калия и фосфора на урожайность пшеницы и получение качественного зерна. Такие рекомендации могут помочь фермерам оптимизировать использование удобрений для повышения урожайности озимой пшеницы с высокими показателями качества зерна.

Практическая значимость результатов исследования по применению минеральных удобрений (NPK) на озимой пшенице заключается в том, что они использованы для разработки методических рекомендаций по повышению урожайности этой культуры для сельскохозяйственных предприятий Южного региона Афганистана.

Результаты исследования используются в образовательной деятельности университета, а также могут быть полезны для выведения новых сортов пшеницы, устойчивых к различным факторам стресса, включая засуху.

Методология и методы исследования. Эксперимент проводился на полевой опытной станции Афганского Национального Аграрно-Научного Технологического Университета (Кандагар), расположенной в южной части Афганистана. Этот регион характеризуется полузасушливым субтропическим климатом с резкими колебаниями температуры. Среднегодовое количество осадков в регионе составляет 190,6 мм.

Почва на экспериментальном участке имела суглинистую супесчаную текстуру и была близка к нейтральной по показателю кислотности (рН 7,24). Почва характеризовалась низким содержанием азота, средним содержанием P_2O_5 и высоким содержанием K_2O . Эксперимент был заложен по рандомизированному блочному плану с 9 комбинациями обработок, включая два уровня азота (70 и 140 кг N/га), два уровня фосфора (30 и 60 кг P_2O_5 /га), два уровня калия (30 и 60 кг K_2O /га) и один Контроль (без удобрений) в трехкратной повторности. Азотные, фосфорные и калийные питательные вещества вносили в виде мочевины, диаммонийфосфата (ДАФ) и сульфата калия. Каждая учетная площадь делянки

имела размер 3 м × 4 м, с общей площадью 12 м². Пшеницу сорта Чонт-01 высевали в третью декаду ноября и убирали во вторую декаду июля для всех изучаемых сезонов исследования, при этом норма высева составляла 125 кг/га. Семена пшеницы предварительно обрабатывали Витаваксом для защиты от грибных заболеваний. Статистический анализ проводили с использованием стандартных процедур, рекомендаций Гомес К.А. и Гомес А.А. (1984). Критические значения различий (CD) при P=0,05 использовались для определения значительных различий между средними значениями обработок.

Положения, выносимые на защиту

1. Использование в условиях Южного региона Афганистана минеральных удобрений с повышенной дозой азота при средних дозах фосфора и калия для повышения урожайности, качественного и количественного состава зерна озимой пшеницы.

2. Оценка выноса азота, фосфора, калия с основной и побочной продукцией, с учетом эффективности применения минеральных удобрений.

3. Экономическая и энергетическая эффективность изучаемых доз минеральных удобрений под озимую пшеницу в условиях Южного региона Афганистана.

Степень достоверности экспериментальных данных и результатов их обобщения подтверждена использованием рекомендованных методов полевых испытаний, методик агрохимических исследований и ГОСТов, статистическим анализом экспериментальных данных с использованием стандартных процедур, рекомендаций Гомеса К.А. и Гомеса А.А. (1984). Критические значения различий (CD) при P=0,05 использовались для определения значительных различий между средними значениями обработок.

Апробация и публикации результатов исследований. Результаты работы заслушаны на расширенном заседании кафедры химии института Агробиотехнологий РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва, 2024), Международной научно-практической конференции «Методы синтеза новых биологически активных веществ и их применение в различных отраслях мировой

экономики» (Москва, 2023), Международной научно-практической конференции «Информационные технологии как основа прогрессивных научных исследований» (Уфа, 2024), 77-й Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения А.Г. Дояренко (Москва, 2024), Международной научно-практической конференции «Инновационные исследования: опыт, проблемы внедрения результатов и пути решения» (Уфа, 2024).

Материалы диссертации опубликованы в 4 работах, в том числе, 2 статьи в журналах из списка ВАК.

Личный вклад автора. Автор выбрал тему исследования, поставил цели и задачи работы, лично разрабатывал схемы опытов, проводил полевые исследования, производил отбор проб, выполнял агрохимические исследования, проводил анализ растительных и почвенных образцов, определял структуру урожая, проводил учет засорённости, оценивал урожайность, определял показатели качества зерна и экономические показатели, проводил математическую обработку экспериментальных данных, обосновывал и обобщал результаты научного исследования, анализировал и обобщал результаты исследований по озимой пшенице, проведенные в разных странах, готовил к публикации результаты исследований.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, рекомендаций производству, списка литературы и приложений. Объем основного текста диссертационной работы – 141 страница. Список литературы включает 204 источников, в том числе 128 иностранных. Диссертационная работа содержит 24 таблицы и 18 рисунков. Дополнительная информация приводится в 6 приложениях.

Благодарности. Автор выражает благодарность своему научному руководителю, профессору Белопухову Сергею Леонидовичу, за оказанную поддержку в проведении и подготовке научного исследования по диссертации. Также автор искренне благодарит всех сотрудников кафедры химии института Агробиотехнологии Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, заведующую кафедрой химии д.с.-х.н.

Дмитревскую Инну Ивановну, также Учебно-научный центр коллективного пользования «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» (руководитель Жевнеров А.В.).

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Биологические особенности озимой пшеницы

Пшеница (*Triticum aestivum* L.) относится к роду Poaceae (Gramineae), является третьей по величине производства зерновой культурой в мире, уступая только кукурузе и рису, но превосходя другие по площади уборки урожая. В 2023 году глобальное производство пшеницы достигло впечатляющих 787 млн т, подтверждая ее роль в качестве важного компонента глобальной продовольственной безопасности (FAO, 2022). Озимая пшеница составила около 63% глобального производства пшеницы в 2023 году, согласно данным CIMMYT (2023). Пшеница играет значительную роль в мировом рационе, обеспечивая около 55% потребляемых углеводов и 20% калорий пищи (Kenzhebayeva и др., 2019; Breiman и др., 2013).

Пшеничный крахмал служит ценным источником энергии в питании, обеспечивая примерно 1550 кДж/100 г (Cauvain, 2012; Guragain, 2014). Кроме того, пшеница содержит белок, массовая доля которого колеблется от 9% до 18% в зерне (Shewry, 2009; Shewry, 2015). Кроме того, пшеница является хорошим источником пищевых волокон, при этом содержание волокон в белой муке обычно составляет около 2,0-2,5%. Это содержание волокон способствует поддержанию здоровья пищеварительной системы и может помочь в контроле веса (Khan, Shewry, 2009).

Корневая система пшеницы является важной составляющей структуры растения и играет решающую роль в его общем успехе. Она характеризуется волокнистой корневой системой, состоящей из сети тонких и разветвленных корней, которые распространяются горизонтально по всему профилю почвы. В то время как основная корневая система концентрируется на глубине 15-25 см, некоторые корни могут проникать глубже, достигая впечатляющих 2,8 метра (Шпаар, 2008).

Корневая система пшеницы состоит из двух различных типов: семенных (зародышевых) и коронных (придаточных) корней. Семенные корни, происходящие от эмбриона, являются первичными корнями, которые образуются у молодого растения при прорастании. Коронные корни, с другой стороны,

являются придаточными корнями, возникающими из основных узлов пшеничного растения и в конечном итоге формирующими постоянную корневую систему (Das, 2008).

Стебель пшеницы является важной частью растения и характеризуется цилиндрической формой, суставами и гладкой поверхностью. Он служит опорной структурой для колоса и играет решающую роль в общем развитии пшеничного растения. Узлы стебля образуются через равные интервалы вдоль стебля, а промежутки между ними называются междоузлиями. Зрелые стебли пшеницы обычно имеют 5-6 сплошных узлов (Губанов, 1988; Морару, 1987). Междоузлия могут отличаться по структуре, быть полыми или заполненными рыхлой паренхимной тканью. Для обеспечения дополнительной поддержки верхние части междоузлий, а также некоторые нижние части, покрыты листовыми покровными чешуями. Эти листовые чешуйки механически укрепляют стебель, особенно когда он достигает зрелости (Setter и др., 2000). Сегодня солома пшеницы используется в недостаточной степени, но разработки ученых в последние годы позволяют солому пшеницы отнести к ежегодно возобновляемым источникам органических веществ, которые могут быть использованы в различных отраслях промышленности.

Средняя высота пшеничных растений может варьировать в зависимости от сорта и условий окружающей среды, обычно составляя от 60 до 120 см. Пшеница весеннего посева обычно имеет более низкий рост по сравнению с озимой пшеницей. Что касается цвета, то стебли пшеницы обычно описываются как белые, кремовые или золотисто-желтые.

Листовая структура пшеницы состоит из чешуи и листового лезвия. Чешуя, расположенная в нижней части листа, окружает и защищает стебель, в то время как листовое лезвие, находящееся выше, отвечает за фотосинтез. Листовое лезвие пшеницы имеет линейную и параллельную жилковатость, которая является характерной особенностью для семейства Poaceae (злаки). Средняя жила, наиболее заметная внутри листа, проходит через лезвие, особенно на его нижней стороне. Кроме того, нижняя поверхность листового лезвия обычно гладкая и не имеет ребер, что отличает ее от верхней поверхности (Морару, 1987).

На пересечении листового лезвия и чешуи можно наблюдать две структуры, называемые лигулой и ушками (Kirby, 2002). Лигула служит тонкой защитной пленкой, которая предохраняет лист от повреждений водой, в то время как ушки представляют собой небольшие придаточные выросты, обеспечивающие дополнительную поддержку для листового лезвия.

В листьях пшеницы они вырастают чередуясь на противоположных сторонах стебля: четные листья на одной стороне и нечетные на другой (Setter и др., 2000). Во время появления всходов пшеницы, эмбрион семени уже содержит три-четыре зародыша листьев, причем около половины из них уже начали развиваться (Baker, Gallagher, 1983a, 1983b; Hay, Kirby, 1991). Обычно, на главном побеге пшеницы образуется 7-12 листьев на протяжении вегетативной фазы (Губанов, 1988).

Среди этих листьев наиболее верхний, известный как флаговый лист, играет ключевую роль в поставке ассимилятов в развивающиеся зерна пшеницы. Примерно 64% ассимилятов, таких как питательные вещества и сахара, транспортируются через флаговый лист, в то время как второй лист вносит менее 12% в процесс транспортировки. Следовательно, любое разрушение или повреждение флагового листа может значительно снизить общий урожай (Морару, 1987; Шпаар, 2008).

Колос пшеницы - это специализированная структура, ответственная за производство и защиту семян у растения пшеницы. Он состоит из центральной оси, называемой основанием, которая покрыта маленькими похожими на листочки структурами, известными как початки. Колос имеет суставчатый стебель, с одним початком, расположенным на каждом суставе. Цветки пшеницы обладают гермафродитными, моноэцическими и неправильными (зигоморфными) характеристиками. Каждый цветок защищен двумя цветочными чешуйками: внешней (нижней) чешуйкой и внутренней (верхней) чешуйкой. У сортов с отжилками на нижней цветочной чешуйке есть отжилка. Основные части цветка, включая пестик с перистыми двулопастными рыльцами для эффективного захвата пыльцы и три тычинки, находятся между внешней и внутренней цветочными

чешуйками. Форма колоса пшеницы может быть классифицирована в три типа: фусоидальная (шпindelная), призматическая и клубневидная (Дорофеев и др., 1979).

За тычинками, у основания пестика, находятся две бесцветные маленькие чешуйки, называемые лодикулами, которые напоминают структуры, подобные палочкам. Во время цветения эти лодикулы увеличиваются в размере, помогая открыться цветку (Губанов, 1988). Колосья могут быть классифицированы по длине: как маленькие (до 8 см), средние (8-10 см) или большие (длиннее 10 см). Количество початков на колосе варьируется, большинство сортов имеют 12-14 початков. Цвет чешуек может быть белым или красным, а отжилки могут быть красными, белыми или черными, что может изменяться под влиянием внешних условий. Длина колоса, а также другие компоненты урожайности, такие как количество початков и зерен, могут варьироваться в зависимости от экологических, агрономических и других условий (Генаев и др., 2019).

Плодом является зерно. Размер зерна может варьироваться в зависимости от вида, сорта и условий выращивания: длина от 4 до 8 мм, ширина от 1 до 2,2 мм и толщина от 1,5 до 3,5 мм (Никитин, 1988).

Хорошо развитое зерно озимой пшеницы состоит из сросшихся плодовых оболочек и семенной оболочки, хорошо развитого эндосперма и зародыша. Зародыш составляет 2-5% общей массы зерна, в то время как эндосперм составляет 80-84%.

Во время появления всходов у пшеницы, эмбрион семени обычно содержит три-четыре зародышевых листа, причем почти половина из них уже начала формироваться (Baker, Gallagher, 1983a, 1983b; Hay, Kirby, 1991). Во время прорастания первыми растут семенные корешки, затем вырастает орешек, который защищает появление первого листа. Длина корешка ограничивает глубину посева, и его длина изменяется в зависимости от генотипа, но увеличивается только незначительно, когда семена сеют глубже (Kirby, 1993).

Пшеница - это культура, широко адаптированная к различным условиям. Ее выращивают в умеренных зонах с орошаемыми посевами, сухими и областями с

высокими уровнями осадков, а также в теплых, влажных или сухих, холодных окружающих регионах. Оптимальное содержание воды, необходимое для прорастания зерна пшеницы, составляет 35-45 процентов от массы зерна (Evans и др., 1975). Прорастание может происходить в диапазоне от 4° до 37°С, оптимальная температура составляет от 12° до 25°С. Размер семян не влияет на прорастание, но влияет на рост, развитие и урожайность. Большие семена имеют несколько преимуществ по сравнению с меньшими по размеру и массе семенами, такие как: более быстрый рост сеянцев, большее количество плодородных колосков на растении и более высокий урожай (Spilde, 1989). Преимущество больших семян проявляется, когда культура выращивается в условиях экологического стресса, особенно засухи (Mian, Nafziger, 1994).

1.2 Мировое производство пшеницы

Пшеница является важнейшей мировой зерновой культурой, служащей основным продуктом питания для значительной части населения мира. В глобальном сельскохозяйственном ландшафте площадь выращивания пшеницы составляет по данным ФАО 220,256 млн га (FAOSTAT, 2022).

По данным Министерства сельского хозяйства США (USDA), мировое производство пшеницы достигло значительного объема в 789,654 миллиона тонн в маркетинговом 2022-2023 году. Однако прогнозы указывают на небольшое снижение производства в следующем 2023-2024 году, с предполагаемым объемом производства 783,008 миллиона тонн. Это прогнозируемое снижение на 6,22 миллиона тонн или 0,79% в производстве пшеницы предполагает потенциальные факторы, влияющие на динамику глобального производства.

Китай является ведущим производителем пшеницы в мировом масштабе, превосходя все остальные страны по объему выращивания. В маркетинговом году 2022-2023 производство пшеницы в Китае превысило 137 млн т, что укрепило его положение крупнейшего производителя пшеницы в мире. Европейский Союз следует за ним, занимая второе место с существенным объемом производства в 134,3 миллиона тонн. Индия занимает третье место с производством пшеницы,

достигающим 110,554 миллиона тонн, в то время как Россия также вносит значительный вклад с объемом производства порядка 90 млн т. Эти ведущие страны - производители пшеницы, вместе взятые, составляют примерно 60,3% мирового производства пшеницы, оставшийся объем приходится на другие страны (USDA) (рисунок 1).

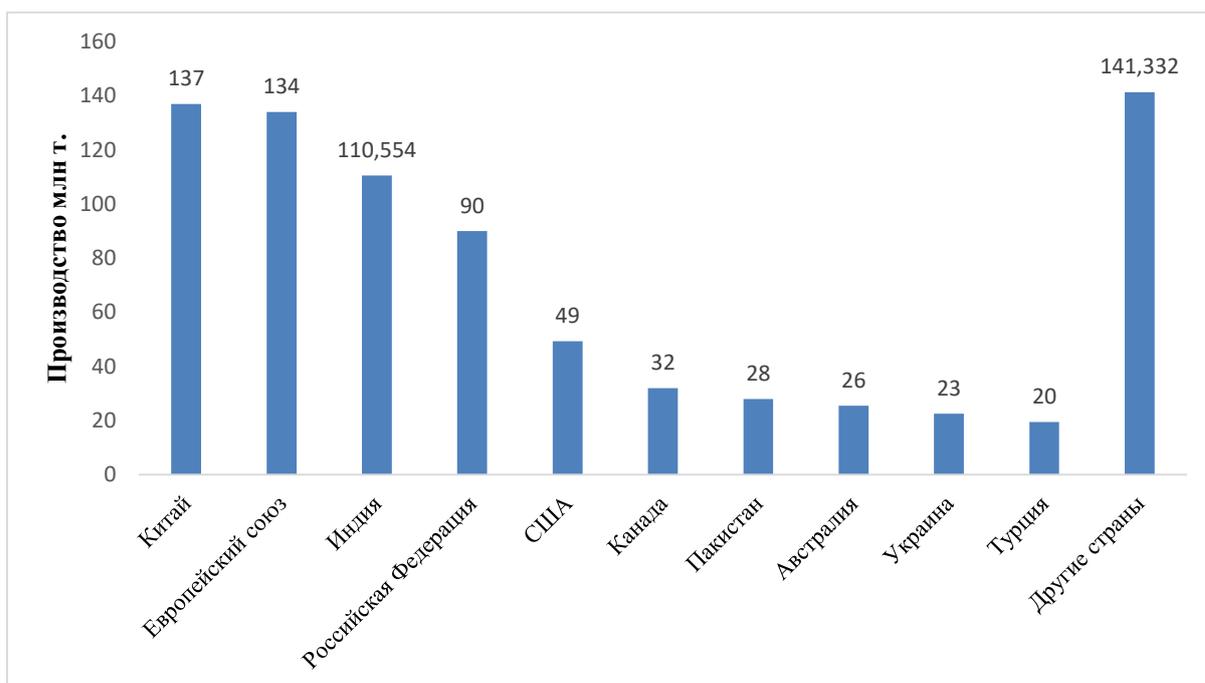


Рисунок 1 – Мировое производство пшеницы в разрезе основных стран-производителей в 2022-2023 гг. (USDA)

В глобальной торговле пшеницей несколько стран являются крупными экспортерами. Среди них лидирующее положение занимает Россия, экспортируя примерно 24% (50 млн т) пшеницы. За ней следует Европейский Союз, на долю которого приходится 18% (37,50 млн т) мирового экспорта пшеницы. Канада имеет долю в 11%, что эквивалентно 23,50 миллионам тонн, в то время как США и Австралия вносят по 10% (19,73 миллиона тонн) и 9% (18,5 миллиона тонн) мирового экспорта пшеницы соответственно.

С другой стороны, если рассматривать импорт пшеницы, Китай выделяется как крупный мировой импортер, закупая примерно 12,5 млн т. Египет следует за ним с импортом 11,0 миллиона тонн, а Индонезия, Турция и Алжир импортируют

10,5 млн т, 10,0 млн т и 8,7 млн т пшеницы соответственно. Эти страны играют важнейшую роль в балансировке динамики мировой торговли пшеницей (USDA).

Средняя урожайность пшеницы в Афганистане менее 2 т/га, что в 1,5-2 раза ниже, чем в странах, расположенных рядом с Афганистаном (рисунок 2).

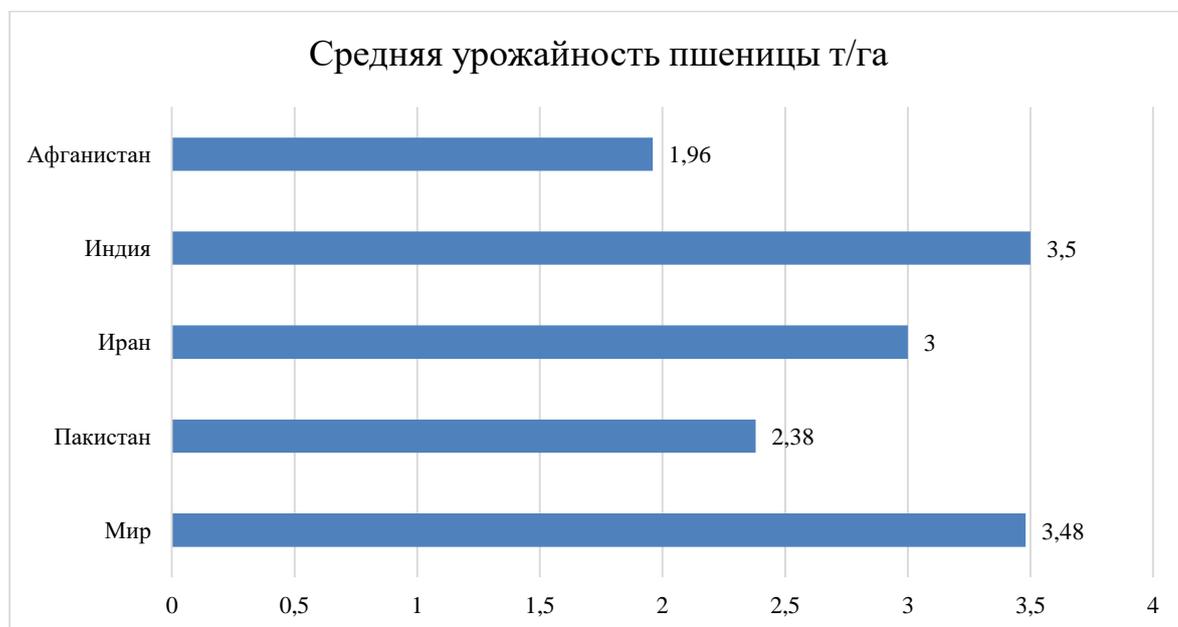


Рисунок 2 – Средняя урожайность пшеницы в ряде стран мира (по данным USDA)

Что касается урожайности озимой пшеницы в России, то по данным Росстата в 2023 году урожайность составила 40,9 ц/га, а площадь посева - 16,044 млн га. Лидерами по объемам высева в России являются сорта Скипетр, Алексеич, Гром, Таня, Безостая100 (Шокурова Е., 2023).

1.2.1 Производство пшеницы в Афганистане

В Афганистане выращивание пшеницы осуществляется как на орошаемых, так и на богарных землях. Страна выделяет значительную площадь земли - более 2,7 млн га - под производство пшеницы. Богарное выращивание пшеницы охватывает примерно 1 065 700 гектаров, что составляет меньшую, но важную часть производства. Напротив, орошаемое выращивание пшеницы охватывает 1 611 500 гектаров и обеспечивает более высокую урожайность, в среднем 2,50

тонны на гектар по сравнению с 1,09 тонны на гектар на богарных фермах (Foreign Agricultural Service, 2021).

Производство пшеницы в Афганистане колебалось в последние годы. По данным (FAO, 2022), производство пшеницы в стране в 2020 году составило 5,185 миллиона тонн. Однако из-за засухи производство резко сократилось до 4,018 миллиона тонн в 2021 году (Рисунок 3). Национальная средняя урожайность орошаемой пшеницы составляет 2,50 тонны/га, что ниже, по сравнению, например, с 3,5 тонны/га в Индии (Ramadas и др., 2019).

Хотя Афганистан выделяет значительные площади под пшеницу, разрыв между потребностью и производством зерна ощутим. Стране требуется 6,496 миллиона тонн пшеницы, а производство составляет лишь 5,185 миллиона тонн (NSIA, 2021).

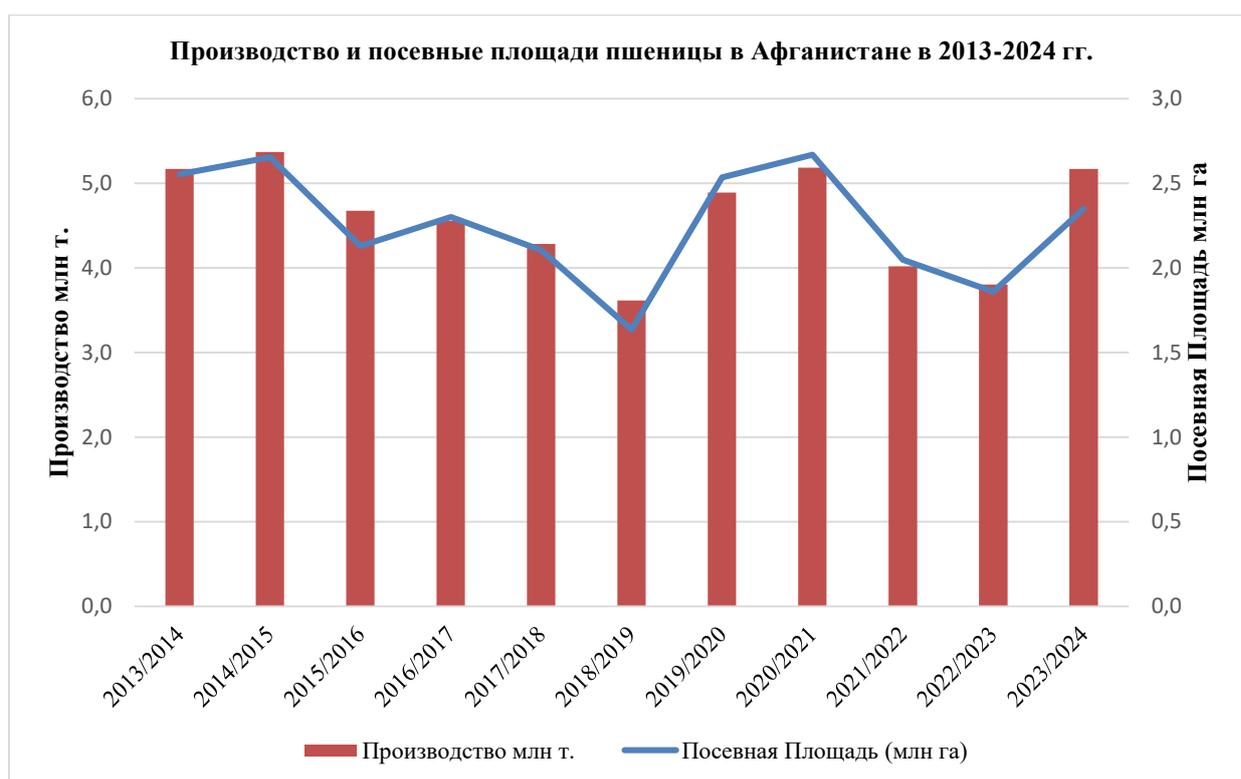


Рисунок 3 – Производство и посевные площади пшеницы в Афганистане в 2013-2024 гг. (USDA 2023)

Поэтому Афганистан в основном импортирует пшеницу и муку из соседних стран Казахстана и Пакистана, а по прогнозам USDA на 2022-2023 годы импорт составит около 3,4 миллиона тонн.

1.2.1.1 Сорты пшеницы в Афганистане

Пшеница имеет огромное значение как основная продовольственная культура в Афганистане, составляя большую часть производства зерновых. Тем не менее, производство пшеницы в последние десятилетия сталкивалось с нестабильностью, что привело к зависимости страны от импорта семян для удовлетворения ее сельскохозяйственных потребностей (Dreisigacker и др., 2019).

Для решения этой проблемы внедрение улучшенных сортов семян и реализация улучшенных методов управления сельскохозяйственными культурами были определены как важнейшие приоритеты для развития выращивания пшеницы в Афганистане. Введение новых сортов пшеницы продемонстрировало значительное увеличение урожайности, при этом некоторые сорта демонстрируют потенциал для увеличения урожайности до 52% (Zhang и др., 2013). Исследование, проведенное в Афганистане, показало, что использование только улучшенных сортов пшеницы может привести к увеличению урожайности до 33% при орошении, в то время как использование высококачественных семян может дополнительно повысить урожайность на 28% (Kugbei, 2011).

Хотя Национальная система сельскохозяйственных исследований Афганистана (ARIA) в настоящее время не имеет собственных исследований по селекции, сотрудничество с центрами CGIAR, такими как Международный центр улучшения кукурузы и пшеницы (CIMMYT) и Международный центр сельскохозяйственных исследований в засушливых районах (ICARDA), позволило разработать новые высокоурожайные и устойчивые к болезням сорта пшеницы (Kendal, Sayar, 2016).

С 2000 года Афганистан выпустил 40 новых сортов пшеницы (таблица 1), включая те, которые имеют потенциал для производства примерно 6 тонн на гектар в условиях орошения и до 3,8 тонн на гектар в условиях богарного земледелия (Sharma, Nang, 2018).

Таблица 1. Список зарегистрированных сортов пшеницы с 2000 года

№ п/п	Происхождение семян	Год	Культурный сорт
1	CIMMYT	2002	Solh -02
2	CIMMYT	2007	DARULAMAN-07
3	CIMMYT	2008	DRUKHSHAN-08
4	CIMMYT	2008	SHISHAMBAGH-08
5	CIMMYT	2009	MUQAWIM -09
6	CIMMYT	2009	KOSHAN -09
7	CIMMYT	2009	BAGHLAN -09
8	CIMMYT	2010	Chonte 01
9	CIMMYT	2013	Lalmi 04
10	CIMMYT	2013	Kabul 13
11	CIMMYT	2013	Bamyan-013
12	CIMMYT	2013	36th IDYN #41
13	CIMMYT	2013	36th IDYN #47
14	CIMMYT	2013	Balkh Dehdadi-013
15	CIMMYT/ICARDA	2013	Sheshambagh-013
16	CIMMYT/ICARDA	2013	Poza-e-shan-013
17	CIMMYT	2013	Herat Lalmi-013
18	CIMMYT/ICARDA	2013	Zarin-013
19	CIMMYT	2015	Wahdat-15
20	CIMMYT	2015	Afghan-15
21	CIMMYT	2015	Wafer-15
22	CIMMYT	2015	Lalmi-15
23	CIMMYT	2015	Bahar-15
24	CIMMYT	2015	Elhaam-15
25	CIMMYT	2017	Lalmi 17
26	CIMMYT	2017	Durum #3
27	CIMMYT	2017	Diana 17

Продолжение таблицы 1

28	CIMMYT	2017	Shamal 17
29	ICARDA	2000	LALMI-2
30	ICARDA	2000	LALMI-3
31	ICARDA	2013	Sheeshambagh-13
32	ICARDA	2013	Herat Lalm
33	French	2009	AUTAN
34	French	2009	MHO304
35	French	2009	EXOTIC
36	French	2009	SOISSONS
37	French	2009	ANDALOU
38	French	2009	GUADALOPE
39	French	2013	Bakhtar 13
40	French	2013	Milad 13

В исследовании, проведенном Dreisigacker и др. (2019), изучение выращивания сортов мягкой пшеницы в Афганистане проводилось с помощью ДНК-дактилоскопии. Исследование показало, что два сорта, CHONTE-01 (Чонт-01) (225 генотипов) и MUQAWIM-09 (108 генотипов), были наиболее распространенными среди фермеров.

Сорт CHONTE-01 - сорт пшеницы, появившийся в CIMMYT (Международном центре улучшения кукурузы и пшеницы) в 2010 году. Он характеризуется средней высотой растения и средним количеством колосков на колосе. Зерна CHONTE-01 янтарного цвета, а солома белая. Масса 1000 семян сорта составляет примерно 42 грамма. Потенциал урожайности CHONTE-01 может достигать 5,3 тонны с гектара (Obaidi и др., 2017, Obaidi и др., 2011).

Примерно 40% афганских фермеров не знают конкретных современных высокоурожайных сортов, которые они выращивают. Поставка семян пшеницы афганским фермерам в основном происходит из двух источников. Первый источник - правительственные поставки или такие учреждения, как CIMMYT

(Международный центр улучшения кукурузы и пшеницы). Однако из-за нехватки государственных поставок значительное большинство фермеров сильно зависят от самостоятельно сохраненных семян, полученных от соседей, друзей, родственников и других местных (Dreisigacker и др., 2019).

Анализ литературных данных показывает, что для условий Южного региона Афганистана выращивание озимой пшеницы способствует обеспечению населения зерном, при этом необходимо учитывать проведение комплекса агротехнических мероприятий по повышению урожайности и качества пшеницы с учетом сортовых особенностей и применения оптимальных доз для максимальной эффективности минеральных удобрений для получения высокой урожайности и качества озимой пшеницы.

1.3 Влияние минеральных удобрений (NPK) на рост, урожайность и показатели качества озимой пшеницы.

Пшеница является основным продуктом питания для миллионов людей во всем мире, и ее спрос неуклонно растет из-за увеличивающегося населения мира. Афганистан, среди других стран, сильно зависит от импорта пшеницы для удовлетворения внутренних потребностей. Такие факторы окружающей среды, как свет, вода, тепло и углекислый газ, имеют решающее значение для роста озимой пшеницы. Ключевые макроэлементы, необходимые для достижения высоких урожаев сельскохозяйственных культур, - азот, фосфор и калий (Мовсумов, 2003; Мельник, 2012; Долгополова, 2015).

Кроме того, обеспечение оптимального уровня минерального питания имеет важное значение для роста, развития и синтеза необходимых веществ в озимой пшенице, поскольку минеральные элементы играют жизненно важную роль во всех процессах роста и развития растений (Leghari и др., 2016; Sun и др., 2022; Li и др., 2022; Брежнев, 1976; Ториков, 1995; Носатовский, 1995). Хотя многочисленные исследования продемонстрировали значительное влияние оптимального уровня применения удобрений на урожайность и качество пшеницы, в Афганистане, особенно в Южном его регионе, необходимы дальнейшие исследования для

понимания конкретных эффектов влияния различных доз удобрений на рост, урожайность и качество пшеницы.

Настоящая работа направлена на то, чтобы устранить этот пробел путем обработки результатов исследований как местных, так и международных, чтобы обеспечить всестороннее понимание влияния применения минеральных удобрений на выращивание озимой пшеницы в Афганистане. Применение NPK-удобрений может оказывать сильное влияние на рост пшеницы (Malghani и др., 2010), урожайность (Абашев и др., 2017; Мовсумов и Кулиев, 2003), и качество (Hussain и др., 2002; Зеленин и др., 2011), но эти эффекты многогранны и зависят от различных факторов, таких как тип почвы, существующий уровень питательных веществ и специфические соотношения NPK.

Понкратенкова и др. (2018) обнаружили, что внедрение органо-минеральной системы удобрений с дозировкой не менее $N_{60}P_{60}K_{60}$, наряду с внесением 40 тонн на гектар навоза крупного рогатого скота, при выращивании пшеницы привело к значительному повышению урожайности. Средняя урожайность пшеницы достигла 3,53 тонны с гектара, что на 84% больше по сравнению с контрольной группой без внесения удобрений. Кроме того, содержание белка в зерне оставалось на удовлетворительном уровне около 10,3%, а масса 1000 зерен и натуральный вес составили 40,7 граммов и 820 г/л соответственно.

Высокие и стабильные урожаи сельскохозяйственных культур в основном обусловлены наличием таких макроэлементов, как азот, фосфор и калий, согласно исследованиям Листопадова И.Н., Шапошниковой И.М. (1984); Панникова В.Д., Минеева В.Г. (1987); Youssef и др. (2013), а также Тютюнова С.И. и др. (2020).

1.3.1 Влияние азота (N)

Параметры роста:

Азот - важнейший макроэлемент для роста и развития пшеницы, играющий решающую роль в различных физиологических процессах, таких как деление клеток, синтез белков и образование хлорофилла. Многочисленные исследования

показали положительное влияние азотных удобрений на озимую пшеницу, предоставляя ценную информацию о его воздействии на высоту растений, количество побегов и другие параметры роста.

Amjed Ali и др. (2006) провели исследование и обнаружили, что внесение 180 кг азота на гектар привело к наибольшему количеству побегов на квадратный метр (375,8) и высоте растений (82,35 см).

Абдуазимов А.М. (2019) также определил, что оптимальная доза азота для озимой пшеницы составляет 140-180 кг/га, что приводит к увеличению высоты, количества листьев и диаметра стебля растений пшеницы.

Аналогичным образом, Завалин, А.А., Пасынков, А.В. (2007) сообщили, что оптимальная доза азота для озимой пшеницы составляет 100-120 кг/га, что приводит к увеличению высоты, количества побегов и площади листьев растений пшеницы.

Кроме того, Maqsood, M и др. (2014) установили, что оптимальная доза азота для озимой пшеницы составляет 120 кг/га, что приводит к увеличению высоты, количества зерен в колосе и массы 1000 зерен.

Ali и др. (2005) провел исследование в Пакистане и установил, что оптимальная доза азота для озимой пшеницы также составляет 140-210 кг/га, что приводит к увеличению высоты, количества побегов, площади листьев, количества зерен в колосе и массы 1000 зерен растений пшеницы.

Более того, Hussain и др. (2015) обнаружили, что оптимальная доза азота для озимой пшеницы составляет 120 кг/га, что приводит к увеличению высоты, количества зерен на колосе, массы 1000 зерен, а также к повышению содержания белка и клейковины в зерне пшеницы.

Gorfu и др. (2000) провели исследование и наблюдали значительное влияние дозы азота на высоту растений. Самые высокие растения были зарегистрированы при применении более высоких норм азота, в то время как самые низкие были получены при более низких нормах азота. В частности, применение 80 кг азота на гектар привело к образованию более высоких растений по сравнению с применением более низких норм азота. Аналогичным образом, другое

исследование Liben и др. (2004) также продемонстрировало высоко значимую взаимосвязь между нормой азота и высотой растений. Самые высокие растения были получены при применении 138 кг азота на гектар.

Liaqat Ali и др. (2003) провели исследование в Вехари, Пакистан, и обнаружили, что внесение 150 кг азота на гектар привело к максимальному количеству побегов пшеницы (408,0 и 416,0 побегов на квадратный метр в сезоны работ 2000-2001 и 2001-2002 соответственно) на суглинистой почве.

Vannori и др. (2005) сообщили, что максимальное количество побегов пшеницы на квадратный метр (363) было получено при внесении 210 кг азота на гектар по сравнению с контрольной группой, в которой азот не применялся. Это исследование было проведено в Пешаваре, Пакистан, в сезоне 1998-99 годов.

Согласно исследованию, Ram и др. (2005), как высота растений, так и количество эффективных побегов на метр рядка значительно увеличивались с каждым последующим увеличением дозы азота, в диапазоне от 120 до 180 кг на гектар. Аналогичные результаты были получены Yadav и др. (2005) в Файзабаде, где внесение 180 кг азота на гектар привело к схожим результатам.

Уровень азота не оказал значительного влияния на высоту растений в исследовании, проведенном Otteson и др. (2007). Однако, другие исследования последовательно демонстрируют положительное влияние азота на высоту растений. Например, Sylvester-Bradley и др. (1996) продемонстрировали значительное и линейное увеличение высоты растений пшеницы при более высоких нормах внесения азота.

В другом исследовании, проведенном Kumar и др. (2007) в Варанаси, было обнаружено, что внесение 200 кг азота на гектар привело к увеличению высоты растений, числа побегов, числа листьев на растение, сухой массы, длины колоса, массы колоса, числа колосков в колосе, числа зерен в колосе, массы 1000 зерен, урожайности зерна и урожайности соломы пшеницы по сравнению с более низкими нормами внесения азота (80, 120 и 160 кг на гектар). Аналогично, Goswami, 2007 и Pandey и др. (2008) также сообщили о постепенном увеличении высоты растений с повышением уровня азота в своих исследованиях.

Кроме того, несколько исследований последовательно показали, что внесение азота оказывает положительное влияние на количество всходов, колосьев и побегов на квадратный метр в посевах пшеницы. Otteson и др. (2007) обнаружили, что более высокий уровень азота приводит к увеличению количества растений на квадратный метр, при этом максимальное количество наблюдалось при внесении 200 кг на гектар.

Аналогично, Hussain, Shah. (2002); Ayoub и др. (1995) наблюдали, что увеличение внесения азота приводит к увеличению количества продуктивных побегов на единицу площади. Tilahun и др. (2008) обнаружили, что на участках, обработанных азотом, было больше колосьев по сравнению с контрольной группой, что указывает на то, что достаточное наличие азота повышает способность к кущению и приводит к более высокой плотности колосьев.

Исследование Ali (2010) позволило оценить влияние разного уровня азота (0, 70, 140 и 210 кг/га) на сорта пшеницы Инклуб-91 и Бахар-2000. Сорт Бахар-2000 на всех стадиях роста и развития демонстрировал значительно более высокие растения и образование большей биомассы по сравнению с Инклуб-91. Каждый рост уровня азота приводил к заметному увеличению высоты растений. Бахар-2000 также показал значительно большее количество побегов и продуктивных побегов, особенно при внесении 210 кг/га азота. Кроме того, Бахар-2000 имел более высокую массу 1000 зерен и урожайность зерна по сравнению с Инклуб-91.

Другие исследования также подтверждают положительное влияние азота на рост и урожайность пшеницы. Das и др. (2003) наблюдал самые высокие растения при внесении 180 кг/га азота. Аналогично, Есаулко и др. (2021) сообщили о значительном увеличении высоты растений с ростом доз азота. Ahmed, Hossain (1992); Patel, Upaddhyay (1993); Ожередова и др. (2022) также сообщили о постепенном увеличении высоты растений с внесением азота.

Относительно количества побегов на квадратный метр, Ali и др. (2011) обнаружили, что все обработки азотом привели к значительному увеличению количества побегов по сравнению с контрольной группой. Kumar и др. (2024) провели эксперимент в Пакистане в сезон «раби» и наблюдали, что наибольшее

количество продуктивных побегов на квадратный метр (415), масса 1000 зерен (41,2 г) и урожайность (5160 кг/га) были достигнуты при норме азота 150 кг/га. Внесение азота в объеме 175 кг/га привело к наибольшему количеству колосьев, а максимальная высота растений была получена при внесении 200 кг/га азота.

Nameed и др. (2003) обнаружили, что внесение 180 кг/га азота привело к наибольшему количеству побегов на квадратный метр (369,0), а увеличение уровня азота привело к большему количеству побегов на квадратный метр. Auoub и др. (1994) провели эксперимент с различными дозами азота (0, 60, 120 и 180 кг/га) и сообщили о значительном увеличении количества побегов на растение при более высоких уровнях азотного удобрения.

Показатели урожайности и урожайность пшеницы:

Оптимальная доза азота для производства пшеницы зависит от ряда факторов, включая тип почвы, агроклиматические условия, сорт пшеницы и методы управления. Однако исследование Tabak, (2020), показало, что средняя оптимальная доза азота для пшеницы в мире составляет 150 кг N/га. Ториков (1995); Политыко и др. (2011); Зотиков (2011); Недбаев, Ильютенко (2013); Гуреев, Климов (2015) обнаружили, что оптимальные дозы минерального азота для озимой пшеницы составляют от 80 до 120 кг/га.

Комплексное исследование было проведено Soofizada (2023) для изучения влияния азотной и фосфорной подкормки на урожайность, качество и экономическую отдачу озимой пшеницы (*Triticum aestivum*, L.) в четырех различных агроклиматических зонах Афганистана. Исследование выявило устойчивую закономерность увеличения урожайности соломы и зерна при повышенных нормах внесения азота во всех опытных участках. В соответствии с ожиданиями, азотное удобрение оказалось наиболее влияющим фактором, определяющим концентрацию белка, подчеркивая потенциал дальнейшей оптимизации методов управления азотом. Эти результаты согласуются с предыдущими исследованиями Kostić и др. (2021); Haile и др. (2012); Guarda и др. (2004), предоставляя дополнительные доказательства положительного влияния

азотного удобрения на производство пшеницы.

Исследование, проведенное Agha и др. (2016), показало, что увеличение внесения азота оказало значительное влияние на различные параметры роста и урожайности озимой пшеницы в Южном регионе Афганистана. Исследование продемонстрировало, что применение более высоких уровней азота положительно повлияло на количество побегов на единицу площади, высоту растений, длину колоса, количество зерен в колосе, массу 1000 зерен и общую урожайность зерна по сравнению с контрольной группой. Среди испытанных уровней азота внесение 160 кг N на гектар привело к максимальной урожайности зерна, со значительным увеличением всех параметров роста и урожайности.

Эти результаты согласуются с результатами, полученными Ali и др. (2011), который также обнаружил значительное положительное влияние повышенных уровней азота на параметры роста и урожайности озимой пшеницы. Исследование Амджеда Али показало увеличение количества побегов на единицу площади, высоту растений, длину колоса, количество зерен в колосе, массу 1000 зерен и урожайность зерна при более высоких уровнях азота по сравнению с контролем. Среди испытанных уровней азота внесение 180 кг N на гектар привело к самой высокой урожайности зерна - 3,85 тонны на гектар.

Прокина (2015) обнаружила, что добавление азотного удобрения (N₃₀-60-90) к озимой пшенице, выращиваемой после подсолнечника, увеличило урожайность на 0,28-0,55 тонн с гектара по сравнению с фосфорно-калийным фоном. Ториков (2015) установил, что применение минеральных удобрений осенью (N₉₈P₆₄K₁₂₄) и двух подкормок весной (по N₃₀) увеличило урожайность озимой пшеницы на 25,6%, а содержание белка на 0,8% по сравнению с контролем. Аналогично, Асланов (2006) сообщил, что внесение азотных удобрений вместе с другими необходимыми минералами значительно улучшило урожайность пшеницы. Было определено, что оптимальная дозировка минеральных удобрений для достижения превосходной и высококачественной урожайности зерна озимой пшеницы на каштановых орошаемых почвах в Азербайджане составляет N₉₀ P₉₀ K₆₀.

На основе обширных многолетних исследований (Смуров, Агафонов,

Гапиенко, 2011; Ториков и др., 2012; Плечов, 2012; Полоус, Войсковой, 2013; Мамеев, Сычева, Сычев, 2015) установлено, что азотные удобрения следует вносить поэтапно во время органогенеза растений. Учитывая высокую растворимость большинства азотных удобрений, часть из них вносится осенью, а остальные распределяются весной и летом в периоды активного роста растений, когда потребность в азоте максимальна. Научно подтверждено, что внесение азота можно повторять до четырех раз на различных этапах. Такой методический подход позволяет повысить урожайность до 8% при однократном внесении и до 70% при четырехкратном внесении по сравнению с контрольными группами.

В исследовании, проведенном Ишковым (2008), оптимальной стратегией азотного удобрения была признана схема внесения N_{30} перед посевом, затем N_{30} ранней весной, N_{30} во время кущения и N_{20} во время колошения. Этот четырехэтапный режим удобрения привел к урожайности 4,28 тонн с гектара, превзойдя однократное ранневесеннее внесение азота на 0,22-0,48 тонн с гектара и вариант без подкормки на впечатляющие 1,21 тонны с гектара. Шеуджен (2015) сообщил, что оптимальное раздельное внесение азота под пшеницу составило 80 кг/га осенью и 40 кг/га весной, а именно в начале фазы колошения. Такой подход обеспечил наивысшие значения как урожайности, так и качества зерна.

В исследовании Кожухаря (2009) на Бородянской испытательной станции сортов в Украине было отмечено, что внесение $N_{60-90}P_{60}K_{60}$ (комбинация азота, фосфора и калия) в качестве основной дозы привело к увеличению урожайности на 2,0 тонны с гектара по сравнению с контрольной группой. При использовании $N_{60-90}P_{60}K_{60}$ в качестве основной дозы вместе с подкормкой урожайность увеличилась на 1,9-2,1 тонны с гектара по сравнению с контролем. Внесение $N_{60-90}P_{60}K_{60}$ только в качестве основной дозы привело к увеличению урожайности на 1,0 тонну с гектара, а сочетание с подкормкой увеличило урожайность на 1,2-1,4 тонны с гектара.

Аналогично, Ханикаев (2020) также провел исследование по применению удобрений для озимой пшеницы. Было обнаружено, что использование доз $N_{50-150}R_{40-120}K_{40-120}$ привело к увеличению урожайности зерна от 0,97 до 2,95 тонн

с гектара, что представляет собой повышение урожайности на 31% - 95%.

Ranchal и др. (2008) обнаружили, что урожайность культуры, удобренной 160 кг N га⁻¹, была значительно выше, чем при 120 кг N га⁻¹, но приравнивалась к 140 кг N га⁻¹. При этом наивысшая урожайность зерна была получена при внесении азота в 2 равных приема, в фазе базального внесения и стадии развития первого узла. Это, очевидно, связано с большим количеством колосков и количеством зерен на колосе, массой 1000 зерен. Таким образом, потенциал урожайности и прибыли, обеспечивается внесением 140 кг N на гектар, разделенным на равные части в фазу базального внесения и стадии развития первого узла [Y1].

Ali и др. (2011) наблюдали, что наивысшая урожайность зерна пшеницы (3,85 т га⁻¹) была получена при внесении 180 кг N га⁻¹. Rahman и др. (2011) сообщили, что преимущество в урожайности пшеницы благодаря обработке азотом, т.е. 80, 100 и 120 кг га⁻¹, было обусловлено более высокой массой 1000 зерен и количеством колосьев на 1 кв. м при внесении 120 кг азота на гектар.

Качество пшеницы:

Азот является жизненно важным питательным веществом для пшеницы, влияющим на различные аспекты качества зерна, включая содержание белка и хлебопекарные свойства (Животков и др., 1989; Тютюнов и др., 2020). Адекватное азотное удобрение способствует хорошей динамике роста и развития растений, повышает эффективность фотосинтеза и стимулирует синтез белка, что приводит к увеличению урожайности зерна и содержания в нем белка. Кроме того, правильное внесение азота улучшает хлебопекарные свойства, укрепляя клейковину в тесте и позволяя формировать воздушный и пористый хлеб.

Однако чрезмерное внесение азота может привести к полеганию, растрескиванию зерен и увеличению содержания некрахмалистых углеводов, вредных для качества выпечки. Поэтому оптимизация качества пшеницы требует соблюдения баланса между достаточным и чрезмерным азотным удобрением.

Исследование Дзанагов и др. (2019) продемонстрировало, что внесение удобрений значительно улучшило химический состав и качество зерна пшеницы. Внесение удобрений привело к увеличению содержания белка и золы, улучшению

стекловидности и повышению содержания сырой клейковины. Эти положительные эффекты были особенно заметны при расчетной дозе $N_{110}-P_{90}-K_{70}$, которая обеспечила выдающуюся урожайность зерна 6,43 тонны с гектара, что позволило отнести зерно к самой высокой группе качества. Содержание белка достигло 15,5%, показатель стекловидности - 61%, а содержание сырой клейковины - впечатляющие 30,4%.

Правильное внесение азотного удобрения имеет решающее значение для производства высококачественного зерна пшеницы, которое также зависит от сроков внесения удобрений и вида предшествующей культуры. Завалин (2018) показал, что недостаточное или отсутствующее внесение азотного удобрения не позволяет получить зерно пшеницы, соответствующее стандартам качества продовольственного зерна. Азот из удобрений равномерно распределяется по всем фракциям белка в пшенице. По мере увеличения количества вносимого азота урожайность зерна сначала увеличивается, пока не достигает определенного уровня. После превышения этого порога содержание белка продолжает расти, но урожайность зерна остается стабильной.

Романов, Демиденко, (2020) обнаружили, что внесение азота значительно улучшило качество зерна пшеницы, увеличив содержание белка с 10,2% до 12,5% и повысив содержание клейковины с 23,7% до 28,6%. Аналогичным образом, исследование Zesević (2010) продемонстрировало положительное влияние азотного удобрения на качество озимой пшеницы. Исследование показало, что внесение азота значительно увеличило седиментационное значение и содержание влажной клейковины в пшенице. Максимальное увеличение для обоих параметров наблюдалось при внесении азота в дозе 120 кг N/га.

Грандиозное исследование, проведенное Эджаем Warraich и др. (2002), установило убедительную связь между азотным удобрением и содержанием белка в зернах пшеницы. Исследование выявило замечательную положительную корреляцию, при этом наибольший процент белка был обнаружен в зернах с участков, получивших удобрение в дозе 180 кг N/га. Напротив, самый низкий процент белка был обнаружен в зернах с контрольных участков, где удобрение не

применялось. В своих исследованиях Пискунова (2018) получила, что наибольшее количество белка (11,93%) было получено при внесении азота в дозе N_{90} кг/га. Аналогичные результаты были получены Алферовым и др. (2019); Крончевым и др. (2011); Минакова и др., 2020.

Харитоновна и др. (2010) наблюдали, что наибольшее содержание клейковины было получено при внесении азота, достигнув 25,0%, по сравнению с 21,6% в контроле.

1.3.2 Влияние фосфора (P) Параметры роста

Фосфор (P) играет ключевую роль в оптимизации параметров роста озимой пшеницы, способствуя повышению урожайности и улучшению качества зерна. Адекватное фосфорное питание улучшает развитие корней, что приводит к более высоким растениям с увеличенным кущением и расширенным индексом листовой площади. Этот улучшенный фотосинтетический потенциал и более прочные стебли поддерживают более тяжелые головки зерна, уменьшая полегание и повышая урожайность зерна.

Многочисленные исследования последовательно демонстрируют, что применение фосфора на посевах пшеницы оказывает значительное положительное влияние на различные параметры роста. К ним относятся увеличение высоты растений, большее количество побегов на растение и повышение урожайности как соломы, так и зерна по сравнению с контрольными условиями. (Божков, Бирюкова 2012; Barber, 1995; Alam и др., 2002; Dahnke, 1983).

Оптимальное содержание фосфора для выращивания пшеницы зависит от различных факторов, таких как тип почвы, существующие уровни фосфора, климатические условия и конкретный сорт пшеницы. Исследования показали, что внесение фосфора может значительно влиять на рост и урожайность. Chaudhary и др. (2003) отметили увеличение высоты растений, накопления сухого вещества, количества побегов и содержания хлорофилла при внесении до 60 кг P_2O_5 /га. Hussain и др. (2008) наблюдали рост высоты растений и образования побегов при

увеличении уровня фосфора до 90 кг P₂O₅/га.

Noonari и др. (2016) сообщили об увеличении продолжительности созревания, высоты растений, количества побегов, длины колоса, количества зерен, массы 1000 зерен, индекса сбора урожая и урожайности зерна при внесении 90 кг P/га. Majeed и др. (2014) обнаружили, что увеличение доз внесения фосфора приводит к более высоким растениям и большему количеству побегов. Максимальная высота растений достигалась при внесении 60 кг P/га, а наибольшее количество побегов на квадратный метр – при внесении 90 кг P/га.

Таким образом, выбор оптимального уровня фосфора должен учитывать конкретные условия выращивания и учитывать исследования для достижения высоких урожаев пшеницы.

Параметры урожайности

Оптимальные дозы фосфорных удобрений значительно повышают урожайность пшеницы до 20%, за счет улучшения развития корней, роста растений, увеличения листового индекса и повышения фотосинтетической способности. Фосфор также укрепляет стебли, предотвращая полегание и обеспечивая полное созревание растения, что приводит к повышению урожайности зерна. Эффективность фосфорного удобрения во многом зависит от наличия доступного фосфора в почве.

Исследования Кирпичникова и Бижана (2020) по влиянию фосфорных удобрений на урожайность и качество озимой пшеницы сорта Московская 39 показали, что систематическое применение фосфорных удобрений наряду с азотными и калийными значительно повышает урожайность данной сельскохозяйственной культуры. Применение оптимальных доз фосфора увеличило урожайность озимой пшеницы сорта Московская 39 в 3,1 раза по сравнению с контрольным вариантом.

Исследования Majeed и др. (2014) показали, что применение различных доз фосфорных удобрений значительно влияет на различные параметры роста растений, включая высоту растений, количество побегов, количество колосков, вес зерна, урожайность соломы и урожайность зерна. Среди опробованных доз

внесение 90 кг/га фосфорного удобрения DAP дало наилучшее соотношение затрат и прибыли (5,27) и соотношение стоимости и прибыли (5,29), что говорит о превосходной эффективности этой дозы с точки зрения экономической выгоды.

Исследование Ураимова (2015) указывает на фосфор как на ключевой фактор урожайности озимой пшеницы. Внесение 130 и 180 кг/га фосфора наряду с сбалансированным азотом (180 кг/га) и калием (60 кг/га) привело к самым высоким урожаям озимой пшеницы - от 4,1 до 4,5 тонн с гектара.

Аналогичным образом, Каренгина (2016) провела исследования и обнаружила, что применение фосфорных удобрений с различной растворимостью приводит к увеличению урожайности полевых культур при сбалансированном применении азота и калия. Прирост урожайности составил от 0,29 до 0,77 тонн зерна на гектар.

В целом, фосфор является важным элементом для оптимизации урожайности пшеницы. Адекватное фосфорное удобрение в сочетании с другими необходимыми элементами способствует развитию сильных растений и повышению урожая зерна. Выбор оптимальной дозы фосфора должен основываться на анализе почвы, конкретном сорте пшеницы и климатических условиях для достижения наилучших результатов.

Применение фосфора на истощенных почвах с низким содержанием этого элемента значительно повышает урожайность озимой пшеницы. Однако по мере увеличения содержания фосфора в почве влияние фосфорных удобрений снижается.

Исследование Алпысбаева (2016) показало, что внесение P60 на почвах с низким содержанием доступного фосфора (18-20 мг/кг) привело к увеличению урожайности зерна озимой пшеницы на 5,4 центнера/га. Однако при увеличении содержания фосфора до 28-30 мг/кг прирост урожайности от фосфорного удобрения уменьшился.

Verma и др. (2005) провели экспериментальное исследование влияния четырех доз фосфора (0, 30, 60, 90 кг/га) на пять сортов пшеницы, выращиваемых в условиях позднего посева. Среди испытанных сортов "Gomti" показал

наибольшую урожайность зерна и превосходные показатели по количеству колосков на квадратный метр, массе зерна на колос и массе 1000 зерен по сравнению с "Halna", "Indra", "HUV-234" и "HD-2285." Все сорта демонстрировали значительную положительную реакцию на фосфорное удобрение вплоть до внесения 60 кг P_2O_5 /га с точки зрения урожайности и экономических показателей. Более того, масса 1000 зерен и масса зерна на колос значительно увеличивались при внесении до 90 кг P_2O_5 /га.

Остаточный фосфор, оставшийся от предыдущих внесений удобрений или разложения сельскохозяйственных культур, может иметь сложное влияние на урожайность пшеницы. На истощенных почвах он может значительно повысить урожайность, непосредственно питая растения и улучшая развитие корней. Однако существуют оптимальные уровни – высокий остаточный фосфор может становиться менее доступным, ограничивая поглощение и даже ингибируя всасывание питательных веществ.

Исследование Бижан и др. (2019) показало, что известкование слабо возделываемой дерново-подзолистой почвы увеличило урожайность озимой пшеницы в 2-3 раза и улучшило качество и урожайность зерна. Остаточный фон фосфорных удобрений с прошлых лет сыграл значительную роль в повышении содержания белка, клейковины и фосфора в пшенице. Сочетание азотных и калийных удобрений с сохраняющимся эффектом фосфора еще больше улучшило как количество, так и качество пшеницы, в конечном итоге, повысив ее общую ценность.

Трунов и др. (2008) обнаружили, что озимой пшенице, выращиваемой на целинных землях, требуется различный уровень фосфора в зависимости от севооборота. Первая ротация хорошо растет на 120 кг P/га, разделенных на вспашку и посев (90 кг + 30 кг), наряду с 120 кг N и 60 кг K. Это обеспечивает максимальное кущение и качество зерна. Вторая ротация нуждается в меньшем количестве фосфора, хорошо справляясь с 60 кг P/га при вспашке плюс 120 кг N и 60 кг K, вероятно, за счет остаточного фосфора от первого года.

Внекорневая подкормка фосфором является перспективным методом

повышения урожайности озимой пшеницы, позволяя восполнить недостаток этого элемента в середине вегетационного периода. Однако эффективность данного метода зависит от ряда факторов, таких как сроки внесения, тип почвы и наличие фосфорного удобрения, внесенного в предшествующий период.

Исследование Mosali (2006) показало, что внесение фосфора в предшествующий период перед посевом приводит к более высокой урожайности зерна по сравнению с применением только внекорневой подкормки фосфором. Кроме того, совместное применение фосфора в предшествующий период и внекорневой подкормки привело к более высокой урожайности зерна, чем внесение 30 кг/га фосфора только в предпосевной период. Время проведения внекорневой подкормки фосфором также играет важную роль. В исследовании Mosali было обнаружено, что наилучшая урожайность зерна наблюдалась при внесении фосфора на стадии Feekes 10.54 по сравнению с другими сроками.

Исследование Arif и др. (2006) дополнительно подтверждает, что внекорневая обработка фосфором в сочетании с азотом (N) и калием (K) может значительно повысить урожайность озимой пшеницы. Такой подход увеличивает количество колосков, вес зерна и общую урожайность пшеницы.

Качество зерна пшеницы

Фосфор играет решающую роль в формировании качества зерна пшеницы, повышая содержание белка и прочность клейковины. Адекватное фосфорное питание способствует усвоению питательных веществ и фотосинтезу, что приводит к образованию более крупных зерен с высоким содержанием белка. Фосфор также укрепляет сети клейковины внутри зерна, улучшая эластичность теста и качество выпечки.

Найти оптимальный уровень фосфора – ключевая задача для обеспечения производства зерна высокого качества и предотвращения ущерба окружающей среде (Tanács и др., 2005; Imtiaz и др., 1995; Глуховцев, Санина 2015; Ториков, 2015).

Взаимосвязь между фосфором и качеством зерна пшеницы требует тонкой настройки. Исследования проливают свет на это взаимодействие, демонстрируя,

что, хотя увеличение фосфора может повысить урожайность пшеницы, оно также несет риск снижения содержания белка. Глуховцев и Санина (2015) изучили влияние уровня фосфорных удобрений на пшеницу со слабой клейковиной. Увеличение доз фосфора повысило урожайность зерна и эффективность использования фосфора, при этом снижая содержание белка.

Оптимальный уровень фосфора (108 кг/га P_2O_5) максимизировал как урожайность, так и качество, при этом сорта Yangmai 13 и Ningmai 9 продемонстрировали лучшую переносимость более высокого содержания фосфора. Отмечено, что этот оптимальный уровень способствует увеличению площади листьев, содержания хлорофилла и стабильной активности ферментов, что в конечном итоге приводит к превосходному качеству зерна у пшеницы со слабой клейковиной. Исследование Ali и др. (2020) показало, что внесение фосфора на уровне 90 кг/га привело к самым высоким значениям ключевых параметров, таких как масса 1000 зерен, урожайность зерна, содержание сырого протеина и содержание жира.

В исследовании Gaj и др. (2013) было установлено, что применение NPK-удобрений привело к значительно более высокой урожайности зерна - 6,6 тонн по сравнению с контрольной группой. Это на 32% больше, чем в контроле. Более того, исследование также показало, что минеральное удобрение повысило содержание белка и клейковины в зернах пшеницы по сравнению с контрольной группой.

Итак, фосфор – это мощный инструмент для улучшения качества пшеницы, но важно найти правильный баланс. Изучение тонкостей взаимодействия фосфора с другими факторами и сортами пшеницы позволит нам оптимизировать внесение удобрений, обеспечивая как высокие урожаи, так и зерно превосходного качества.

1.3.3 Влияние калия (K)

Параметры роста

Калий (K^+) является важным макроэлементом для растений пшеницы, влияющим на различные физиологические и биохимические процессы, определяющие рост, урожайность и устойчивость к стрессовым факторам. Он

играет жизненно важную роль в транспорте и метаболизме, облегчая газообмен, фотосинтез и перемещение питательных веществ к развивающимся зернам. Кроме того, калий укрепляет клеточные стенки, усиливает защитные механизмы и повышает устойчивость к засухе. Калий также способствует усвоению и использованию питательных веществ, оптимизируя эффективность использования ресурсов и минимизируя воздействие на окружающую среду. Адекватное потребление калия имеет решающее значение для повышения продуктивности пшеницы, качества зерна и общего состояния растений, поэтому целенаправленное внесение таких удобрений является основой устойчивого производства пшеницы (El-Mageed и др., 2023; Arif и др., 2017).

В исследовании, проведенном Мауга и др. (2014), было установлено, что калий оказывает значительное влияние на параметры роста пшеницы. Внесение 80 кг K_2O на гектар привело к увеличению значений высоты растений (86,54 см), сырой массы (20,96 г на растение), сухой массы (19,58 г на растение), количества колосков (393,09 m^{-2}), продуктивных стеблей (269,83 m^{-2}) и общего количества стеблей (315,45 m^{-2}). Эти значения были сопоставимы с внесением 60 кг K_2O на гектар и значительно превосходили внесение 40 кг K_2O на гектар и контрольную группу.

Singh и др. (2019) изучили влияние применения навоза и калия на урожай пшеницы на аллювиальной почве и обнаружили, что внесение навоза в дозе 10 тонн на гектар и калия в дозе 80 килограммов K_2O на гектар улучшило высоту растений, количество стеблей, количество колосков, длину колоса, количество зерен в колосе, вес 1000 зерен, а также урожай зерна и соломы.

Параметры урожайности

Для достижения максимальной продуктивности пшеницы, особенно в сложных гидротермических условиях, крайне важно обеспечить достаточное содержание калия в почве с помощью минеральных удобрений. Это не только повышает урожайность, но и регулирует содержание белка в зерне. В полевом эксперименте Мауга и др. (2013) изучали влияние калия на рост, урожайность и экономические показатели пшеницы. Они обнаружили, что повышение

содержания калия до 80 кг K_2O на гектар улучшало рост и урожайность, при этом самый высокий урожай зерна наблюдался при этом уровне. Интересно, что результаты при внесении 60 кг K_2O на гектар были статистически схожи, что позволяет предположить, что этого количества калия может быть достаточно для оптимальных показателей в данных условиях. Ваке и др. (2006) наблюдал, что водный стресс негативно влияет на накопление сухой массы в различных частях растения пшеницы, что приводит к значительному снижению урожайности зерна и связанных с ней характеристик. Однако интересным открытием стало то, что высокий уровень дополнительного внесения калия увеличивает накопление сухой массы и урожайность зерна.

Этот эффект был особенно заметен в условиях водного стресса по сравнению с нормальными условиями. Водный стресс не только снижает содержание сухого вещества, но и препятствует усвоению необходимых минеральных питательных веществ, таких как азот (N), фосфор (P) и калий (K). Однако применение более высоких уровней калия приводит к увеличению поглощения питательных веществ, что, по-видимому, способствует повышению урожайности зерна растений пшеницы в условиях водного стресса. Исследование Федюшкина и др. (2020), определило оптимальное сочетание удобрений $N_{60}P_{30}K_{60}$ как высокоэффективное средство смягчения воздействия погоды. По сравнению с контрольной группой эта конкретная доза NPK привела к увеличению урожайности от 9,3% до 92,8%, демонстрируя ее потенциал для повышения производства пшеницы даже в сложных условиях.

Наличие достаточного уровня легкодоступного калия в почве является важным фактором для достижения хорошей урожайности зерновых культур. Плотников 2019 г. обнаружил четкую связь между уровнем калия в почве и урожайностью зерновых культур. Более высокие уровни легкодоступного калия коррелировали с умеренным или сильным увеличением урожайности сельскохозяйственных культур, о чем свидетельствует коэффициент корреляции, варьирующийся от 0,44 до 0,81.

Среди различных сельскохозяйственных методов применение минеральных удобрений является ключевым рычагом для повышения урожайности озимой пшеницы, укрепляя его роль в качестве ключевого показателя эффективности (Агафонов и др., 2012). Кроме того, Шаповалова (2021) подчеркивает, что применение минеральных удобрений является одним из основных методов повышения как урожайности, так и качества сельскохозяйственной продукции.

Вместе калий, фосфор и азот оказывают значительное влияние на рост и урожайность пшеницы. Калий способствует усвоению питательных веществ и регулированию содержания воды, фосфор улучшает передачу энергии и развитие корневой системы, а азот стимулирует вегетативный рост и фотосинтез. В сочетании эти питательные вещества поддерживают сбалансированное питание, оптимальное взаимодействие питательных веществ и эффективное использование ресурсов в растениях пшеницы. Косолапова и др., 2020, изучили, что применение калия вместе с азотом и фосфором значительно увеличило урожайность (3,43 тонны) по сравнению с контрольной группой (1,77 тонны).

В исследовании Торикова и Осипова (2015) было установлено, что наибольшее увеличение урожайности по сравнению с контрольной группой было достигнуто путем применения минеральных удобрений, состоящих из (K_{124}) вместе с (N_{98} и P_{64}), а также двумя дополнительными подкормками N_{30} весной возобновление вегетации и в начале фазы кущения. Этот конкретный подход к применению удобрений привел к урожайности, превышающей 5,6 тонны на гектар, с влажностью зерна более 28%. Макаров (2023) провел исследование влияния минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы. Исследование показало, что применение $N_{40}P_{40}K_{40}$ в сочетании с N_{30} (аммиачной селитрой) и микроудобрением, оба внесенные весной во время фазы кущения, привело к наивысшей зарегистрированной урожайности 6,58 т/га. Эта урожайность была значительно выше, чем в контрольной группе, которая дала 5,82 т/га.

Качество пшеницы

Калий играет решающую роль в формировании качества пшеницы, выступая в качестве главного компонента в процессах роста и развития зерна. Достаточный

уровень калия усиливает множество процессов, в конечном счете влияющих на характеристики, которые мы ценим в хлебе и других хлебобулочных изделиях. Калий также влияет на качество белка, усиливая образование и эластичность клейковины (El Sayed, Hammad, 2007; Pettigrew, 2008). Однако поддержание сбалансированного снабжения калием является ключевым моментом.

В исследовании, проведенном Dawson и др. (2018), было отмечено, что внесение калия привело к значительному увеличению содержания белка в зерне. Кроме того, было обнаружено, что с увеличением нормы внесения К содержание белка в зерне также увеличивается. Самое высокое зафиксированное содержание белка составило 13%, когда при посеве вносилось 400 кг калия на га. При внесении подкормки наблюдалось чуть более низкое содержание белка - 12,9%.

В исследовании Holik и др. (2018), проведенном для оценки влияния минеральных удобрений и навоза на урожайность и качество зерна озимой пшеницы, было отмечено, что содержание белка и клейковины в пшенице зависит от применения калия в дополнение к удобрениям азота, фосфора и навоза. Среднее содержание клейковины варьировалось от 20,14% в контрольной группе до 30,17% в группе, где навоз применялся в сочетании с $N_{200}P_{56}K_{236}$ кг/га. Аналогично, самое высокое содержание сырого белка было зафиксировано в вариантах, где навоз применялся вместе с $N_{200}P_{56}K_{236}$ кг/га, со значением 13,21%. Напротив, в контрольной группе наблюдалось самое низкое содержание белка - 10,59%.

В то время как отдельные дозы применения калия обеспечивают достаточную урожайность, раздельное внесение удобрений в течение всего сезона вегетации пшеницы может значительно повысить качество, согласно Lu и др. (2014). Их исследование показало, что разделение дозы калия с начальным базовым внесением, за которым следует подкормка при кушении, привело к улучшению ключевых параметров качества по сравнению с единым, более крупным базовым внесением. Этот подход разделения привел к увеличению соотношения глютенина / глиадина, более высокому индексу полимеризации (что указывает на более сильную сетку клейковины) и более крупным частицам макрополимера глютенина, все из которых способствуют улучшению качества выпечки.

1.4 Влияние NPK на аминокислоты в озимой пшенице

Аминокислоты, являясь основными строительными блоками белков, незаменимы для роста, развития и метаболизма всех живых организмов, включая растения пшеницы. Получаемые главным образом из минерального азота, находящегося в почве, они играют ключевую роль в различных физиологических процессах, значительно влияя на общее здоровье и продуктивность растений (Новиков, 2012). Аминокислоты обеспечивают структурную поддержку, облегчают работу ферментов и регулируют процессы внутри клеток. Кроме того, аминокислоты служат предшественниками вторичных метаболитов, таких как фитогормоны и антиоксиданты, участвующих в сигнальных путях, взаимодействии растений с микробами и адаптации к окружающей среде (Новиков, 2012). Незаменимые аминокислоты, которые растения пшеницы не могут синтезировать самостоятельно и должны получать из почвы или через симбиотические отношения, особенно важны для роста и развития.

Кроме того, поглощение и транспортировка аминокислот внутри растения облегчаются проницаемостью клеточной мембраны, что позволяет использовать их в различных метаболических процессах. Исследования показывают, что удобрения на основе аминокислот улучшают поглощение питательных веществ растениями, повышая устойчивость к стрессам и общее здоровье растений (Veselá, Friedrich, 2009; Shafeek, 2014).

Азот (N), фосфор (P) и калий (K) являются жизненно важными питательными веществами для роста пшеницы, и их влияние на метаболизм аминокислот широко изучалось. Адекватное снабжение азотом повышает содержание незаменимых аминокислот в зернах пшеницы, улучшая как пищевую ценность, так и урожайность (Navlin и др., 2005). Дефицит фосфора связан с изменением состава аминокислот в зернах пшеницы, что подчеркивает важность фосфора для поддержания оптимального уровня аминокислот. Калий, хотя и не участвует напрямую в синтезе аминокислот, регулирует метаболические процессы, влияющие на метаболизм аминокислот в растениях пшеницы (Verkleij, 1992).

Комбинированное применение NPK-удобрений оптимизирует синтез и накопление аминокислот в зернах пшеницы, что приводит к более высоким урожаям и улучшению пищевой ценности (Ahmed, Aminuddin, Husni, 2006; Nardi, Pizzeghello, Muscolo, Vianello, 2002). Эффективность использования питательных веществ имеет решающее значение для повышения урожайности и качества сельскохозяйственных культур при минимизации ущерба окружающей среде. Rawal и др. (2022) провели эксперименты в Непале и обнаружили, что оптимальные нормы внесения N, P и K повышают эффективность использования азота пшеницей, при этом пшеница более отзывчива на азотные и калийные удобрения. Кроме того, Торикив и др. (2016) установили, что в Брянской области внесение $N_{98}P_{64}K_{124}$ с осени, наряду с двумя весенними подкормками азотом по N_{30} каждая во время весенней вегетации и кущения, привело к самому высокому урожаю зерна озимой пшеницы сорта Московская 39, а также к увеличению содержания аминокислот и макроэлементов в зерне.

2. УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Настоящее исследование проводилось и согласовано в рамках тематики Афганского национального университета сельскохозяйственных наук и технологий (ANASTU) в Кандагаре (Афганистан) по изучению влияния различных доз минеральных удобрений на урожайность и качество пшеницы (*Triticum aestivum*). Опыт в Южном регионе Афганистана был проведен в провинции Кандагар в зимнем сезоне 2020-2021, 2021-2022, 2022-2023 годов. В этой главе представлена информация о районе исследований, климатических и почвенных условиях, используемых экспериментальных материалах, примененных методиках и критериях оценки обработок экспериментальных результатов на протяжении всего исследования.

2.1 Объекты исследования

Характеристика сорта пшеницы

Сорт Чонт-01 - это современный сорт пшеницы, полученный в CIMMYT в 2010 году. Он характеризуется средней высотой растений и средним количеством колосков на колос. Одной из его заметных особенностей является устойчивость к различным болезням и вредителям, которые обычно поражают поля пшеницы, включая пыльную головню и ржавчину. Зерна Чонт-01 имеют янтарный цвет, а солома - белая. Сорт имеет массу 1000 зерен около 42 граммов. Что касается потенциала урожайности, то Чонт-01 может производить до 5,3 тонн с гектара.

2.2 Условия проведения исследований

Местоположение

Эксперимент проводился на исследовательской опытной станции Афганского национального университета сельскохозяйственных наук и технологий (ANASTU) в Кандагаре, Афганистан, в период 2020-2023 годов. Исследовательская станция занимает площадь 1000 гектаров и оснащена теплицами, сельскохозяйственной техникой для полевых работ и современным исследовательским лабораторным оборудованием. Особое внимание в эксперименте уделялось озимой пшенице, а именно сорту Чонт-01, поскольку

агроклиматические условия Южного региона Афганистана пригодны для выращивания именно озимой пшеницы.

Климат и погода

Кандагар расположен в южной части Афганистана, между 31° 30' северной широты, 65° 52'1 восточной долготы и на высоте 986 метров над уровнем моря. Климат здесь полусухой, субтропический, с резкими перепадами температур. Самый жаркий месяц - июль, со средней температурой 31,9 °С, а средняя минимальная температура самого холодного месяца, января, составляет 5,1 °С. Средняя месячная температура Кандагара колеблется в умеренном диапазоне 26,8 °С. Суточная амплитуда температуры составляет 16,7 °С. Средняя годовая относительная влажность составляет 38%, при этом средняя месячная относительная влажность колеблется от 23% в июне до 59% в феврале.

Среднегодовое количество осадков в регионе составляет около 190,6 мм, большая часть из которых выпадает в январе, феврале и марте. Самый сухой месяц - июнь, среднее количество осадков составляет 0,01 мм. Самый влажный месяц года - январь, со средним количеством осадков 54 мм. Подробные данные приведены на рисунках 4 и 5.

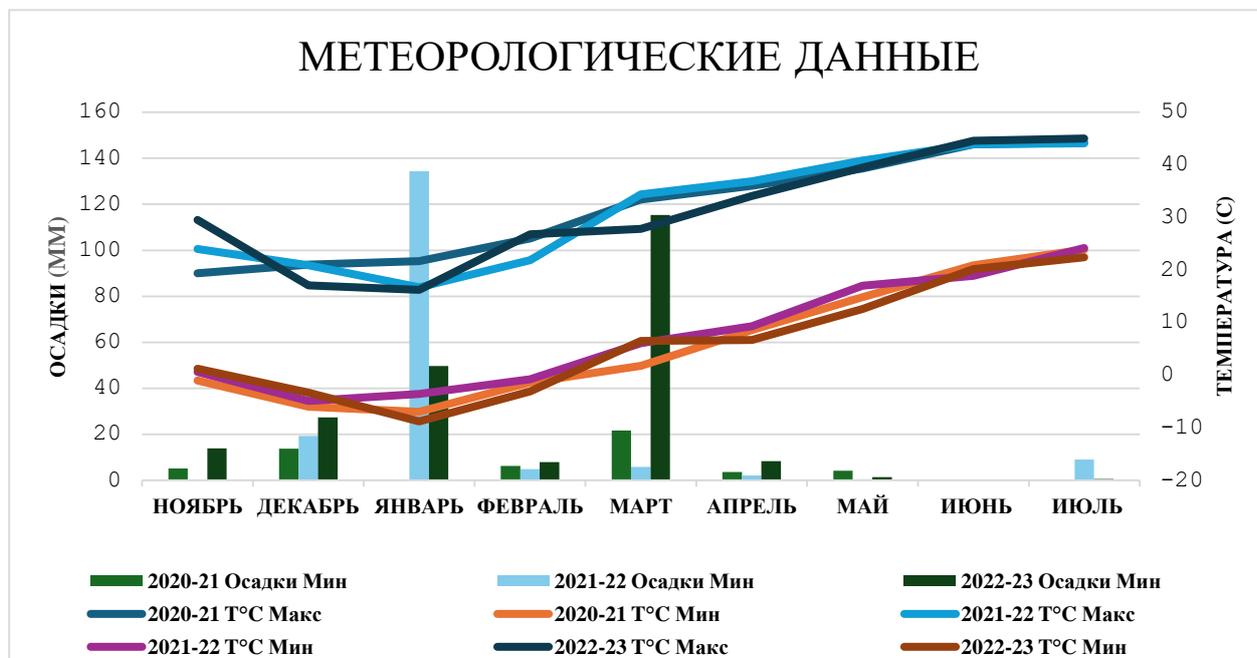


Рисунок 4 - Температура и количество осадков за период исследования в Афганском национальном университете сельскохозяйственных наук и технологий (Кандагар)

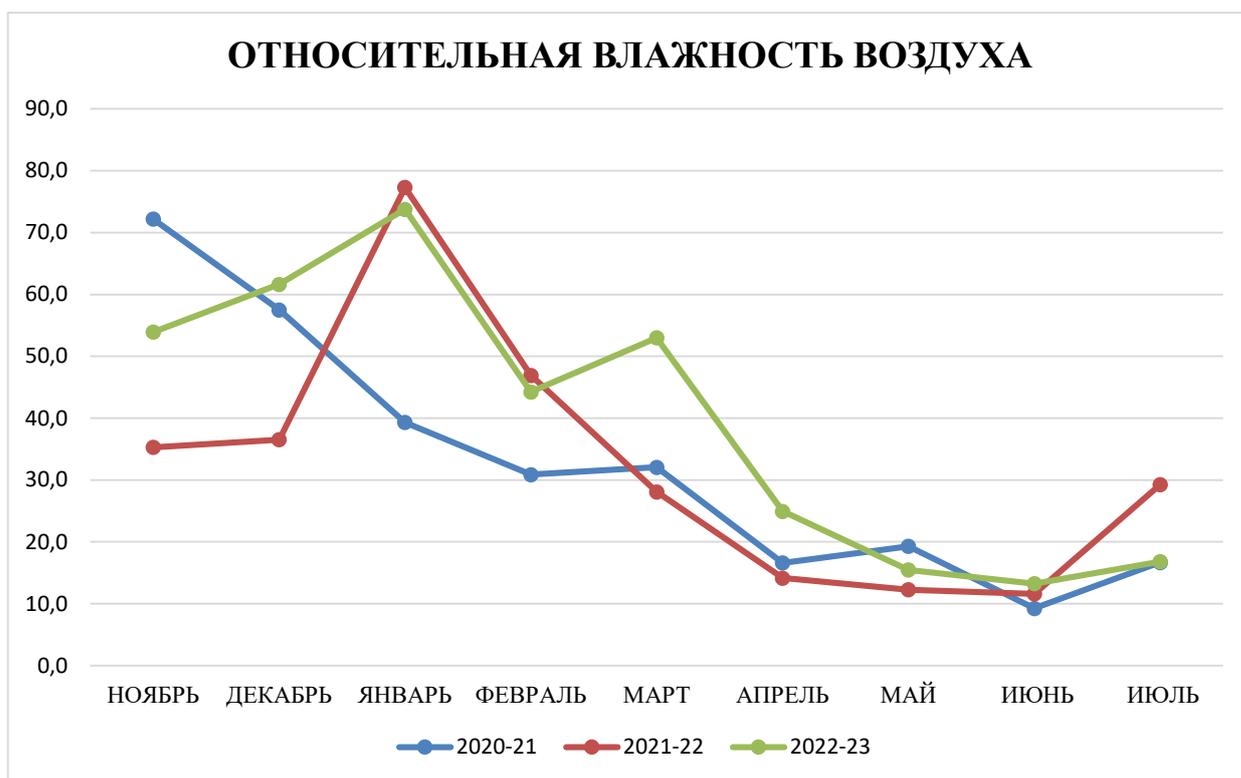


Рисунок 5 - Относительная влажность воздуха (%) за период исследования в Афганском национальном университете сельскохозяйственных наук и технологий (Кандагар)

Характеристики почвы экспериментального поля

Для определения физико-химических свойств почвы экспериментального участка образцы почвы отбирались случайным образом по всему полю на глубине 0–15 и 15–30 см. Представительная средняя проба была приготовлена путем смешивания всех этих образцов вместе. Почвенный образец после сушки был просеян через сито диаметром 2,0 мм и затем использован для механического и химического анализа. Почва на экспериментальном участке имела суглинистую текстуру и была почти нейтральной по pH (pH 7,24), относится к сероземам. Результаты анализа представлены в таблице 2. Дополнительные исследования почвенных образцов проведены в Учебно-научном центре коллективного пользования «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (Аттестат аккредитации ААС.А.00685, действителен до 18.05.2028г.).

Таблица 2. Физико-химические свойства почвы экспериментального участка

Свойство почвы	Значение	Метод анализа
А. Физические свойства		
Содержание песка (%)	44,1 %	Гидрометрический метод (Bouyoucos, 1962)
Содержание ила (%)	10,3 %	
Содержание глины (%)	45,6 %	
Гранулометрический состав	Суглинистый песок	USDA классификация текстуры почвы
В. Химические свойства		
NH ₄ -N (мг/кг)	10,2	Набор N-P-K тестов для почвы LaMotte SOIL NPK KIT
NO ₃ -N (мг/кг)	29,1	Набор N-P-K тестов для почвы LaMotte SOIL NPK KIT
Подвижный фосфор (мг/кг)	92	Набор N-P-K тестов для почвы LaMotte SOIL NPK KIT
Подвижный калий (мг/кг)	88	Набор N-P-K тестов для почвы LaMotte SOIL NPK KIT
Органический углерод, %	0,3	Метод Walkley and Black (Walkley and Black 1934)
pH	7,4	pH-метр

Таким образом, почва опытного участка в соответствии с классификацией USDA относится к суглинкам с параметрами, которые отражены на рисунке 6.

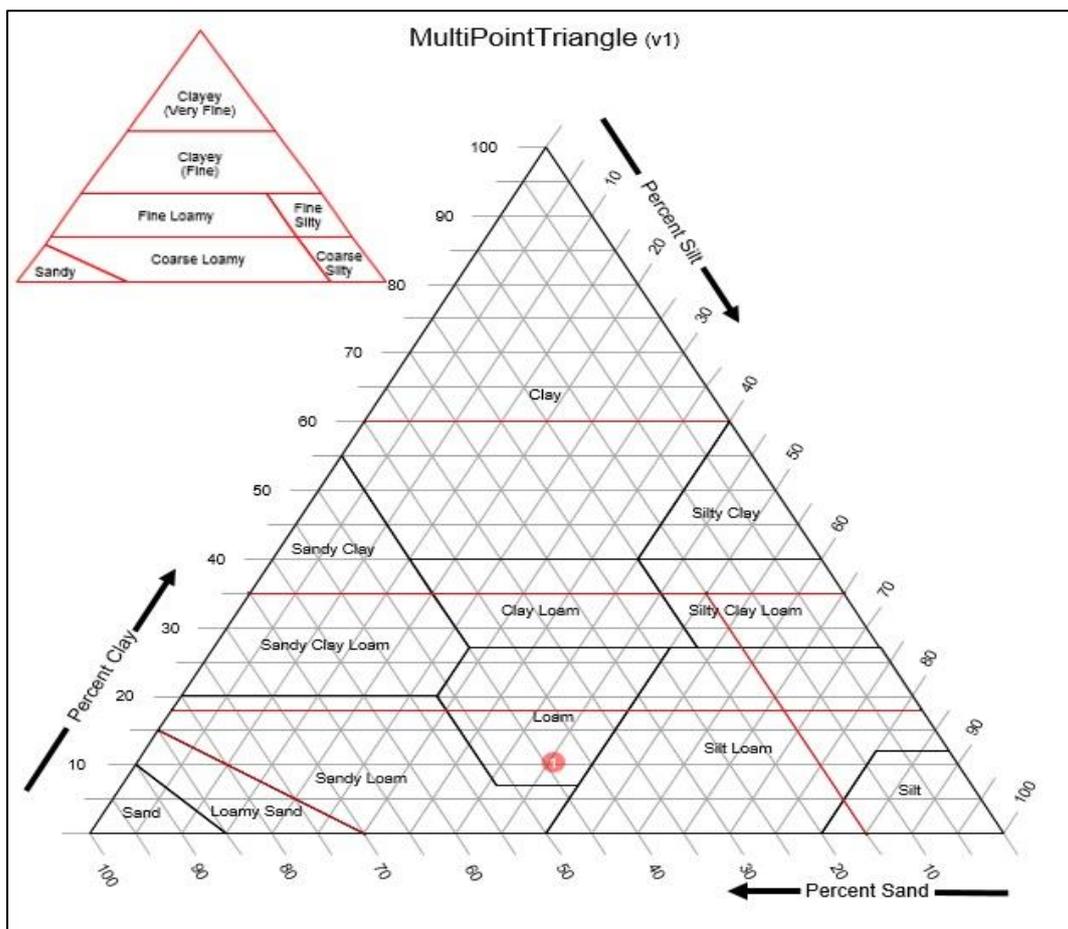


Рисунок 6 - Треугольник классификации текстуры почвы (USDA- soil-texture-calculator)

Агротехнические мероприятия

График агротехнических мероприятий, проведенных в течение всего периода исследования, представлен в таблице 4.

Таблица 4. График агротехнических мероприятий

№ п/п	Описание операций/агротехнических приемов	Дата
1	Первая вспашка зяби для обработки и борьбы с сорняками	04-06. 11.2020-22
2	Вспашка всего экспериментального поля	09-10. 11.2020-22
3	Разметка и подготовка полевых участков	13-16. 11.2020-22
4	Внесение удобрений	14-17. 11.2020-22
5	Посев	14-17. 11.2020-22
8	Второе внесение азота	18-23. 12.2020-22
13	Третье внесение азота	17-25. 02.2021-23
16	Уборка урожая	8-17. 05.2021-23
17	Обмолот	19-29. 05.2021-23

2.3 Методы исследования:

Детали эксперимента

Эксперимент был заложен по рандомизированному блочному дизайну (РБД) с 9 комбинациями обработок, включая два уровня азота (70 и 140 кг N га⁻¹), два уровня фосфора (30 и 60 кг P₂O₅ га⁻¹) и два уровня калия (30 и 60 кг K₂O га⁻¹) и один Контроль, повторность опытов 3-кратная. Размер каждой делянки составлял 3 м × 4 м с общей площадью 12 м², учетная площадь составляла 10 м². Озимая пшеница сорт Чонт-01 высевалась во вторую-третью неделю ноября и убиралась во вторую-третью неделю мая во все сезоны исследования. Норма высева для посадки пшеницы составляла 125 кг/га. Семена пшеницы перед посевом обрабатывались Витаваксом для защиты от грибных заболеваний. Подробности о применении питательных веществ в опытах представлены в таблице 3.

Содержание питательных веществ

Выбор конкретных комбинаций питательных веществ был основан на результатах предыдущих исследований и агрономических рекомендациях по выращиванию пшеницы в регионе. Выбранные обработки направлены на оценку индивидуального и комбинированного влияния азота, фосфора и калия на урожайность и качество пшеницы сорта Чонт-01.

Таблица 3. Варианты опыта по разным дозам питательных веществ

$T_0 = N_0P_0K_0$ (Контроль)	Контроль
$T_1 = N_{70}P_{30}K_{30}$	70 кг N + 30 кг P_2O_5 + 30 кг K_2O га ⁻¹
$T_2 = N_{70}P_{30}K_{60}$	70 кг N + 30 кг P_2O_5 + 60 кг K_2O га ⁻¹
$T_3 = N_{70}P_{60}K_{30}$	70 кг N + 60 кг P_2O_5 + 30 кг K_2O га ⁻¹
$T_4 = N_{70}P_{60}K_{60}$	70 кг N + 60 кг P_2O_5 + 60 кг K_2O га ⁻¹
$T_5 = N_{140}P_{30}K_{30}$	140 кг N + 30 кг P_2O_5 + 30 кг K_2O га ⁻¹
$T_6 = N_{140}P_{30}K_{60}$	140 кг N + 30 кг P_2O_5 + 60 кг K_2O га ⁻¹
$T_7 = N_{140}P_{60}K_{30}$	140 кг N + 60 кг P_2O_5 + 30 кг K_2O га ⁻¹
$T_8 = N_{140}P_{60}K_{60}$	140 кг N + 60 кг P_2O_5 + 60 кг K_2O га ⁻¹

Дизайн и планировка эксперимента

Все 9 вариантов обработки были распределены случайным образом в каждой повторности. Расположение делянок и повторений на поле показано на рисунке 7.

	Повторность 1		Повторность 2		Повторность 3	
Граница поля (ширина 2,0 м)	T6	Подводный канал (ширина 0,50 м)	T2	Подводный канал (ширина 0,50 м)	T4	Граница поля (ширина 2,0 м)
	T2		T8		T5	
	T5		T7		T6	
	T8		T1		T7	
	T7		T5		T2	
	T0		T0		T8	
	T3		T4		T0	
	T1		T6		T1	
	T4		T3		T3	
Главный водный канал (ширина 1,0 м)						

Рисунок 7 - План расположения эксперимента

Подготовка почвы

Перед посевом поле было полито водой один раз. Первая вспашка была проведена навесным дисковым плугом FKMDP-3 (FIELDKING), затем проводили обработку почвы - боронование, прикатывание, чтобы обеспечить твердость, рыхлость и ровность почвы, способствуя оптимальному прорастанию семян, с использованием комплекса FKENDHH-26-28.

Обработка семян

Семена пшеницы перед посевом были обработаны фунгицидом Vitavax 200FF (Uniroyal Chemical, USA) из расчета 3 г/кг семян для защиты от болезней,

передающихся через семена, пыльной головни, корневой гнили и ржавчины, обеспечивая здоровье и благополучие посевов пшеницы.

Норма высева и посев

Сорт пшеницы Чонт-01 был вручную посеян рядами с междурядьем 20 см. Семена были посеяны на глубину 4-6 см в почву. Для данного эксперимента использовалась норма высева 120 кг семян на гектар.

Применение удобрений (NPK)

Внесение азотных удобрений для озимой пшеницы проводили в три приема с использованием мочевины (46% N) на разных фазах роста. Во время посева вносили 25% азота в виде мочевины вместе с полной дозой фосфора и калия, DAP (46% P₂O₅, 18% N) и сульфата калия (50% K₂O). Оставшийся азот был разделен на два дополнительных приема: 50% азота внесли в фазе середины кущения, а оставшиеся 25% - в фазе цветения.

Поливы

Для облегчения подготовки почвы к выращиванию пшеницы был проведен предпосевной полив из расчета 0,5 м³/м². Впоследствии, в течение всего периода роста и развития пшеницы было проведено семь поливов из расчета 0,15-0,2 м³/м². Первый полив был проведен через 20 дней после посева, затем через 20 дней после первого полива проведен 2-й полив. 3-й полив проведен в середине февраля, затем 4-й, 5-й, 6-й и 7-й поливы проводили с интервалом 15 дней.

Борьба с сорняками

Для минимизации конкуренции между культурой и сорняками на 15-й и 45-й дни после посева (ДПП) была проведена ручная прополка в два этапа. Основными сорняками за годы исследований были: Сафлор шерстистый (*Carthamus lanatus L.*), Свинорой пальчатый (*Cynodon dactylon L. Pers.*), Малый фаларис (*Phalaris minor Retz.*). Засоренность сорными растениями не превышала 2-3 шт. на каждом опытном участке.

Уборка урожая

Пшеница была убрана с учетной площади делянок 8 мая 2021 года, 17 мая 2022 года и 11 мая 2023 года соответственно. Уборка проводилась вручную серпом.

После уборки все колосья были отделены и подсчитаны. Затем колосья и солому оставляли сушиться на месяц, после чего их массу измеряли для определения биологической урожайности. Зерна отделяли от колосьев для расчета урожайности зерна. В заключение, урожайность зерна, соломы и биологическую урожайность пересчитывали в тоннах с гектара.

Наблюдения

На разных стадиях роста культуры проводились следующие наблюдения:

Показатели роста

Высота растений

Для измерения высоты растений на учетной площади делянки были случайным образом выбраны и помечены двадцать пять растений. Высота главного побега измерялась от уровня земли до верхушки главного побега на стадиях 40, 70, 100 дней после посева и уборки урожая. Среднее значение по пяти растениям определяло среднюю высоту для каждой делянки и выражалось в см.

Количество побегов

Количество побегов подсчитывалось на одном квадратном метре, выбранном случайным образом на каждой делянке во всех трех повторностях.

Густота растений

На каждой делянке случайным образом выбирался участок площадью один квадратный метр, и растения, находящиеся в этой зоне, подсчитывались и регистрировались как густота растений. Результаты подсчета растений на экспериментальных участках представлены в таблице 5.

Таблица 5. Густота растений пшеницы на экспериментальных участках

Вариант	Густота стояния растений (шт./м ²)			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	208	189	229	209
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	202	199	232	211
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	210	220	235	222
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	214	211	233	219
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	208	201	237	215
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	216	207	239	221
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	215	214	240	223
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	222	209	240	224
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	219	217	247	228

Показатели урожайности пшеницы

Количество колосьев м⁻²

На стадии уборки урожая на учетной площади деланки случайным образом отбирался участок площадью один квадратный метр, который вручную убирался серпом. Затем колосья срезались и подсчитывались.

Количество колосков в колосе

На стадии уборки урожая с каждого участка случайным образом отбирались двадцать пять колосьев, подсчитывалось количество колосков и записывалось. Наконец, определялось среднее значение выбранных колосьев для каждого участка.

Количество зерен в колосе

На стадии спелости для изучения количества зерен в колосе с каждого участка случайным образом отбирались двадцать пять колосьев, которые обмолачивались и очищались. Подсчитывалось количество всех зерен колосьев, и для каждого участка рассчитывалось их среднее значение, чтобы определить количество зерен в колосе.

Длина колоса

Для каждого участка случайным образом отбирались двадцать пять колосьев, измерялась их длина, и эта общая длина делилась на число колосьев, чтобы получить длину колоса на колос.

Масса 1000 зерен

Из каждой пробы случайным образом отсчитывалось и взвешивалось на цифровых электронных весах 1000 чистых сухих семян. Результат выражался в граммах.

Урожайность зерна

Урожайность зерна, полученная после обмолота продукции каждого опытного участка, регистрировалась в кг на участок, затем пересчитывалась в т/га.

Урожайность соломы озимой пшеницы

Солому, собранную с чистой площади делянки, тщательно высушивали на солнце. Взвешивали солому и пересчитывали урожайность соломы в т/га.

Биологическая урожайность (т/га)

Биологическая урожайность рассчитывалась по следующей формуле:
Биологическая урожайность = Урожайность зерна + Урожайность соломы

Индекс сбора урожая (%)

Экономический урожай (зерно) делится на соответствующую биологическую урожайность, чтобы рассчитать индекс сбора урожая, как показано ниже:

$$\text{Индекс сбора урожая (\%)} = \frac{\text{Урожайность зерна (t га}^{-1}\text{)}}{\text{Биологическая урожайность (t га}^{-1}\text{)}} * 100$$

Показатели качества пшеницы

Параметры качества образцов пшеницы анализировали методом ближней инфракрасной спектроскопии (ГОСТ ISO 12099-2017, ГОСТ Р 71208-2024) с помощью спектрофотометра Spectra XT в Учебно-научном центре коллективного пользования «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» (Сертификат аккредитации № ААС.А.00685 до 18.05.2028).

Оценивались следующие характеристики: влажность, содержание золы, содержание белка, содержание жира, содержание клетчатки, содержание кальция, содержание фосфора и содержание клейковины. Спектрофотометр Spectra XT, подключенный к компьютеру, автоматизировал процесс анализа этих параметров путем измерения и количественной оценки соответствующих характеристик в образцах пшеницы. Результаты, полученные со спектрофотометра, дали ценную информацию об уровне влажности, минеральном составе, питательных компонентах и качестве клейковины образцов.

Синхронный термогравиметрический анализатор TGA/DSC 3+ с большой печью (LF)

С помощью синхронного термогравиметрического анализатора TGA/DSC 3+ проводились исследования для определения состава, термодинамических и кинетических характеристик биологических объектов. Образцы подвергались термическому анализу для оценки изменений массы при температурах до 1000 °С.

Автоматический анализатор аминокислот S433

Автоматический анализатор аминокислот S433 использовался для определения содержания аминокислот в образцах. Этот прибор обеспечивал точное и быстрое определение содержания аминокислот, что важно для оценки пищевой ценности и состава продуктов.

Автоматический анализатор азота (протеина/белка) по методу Кьельдаля Nanon K1100F с дигестором типа НУР

Этот анализатор применялся для определения содержания азота и белка в образцах по методу Кьельдаля. Использование дигестора типа НУР обеспечивало эффективное разложение образцов перед анализом, что позволило получать точные результаты по содержанию белка.

Система для анализа жира и влажности ORACLE+SMART6

Экспресс-анализатор ORACLE использовался для определения содержания жира в продукции. Микроволновый влагомер SMART 6 предназначен для быстрого

и точного определения содержания влаги. Эти приборы использовались в комплексе для оценки жировой и влажностной составляющей образцов, что важно для контроля качества и безопасности пищевых продуктов.

Анализатор клетчатки ANKOM DELTA

Анализатор клетчатки ANKOM DELTA применялся для автоматического определения содержания клетчатки в образцах, включая сырую, кислотно-детергентную (ADF) и нейтрально-детергентную (NDF) клетчатку. Это устройство позволяло эффективно анализировать содержание клетчатки в образцах, что важно для оценки их питательной ценности.

Анализатор (экстрактор) жира ANKOM XT10

Анализатор жира ANKOM XT10 использовался для экстракции жира по методу Сокслета. Этот метод обеспечивал точное и воспроизводимое определение содержания жира в образцах, что важно для анализа состава пищевых продуктов и кормов.

Автоматический анализатор азота/белка по Кьельдалю UDK159 с автоматическим дигестором DKL 20

Анализатор белка по Кьельдалю VELP Scientifica UDK 159 использовался для полностью автоматического определения содержания белка в образцах. Встроенный титратор обеспечивал точное и эффективное проведение анализа по содержанию белка в биологических объектах.

Оценка накопления химических элементов урожаем пшеницы методом электронной микроскопии

Микроскопический анализ пшеницы сорта Чонт-01 был проведен с использованием растрового электронного микроскопа Сохет EM-30 PLUS. Этот прибор идеален для высокоточного изображения, предлагая максимальное увеличение в 150 000 раз и разрешение до 5 нм. Ускоряющее напряжение можно регулировать от 1 до 30 кВ с шагом в 1 кВ, используется электронная пушка с вольфрамовым филаментом. Этот микроскоп использовался для изучения

состояния поверхности и элементного состава образцов пшеницы, что позволило детально наблюдать за микроструктурными изменениями и распределением загрязнений.

Экономическая оценка

Для оценки экономической эффективности различных вариантов обработки были рассчитаны общие затраты на производство, валовая прибыль (включая побочные продукты), а также чистая прибыль с использованием текущей рыночной цены использованных ресурсов и продукции. Отношение прибыли к затратам также рассчитывалось на основе общих затрат на производство.

Себестоимость выращивания (афгани/га)

Себестоимость выращивания была рассчитана на основе затрат (афгани на гектар), понесенных на отдельные операции, выполненные в соответствующих вариантах обработки, как показано в Приложении.

Валовая прибыль (афгани/га)

Валовая прибыль (афгани/га) рассчитана на основании урожайности зерна и соломы, а также их текущих рыночных цен.

Чистая прибыль (афгани/га)

Чистая прибыль (афгани/га) рассчитана по следующей формуле:

Чистая прибыль (афгани/га) = Валовая прибыль (афгани/га) – Себестоимость выращивания (афгани/га)

Отношение прибыли к затратам (Кэ)

Рассчитано по следующей формуле:

$Кэ = \text{Чистая прибыль (афгани/га)} / \text{Себестоимость выращивания (афгани/га)}$

Статистический анализ

Данные, полученные по различным наблюдениям за ростом, признаками урожайности, общей и чистой урожайностью, были проанализированы с использованием стандартных статистических методов.

Данные были проанализированы с помощью дисперсионного анализа (ANOVA), а значимость различий между различными вариантами обработки была проверена с

помощью F-теста. Для параметров, которые показали значимые различия на уровне 5%, были рассчитаны значения наименьшей значимой разницы (LSD).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В данной главе представлены экспериментальные результаты. Их необходимо обсудить в свете научных знаний и принципов современной агрономической науки. Интерпретации были сделаны с учетом факторов, влияющих на проявление результатов, и их обоснованность в свете результатов, полученных другими учеными, занимающимися в смежных областях исследований.

В настоящее время пшеница является важной, урожайной, прибыльной, а также адаптируемой культурой, рекомендованной для выращивания в Афганистане в целях обеспечения продовольственной безопасности страны. Тем не менее, нами предпринимались попытки сравнить текущие результаты с результатами исследований прошлых лет. Всем нам известно, что рост и урожайность растений являются результатом воздействия ряда факторов окружающей среды, почвенных условий, а также метаболических процессов, происходящих в самом растении. Такие факторы среды, как осадки, температура, относительная влажность, скорость ветра и продолжительность солнечного сияния, находятся вне контроля человека. Однако есть возможность регулировать и управлять многими почвенными, агрохимическими и агрономическими факторами.

Питательные вещества для растений необходимы сельскохозяйственным культурам, а удобрения являются важным источником их поставки. Для оптимизации роста, урожайности и качества пшеницы важно сбалансировать применение азота, фосфора и калия. Правильные методы внесения удобрений, обеспечивающие достаточный уровень этих питательных веществ, позволяют фермерам Афганистана достичь максимальной продуктивности, улучшить качество зерна и удовлетворить рыночный спрос. Конкретные потребности в питательных веществах могут варьироваться в зависимости от различных факторов, поэтому важно учитывать местные условия и соответствующим образом корректировать стратегии внесения удобрений. При этом необходимо учитывать,

что азот, фосфор и калий являются тремя основными макроэлементами, которые существенно влияют на рост, урожайность и качество пшеницы.

Азот имеет решающее значение для различных физиологических процессов в пшенице, включая деление клеток, синтез белка и образование хлорофилла. Оптимальная доза азота зависит от таких факторов, как тип почвы, климат и методы ведения сельского хозяйства. Адекватное азотное удобрение способствует росту растений, повышает эффективность фотосинтеза и стимулирует синтез белка, что приводит к увеличению урожайности зерна и содержания белка.

Фосфор играет ключевую роль в оптимизации параметров роста озимой пшеницы. Он улучшает развитие корневой системы, что приводит к получению более высоких растений с повышенной кустистостью и увеличенным листовым индексом. Адекватное фосфорное удобрение значительно повышает урожайность пшеницы за счет улучшения развития корней, более высоких растений, увеличенного листового индекса и усиленной способности к фотосинтезу. Фосфор также способствует улучшению качества пшеницы за счет повышения содержания белка и клейковины, что приводит к получению более крупных зерен с высоким содержанием белка.

Калий является важнейшим макроэлементом, влияющим на различные физиологические и биохимические процессы в пшенице. Он поддерживает газообмен, фотосинтез и перемещение питательных веществ к развивающимся зернам. Адекватное калийное питание имеет решающее значение для максимальной продуктивности пшеницы, особенно в сложных гидротермальных условиях, которые как раз и характеризуют условия выращивания озимой пшеницы в условиях Южного региона Афганистана. Калий регулирует содержание белка в зерне и играет важную роль в формировании качества пшеницы, влияя на такие ценные для хлеба и макаронных изделий характеристики, как текстура, объем и эластичность теста.

3.1 Влияние уровней минерального питания на ростовые показатели озимой пшеницы

3.1.1 Высота растений

Высота растений является важным компонентом урожая соломы. Было установлено, что высота растений пшеницы существенно зависит от применения различных уровней азота, фосфора и калия. Данные о высоте растений пшеницы на стадии зрелости под воздействием различных уровней азота, фосфора и калия представлены в таблице 6.

Таблица 6. Влияние NPK на показатели роста пшеницы в полузасушливых условиях Южного Афганистана.

Вариант	Высота растений (см)			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	65,2	64,8	72,8	67,6
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	71,7	72,2	85,8	76,6
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	75,1	74,1	85,8	78,3
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	79,2	76,1	87,4	80,9
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	79,1	74,8	84,9	79,6
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	81,2	78,3	85,9	81,8
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	84,4	80,7	85,1	83,4
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	84,1	86,2	89,5	86,6
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	86,2	87,5	90,5	88,1
НСР ₀₅	3,61	3,69	2,72	2,72-3,69

Внесение 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар оказалось наиболее эффективным приемом, что привело к увеличению показателя максимальной средней высоты растений до 88,1 см при уборке урожая за трехлетний период исследования. Эта величина на 30,3% больше, по сравнению с контролем. Варианты с применением 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O на гектар и 140 кг N + 30 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар, 140 кг N + 30 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O которые дали

среднюю высоту 86,6 см; 83,4 см; 81,8 см соответственно также превышали данный показатель по сравнению с контролем на 28,1; 23,4; 21,0% соответственно. В вариантах 70 кг N + 30 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O га⁻¹; 70 кг N + 30 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹; 70 кг N + 60 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O га⁻¹ также наблюдали прибавку в высоте растений на 13,3; 15,8; 19,7; 17,8% соответственно.

Эти данные коррелируют с результатами, которые наблюдали другие исследователи при изучении влияния минеральных удобрений на рост и развитие озимой пшеницы. Такой эффект связывается с тем, что азот играет особенно важную роль в процессе роста и развития растений, поскольку является ключевым компонентом хлорофилла, усиливающего фотосинтез и, следовательно, высоту растений. Данное исследование выявляет четкую зависимость между внесением азота и высотой растений пшеницы: более высокие дозы азота приводят к получению более высоких растений по сравнению с контрольными участками за все периоды исследования. Аналогичные наблюдения были сделаны Gorfu и др. (2000); Amjed Ali и др. (2006); Liben и др. (2004), где наибольшая высота растений ассоциировалась с повышенными нормами внесения азота, что указывает на зависимость роста пшеницы от дозы азота.

Влияние фосфора (P) на рост озимой пшеницы, особенно на высоту растений, было признано весьма существенным. Божков, Бирюкова (2012); Barbers (1995); Alam и др. (2002); Dahnkc (1983) пришли к выводу о значительном положительном влиянии фосфора на различные показатели динамики роста.

Как показано в таблице 6, внесение фосфора последовательно улучшало высоту растений пшеницы во все годы выращивания. Chaudhary и др. (2003) установили, что внесение до 60 кг P₂O₅/га значительно повышает высоту растений, накопление сухого вещества, количество побегов и содержание хлорофилла. Аналогичным образом, Majeed и др. (2014) наблюдали, что более высокие нормы фосфора приводили к более высоким растениям и большему количеству побегов, при этом максимальная высота растений (99,3 см) и самое высокое количество побегов на квадратный метр (460,3) наблюдались при внесении фосфора 60 кг и 90 кг P/га соответственно.

Калий (K^+) также является важнейшим питательным элементом для пшеницы, играя решающую роль в различных физиологических и биохимических процессах, которые улучшают рост, урожайность и устойчивость к стрессовым факторам среды.

Внесение калия, особенно в дозе 60 кг/га в сочетании с азотом и фосфором, как было доказано, значительно увеличивает высоту растений пшеницы в полусухих условиях Кандагара (таблица 6).

Maurya (2014) продемонстрировал, что калий оказывает существенное влияние на показатели роста пшеницы. Он показал, что внесение 80 кг K_2O /га заметно увеличивает высоту растений (86,54 см), сырой вес (20,96 г на растение), сухой вес (19,58 г на растение), количество колосков (393,09 м⁻²), продуктивных стеблей (269,83 м⁻²) и общее количество стеблей (315,45 м⁻²), что указывает на зависимость от дозы по сравнению с более низкими дозами и контрольной группой. Более того, Pavan Singh и др. (2019) обнаружили, что внесение навоза совместно с 80 кг K_2O /га значительно улучшает многие показатели роста, такие как высота растений, количество побегов, количество и длина колоса, количество зерен в колосе, вес 1000 зерен, а также урожайность зерна и соломы.

3.2 Действие различных условий минерального питания на урожайность и элементы структуры продуктивности озимой пшеницы в Южном регионе Афганистана

3.2.1 Количество колосьев на м²

Данные о влиянии действия минеральных удобрений на количество колосьев на единицу площади представлены в таблице 7.

Таблица 7. Влияние минеральных удобрений на количество колосьев на 1 м²

Вариант	Количество колосьев на м ²			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	201	207	259	222
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	288	292	341	307
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	306	299	338	315
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	306	302	345	318
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	314	312	356	327
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	313,3	306	346	322
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	326	322	365	338
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	343	333	368	348
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	351	349	379	359
HCP ₀₅	14	20	34	14-34

Результаты опытов выявили существенные различия между вариантами удобрения за три сельскохозяйственных сезона. Азотно-фосфорно-калийное (NPK) удобрение оказывает существенное влияние на количество колосьев в расчете на единицу площади поверхности у озимой пшеницы сорта Чонт-01, что является важным компонентом урожайности. Экспериментальные данные этой части исследования выявляют значительные различия между вариантами испытаний на протяжении трех вегетационных сезонов. Вариант обработки (140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар) неизменно демонстрировал самую высокую плотность колосьев, в среднем 359,4 колосьев на квадратный метр. Это существенно выше по сравнению с контрольными участками, где плотность колосьев была самой низкой и составляла 222,5 колосьев на м² (таблица 7).

Существенные различия были отмечены между вариантами 140 кг N + 30 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O га⁻¹ и вариантом с применением 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹, а также вариантами, в которых была использована доза азота 70 кг N на 1 гектар. По сравнению с контролем количество колосьев на единицу площади

поверхности в варианте $70 \text{ кг N} + 30 \text{ кг P}_2\text{O}_5 + 30 \text{ кг K}_2\text{O га}^{-1}$ превышало на 37,9%. В вариантах $70 \text{ кг N} + 30 \text{ кг P}_2\text{O}_5 + 60 \text{ кг K}_2\text{O га}^{-1}$, $70 \text{ кг N} + 60 \text{ кг P}_2\text{O}_5 + 30 \text{ кг K}_2\text{O га}^{-1}$ такое превышение над контролем составило 41,4; 42,8; 47,1% соответственно. Повышенные дозы азота в вариантах $140 \text{ кг N} + 30 \text{ кг P}_2\text{O}_5 + 30 \text{ кг K}_2\text{O га}^{-1}$; $140 \text{ кг N} + 30 \text{ кг P}_2\text{O}_5 + 60 \text{ кг K}_2\text{O га}^{-1}$; $140 \text{ кг N} + 60 \text{ кг P}_2\text{O}_5 + 30 \text{ кг K}_2\text{O га}^{-1}$ также обеспечили увеличение числа колосьев на единицу площади поверхности на 44,6; 51,8; 56,4% соответственно.

В проведенных ранее исследованиях Прокиной (2015); Торикова, Осипова (2015) также было отмечено положительное влияние азота на повышение урожайности за счет увеличения числа колосьев на единице площади поверхности и улучшение качества при правильном применении азота, фосфора и калия в оптимальных дозах.

Наше исследование согласуется с ролью фосфора и калия в увеличении параметров урожайности, как было показано в работах Ураимова (2015) и Каренгиной (2016), демонстрируя синергетический эффект при внесении этих питательных веществ в сбалансированных пропорциях.

Более того, Jan Agha (2016) обнаружил, что более высокие уровни азота значительно улучшают различные показатели роста, включая плотность колосьев. Аналогичным образом, Amjed Ali (2011) сообщает, что повышение уровня азота до 180 кг на гектар значительно улучшает показатели урожайности, в том числе за счет увеличения числа колосьев.

3.2.2 Количество колосков (зерен) в колосе

Количество колосков в колосе (шт./колос) существенно различалось при применении различных уровней азота, фосфора и калия. Анализ экспериментальных данных выявил достоверное различие в количестве колосков между вариантами. Вариант с самым высоким уровнем применения минеральных удобрений ($140 \text{ кг N} + 60 \text{ кг P}_2\text{O}_5 + 60 \text{ кг K}_2\text{O}$ на гектар) показал образование наибольшего количества колосков в колосе - 20,2 шт./колос, что превышает показатели вариантов с меньшими дозами вносимых удобрений и значительно

превосходит контрольные участки, где среднее количество колосков на колос составило 16,7 (таблица 8).

Так достоверные различия относительно контроля наблюдали для вариантов с применением 70 кг N + 30 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹, га⁻¹, 70 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹, где превышение было на 8,6 и 13,6% соответственно. При повышенных дозах азота в вариантах 140 кг N + 30 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O, 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O га⁻¹ и 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹ также отмечали достоверное увеличение от контроля в количестве колосков в колосе на 13,8; 13,0 и 21,0% соответственно.

Таблица 8. Влияние минеральных удобрений на количество колосков в колосе

Вариант	Количество колосков в колосе			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	15,9	16,6	17,6	16,7
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	17,2	17,2	17,4	17,3
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	18,8	17,4	18,2	18,1
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	17,2	18,0	18,5	17,9
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	19,3	19,2	18,4	19,0
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	18,2	18,0	18,8	18,3
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	19,2	18,4	19,4	19,0
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	19,8	18,4	18,4	18,9
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	20,9	20,1	19,6	20,2
НСР ₀₅	1,6	1,2	0,9	0,9-1,6

Исследования Косолаповой и др. (2020); Arif (2006); Прокиной (2015), помимо прочих, подробнее разъясняют взаимосвязь между внесением различных уровней питательных веществ и урожайностью пшеницы, подчеркивая, что стратегическое применение NPK-удобрений может существенно улучшить такие показатели урожайности, как количество колосков в колосе.

3.2.3 Длина колоса (см)

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что наибольшая длина колоса наблюдалась при внесении 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O на гектар. Однако в 2021 году вариант с комбинацией 140 кг N + 30 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар показал наибольшую длину колоса - 9 см, вплотную за ним следуют варианты 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O на гектар и 140 кг N + 30 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O на гектар, длина колоса у обоих составила 8,9 см (таблица 9). Эти результаты согласуются с исследованиями Jan Agha (2016); Каренгиной (2016) и Ханикаева (2020), далее подтверждая положительное влияние определенных комбинаций NPK на длину колоса пшеницы.

Таблица 9. Влияние минеральных удобрений на длину колоса, см

Вариант	Длина колоса (см)			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	7,6	7,3	7,7	7,5
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	7,6	7,6	8,5	7,9
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	7,9	7,8	8,6	8,1
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	8,2	7,2	8,7	8,0
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	8,2	7,0	7,7	7,6
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	8,9	8,2	8,1	8,4
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	9,0	9,0	8,5	8,8
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	8,1	8,4	8,6	8,4
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	8,9	9,1	8,9	9,0
НСР ₀₅	0,91	0,78	0,62	0,62-0,91

Таким образом, достоверные различия по влиянию разных доз минеральных удобрений на показатель – длина колоса (см) по сравнению с контролем отмечены только для вариантов с повышенными дозами азота: 140 кг N + 30 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O га⁻¹; 140 кг N + 30 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹; 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O га⁻¹

¹; 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹ и это превышение составило 11,7; 17,1; 11,2 и 19,0% соответственно.

3.2.4 Количество зерен в колосе

Данные таблицы 10 демонстрируют влияние азотно-фосфорно-калийного (NPK) удобрения на количество зерен в колосе пшеницы. Внесение NPK-удобрений в норме 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар привело к значительно большему количеству зерен в колосе (49,0) по сравнению с другими вариантами.

Этот факт согласуется с выводами Ваге и др. (2006); Косолаповой и др. (2020), которые показывают, что скоординированное применение азота, фосфора и калия способствует синергетическому эффекту и положительному влиянию на образование зерен. Наблюдаемое увеличение количества зерен в колосе подчеркивает практическую значимость правильных методов внесения удобрений при выращивании пшеницы.

Таблица 10. Влияние минеральных удобрений на количество зерен в колосе

Вариант	Количество зерен в колосе, шт.			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	34,7	34,3	39,3	36,1
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	40,0	37,3	43,0	40,1
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	39,7	37,0	43,0	39,9
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	41,0	38,3	44,3	41,2
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	39,7	36,7	44,7	40,3
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	42,0	39,0	46,0	42,3
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	45,7	42,7	48,7	45,7
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	46,0	43,0	49,0	46,0
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	49,0	46,0	52,0	49,0
НСР ₀₅	5,5	5,7	6,1	5,5-6,1

Таким образом, по данному показателю достоверные различия по влиянию разных доз минеральных удобрений на длину колоса (см) по сравнению с контролем были отмечены только для вариантов с повышенными дозами азота: 140 кг N + 30 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O га⁻¹; 140 кг N + 30 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹; 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O га⁻¹; 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹ и это превышение составило 17,2; 26,5; 27,4 и 35,7 % соответственно.

3.2.5. Масса 1000 зерен (г)

Одним из важных факторов, определяющих урожайность пшеницы, является масса отдельных зерен. Эта характеристика, во многом определяемая генетикой, также может в значительной степени зависеть от различных агрономических приемов, включая управление питательными веществами (Sharma, Nang, 2018). Наши экспериментальные данные, представленные в таблице 11, демонстрируют

Таблица 11. Влияние минеральных удобрений на массу 1000 зерен

Вариант	Масса 1000 зерен (г)			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	34,4	34,0	36,4	34,9
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	36,1	36,8	38,9	37,3
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	37,7	37,3	41,7	38,9
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	37,9	37,9	39,9	38,6
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	37,2	37,9	39,2	38,1
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	38,1	39,1	39,2	38,8
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	40,2	41,0	42,2	41,1
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	41,4	42,3	43,4	42,4
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	41,9	42,9	43,5	42,8
НСР ₀₅	1,7	1,8	2,0	1,7-2,0

достоверные различия в массе 1000 зерен между различными вариантами внесения минеральных удобрений за три сезона выращивания.

В частности, внесение NPK в норме 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар неизменно приводило к самому высокому показателю массы 1000 зерен: 41,9 г в 2020-2021 годах, 42,9 г в 2021-2022 годах и 43,5 г в 2022-2023 годах. Напротив, самый низкий показатель массы 1000 зерен (34,9 г) был зарегистрирован на контрольном участке без внесения удобрений.

Эти результаты согласуются с предыдущими исследованиями, проведенными Maqsood и др. (2014); Noonari и др. (2016); Singh и др. (2019), которые также сообщили о положительной взаимосвязи между применением разных доз минеральных удобрений и массой 1000 зерен пшеницы.

Таким образом, по показателю масса 1000 зерен необходимо отметить положительное влияние по всем вариантам применения разных доз минеральных удобрений от 7% (вариант 70 кг N + 30 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O га⁻¹) до 22,4% (вариант 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹).

3.2.6 Урожайность зерна (т/га)

Урожайность зерна является наиболее интегральным признаком конкретного генотипа (Agaus и др., 2001). По сути, урожайность зерна - это взаимодействие различных компонентов, таких как количество колосьев на единицу площади, количество зерен в колосе и масса 1000 зерен. Хотя масса зерна влияет на урожайность, его воздействие может быть ниже по сравнению с количеством колосьев и зерен в колосе.

Данные, представленные в таблице 12, показывают, что различные варианты внесения удобрений оказали существенное влияние на урожайность зерна пшеницы в течение 2020-2021, 2021-2022 и 2022-2023 годов. Среди вариантов применения NPK внесение 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар привело к достоверно самой высокой урожайности зерна (4,09 т/га), что на 178,4% выше, чем в контрольном варианте. Применение 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O на гектар и 140 кг N + 30 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар обеспечило статистически

сопоставимую урожайность зерна: 3,75 и 3,35 т/га в 2020-2021 году, 3,47 и 2,88 т/га в 2021-2022 году и 4,06 и 3,81 т/га в 2022-2023 году, соответственно.

Полученные результаты согласуются с данными предыдущих исследований Трунова и др. (2008); Тютюновой и др. (2020); Verma и др. (2005); Chaudry и др. (2007); Youssef и др. (2013), которые также сообщили о значительном повышении урожайности при оптимальном применении NPK.

Таблица 12. Влияние минеральных удобрений на урожайность, т/га

Вариант	Урожайность зерна, т/га			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	1,46	1,38	1,57	1,47
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	2,35	2,38	2,79	2,51
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	2,42	2,54	2,76	2,58
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	2,74	2,70	3,04	2,83
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	2,78	2,65	2,96	2,80
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	2,80	2,64	3,10	2,85
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	3,35	2,88	3,81	3,35
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	3,70	3,47	4,06	3,75
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	3,95	3,75	4,58	4,09
HCP ₀₅	0,68	0,66	0,96	0,66-0,96

Таким образом, результаты проведенного исследования позволяют констатировать, что для всех изученных вариантов применения разных доз минеральных удобрений прибавка урожая достоверно выше, по сравнению с контролем, а также между некоторыми вариантами.

3.2.7 Урожайность соломы озимой пшеницы (т/га)

Данные об урожайности соломы пшеницы под воздействием различных уровней азота, фосфора и калия представлены в таблице 13. Урожайность соломы

пшеницы значительно варьировала по разным вариантам испытаний. Самая высокая урожайность соломы (4,84 т/га) наблюдалась при внесении 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар. Следом шли варианты с применением 140 кг N + 30 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹ и 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O га⁻¹, которые дали сопоставимые показатели урожайности соломы. Напротив, самая низкая урожайность соломы (3,64 т/га) была зарегистрирована на контрольном участке без внесения удобрений.

Таблица 13. Влияние минеральных удобрений на урожайность соломы озимой пшеницы, т/га

Вариант	Урожайность соломы, т/га			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	3,63	3,31	3,99	3,65
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	3,55	3,42	3,99	3,65
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	3,53	3,65	4,06	3,75
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	3,50	3,61	3,92	3,68
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	3,36	3,33	3,65	3,45
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	3,64	3,35	4,05	3,68
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	3,61	3,70	4,09	3,80
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	3,66	3,52	4,07	3,75
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	4,69	4,59	5,25	4,84
НСР ₀₅	0,36	0,44	0,49	0,36-0,49

Исследования Agha и др. (2016) показали, что значительно более высокая урожайность соломы была получена при внесении азота 180 кг/га (6,63 т/га), за ним следуют варианты с внесением азота 160, 140 и 120 кг/га (6,43, 5,96 и 5,73 т/га) соответственно. Sharma и др. (2012) отметили, что повышение уровня фосфора до 60 кг P₂O₅ на гектар в посевах пшеницы существенно увеличивает урожайность зерна и соломы. Кроме того, Prakash Maurya и др. (2014) наблюдали, что

применение доз удобрений на уровне 80 кг K₂O на гектар привело к значительно более высокой урожайности зерна, соломы и биологической массы по сравнению с контролем и вариантом с внесением 40 кг K₂O на гектар, хотя по статистике не отличалось от варианта с 60 кг K₂O на гектар.

Следовательно, результаты проведенных опытов показывают, что для различных вариантов применения минеральных удобрений разные дозы не оказывают существенного влияния на накопление биомассы в виде соломы, что приводит к изменению соотношения урожайности по зерну и урожайности по соломе.

3.2.8 Влияние условий минерального питания на урожай растений озимой пшеницы сорта Чонт-01 (т/га)

Результаты исследований показали, что урожай растений пшеницы существенно зависел от уровней внесения азота, фосфора и калия (таблица 14).

Таблица 14. Влияние минеральных удобрений на урожай растений озимой пшеницы сорта Чонт-01, т/га

Вариант	Урожай, т/га			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	5,08	4,69	5,57	5,12
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	5,90	5,80	6,77	6,16
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	5,95	6,19	6,82	6,32
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	6,23	6,31	6,96	6,50
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	6,14	5,97	6,61	6,24
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	6,44	5,99	7,15	6,53
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	6,96	6,58	7,89	7,15
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	7,36	6,99	8,13	7,49
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	8,64	8,34	9,82	8,93
HCP ₀₅	1,05	1,10	1,50	1,05-1,10

В частности, в варианте с применением 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O получен самый высокий урожай растений озимой пшеницы в среднем за три года - 8,93 т/га. Показано возрастание массы растений озимой пшеницы в среднем за три года в 1,76 раз по сравнению с контролем.

Эти результаты согласуются с исследованием Leghari и др. (2016), которые наблюдали максимальную биомассу пшеницы при внесении NPK - 120-60-60 кг/га на уровне 9,13 т/га, в то время как в контрольных условиях получена минимальная урожайность - 6,0 т/га.

Более того, результаты, полученные в наших исследованиях, согласуются с выводами Sharma и др. (2011) и Mansour и др. (2009), которые продемонстрировали существенное повышение урожайности растений при применении высоких уровней минерального питания.

3.2.9 Индекс сбора урожая

Индекс (коэффициент) сбора урожая (ИСУ), ключевой показатель эффективности урожая, отражает долю биомассы, направляемой на производство зерна. Результаты исследования (рисунок 8) показали существенное

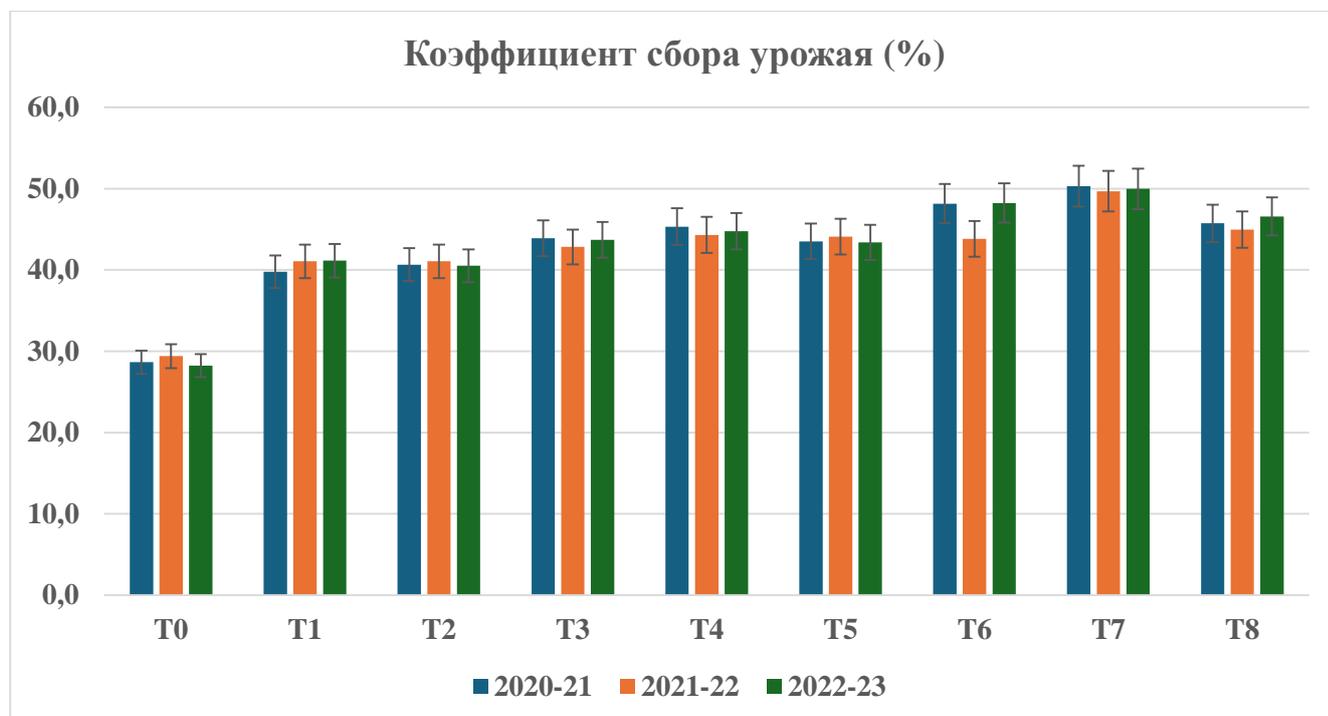


Рисунок 8. Влияние минеральных удобрений на Коэффициент сбора урожая, %

положительное влияние применения азота, фосфора и калия на индекс сбора урожая, достигая своего пика (45,81%) при совместном внесении 140 кг N на гектар, 60 кг P₂O₅ на гектар и 30 кг K₂O на гектар. Исследования Singh и др. (2006) и Jan и др. (2010) также задокументировали повышение индекса сбора урожая при более высоком применении азота.

Аналогичным образом, Sisie, Mirshekari (2011) продемонстрировали, что фосфорное удобрение до 60 кг/га может повысить массу зерна, биологическую урожайность и индекс сбора урожая. Кроме того, Prakash Maurya и др. (2014) наблюдали, что самая высокая урожайность зерна (50,7 ц/га), урожайность соломы (70,1 ц/га), биологическая урожайность (120,9 ц/га) и индекс сбора урожая (41,9%) были достигнуты при внесении 80 кг K₂O на гектар, что сопоставимо с вариантом внесения 60 кг K₂O на гектар.

3.3 Влияние доз азота, фосфора и калия на показатели качества озимой пшеницы в Южном регионе Афганистана

3.3.1 Содержание белка

Содержание белка в зернах пшеницы является важнейшим показателем, определяющим ее пригодность для различных пищевых целей, особенно в процессах хлебопечения. Наше трехлетнее исследование показало, что внесение минеральных удобрений в дозе 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар достоверно приводило к самому высокому уровню содержанию белка - 13,0%, в то время как на контрольных участках без внесения удобрений было зафиксировано самое низкое содержание белка 10,0% (таблица 15).

Результаты наших исследований согласуются с исследованиями Hussain и др. (2002) и Zelenin и др. (2011), которые также наблюдали, что адекватная доза NPK увеличивает содержание белка и клейковины в пшенице.

Более того, Понкратенкова и др. (2018) продемонстрировали, что внедрение органоминеральной системы удобрений с дозировкой не менее N₆₀P₆₀K₆₀ в сочетании с внесением 40 тонн на гектар коровьего навоза существенно повышает урожайность пшеницы и содержание белка, достигая 10,3%.

Романов, Демиденко (2020) отметили существенное увеличение содержания белка (с 10,2% до 12,5%) и содержания клейковины (с 23,7% до 28,6%) при внесении азота. Аналогичным образом, Ali и др. (2020) сообщили, что применение фосфора в норме 90 кг/га приводит к повышению содержания белка и жира.

Кроме того, исследование Holik и др. (2018) показало, что внесение калия наряду с азотом, фосфором и навозом существенно влияет на содержание белка и клейковины в зерне пшеницы.

Таблица 15. Влияние минеральных удобрений на содержание белка (%).

Вариант	Содержание белка (%)			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	9,9	9,1	11,0	10,0
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	11,0	10,0	12,1	11,0
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	11,5	10,4	11,8	11,2
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	11,1	10,4	13,3	11,6
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	12,1	11,2	13,0	12,1
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	11,3	10,5	12,7	11,5
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	12,6	11,5	13,7	12,6
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	12,9	11,7	13,6	12,8
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	13,4	12,1	13,7	13,0
НСР ₀₅	1,1	0,8	0,8	0,8-1,1

В соответствии с требованиями ГОСТ 9353-2016 по показателю - массовая доля белка в пересчете на сухое вещество зерно пшеницы, полученное в вариантах 70 кг N + 30 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O га⁻¹; 70 кг N + 30 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹; 70 кг N + 60 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O га⁻¹; 140 кг N + 30 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O га⁻¹, соответствует 4 классу.

При этом в вариантах 70 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹; 140 кг N + 30 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹; 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O га⁻¹; 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹ зерно пшеницы соответствует 3 классу.

3.3.2 Содержание клейковины

Клейковина, сложная смесь белков, присутствующая в зернах пшеницы и других злаковых культурах, существенно влияет на функциональные характеристики пшеничной муки, особенно при использовании в выпечке хлеба и других хлебобулочных изделий.

Анализ данных о содержании клейковины за трехлетний период выявляет существенные различия между различными вариантами обработки. (таблица 16).

Таблица 16. Влияние минеральных удобрений на содержание клейковины

Вариант	Содержание клейковины (%)			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	17,0	15,6	17,9	17,1
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	18,7	17,7	20,0	18,8
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	19,4	18,5	19,6	19,2
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	18,8	18,9	21,9	20,1
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	20,2	19,4	21,0	20,2
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	20,1	19,3	21,8	20,4
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	22,3	22,1	22,9	22,5
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	23,4	20,7	23,3	22,5
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	23,5	22,8	24,2	23,5
НСР ₀₅	1,6	1,3	2,4	1,3-2,4

В частности, можно отметить устойчивую тенденцию, наблюдаемую при применении 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар, которая привела к самым высоким концентрациям клейковины, в среднем 23,5%. Напротив, контрольные участки без внесения питательных веществ показали значительно более низкое содержание клейковины, в среднем 17,0%.

В соответствии с требованиями ГОСТ 9353-2016 по показателю – количество клейковины (% , не менее) зерно пшеницы в контрольном варианте соответствует пшенице 5 класса, а полученное в варианте 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹;

соответствует пшенице 3 класса. Во всех остальных вариантах зерно пшеницы соответствует показателю 4 класса.

Эти результаты согласуются с предыдущими исследованиями Hussain и др. (2002); Алферова и др. (2019); Романова, Демиденко (2020), которые подчеркнули положительное влияние внесения питательных веществ на содержание клейковины в пшенице.

3.3.3 Влияние NPK на качество соломы озимой пшеницы

Пшеничная солома представляет собой объемный сельскохозяйственный побочный продукт, получаемый из различных частей растения пшеницы, включая стебли и листья, при этом солома является ежегодно возобновляемым растительным отходом, который может служить ценным сырьем для различных отраслей промышленности. Ее сложный химический состав делает ее экономически и коммерчески ценным из-за ее многочисленных применений (Khan, Mubeen, 2012). Она обладает богатым составом, включающим углеводы (целлюлозу, гемицеллюлозу, лигнин), белки, минералы (кальций, фосфор), кремнезем, кислотные детергентные волокна и золу (Khan, Mubeen, 2012; Sahoo и др., 2002).

Наше исследование, как показано в Таблице 17, указывает на то, что применение разных доз минеральных удобрений действительно повлияло на параметры качества пшеничной соломы. Эти эффекты не имели статистически значимой разницы в случае содержания золы, кроме варианта Т6. Среднее содержание золы составляло 4,6%. Существенные различия наблюдали для показателя - содержание протеина. При этом минимальное количество было в контрольном варианте 0,342%, а максимальное количество 0,418% в варианте Т5 (140 кг N + 30 кг P₂O₅ + 30 кг K₂O га⁻¹). Та же самая тенденция наблюдалась для показателя – содержание жира. Минимальное количество жира на уровне 1,82% было отмечено в варианте контроль, а максимальное - 2,38% в варианте Т8 (140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар).

Таблица 17. Влияние минеральных удобрений на качество соломы озимой пшеницы, %

Вариант	Зола	Общий азот	Жир
Контроль	4,37	0,342	1,82
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	4,89	0,389	1,99
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	4,13	0,350	1,83
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	4,47	0,400	2,00
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	4,42	0,374	1,98
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	4,59	0,418	2,08
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	5,26	0,416	2,14
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	4,36	0,403	2,01
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	4,71	0,413	2,38
НСР ₀₅	0,59	0,42	0,23

Необходимо также отметить, что содержание фосфора в соломе во всех вариантах было на уровне 0,15-0,17%, а кальция 0,010-0,015%. Эти результаты подтверждают ранее проведенные исследования Yasin и др. (2010) и Wang и др. (2022), которые фиксировали увеличение содержания белка в пшеничной соломе при использовании азотных удобрений. Также было отмечено повышенное содержание жира при применении N140, P60 и K60 кг на гектар, в то время как самые низкие значения были зафиксированы на контрольных участках.

3.3.4 Влияние NPK на содержание аминокислот в пшенице

Внесение различных доз NPK-удобрений существенно повлияло на аминокислотный состав зерен озимой пшеницы, что отражает влияние доступности питательных веществ на синтез и накопление белка. Были отмечены заметные изменения в содержании отдельных аминокислот в разных вариантах обработки (Таблица 18).

Результаты исследования показывают, что у большинства аминокислот, как незаменимых (лизин, метионин, треонин, триптофан, изолейцин, лейцин, валин, фенилаланин), так и заменимых (аргинин, гистидин, глицин, серин, пролин, аланин, аспарагиновая кислота), наблюдалось увеличение содержания

аминокислот с увеличением доз азота, фосфора и калия при использовании минеральных удобрений.

Содержание лизина, необходимого для синтеза белка, роста и развития растений, увеличивалось с 0,29% до 0,40% с ростом применения NPK. Аналогичным образом, метионин, еще одна незаменимая аминокислота, участвующая в синтезе белка и различных метаболических процессах, демонстрировал существенные изменения. Участки, получившие наибольшую дозу NPK (140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹), неизменно давали самый высокий уровень метионина (0,22%), в то время как контрольные участки без внесения удобрений имели самый низкий (0,16%). Этот факт согласуется с исследованиями Новикова (2012), который также наблюдал, что адекватная доза NPK увеличивает содержание аминокислот в пшенице.

Треонин, необходимый для синтеза белка и здоровья кишечника, демонстрировал заметный рост с увеличением дозы применения NPK-удобрений, достигнув наибольшего содержания (0,40%) на участках, обработанных 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар. Аналогичная тенденция наблюдалась и с триптофаном, участвующим в синтезе белка и выработке серотонина, при этом максимальное содержание (0,16%) было зафиксировано на участках, обработанных самой высокой дозой NPK. Такие аминокислоты, как изолейцин, лейцин, валин и фенилаланин, жизненно важные для различных физиологических функций, также демонстрировали значительные различия в разных группах обработки NPK, при этом их концентрация была наивысшей на участках, обработанных 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹, и самой низкой на контрольных участках (Таблица 18, 19, рисунок 9, 10, 11).

Результаты данного исследования согласуются с данными предшествующих работ. Navlin и др. (2005) продемонстрировали прямое влияние азота на синтез аминокислот, при этом фосфор из NPK-удобрений также может играть свою положительную роль, поддерживая оптимальный уровень аминокислот в растениях. Кроме того, Verkleij (1992) подчеркнул роль калия в регуляции

Таблица 18. Содержание аминокислот лизина, метионина, цистина, треонина, триптофана в зерне озимой пшеницы сорта Чонт 01, г/100 г сухого вещества

Вариант	Лизин	Метионин	Цистин	Треонин	Триптофан
Контроль	0,29	0,16	0,23	0,29	0,12
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	0,32	0,18	0,25	0,32	0,13
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	0,33	0,18	0,25	0,33	0,13
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	0,34	0,19	0,26	0,34	0,14
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	0,36	0,19	0,28	0,36	0,14
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	0,34	0,18	0,26	0,34	0,14
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	0,37	0,20	0,29	0,37	0,15
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	0,38	0,20	0,29	0,38	0,15
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	0,40	0,22	0,31	0,41	0,16
НСР ₀₅	0,04	0,03	0,03	0,04	0,02

Таблица 19. Содержание аминокислот изолейцина, лейцина, валина, гистидина, фенилаланина в зерне озимой пшеницы сорта Чонт 01, г/100 г сухого вещества

Вариант	Изолейцин	Лейцин	Валин	Гистидин	Фенилаланин
Контроль	0,34	0,66	0,44	0,24	0,45
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	0,38	0,73	0,48	0,26	0,49
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	0,39	0,74	0,49	0,26	0,5
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	0,41	0,77	0,51	0,27	0,52
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	0,42	0,83	0,53	0,28	0,54
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	0,40	0,76	0,5	0,27	0,51
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	0,43	0,84	0,55	0,32	0,56
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	0,44	0,85	0,56	0,33	0,57
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	0,47	0,92	0,59	0,32	0,61
НСР ₀₅	0,04	0,06	0,04	0,03	0,04

метаболических процессов, влияющих на метаболизм аминокислот в растениях пшеницы, несмотря на то, что он напрямую не участвует в синтезе аминокислот.

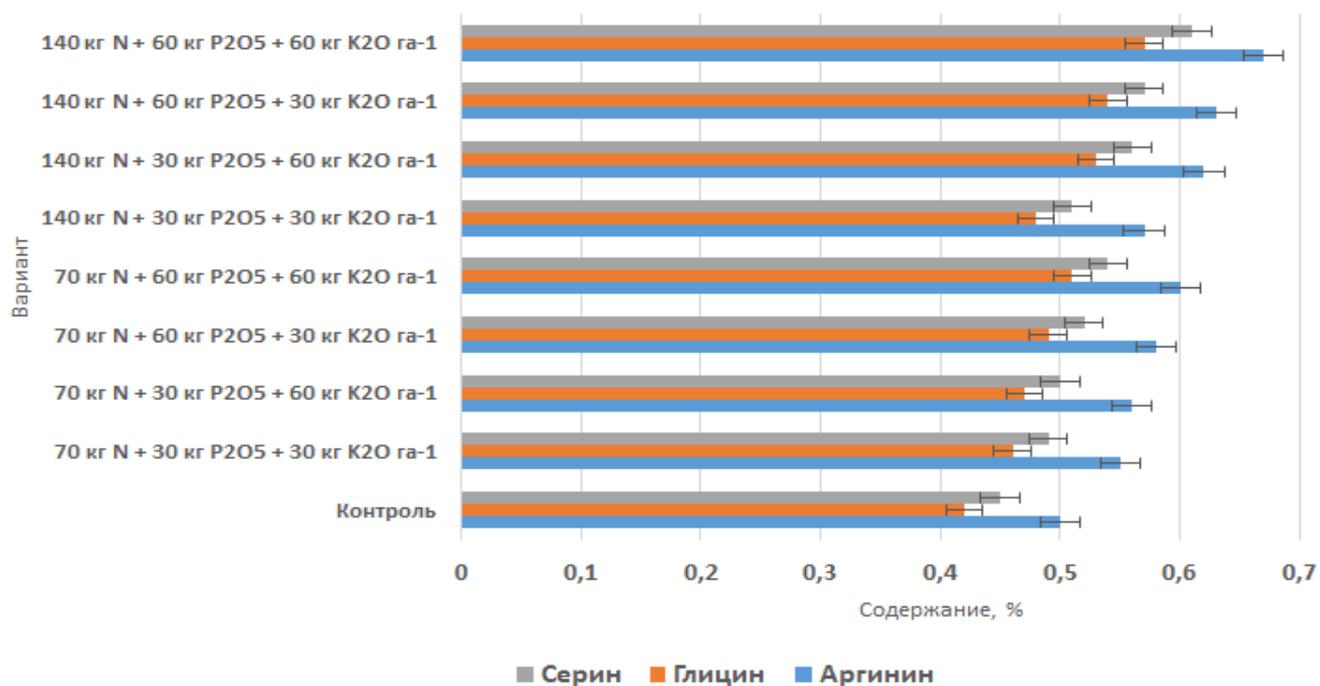


Рисунок 9 - Содержание аминокислот аргинина, глицина, серина в зерне озимой пшеницы сорта Чонт 01, г/100 г сухого вещества

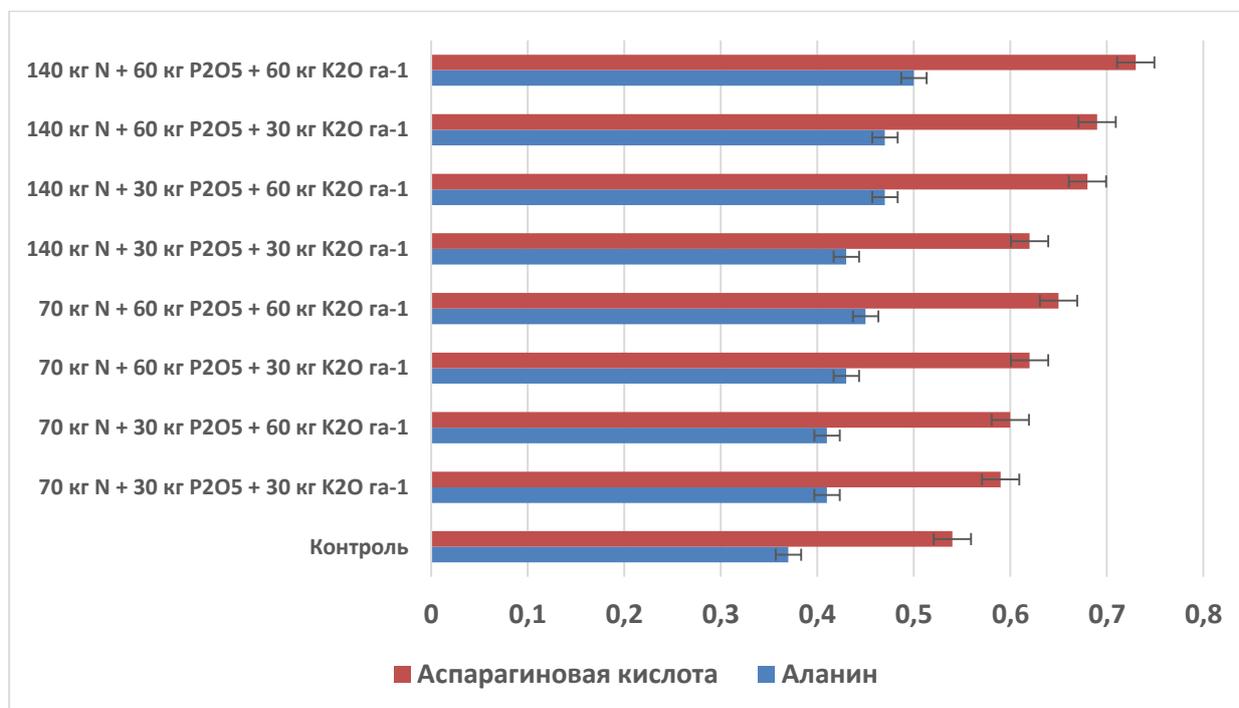


Рисунок 10 - Содержание аминокислот аланина, аспарагиновой кислоты в зерне озимой пшеницы сорта Чонт 01, г/100 г сухого вещества

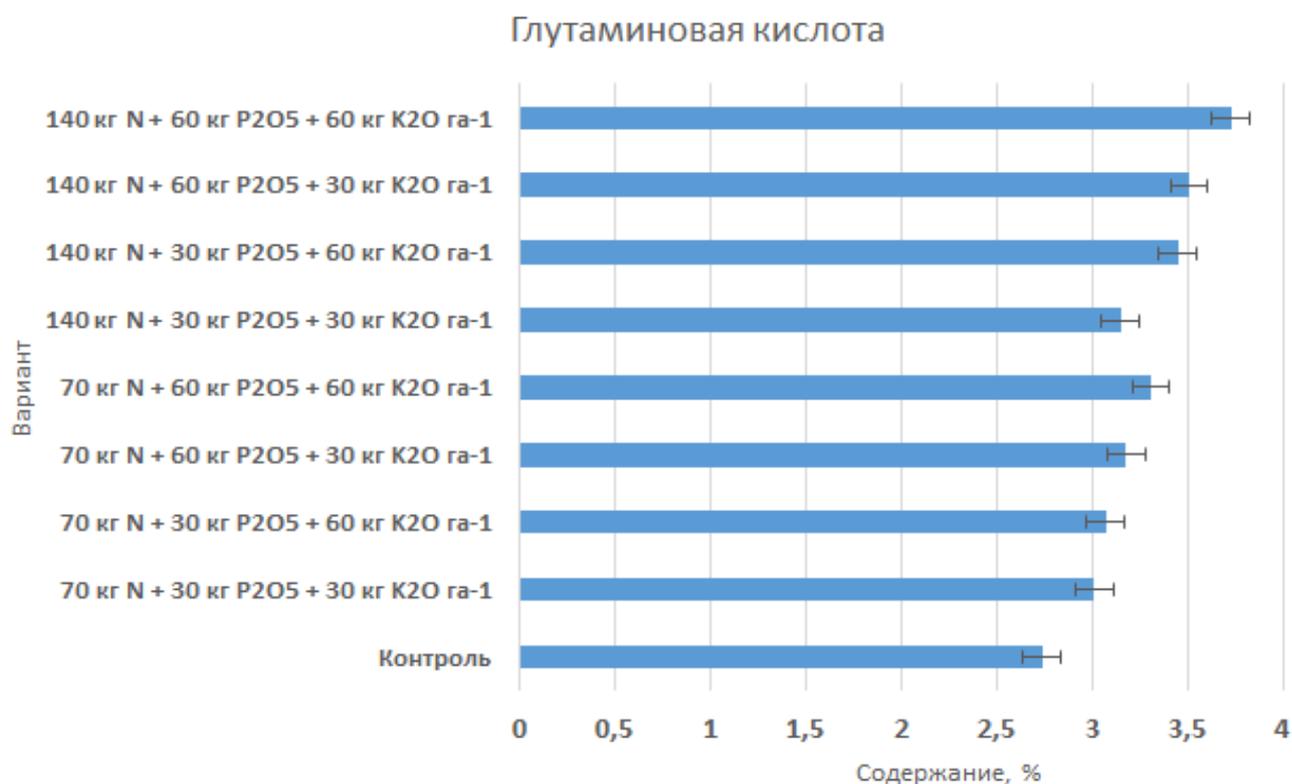


Рисунок 11 - Содержание аминокислот аланина, аспарагиновой кислоты в зерне озимой пшеницы сорта Чонт 01, г/100 г сухого вещества

3.3.5 Влияние минеральных удобрений на технологические параметры и качество пшеничной муки

В соответствии с требованиями ГОСТ 26574-2016 нами проведена оценка показателей для пшеничной муки, которые позволили охарактеризовать сорт муки. Как следует из результатов таблицы 20 по показателю зольность в пересчете на сухое вещество (%) во всех вариантах исследования, мука соответствует высшему сорту. По показателю качество клейковины (ед. ИДК) во всех вариантах исследования мука соответствует также высшему сорту. По показателю белизна (усл. ед.) во всех вариантах исследования мука соответствует первому сорту. По показателю число падений (с.) во всех вариантах исследования мука соответствует высшему сорту.

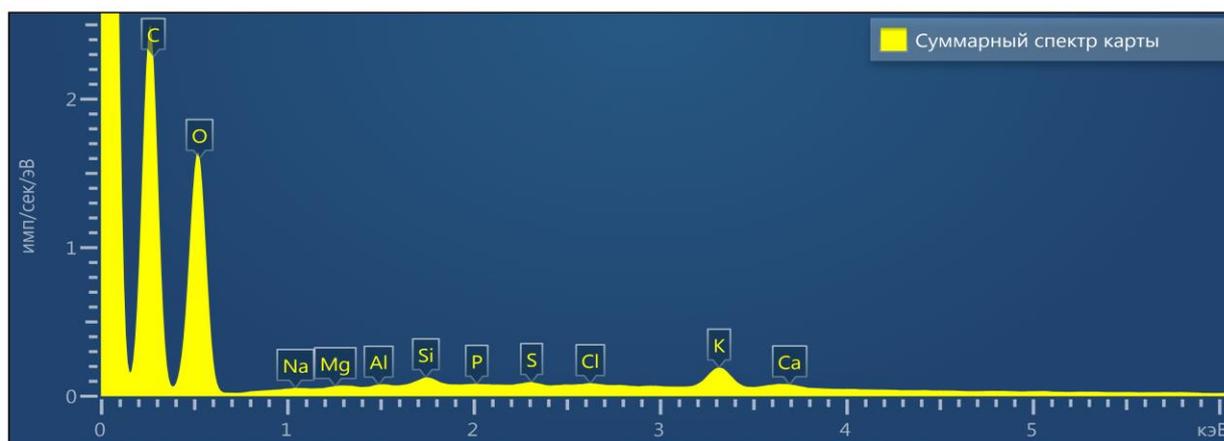
Таблица 20. Влияние минеральных удобрений на качество пшеничной муки

Вариант	Зола, %	Качество клейковины, ед. ИДК	Белизна, усл. ед.	Число падений, с
Контроль	0,34	67	51	440
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	0,38	77	52	429
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	0,35	74	55	474
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	0,39	86	50	504
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	0,41	80	50	443
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	0,36	76	52	483
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	0,36	78	53	441
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	0,38	82	51	458
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	0,37	78	51	442
НСР ₀₅	0,04	9	4	45

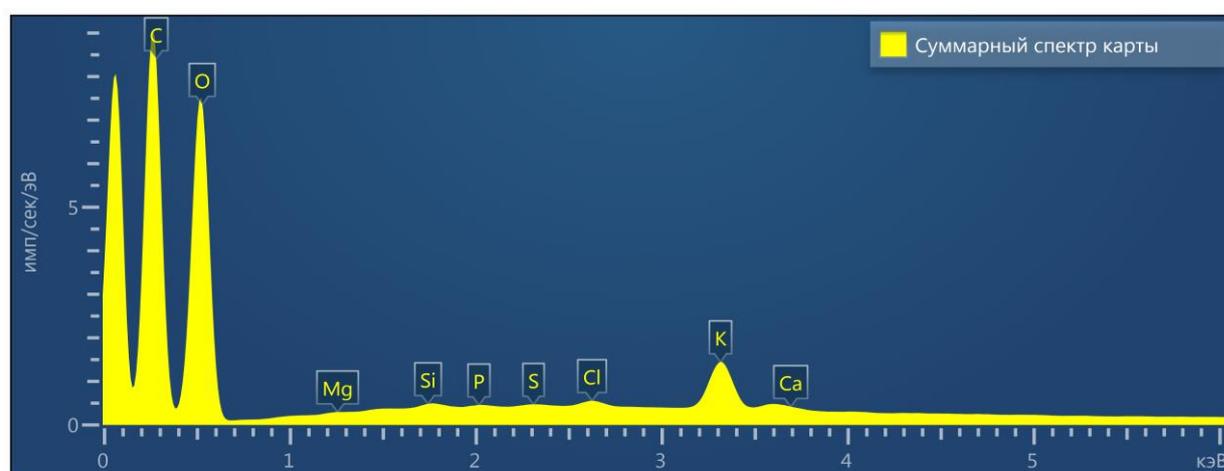
Суммируя экспериментальные данные этой части исследования, необходимо отметить, пшеничная мука соответствует требованиям ГОСТ 26574-2016 и может быть использована в хлебопекарной промышленности для производства соответствующей продукции.

3.3.6 Оценка накопления химических элементов урожаем пшеницы методом электронной микроскопии

Метод электронной микроскопии, который стали широко использовать в исследованиях на кафедре химии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (Байбеков и др., 2019; Белопухов и др., 2019), позволяет оценить вынос некоторых биогенных химических элементов урожаем пшеницы озимой сорта Чонт-01. Для сравнения ниже на рисунке 12 приводятся суммарный спектр карты зерна в варианте 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹ (а) и в контроле (б).



а)



б)

Рисунок 12 - Суммарный спектр карты зерна в варианте 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹ (а) и в контроле (б)

Содержание основных химических элементов (масс. %) составляет для варианта (а) 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹: O – 53,7±1,0; C – 44,3±1,1; K – 1,8±0,2; Si – 0,14±0,02; Ca – 0,25±0,04; S – 0,12±0,03; Al – 0,15±0,03; Na – 0,11±0,02; Cl – 0,14±0,03; Mg – 0,10±0,02; P – 0,11±0,02.

Содержание основных химических элементов (масс. %) составляет для контрольного варианта (б): O – 55,2±0,6; C – 42,4±0,7; K – 1,1±0,2; Si – 0,35±0,04; Ca – 0,15±0,02; S – 0,10±0,02; Al – 0,13±0,03; Na – 0,14±0,02; Cl – 0,22±0,04; Mg – 0,12±0,03; P – 0,12±0,02.

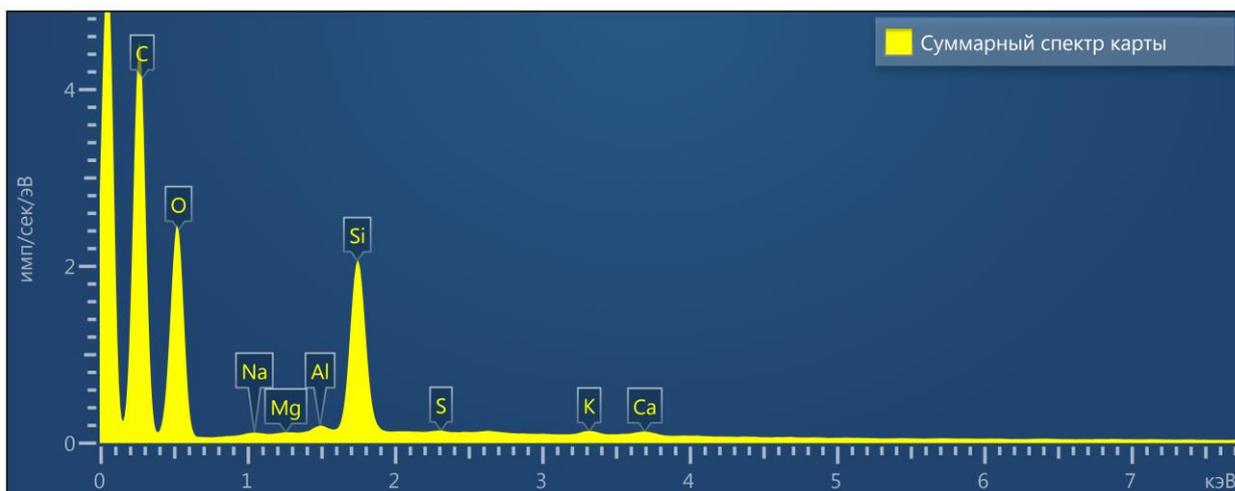
Необходимо отметить существенные различия в содержании углерода, который в большем количестве концентрируется в зерне пшеницы в варианте с

высокими дозами минеральных удобрений. При этом содержание кислорода больше в варианте контроля. Соотношение углерода к кислороду (С : О) составляет в варианте 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹ 1,21; в варианте контроль (С : О) – 1,30. Существенные различия между представленными вариантами существуют по калию и кальцию: так в варианте с высокими дозами концентрация калия выше в 1,8 раза, по сравнению с контролем, а кальция выше в 1,67 раза. Но соотношение между калием и кальцием (К : Са), которое в варианте 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹ составляет 7,2; для контроля – 7,3; т.е. является практически одинаковым.

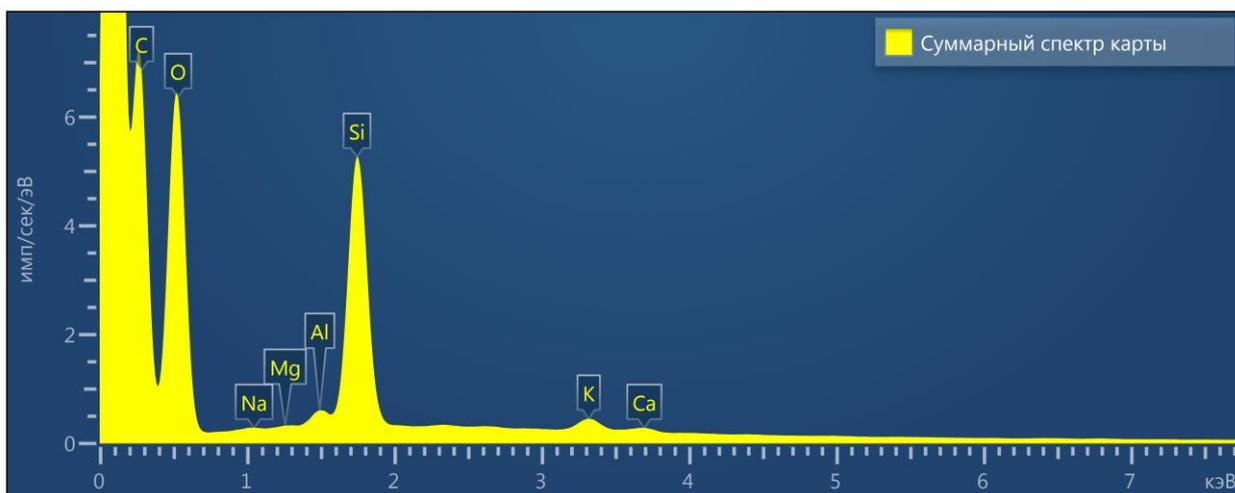
Применение высоких доз минеральных удобрений под пшеницу способствует снижению динамики перехода из почвы в зерно кремния. Так для варианта с минеральными удобрениями содержание кремния в зерне составляет 0,14%, а для контроля – 0,35%, или в последнем случае выше в 2,5 раза. Для остальных химических элементов, включая: серу, алюминий, натрий, хлор, магний и фосфор существенных различий между вариантами не отмечено.

Таким образом, можно отметить, что применение минеральных удобрений способствует регулированию содержания макро- и микрокомпонентов в зерне, включая элементный состав зерна, а, следовательно, появляется возможность в агротехнологиях выращивания озимой пшеницы получать растениеводческую продукцию с заданными свойствами по компонентному составу.

На рисунке 13 приводятся суммарный спектр карты соломы в варианте 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹ (а) и в контроле (б).



а)



б)

Рисунок 13 - Суммарный спектр карты соломы в варианте 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹ (а) и в контроле (б).

С точки зрения накопления химических элементов в других частях пшеницы представляла интерес оценка их содержания в плодовой шелухе. На рисунке 14 приводятся суммарный спектр карты плодовой шелухи в варианте 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹ (а) и в контроле (б).

Содержание основных химических элементов в плодовой шелухе (масс. %) составляет для варианта (а): 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹: O – 50,0±1,0; C – 34,9±1,2; K – 0,22±0,03; Ca – 0,20±0,03; S – 0,10±0,02; Al – 0,12±0,03; Na – 0,14±0,03; Cl – 0,10±0,03; Mg – 0,12±0,03; Si – 14,4±0,3.

Содержание основных химических элементов (масс. %) в плодовой шелухе составляет для контрольного варианта (б): O – $41,7 \pm 0,6$; C – $41,7 \pm 0,8$; K – $1,8 \pm 0,1$; Ca – $0,20 \pm 0,03$; S – $0,11 \pm 0,02$; Al – $0,1 \pm 0,0$; Na – $0,1 \pm 0,1$; Cl – $0,2 \pm 0,0$; Mg – $0,12 \pm 0,02$; Si – $14,3 \pm 0,2$.

В этих образцах отмечаются различия в ряде химических элементов. Отмечены существенные различия в содержании кислорода, который в большем количестве концентрируется в плодовой шелухе пшеницы в варианте с высокими дозами минеральных удобрений. При этом содержание углерода больше в варианте контроля. Эти соотношения отличаются от показателей по зерну, что подтверждает различия по содержанию органических веществ в биомассе растений.

Соотношение углерода к кислороду (C : O) составляет в варианте $140 \text{ кг N} + 60 \text{ кг P}_2\text{O}_5 + 60 \text{ кг K}_2\text{O га}^{-1}$ $0,70$; в варианте контроль (C : O) – $1,0$. Существенные различия между представленными вариантами существуют по калию: так в варианте с высокими дозами минеральных удобрений концентрация калия значительно меньше в плодовой шелухе, по сравнению с контролем.

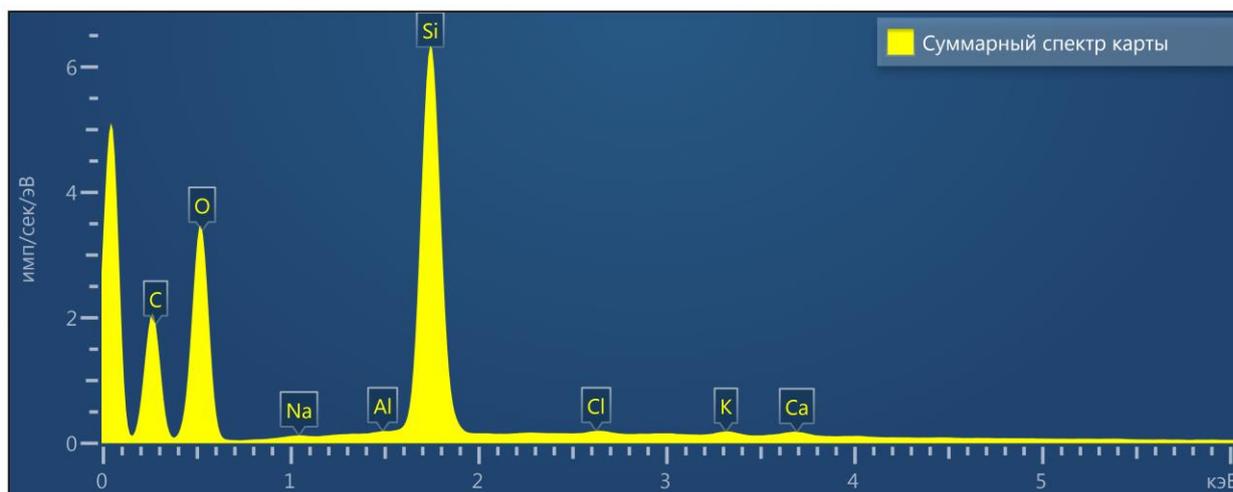
Содержание основных химических элементов в соломе (масс. %) составляет для варианта (а): $140 \text{ кг N} + 60 \text{ кг P}_2\text{O}_5 + 60 \text{ кг K}_2\text{O га}^{-1}$: O – $46,8 \pm 1,0$; C – $47,0 \pm 1,1$; K – $0,31 \pm 0,04$; Ca – $0,25 \pm 0,03$; S – $0,14 \pm 0,02$; Al – $0,24 \pm 0,05$; Na – $0,11 \pm 0,02$; Cl – $0,23 \pm 0,04$; Mg – $0,15 \pm 0,03$; Si – $5,4 \pm 0,1$.

Содержание основных химических элементов (масс. %) составляет для контрольного варианта (б): O – $47,3 \pm 1,3$; C – $47,0 \pm 1,5$; K – $0,22 \pm 0,04$; Ca – $0,12 \pm 0,03$; S – $0,11 \pm 0,02$; Al – $0,30 \pm 0,04$; Na – $0,12 \pm 0,02$; Cl – $0,20 \pm 0,03$; Mg – $0,12 \pm 0,03$; Si – $4,8 \pm 0,1$.

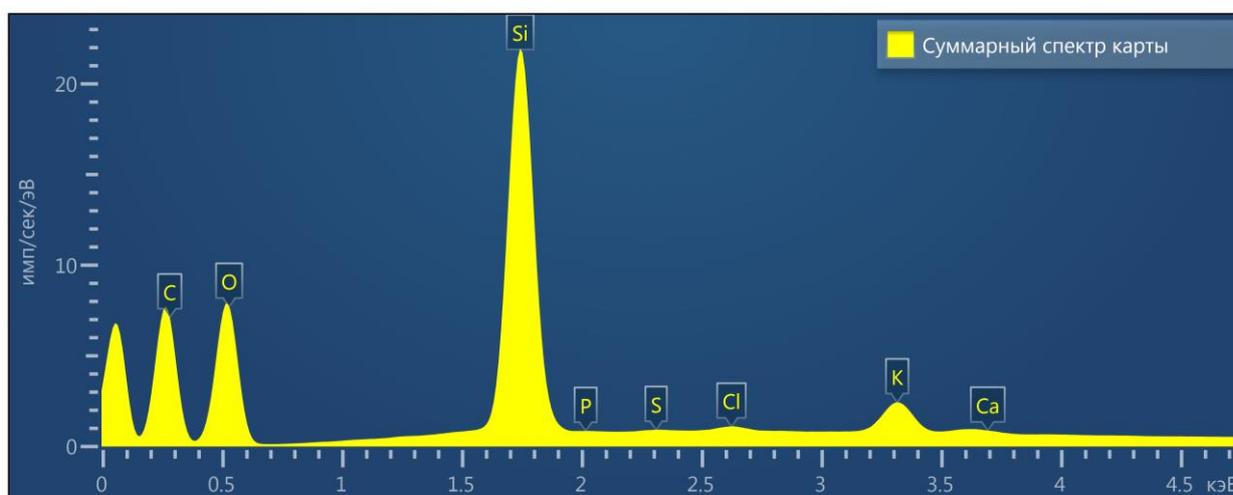
Для соломы не отмечено существенных отличий по вариантам по таким химическим элементам как: кислород, углерод, сера, алюминий, натрий, хлор, магний. В варианте с применением минеральных удобрений в дозе $140 \text{ кг N} + 60 \text{ кг P}_2\text{O}_5 + 60 \text{ кг K}_2\text{O га}^{-1}$ отмечается увеличение в соломе концентрации калия в 1,4 раза, концентрации кальция – в 2 раза, концентрации кремния – в 1,13 раза. Полученные данные также подтверждают возможность получения побочной продукции в виде соломы с определенным соотношением макро- и

микрокомпонентов, в т.ч. по элементному составу.

Для всех вариантов отмечается повышенное содержание кремния в плодовой шелухе, по сравнению с образцами, которые были проанализированы ранее. Для остальных химических элементов, включая: Ca, S, Al, Na, Cl, Mg существенных различий между вариантами не отмечено.



а)



б)

Рисунок 14 - Суммарный спектр карты плодовой шелухи в варианте 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O га⁻¹ (а) и в контроле (б).

Таким образом, микроскопические исследования пшеницы показывают преобладание кислорода (O) и углерода (C) по массовой доле. Высокое содержание кислорода отражает его роль в дыхании растений и его присутствие в молекулах

воды внутри растения. Углерод, являющийся основным компонентом органических молекул, составляет значительную часть элементного состава пшеницы. Он способствует образованию углеводов, белков и жиров, которые важны как для роста растений, так и для питания человека. Эти результаты хорошо согласуются со стандартными процентами, наблюдаемыми в органических веществах, где углерод обычно составляет от 45 до 50%, а кислород — от 40 до 50%.

Помимо этих основных элементов, анализ выявил другие важные питательные вещества для здоровья растений и потребления человеком. Калий (K), оптимальное содержание которого играет ключевую роль в активации ферментов и поддержании водного баланса в клетках растений. Концентрация калия находится в типичном диапазоне, наблюдаемом у различных растений, в зависимости от конкретного растения и состояния почвы.

Анализ также показал наличие таких элементов как: кремний (Si) на уровне 0,3% и кальций (Ca) на уровне 0,2%. Они способствуют структурной целостности, устойчивости к болезням и функции клеточных стенок в растениях. Точно так же были обнаружены сера (S) и магний (Mg) по 0,1% каждый. Эти элементы жизненно важны для синтеза белков и производства хлорофилла соответственно, точно так же, как и фосфор (P), который жизненно важен для передачи энергии в растении.

Наличие этих элементов в количествах, соответствующих типичным диапазонам, свидетельствует о достаточно хорошей динамике роста и развития сорта пшеницы Чонт-01, однако такие данные необходимо учитывать для учета выноса таких химических элементов урожаем.

3.3.7 Расчет доз и выноса элементов с урожаем продукции

Методом элементарного баланса нами был рассчитан вынос азота (N), фосфора (P_2O_5), калия (K_2O). Расчет проведен на запланированную урожайность в 4 тонны зерна с 1 гектара из предположения, что вынос азота составляет в среднем N – 30 кг на 1 тонну урожая, P_2O_5 – 12 кг на 1 тонну урожая и K_2O – 25 кг на 1 тонну урожая.

Вынос азота незначительно варьировался в зависимости от условий обработки с эквивалентными дозами азота, но различными уровнями фосфора (P) и калия (K). В вариантах от N70P30K30 до N70P60K60 (T1 по T4) вынос азота составлял от 26,10 кг/тонну (N70P30K60) до 26,91 кг/тонну (N70P60K30). Аналогично, в вариантах N140P30K30 до N140P60K60 (T5 по T8) вынос азота варьировался от 26,97 кг/тонну (N140P60K30) до 30,49 кг/тонну (N140P60K60).

Вынос фосфора демонстрировал более последовательную тенденцию по сравнению с выносом азота в различных вариантах. В вариантах N70P30K30 до N70P60K60 (T1 по T4) вынос фосфора варьировался от 5,09 кг/тонну (N70P60K30) до 5,24 кг/тонну (N70P30K60). Для вариантов N140P30K30 до N140P60K60 (T5 по T8) вынос фосфора изменялся от 5,13 кг/тонну (N140P60K30) до 5,94 кг/тонну (N140P60K60).

Вынос калия проявил наибольшую вариабельность, особенно в ответ на изменяющиеся уровни калиевого питания. В вариантах от N70P30K30 до N70P60K60 (T1 по T4) вынос калия изменялся от 8,15 кг/тонну (N70P30K30) до 12,91 кг/тонну (N70P60K60). Также и в вариантах от N140P30K30 до N140P60K60 (T5 по T8) вынос калия варьировал от 12,63 кг/тонну (N140P60K30) до 13,85 кг/тонну (N140P60K60).

Вынос азота незначительно варьировался в зависимости от условий обработки с эквивалентными дозами азота, но различными уровнями фосфора (P) и калия (K). В вариантах от N70P30K30 до N70P60K60 (T1 по T4) вынос азота составлял от 26,10 кг/тонну (N70P30K60) до 26,91 кг/тонну (N70P60K30). Аналогично, в вариантах N140P30K30 до N140P60K60 (T5 по T8) вынос азота варьировался от 26,97 кг/тонну (N140P60K30) до 30,49 кг/тонну (N140P60K60).

Вынос фосфора демонстрировал более последовательную тенденцию по сравнению с выносом азота в различных вариантах. В вариантах N70P30K30 до N70P60K60 (T1 по T4) вынос фосфора варьировался от 5,09 кг/тонну (N70P60K30) до 5,24 кг/тонну (N70P30K60). Для вариантов N140P30K30 до N140P60K60 (T5 по

T8) вынос фосфора изменялся от 5,13 кг/тонну (N140P60K30) до 5,94 кг/тонну (N140P60K60).

Вынос калия проявил наибольшую вариабельность, особенно в ответ на изменяющиеся уровни калиевого питания. В вариантах от N70P30K30 до N70P60K60 (T1 по T4) вынос калия изменялся от 8,15 кг/тонну (N70P30K30) до 12,91 кг/тонну (N70P60K60). Также и в вариантах от N140P30K30 до N140P60K60 (T5 по T8) вынос калия варьировал от 12,63 кг/тонну (N140P60K30) до 13,85 кг/тонну (N140P60K60).

Для получения урожайности на уровне 4 тонн необходимо 120 кг азота, 48 кг фосфора (P_2O_5), 100 кг калия (K_2O). Принимая во внимание, что в почве опытного поля содержание азота составляет в среднем 39 мг/кг, фосфора 92 мг/кг, калия 88 мг/кг, т.е. почва относится к 3 классу, азота в почве содержится 117 кг/га, фосфора (P_2O_5) – 276 кг/га, калия (K_2O) – 264 кг/га.

Применяя минимальные коэффициенты использования питательных веществ из почвы озимой пшеницей, в среднем азота (N) – 20%, фосфора - 5% (P_2O_5), калия (K_2O) – 9% (в среднем 20%) (Ягодин Б.А, 2016; Шеуджен А.Х., 2006), растения пшеницы из почвы могут получить 23,4 кг азота, 13,8 кг фосфора (P_2O_5), 23,8 кг (52,8 кг) калия (K_2O).

Таким образом, для формирования урожая в 4 тонны/га необходимо дополнительно из минеральных удобрений получить: $120-23,4=96,6$ кг азота, $48-13,8=34,2$ кг фосфора (P_2O_5), $100-23,8=76,2$ кг (или, если брать средний коэффициент на уровне 20%, то $100-52,8=47,2$ кг) калия (K_2O).

Так как в опытах применяли диаммонийфосфат с содержанием азота 18% и фосфора (P_2O_5) 46%, а также карбамид (мочевину) с содержанием азота 46%, то вносимые количества минеральных удобрений были рассчитаны из предыдущего заключения с учетом коэффициентов использования озимой пшеницей азота из удобрений в среднем 25%, фосфора (P_2O_5) – 15%, калия (K_2O) – 50% (Методические указания, 2014).

На рисунке 15 представлены данные по выносу азота урожаем озимой пшеницы, включая зерно и солому.

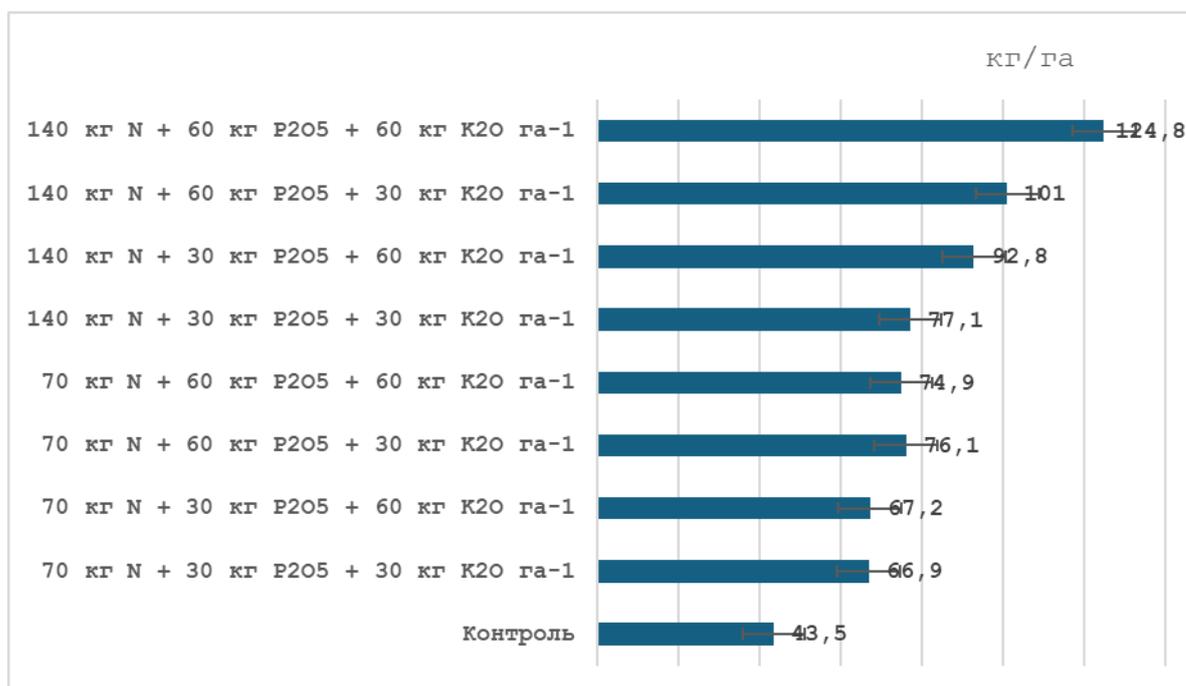


Рисунок 15 – Вынос азота с урожаем озимой пшеницы, кг/га

Из данных рисунка 15 видно, повышенные дозы азота, фосфора и калия способствуют получению высоких урожаев озимой пшеницы при соответствующем выносе макроэлементов с урожаем продукции.

На рисунке 16 представлены данные по выносу фосфора (P₂O₅) урожаем озимой пшеницы, включая зерно и солому.

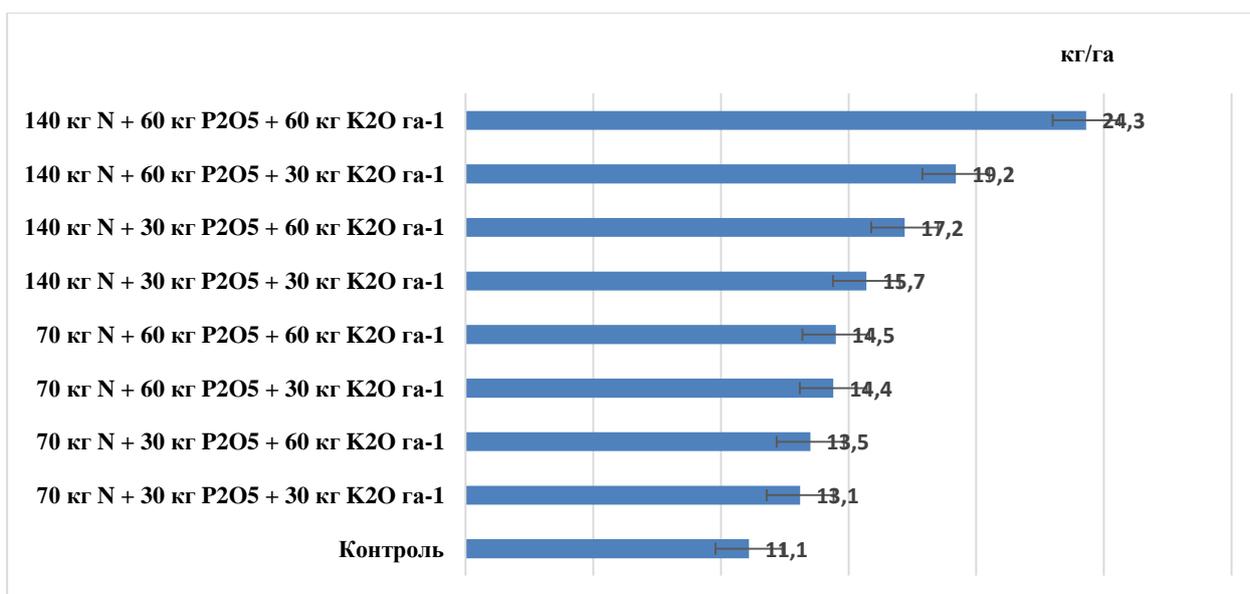


Рисунок 16 – Вынос фосфора (P₂O₅) с урожаем озимой пшеницы, кг/га

На рисунке 17 представлены данные по выносу калия (K₂O) урожаем озимой пшеницы, включая зерно и солому.

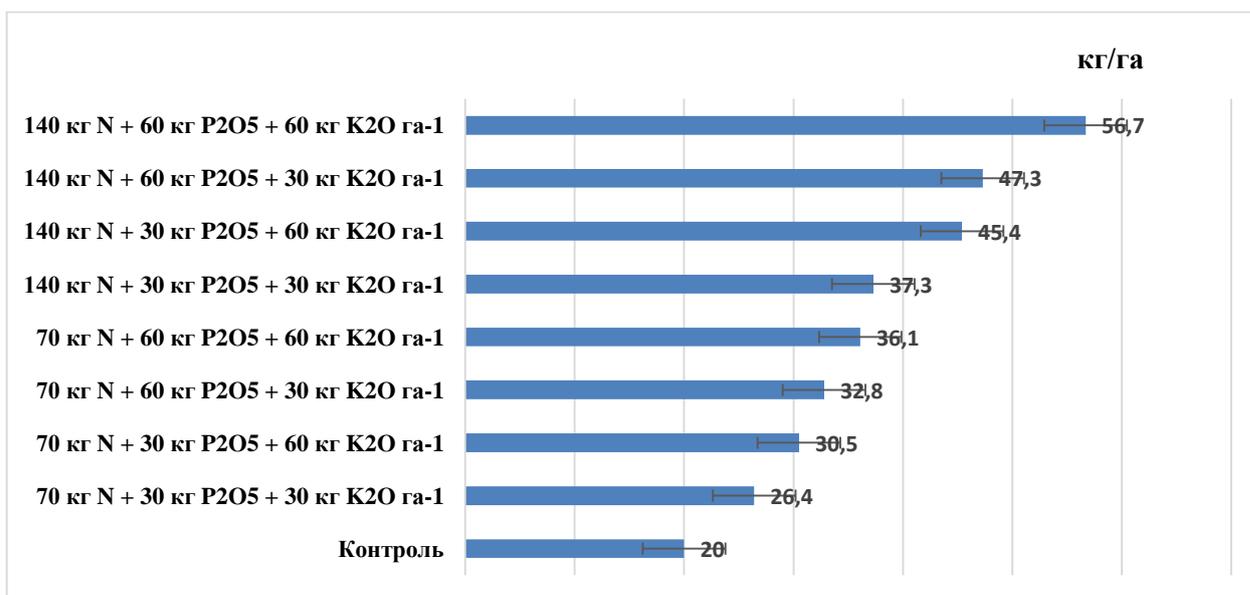


Рисунок 17 – Вынос калия (K₂O) с урожаем озимой пшеницы, кг/га

Применение изученных в нашем опыте разных уровней минерального питания позволило получить прибавку урожайности по зерну (рисунок 18).

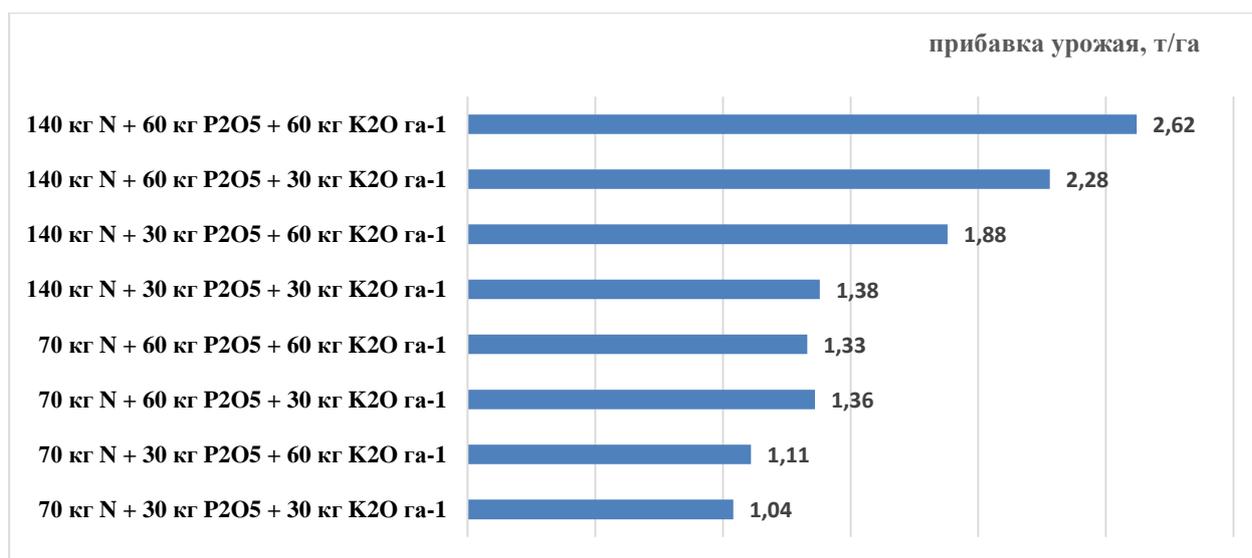


Рисунок 18 – Прибавка урожая озимой пшеницы в опытах, по сравнению с контролем, т/га

Как следует из результатов рисунка 18, во всех вариантах проведенных опытов наблюдается увеличение урожайности озимой пшеницы в среднем за 3 года исследований. Максимальная доза удобрений 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар обеспечила максимальную прибавку урожая 2,62 тонны с гектара. При этом вынос азота, фосфора и калия также зависел от дозы применения удобрений: чем более высокой была доза, тем большее количество элементов минерального питания переходило в продукцию. С урожаем озимой пшеницы больше всего выносятся азота, затем калия и фосфора. Эти данные согласуются с результатами других авторов (Морозова Т.С и др., 2021.).

Представляет также практический интерес для оценки массопереноса в агроффере вынос других биогенных химических элементов с урожаем озимой пшеницы, таких как: кремний, кальций, сера, алюминий, натрий, хлор, магний.

В наших опытах содержание кремния в зерне было в интервале 0,14-0,35% на абсолютно сухое вещество, причем высокая доза минеральных удобрений 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар (вариант Т8) снижала поступление Si в зерно по сравнению с контролем в 2,5 раза. При этом в солому вынос кремния в варианте Т8 был выше на 12-14%, чем в контроле.

Содержание кальция в зерне и соломе было в интервале 0,12-0,25% на

абсолютно сухое вещество, причем более высокое содержание кальция было в варианте Т8. Содержание серы во всех вариантах было стабильным для всех вариантов опыта и находилось в интервале 0,08-0,14% на абсолютно сухое вещество. По содержанию алюминия можно отметить следующее: более высокая концентрация алюминия (0,24-0,30%) была в соломе, что было в 2,0-2,5 раза выше, чем в зерне. Содержание натрия и магния в образцах зерна и соломы находилось в интервале 0,08-0,14%, а хлора - 0,12-0,23% на абсолютно сухое вещество.

Таким образом, по результатам выноса биогенных элементов урожаем озимой пшеницы, можно сделать вывод о том, что суммарный вынос таких биогенных элементов, как: Si, Ca, S, Al, Na, Cl, Mg составляет в среднем 1,0-1,15% в расчете на абсолютно сухое вещество. Причем использование высоких доз минеральных удобрений снижает поступление таких химических элементов в зерно и солому, что можно объяснить направленностью биосинтеза в растениях на формирование сложных органических веществ и повышением ионной силы почвенного раствора за счет ионов калия, сульфат-ионов и других анионов из минеральных удобрений, что приводит к снижению массопереноса химических элементов из почвы в растение.

3.4 Влияние уровней азота, фосфора и калия на экономические показатели производства озимой пшеницы сорт Чонт-01 в Южном Афганистане

3.4.1 Себестоимость выращивания (афгани/га)

Себестоимость выращивания пшеницы зависит от количества применяемых азотных, фосфорных и калийных удобрений, а также от рыночной цены других факторов производства. Данные по экономике применения различных уровней фосфора и калия для пшеницы представлены в таблице 21.

Таблица 21. Себестоимость выращивания озимой пшеницы сорт Чонт-01, афгани/га

Вариант	Себестоимость выращивания (тыс. афгани/га)			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	27,9	27,9	27,9	27,9
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	41,0	41,0	41,1	41,0
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	45,5	45,5	45,7	45,6
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	44,9	44,8	45,1	44,9
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	49,4	49,3	49,6	49,5
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	45,7	45,9	45,8	45,8
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	50,2	50,4	50,4	50,3
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	49,6	49,7	49,8	49,7
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	54,1	54,2	54,3	54,2

Себестоимость выращивания существенно различалась по вариантам из-за применения различных доз азота, фосфора и калия. Цены на удобрения основаны на средних показателях за период исследования.

Самая высокая себестоимость выращивания пшеницы (54 218 афгани на гектар) была зарегистрирована при внесении азота, фосфора и калия в дозах 140, 60 и 60 кг/га соответственно (таблица 21).

В таблице 21.1 приведены данные по себестоимости выращивания озимой пшеницы сорт Чонт-01 в условиях Южного региона Афганистана (руб./га).

Таблица 21.1. Себестоимость выращивания озимой пшеницы сорт Чонт-01, руб./га

Вариант	Себестоимость выращивания (тыс. руб./га)			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	35,1	35,1	35,1	35,1
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	51,6	51,7	51,8	51,7
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	57,3	57,4	57,5	57,4
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	56,5	56,5	56,8	56,6
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	62,2	62,2	62,5	62,3
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	57,6	57,8	57,7	57,7
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	63,2	63,5	63,5	63,4
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	62,5	62,6	62,7	62,6
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	68,2	68,3	68,5	68,3

3.4.2 Валовой доход (афгани/га)

Данные о валовой выручке (афгани/га) представлены в таблице 22. Значения валовой выручки существенно различались в зависимости от уровней NPK. Самая высокая валовая выручка (192 176 афгани/га) была получена при внесении азота в дозе 140 кг/га, а фосфора и калия - по 60 кг/га, тогда как в контрольном варианте валовая выручка составила (72 794 афгани/га).

В таблице 22.1 приведены данные по валовому доходу выращивания озимой пшеницы сорт Чонт-01 в условиях Южного региона Афганистана (руб./га).

Таблица 22. Валовой доход выращивания озимой пшеницы сорт Чонт-01, афгани/га

Вариант	Валовой доход (тыс. афгани/га)			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	73,2	69,0	79,2	73,8
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	112,2	113,2	132,5	119,3
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	115,3	121,0	131,7	122,7
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	129,3	127,9	143,7	133,6
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	130,8	124,8	139,4	131,7
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	132,4	124,7	146,8	134,6
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	156,5	136,1	177,8	156,8
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	171,9	161,6	189,0	174,2
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	185,5	176,5	214,5	192,2
HCP ₀₅	29,6	29,2	42,1	29,2-42,1

Таблица 22.1 Валовой доход выращивания озимой пшеницы сорт Чонт-01 в условиях Южного региона Афганистана (руб./га).

Вариант	Валовой доход (тыс. руб./га)			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	92,2	86,9	99,8	93,0
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	141,3	142,7	167,0	150,3
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	145,2	152,5	166,0	154,6
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	162,9	161,2	181,0	168,4

Продолжение таблицы 22.1

N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	164,8	157,3	175,7	165,9
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	166,8	157,1	184,9	169,6
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	197,2	171,5	224,0	197,6
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	216,6	203,6	238,2	219,5
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	233,8	222,3	270,3	242,1
НСР ₀₅	37,3	36,8	53,1	36,8-53,1

3.4.3 Чистый доход (афгани/га)

Данные о чистой прибыли от пшеницы под воздействием различных уровней НРК представлены в таблице 23. Чистая прибыль от выращивания пшеницы существенно различалась по вариантам из-за применения различных доз азота, фосфора и калия. Самая высокая чистая прибыль от пшеницы (137 958 афгани/га) была получена при внесении 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар, тогда как самая низкая чистая прибыль от пшеницы (45 944 афгани/га) была получена в контрольном варианте.

Таблица 23. Чистый доход выращивания озимой пшеницы сорт Чонт-01, афгани/га

Вариант	Чистый доход (тыс. афгани/га)			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	45,3	41,2	51,4	45,9
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	71,2	72,2	91,4	78,3
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	69,8	75,5	86,1	77,1
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	84,4	83,1	98,6	88,7
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	81,4	75,5	89,8	82,2
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	86,7	78,8	100,9	88,8
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	106,3	85,7	127,4	106,5
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	122,3	111,9	139,2	124,5
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	131,4	122,2	160,2	138,0
НСР ₀₅	29,6	29,2	42,2	29,2-42,2

В таблице 23.1 приведены данные по чистому доходу выращивания озимой пшеницы сорт Чонт-01 в условиях Южного региона Афганистана (руб./га).

Таблица 23.1 Чистый доход выращивания озимой пшеницы сорт Чонт-01 в условиях Южного региона Афганистана (руб./га)

Вариант	Чистый доход (тыс. руб./га)			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	57,1	51,9	64,7	57,9
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	89,7	91,0	115,2	98,6
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	87,9	95,1	108,4	97,2
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	106,4	104,7	124,3	111,8
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	102,6	95,1	113,1	103,6
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	109,2	99,2	127,2	111,9
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	133,9	108,0	160,5	134,2
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	154,1	141,0	175,4	156,8
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	165,6	154,0	201,8	173,8
НСР ₀₅	37,3	36,8	53,1	36,8-53,1

3.4.4 Коэффициент эффективности (Кэ)

Данные о коэффициенте эффективности (Кэ) представлены в таблице 24. Коэффициент эффективности (Кэ) не показал значительных различий между обработками на протяжении всех лет исследования. Тем не менее, численно наивысший коэффициент эффективности (Кэ) составил 2,54 при внесении 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар, в то время как минимальное значение, равное 1,65, получено в контрольном варианте.

Таблица 24. Коэффициент эффективности (Кэ) при выращивании озимой пшеницы сорт Чонт-01 в условиях Южного региона Афганистана

Вариант	Кэ			
	2020-21	2021-22	2022-23	Средние за 3 года
Контроль	1,63	1,48	1,84	1,65
N ₇₀ P ₃₀ K ₃₀	1,74	1,76	2,23	1,91
N ₇₀ P ₃₀ K ₆₀	1,53	1,66	1,89	1,69
N ₇₀ P ₆₀ K ₃₀	1,88	1,85	2,19	1,97
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀	1,65	1,53	1,81	1,66
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₃₀	1,90	1,72	2,20	1,94
N ₁₄₀ P ₃₀ K ₆₀	2,12	1,70	2,53	2,12
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₃₀	2,47	2,25	2,80	2,50
N ₁₄₀ P ₆₀ K ₆₀	2,43	2,25	2,95	2,54
HCP ₀₅	N/A	N/A	N/A	N/A

3.4.5 Рентабельность

Кроме того, для каждого варианта была рассчитана рентабельность на основе чистого дохода, что обеспечивает более точную оценку экономической эффективности применения удобрений. Рентабельность рассчитывали, как отношение чистой прибыли к затратам на возделывание, указывая на то, насколько эффективно используются ресурсы для получения экономической отдачи. Наибольшая рентабельность, составившая 254,4%, была достигнута при внесении 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар, что демонстрирует высокую прибыльность и эффективность этого варианта. Наименьшая рентабельность наблюдалась в контрольном варианте и составила 164,9%, что указывает на низкую экономическую эффективность без применения удобрений.

Таким образом, наибольший коэффициент эффективности и высокая рентабельность подтверждают целесообразность использования комбинации удобрений в дозировке 140 кг N + 60 кг P₂O₅ + 60 кг K₂O на гектар для увеличения доходности и экономической выгоды при выращивании озимой пшеницы. Эти данные подчеркивают важность правильного выбора и применения удобрений для достижения максимальной эффективности и прибыльности сельскохозяйственных

культур. Полученные результаты по эффективности выращивания озимой пшеницы в Южном регионе Афганистана показывают возможность обеспечения достаточно высокой урожайности пшеницы высокого качества для обеспечения продовольственной безопасности Афганистана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных полевых исследований в 2020-2023 гг. по изучению влияния различных доз минеральных удобрений на урожайность и качество растений озимой пшеницы сорта Чонт-01 в условиях Южного региона Афганистана, выполнения агрохимических анализов почвы, наблюдений за агроклиматическими условиями, биохимических анализов растений, химического состава продукции, статистической обработки полученных результатов, оценке экономической эффективности были получены закономерности, сделаны следующие выводы и сформулированы практические предложения производству.

Было установлено, что наиболее эффективное действие минерального питания проявилось в варианте $N_{140}P_{60}K_{60}$, где получена наибольшая прибавка урожая растений озимой пшеницы. В данном варианте выявлено увеличение урожая растений озимой пшеницы в среднем за три года, которое составило 76 % по сравнению с контрольным вариантом.

Показано, что при применении различных уровней минерального питания происходит возрастание количества продуктивных колосьев в расчете на единицу площади поверхности. В варианте, где вносили $N_{140}P_{60}K_{60}$, показано формирование наибольшего количества колосьев и элементов продуктивности растений. В среднем за три года было получено увеличение количества колосьев в 1,5 раза, количества колосков на 25 %, длины колоса на 19 % и массы 1000 зерен на 22,4 %, по сравнению с контрольным вариантом, что и обеспечивало максимально возможный сбор зерна в среднем за три года исследований 4,1 т/га.

Применение минеральных удобрений при выращивании озимой пшеницы сорт Чонт-01 оказало положительное влияние на показатели качества зерна. Оценка показателей качества полученного зерна озимой пшеницы показала, что при использовании варианта внесения минеральных удобрений $N_{140}P_{60}K_{60}$ зерно пшеницы соответствует 3-ему классу товарной классификации. В данном варианте получены следующие показатели качества зерна: массовая доля белка составила 13,5 %, содержание клейковины составило – 28 %. Во всех остальных вариантах зерно пшеницы соответствует показателю 4 класса товарной классификации.

При этом оценка аминокислотного состава белка озимой пшеницы сорта Чонт-01 показала, что для большинства аминокислот, как незаменимых (лизин, метионин, треонин, триптофан, изолейцин, лейцин, валин, фенилаланин), так и заменимых (аргинин, гистидин, глицин, серин, пролин, аланин, аспарагиновая кислота), наблюдалось увеличение содержания аминокислот с увеличением доз азота, фосфора и калия в среднем на 0,2-0,3 % при выращивании озимой пшеницы.

С учетом стоимости минеральных удобрений в Афганистане, региональной агротехнологии выращивания озимой пшеницы самая высокая себестоимость выращивания пшеницы 54,2 тыс. афгани или 68,3 тыс. руб. на гектар была зарегистрирована при внесении азота, фосфора и калия в дозах 140, 60 и 60 кг/га соответственно. Самая низкая чистая прибыль была получена в контрольном варианте, а самая высокая чистая прибыль в размере 138,0 тыс. афгани или 173,8 тыс. руб./га была получена при внесении $N_{140}P_{60}K_{60}$, что было обусловлено получением с единицы площади наибольшего сбора зерна с улучшенными показателями качества основной продукции озимой пшеницы.

Предложения производству

В агротехнологиях выращивания озимой пшеницы в условиях Южного региона Афганистана рекомендуется вносить минеральные удобрения в дозе: азота - 140 кг, фосфора - 60 кг, калия 60 кг на 1 гектар для обеспечения высокой урожайности на уровне 4 т/га и высокого качества зерна. При использовании в качестве удобрений, например, мочевины, диаммофоса и сульфата калия необходимо диаммофос, сульфат калия вносить до посева, а мочевину рекомендуется вносить в два этапа: 60% в фазу кущения и 40% в фазу выхода в трубку.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абашев, В. Д. Влияние минеральных удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы / В. Д. Абашев, Ф. А. Попов, Е.Н. Носкова, С. Н. Жук // Пермский аграрный вестник. – 2017. – Т. 17. – №. 1. – С. 7-11.
2. Абдуазимов, А. М. Влияние внесений азотных удобрений различными методами на рост и развитие яровой пшеницы //Инновационная наука. – 2019. – №. 4. – С. 86-87.
3. Агафонов, Е.В. Применение комплексных удобрений и азотной подкормки в посевах озимой пшеницы / Е.В. Агафонов, М. В. Максименко // Земледелие. – 2012. – №. 7. – С. 16-17.
4. Алпысбаев, А.У. Влияние фосфорных удобрений на урожайность пшеницы / А.У. Алпысбаев, А. С. Сапаров, Б. У. Сулейменов // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – №. 1. – С. 73-78.
5. Алферов, А. А. Влияние удобрения и ризоагрина на урожайность и качество зерна яровой пшеницы, потоки азота в системе удобрение-почва-растение / А. А. Алферов, А. А. Завалин, А. П. Кожемяков, Л. С. Чернова //Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33. – №. 9. – С. 10-15.
6. Асланов, Г. А. Влияние минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы / Г. А. Асланов //Достижения науки и техники АПК. – 2006. – №. 10. – С. 30-31.
7. Байбеков, Р. Ф. Оценка степени гумификации отходов переработки агротехнической конопли / Р. Ф. Байбеков, О. А. Жарких, С. Л. Белопухов, И. И. Дмитревская // Символ науки. – 2019. – №. 8. – С. 7-8.
8. Белопухов, С.Л. Отходы переработки льна как мелиоранты / С.Л. Белопухов, Ю.А. Барыкина, О.А. Жарких, И.И. Дмитревская // В сборнике: Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России. Сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых. - 2019. - С. 70-72.
9. Белопухов, С. Л. Аналитический контроль состава целлюлозо-

содержащих отходов при переработке пшеницы. / С.Л. Белопухов, Я. Нури // В сборнике: Инновационные исследования: опыт, проблемы внедрения результатов и пути решения. сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2024. С. 41-42.

10. Бижан, С. П. Влияние фосфорных удобрений на урожай и качество зерна озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при известковании дерново-подзолистой почвы / С. П. Бижан, Е. В. Морачевская, Н. А. Кирпичников // Проблемы агрохимии и экологии. – 2019. – №. 3. – С. 31-33.

11. Божков, Д. В., Бирюкова О. А. Влияние комплексных удобрений на рост, развитие и урожайность озимой пшеницы на черноземе обыкновенном карбонатном Ростовской области // Питание растений. – 2012. – №. 3.

12. Брежнев, Д. Д. Пшеницы мира / Д. Д. Брежнев. Пшеницы мира. 1976. - Л.: Колос. С. 354-380.

13. Глуховцев, В. В. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы / В. В. Глуховцев, Н. В. Санина // Успехи современной науки и образования. – 2015. – №. 4. – С. 13-16.

14. ГОСТ 9353-2016. Пшеница. Технические условия. Введен в действие Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2018 г. <https://fczerna.ru/upload/iblock/2c1/u9j50oubvhd19zqx5nav0ekwus3r5wit.pdf> (дата обращения 20.03.2024). – Текст: электронный.

15. ГОСТ ISO 12099— 2017. Корма, зерно и продукты его переработки. Руководство по применению спектрометрии в ближней инфракрасной области. Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 августа 2017 г. N 102-П). Введен 01.01.2019 г. <https://docs.cntd.ru/document/1200157441> (дата обращения 24.11.2021 г.). – Текст: электронный.

16. ГОСТ Р 71208-2024. Зерно. Определение влажности, белка, количества клейковины методом спектроскопии в ближней инфракрасной области.

Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 января 2024 г. N 38-ст. Дата введения 01.04.2024. <https://docs.cntd.ru/document/1304734166> (дата обращения 30.04.2024). – Текст: электронный.

17. Губанов, Я.В. Озимая пшеница / Я. В. Губанов, Н. Н. Иванов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Агропромиздат, 1988. – с. 301.

18. Гуреев, И.И. Формализация азотного питания в перспективных агротехнологиях возделывания озимой пшеницы / И.И. Гуреев, Н.С. Климов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - 2015. - №3. - С.1-2.

19. Дзанагов, С. Х. Влияние длительного применения удобрений на показатели роста, урожайность и качество зерна озимой пшеницы / С. Х. Дзанагов, Т. К. Лазаров, Б. С. Калоев, З. А. Кубатиева, Р. В. Калагова //Агрохимия. – 2019. – №. 4. – С. 31-38.

20. Долгополова, Н.В. Динамика элементов питания при возделывании яровой твёрдой пшеницы по различным предшественникам и фонам удобренности / Н.В. Долгополова // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4. – С. 51-53.

21. Дорофеев, В. Ф., Филатенко, А. А., Мигушова, Э. Ф., Удачин, Р. А., Якубцинер, М. М. Пшеница. Культурная флора СССР / Под. Ред. //В.Ф. Дорофеева, О.Н. Коровиной. Л.: Колос. – 1979. – Т. 1. – С. 348.

22. Есаулко, А. Н., Мельников, Д. А., Ожередова, А. Ю., Голосной, Е. В. и др. Оптимизация азотного питания озимой пшеницы, возделываемой по технологии no-till на темно-каштановых почвах //Земледелие. – 2021. – №. 3. – С. 19-22.

23. Животков, Л. А. Пшеница. /Л. А Животков, С.В. Бирюков, А.Я. Степаненко [и др.] // Под ред. Л.А. Животкова. - К.: Урожай. – 1989. – 318 с.

24. Завалин, А.А. Азотное питание и прогноз качества зерновых культур: [монография] / Завалин А. А., Пасынков А. В. ; Российская акад. с.-х. наук, Всероссийский науч.-исслед. ин-т агрохимии им. Д. Н. Прянишникова,

Зональный науч.-исслед. ин-т сельского хоз-ва Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого. - Москва : Изд-во ВНИИА, 2007. - 207 с.

25. Завалин, А. А., Соколов О. А. Азот и качество зерна пшеницы //Плодородие. – 2018. – №. 1 (100). – С. 14-17.

26. Зеленин, И. Н. и др. Влияние агротехнических приемов на продуктивность озимой пшеницы и качество зерна //Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – Т. 84. – №. 10. – С. 5-7.

27. Зотиков, В.И. Урожай и качество зерна различных сортов озимой пшеницы в зависимости от технологических приемов. / В.И. Зотиков, З.И. Глазова, А.А. Уланов // Аграрная Россия. - 2011. - №3. - С.23-26.

28. Ишков, И. В. Влияние сроков проведения подкормки азотными удобрениями на продуктивность озимой пшеницы //Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – Т. 2. – №. 2. – С. 9-10.

29. Каренгина, Л. Б. Влияние суперфоса на урожайность культур при основном внесении //Аграрный вестник Урала. – 2016. – №. 7 (149). – С. 16-21.

30. Кирпичников, Н. А., Бижан С. П. Влияние фосфорных и цинковых удобрений в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы на урожай и качество зерна озимой пшеницы //Агрехимический вестник. – 2020. – №. 3. – С. 41-44.

31. Кожухарь, Т. Влияние биологических препаратов и минерального удобрения на формирование элементов структуры урожая пшеницы озимой // Știința Agricolă. – 2009. – №. 1. – С. 15-19.

32. Косолапова, А. И., Возжаев В. И., Лейних П. А. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от применения минеральных удобрений //Пермский аграрный вестник. – 2017. – №. 3 (19). – С. 76-80.

33. Крончев, Н. И., Сергатенко С. Н., Валяйкина М. В. Влияние минеральных удобрений и биопрепаратов на урожайность и качество зерна яровой пшеницы //Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – №. 2 (14). – С. 23-27.

34. Листопадов, И.Н. Плодородие почвы в интенсивном земледелии. – 1984. М.: Россельхозиздат. 205 с.
35. Макаров, М.Р. Влияние минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы // Современные научные исследования и инновации. – 2023. – №. 2. [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2023/02/99867> (дата обращения: 03.06.2024). – Текст: электронный.
36. Мамеев, В.В. Влияние гуминовых и минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы. / В.В. Мамеев, И.В. Сычева, С.М. Сычев // Агрохимический вестник. - 2015 - №5. - С.6-9.
37. Мельник, А.Ф. Адаптивные приёмы улучшения качества зерна озимой пшеницы / А.Ф. Мельник, А.Ф. Мартынов // Вестник ОрелГАУ. – 2012. – № 2(12). – С.23-28.
38. Методические указания для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Агрохимия» для студентов очной формы обучения направления подготовки 250700.62 «Ландшафтная архитектура» – Н. Новгород, ННГАСУ, 2014. – 48с.
39. Минакова, О. А., Александрова Л. В., Подвигина Т. Н. Длительное применение удобрений-основа повышения урожайности культур зерносвекловичного севооборота в ЦЧР //АгроФорум. – 2020. – №. 1. – С. 22-24.
40. Мовсумов, З. Р., Кулиев В. Ф. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от доз минеральных удобрений //Агрохимия. – 2003. – №. 9. – С. 42-46.
41. Морару, С. А. Озимая пшеница //Кишинев: Картя Молдовеняска. – 1987. 399 с.
42. Морозова, Т.С., Лицуков С.Д., Ширяев А.В. Содержание и вынос элементов питания растениями озимой пшеницы в зависимости от применения удобрений // Вестник аграрной науки. -2021, 2(89), Апрель 2021, DOI: 10.17238/issn2587-666X.2021.2.40.

43. Недбаев, В.Н. Эффективность различных доз минеральных удобрений под озимую пшеницу на серой лесной почве Курской области / В.Н. Недбаев, И.В. Ильютенко // в сборнике международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы агропромышленного производства». – Курск: Издательство Курской ГСХА, 2013 - С.109-111.
44. Никитин, Ю. А., Бурченко П. Н., Орманджи К. С. Интенсивная технология производства озимой пшеницы // М.: Россельхозиздат. – 1988. 303 с.
45. Никитин, Д. Ю., Гусев, А. В., Шаповалов, А. И. Реакция озимой и яровой пшеницы на азотно-фосфорно-калийное удобрение в условиях Средневолжского региона // Почвоведение. – 2019. – Т53. – №. 2. – С. 186-191.
46. Новиков, Н.Н. Биохимия растений: учебник / Н. Н. Новиков. М.: Колос. 2012. - 679 с.
47. Носатовский, А. И. Пшеница. Биология / А.И. Носатовский //М.: Колос. – 1995. – С. 568.
48. Нури Ямма, Белопухов С.Л., Седых В.А. влияние различных уровней внесения азота, фосфора и калия на урожайность и качество озимой пшеницы в Южном регионе Афганистана // Плодородие. — 2024. – №. 1. – С. 10-14.
49. Нури, Ямма, С.Л. Белопухов. "роль информационных технологий в производстве озимой пшеницы в афганистане." В сборнике: Информационные технологии как основа прогрессивных научных исследований. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2024. С. 46-47.
50. Ожередова, А. Ю., Влияние комплексного удобрения на развитие растений озимой пшеницы / А. Н. Есаулко, Ю.Н. Кузьминова, Е.В. Голосной, С.А. Коростылев // Эволюция и деградация почвенного покрова. – 2022. – С. 142-144.
51. Панников, В.Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В.Д. Панников, В.Г. Минеев. – Москва: Агропромиздат, 1987. – 512 с
52. Пискунова, Х. А., Федорова А. В. Влияние азотного удобрения на урожайность и качество продовольственного зерна яровой пшеницы //Вестник

АПК Верхневолжья. – 2018. – №. 3. – С. 43.

53. Плечов, Д.В. Влияние минеральных удобрений и регуляторов роста на урожайность озимой пшеницы / Д.В. Плечов // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. - 2012. - Т.1. - С.39-43.

54. Плотников, А. М. Зависимость урожайности зерновых культур от содержания в почве доступных форм фосфора и калия //Вестник Курганской ГСХА. – 2019. – №. 1 (29). – С. 17-20.

55. Политыко, П.М. Урожайность и качество зерна сортов озимой пшеницы при различных технологиях возделывания / П.М. Политыко, С.В. Тоноян, М.Н. Зяблова, Е.Ф. Киселев, А.Г. Прокопенко, А.А. Вольпе, С.В. Матюта, И.В. Чистяков // Земледелие. - 2011. - №6. - С.27-28

56. Полоус, Г.П. Влияние основного удобрения и подкормок на качество зерна озимой пшеницы. / Г.П. Полоус, А.И. Войсковой / В Сборнике конференции «Применение современных ресурсосберегающих инновационных технологий в АПК». – Ставрополь: Издательство Параграф, 2013. - С.188-192.

57. Понкратенкова, И. В. Влияние органических и минеральных удобрений на урожайность и качество яровой пшеницы //Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – №. 12. – С. 31-33.

58. Прокина, Л. Н. Влияние минеральных удобрений и микроэлементов на фоне известкования почвы на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зернотравяном севообороте //Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – №. 3. – С. 13-15.

59. Романов, В. Н., Демиденко Г. А. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы при использовании азотных удобрений в агроценозах Красноярской лесостепи //Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2020. – №. 4 (157). – С. 31-36.

60. Смуров, С.И. Влияние элементов агротехники на продуктивность озимой пшеницы / С.И. Смуров, Г.С. Агафонов, О.В. Гапиенко// Аграрный

вестник Урала. - 2011. - №5. - С.15-17.

61. Торилов, В. Е., Осипов А. А. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы //Агрoхимический вестник. – 2015. – №. 5. – С. 7-9.

62. Торилов, В.Е. Влияние системы удобрения на агроэкологические свойства почвы, урожайность, содержание сырой клейковины, аминокислотного и элементного состава в зерне мягкой озимой пшеницы / В.Е. Торилов, О.В. Мельникова, В.В. Мамеев, В.В. Торилов, А.А. Осипов // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. - 2016. - №1(46). - С.8-20.

63. Торилов, В.Е. Озимая пшеница / В.Е. Торилов – Брянск: Издательство Брянской ГСХА, 1995. - 152 с.

64. Торилов, В.Е. Урожайность, качество зерна озимой пшеницы в зависимости от условий выращивания и норм внесения минеральных удобрений / В.Е. Торилов, И.И. Фокин, И.Г. Рыченков // Проблемы агрохимии и экологии. - 2011. - №2. - С.50-53.

65. Трунов, И. А. и др. Влияние фосфорных удобрений на урожайность озимой пшеницы //Вопр. сов. наук. прикл. Ун-т им. В.И. Вернадского. – 2008. – №. 2. – С. 53.

66. Тютюнов, С. И. и др. Влияние приемов основной обработки почвы, удобрений и средств защиты растений на продуктивность озимой пшеницы //Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34. – №. 5. – С. 18-23.

67. Ураимов, Т. У. и др. Влияние норм фосфорных удобрений на продуктивность озимой пшеницы //Современные тенденции развития науки и технологий. – 2015. – №. 2-1. – С. 145-149.

68. ФАО (2016). Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. <https://foodsmi.com/mezhdunarodnye-organizatsii/fao-prodovolstvennaya-bezopasnost-i-bezopasnost-pishchevykh-produktov/> (дата обращения 27.10.2021). – Текст: электронный.

69. Федюшкин А. В., Парамонов А. В., Пасько С. В. Влияние минеральных удобрений и гидротермических условий периода вегетации на

урожайность и качество зерна яровой пшеницы //Мелиорация и гидротехника. – 2020. – №. 4 (40). – С. 227-240.

70. Ханикаев, Б. Р., Дзанагов С. Х., Лазаров Т. К. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от системы удобрения //Известия Горского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 57. – №. 4. – С. 8-14.

71. Харитоновна, С. В., Щукин В. Б., Павлова О. Г. Влияние некорневого внесения микроэлементов и азотных удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в условиях степной зоны Южного Урала //Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2010. – Т. 1. – №. 25-1. – С. 8-11.

72. Шаповалова, Н. Н., Воропаева А. А., Годунова Е. И. Влияние способов и доз внесения удобрений на продуктивность озимой пшеницы при прямом посеве на черноземе обыкновенном //Мелиорация и гидротехника. – 2021. – Т. 11. – №. 1. – С. 211-225.

73. Шеуджен, А. Х. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы, возделываемой после подсолнечника / А.Х. Шеуджен, Л.И. Громова, Я.Е. Пастарнак // Плодородие. – 2015. – № 1 (82). – С. 4-7.

74. Шеуджен, А.Х. Куркаев В.Т., Котляров Н.С. Агрохимия: Учебное пособие / Под ред. А.Х. Шеуджена. 2-е изд., перераб. и доп. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 1075 с.)

75. Шпаар, Д. Зерновые культуры (Выращивание, уборка, доработка и использование) / Под общей ред. Д. Шпаара. – М.: ИД ООО «DLV АГРОДЕЛО», 2008. – 656 с.

76. Ягодин, Б. А. Агрохимия: учебник / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2016. — 584 с.

77. "Whole Grains and Fiber". American Heart Association. 2016.

78. Agha, J. Influence of varying nitrogen levels on performance of wheat (*Triticum aestivum* L.) under semi-arid hot climate of Kandahar, Afghanistan / J.

Agha, A. Dass, G. A. Rajanna, S. K. Sarkar, K. S. Rana // *New Series Ann. Ag.Res.* – 2016. – V. 37. – №. 4. – P. 347-352.

79. Ahmed, O. H. Reducing ammonia loss from urea and improving soil-exchangeable ammonium retention through mixing triple superphosphate, humic acid and zeolite / O. H. Ahmed, H. Aminuddin, M. H. A. Husni // *Soil Use and Management.* – 2006. – V. 22. – №. 3. – P. 315-319.

80. Ahmed, M. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) / M. Ahmed, M.A. Hossain // *Journal of Agricultural Research.* – 1992. – V. 14. – №. 1. – P. 21-25.

81. Alam, S. M. Wheat yield and phosphorus use efficiency as influenced by method of phosphorus and zinc application / S. M. Alam, A. Latif, Z. Iqbal // *Biological Sciences-PJSIR.* – 2002. – V. 45. – №. 2. – P. 117-119.

82. Ali, A. Effect of different levels of phosphorus on growth, yield and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) / A. Ali // *Int. J. Bot. Stud.* – 2020. – V. 5. – P. 64-68.

83. Ali, A. Effect of nitrogen and phosphorus on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in Peshawar, Pakistan / A. Ali // *Pakistan Journal of Agricultural Sciences.* – 2011. – V.23. – №. 3. – P. 421-426.

84. Ali, A. Effects of nitrogen on growth and yield components of wheat. (Report) / A. Ali, A. A. W. Syed, T. Khaliq, M. Asif, M. Aziz, M. Mubeen // *Science International (Lahore).* – 2011. – V. 24. – P. 331-332.

85. Ali, H. Impact of nitrogen application on growth and productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.) / H. Ali, A. Shakeel, H. Ali, F. S. Hassan // *Journal of Agriculture and Social Sciences.* – 2005. – V. 1. – №. 3. – P. 216-218.

86. Ali, M.A. Effect of nitrogen and phosphorus on the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars Inqilab-91 and Bakhar-2000 / M.A. Ali // *Pakistan Journal of Agricultural Research.* – 2010. – V.22. – №. 4. – P. 379-386.

87. Araus, J. L. Recent tools for the screening of physiological traits determining yield / J. L. Araus, J. Casadesus, J. Bort // *Application of Physiology in Wheat Breeding Mexico, DF: CIMMYT.* – 2001. – P. 59-77.

88. Arif, M. Evaluation of different levels of potassium and zinc fertilizer on the growth and yield of wheat / M. Arif // *Int. J. Biosen. Bioelectron.* – 2017. – V. 3. – №. 2. – P. 1-5.
89. Arif, M. Response of wheat to foliar application of nutrients / M. Arif // *J. Agric. Biol. Sci.* – 2006. – V. 1. – №. 4. – P. 30-34.
90. Ayoub M. Nitrogen fertilizer rate and timing effect on bread wheat protein in eastern Canada / M. Ayoub, S. Guertin, D. L. Smith // *Journal of Agronomy and Crop Science.* – 1995. – V. 174. – №. 5. – P. 337-349.
91. Ayoub, M. Effect of nitrogen and phosphorus on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in Pakistan / M. Ayoub, I.A. Khand, P. Khan // *Pakistan Journal of Agricultural Research.* – 1994. – V. 16. – №. 3. – P. 213-218.
92. Baker, C. K. The development of winter wheat in the field. 1. Relation between apical development and plant morphology within and between seasons / C. K. Baker, J. N. Gallagher // *The Journal of Agricultural Science.* – 1983. – V. 101. – №. 2. – P. 327-335.
93. Baker, C. K. The development of winter wheat in the field. 2. The control of primordium initiation rate by temperature and photoperiod / C. K. Baker, J. N. Gallagher // *The Journal of Agricultural Science.* – 1983. – V. 101. – №. 2. – P. 337-344.
94. Bannori, S. Response of different wheat varieties to various nitrogen levels / S. A. Bannori, A. Shazma, D. Ahmad B. Jehan, S. Muhammad // *Sarhad Journal of Agriculture.* – 2005. – V. 21. – №. 1. – P. 5-10.
95. Baque, M. A. Effects of fertilizer potassium on growth, yield and nutrient uptake of wheat (*Triticum aestivum*) under water stress conditions / M. A. Baque, M. A. Karim, A. Hamid, H. Tetsushi // *South Pacific Studies.* – 2006. – V. 27. – №. 1. – P. 25-35.
96. Barber, S. A. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. – John Wiley and Sons, 1995. – P. 36-51.

97. Belopukhov, S.L. Wheat growth and productivity depending on levels of NPK when grown in Kandahar conditions in Afghanistan / S.L. Belopukhov, I.I. Seregina, Y. Nuri // *Journal of Agriculture and Environment*. — 2024. — №3 (43).
98. Bouyoucos, G. J. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1 / G. J. Bouyoucos // *Agronomy journal*. — 1962. — V. 54. — №. 5. — P. 464-465.
99. Breiman, A. Wheat evolution / A. Breiman, D. Graur // *Israel Journal of Plant Sciences*. — 1995. — V. 43. — №. 2. — P. 85-98.
100. Cauvain, S. P. (ed.). *Breadmaking: improving quality*. — Elsevier, 2012.
101. Chaudhary, P. D., Jat R. S., Sharma H. S. Interaction effect of phosphorus, sulphur and PSB inoculation on growth, yield and nutrient uptake of wheat / P. D. Chaudhary, R. S. Jat, H. S. Sharma // *Annals of Agricultural Research*. — 2003. — V. 24. — №. 1. — P. 12-16.
102. CIMMYT, 2010. A report by the International Center for Maize and Wheat Improvement (CIMMYT) published in 2010. (<https://www.cimmyt.org/> дата обращения 14.12.2021) Текст: электронный.
103. CIMMYT, 2023. A report by the International Center for Maize and Wheat Improvement (CIMMYT) published in 2023 (<https://www.cimmyt.org/> дата обращения 14.12.2021) Текст: электронный.
104. Dahnk, W. C. Soil testing and soil fertility management / W. C. Dahnk // *Crop Production Guide*. North Dakota State University, Fargo. — 1983. — P. 75-86.
105. Das N. R. *Wheat crop management*. — Scientific Publishers, 2008.
106. Das, A. Effect of nitrogen and phosphorus on growth and yield of wheat in alluvial soil / A. Das, V.K. Singh, R. Prasad // *Journal of Agricultural Research*. — 2003. — V. 15. — №. 1. — P. 1-6.
107. Dawson, A. E. The effect of potassium fertilization and timing on potassium uptake, grain yield and grain quality in a spring sown wheat crop / A. E. Dawson, A. J. Bedford, R. T. Hamilton, M. J. Shand // *Agronomy New Zealand*. — 2018. — V. 48. — №. 1. — P. 13-23.

108. Dreisigacker, S. Tracking the adoption of bread wheat varieties in Afghanistan using DNA fingerprinting / S. Dreisigacker, R. K. Sharma, E. Huttner, A. Karimov, M. Q. Obaidi, P. K. Singh, C. Sansaloni, R. Shrestha, K. Sonder, H.-J. Braun // *BMC genomics*. – 2019. – V. 20. – P. 1-13. <https://bmcgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-019-6015-4> (дата обращения 06.11.2021). – Текст: электронный.

109. El Sayed, S. A. Effect of nitrogen and potassium levels on agronomic and quality traits in three bread wheat cultivars / S. A. El Sayed, S. M. Hammad // *Journal of Plant Production*. – 2007. – V. 32. – №. 7. – P. 5139-5153.

110. El-Mageed, T. A. A. Coupling effects of potassium fertilization rate and application time on growth and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants grown under Cd-contaminated saline soil / T. A. A. El-Mageed, W. M. Semida, N. M. Abdou, S. A. A. El-Mageed // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. – 2023. – V. 23. – №. 1. – P. 1070-1084.

111. Evans, L. T. The physiological basis of crop yield / L. T. Evans // *Crop physiology*. – 1975. – P. 325-327.

112. FAO. Standard Operating Procedure for Soil Organic Carbon Walkley-Black Method: Titration and Colorimetric Method. – 2019.

113. Foreign Agricultural Service. (2021). Production, supply and distribution online. Washington, DC, United States Department of Agriculture (USDA). Retrieved 11 October 2021. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/home> (дата обращения 27.12.2021). – Текст: электронный.

114. Gaj R. Effect of differentiated phosphorus and potassium fertilization on winter wheat yield and quality / R. Gaj, D. Górski, J. Przybyl // *Journal of Elementology*. – 2013. – V. 18. – №. 1.

115. Genaev, M.A. Morphometry of the wheat spike by analyzing 2D images / M.A. Genaev, E.G. Komyshev, N.V. Smirnov, Y.V. Kruchinina, N.P. Goncharov, D.A. Afonnikov // *Agronomy*. – 2019. – V. 9. – №. 7. – P. 390.

116. Gomez, K. A., Gomez, A. A. (1984). *Statistical Procedures for Agricultural Research*. New York, NY: John Wiley & Sons.

https://scholar.google.com/scholar?hl=ru&as_sdt=0%2C5&q=Gomez%2C+K.+A.%2C+and+Gomez%2C+A.+A.+%281984%29.+Statistical+Procedures+for+Agricultural+Research.+New+York%2C+NY%3A+John+Wiley+%26+Sons.&btnG=#d=gs_cit&t=1718358307577&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3AhUYOqtlMlc8J%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D0%26hl%3Dru (дата обращения 15.10.2021). Текст: электронный.

117. Gorfu, A. Girma, K., Tanner, D.G., Asefa-Taa, and Maru, S. Effect of crop rotation and fertilizer application on wheat yield performance across five years at two locations in southeastern Ethiopia //The Eleventh Regional Wheat Workshop for Eastern, Central and Southern Africa. Addis Ababa, Ethiopia: CIMMYT. – 2000. – P. 264-274.

118. Goswami V. K. Response of wheat (*Triticum aestivum*) to nitrogen and zinc application //Annals of Agricultural Research. – 2007. – V. 28. – №. 1. – P. 90-91.

119. Goyal A., Prasad R. 27 Some Important Fungal Diseases and Their Impact on Wheat Production //Management of fungal plant pathogens. – 2010. – P. 362.

120. Guarda G., Padovan S., Delogu G. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels // European Journal of Agronomy. – 2004. – V. 21. – №. 2. – P. 181-192.

121. Guragain Y.N., Ganesh K., Bansal S., Sathish R.S., Rao N., Vadlani P.V. Low-lignin mutant biomass resources: effect of compositional changes on ethanol yield //Industrial Crops and Products. – 2014. – V. 61. – P. 1-8.

122. Haile D., Nigussie D., Ayana A. Nitrogen use efficiency of bread wheat: Effects of nitrogen rate and time of application //Journal of soil science and plant nutrition. – 2012. – V. 12. – №. 3. – P. 389-410.

123. Hameed, A., Khan, M.A., Khan, Q.M. Effect of nitrogen and phosphorus on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in Pakistan // Pakistan Journal of Agricultural Research. – 2003. – V. 15. – №. 2. – P. 7-12.

124. Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L. and Nelson, W.L. (2005) Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 7th Edition, Pearson Educational, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
125. Hay R. K. M., Kirby E. J. M. Convergence and synchrony-a review of the coordination of development in wheat //Australian Journal of Agricultural Research. – 1991. – V. 42. – №. 5. – P. 661-700.
126. Hefferon K. L. Nutritionally enhanced food crops; progress and perspectives //International journal of molecular sciences. – 2015. – V. 16. – №. 2. – P. 3895-3914.
127. Holik L., Hlisnikovský L., Kunzova E. The effect of mineral fertilizers and farmyard manure on winter wheat grain yield and grain quality //Plant, Soil Environment. – 2018. – V. 64. – №. 10.
128. Hussain, M. A., Dohuki, M. S., Ameen, H. A. Response of some bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to nitrogen levels // Kufa Journal for Agricultural Sciences. – 2017. – V. 9. – №. 4. – P. 365-390.
129. Hussain MI, Shah SH, Hussain SA, Iqbal KH. Growth, yield and quality response of three wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties to different levels of N, P and K //International Journal of Agriculture and Biology. – 2002. – V. 4. – №. 3. – P. 362-364.
130. Hussain, N., Khan, M.B. and Ahmad, R. Influence of phosphorus application and sowing time on performance of wheat in calcareous soils //Int. J. Agri. Biol. – 2008. – V. 10. – №. 4. – P. 399-404.
131. Imtiaz, M., G. Ahmad, R. Hussain, Z.A. Ahmad and G.A. Chaudhry. Response of wheat cultivars to different fertilizer levels under rainfed conditions // J. Agric. Res. – 1995. – V. 35. – P. 329–335.
132. Jan, M. T., Khan, M. J., Ahmad Khan, Mohammad Arif, Mohammad Shafi and Farmanullah. Wheat nitrogen indices response to nitrogen source and application time //Pak. J. Bot. – 2010. – V. 42. – №. 6. – P. 4267-4279.

133. Kendal E., Sayar M. S. The stability of some spring triticale genotypes using biplot analysis //JAPS: Journal of Animal and Plant Sciences. – 2016. – V. 26. – №. 3.

134. Kenzhebayeva S, Abekova A, Atabayeva S, Yernazarova G, Omirbekova N, Zhang G, Turasheva S, Asrandina S, Sarsu F, Wang Y. Mutant lines of spring wheat with increased iron, zinc, and micronutrients in grains and enhanced bioavailability for human health //BioMed Research International. – 2019. – P. 1-10.

135. Khaliq, A. J. A., Boz, İ. The role of agriculture in the economy of Afghanistan //2nd International Conference on Food and Agricultural Economics. – 2018. – P. 192-198.

136. Khan K., Shewry P. R. Wheat: Chemistry and Technology. AACCC International //Inc.: St. Paul, MN, USA. – 2009. <https://www.semanticscholar.org/paper/Wheat%3A-chemistry-and-technology.-Khan-Shewry/a4a445d3f80e70348ebb071a396463d79681146d> (дата обращения 25.10.2021). – Текст: электронный.

137. Khan T. S., Mubeen, U. Wheat straw: A pragmatic overview //Curr. Res. J. Biol. Sci. – 2012. – V. 4. – №. 6. – P. 673-675.

138. Kirby E. J. M. Botany of the wheat plant //Bread Wheat. Improvement and Production. Food and Agriculture Organization of the United Nation. Rome. – 2002. – P. 19-37.

139. Kirby E. J. M. Effect of sowing depth on seedling emergence, growth and development in barley and wheat //Field crops research. – 1993. – V. 35. – №. 2. – P. 101-111.

140. Kostić M. M. et al. The effect of N fertilizer application timing on wheat yield on chernozem soil //Agronomy. – 2021. – V. 11. – №. 7. – P. 1413.

141. Kugbei S. Efficiency of wheat seed production and crop diversification in Afghanistan //Journal of crop improvement. – 2011. – V. 25. – №. 3. – P. 191-201.

142. Kumar S., Singh K., Jatav A. L. Effect of nitrogen levels on growth and yield of recently released wheat variety Malviya 468 under late sown condition //Progressive Agriculture. – 2007. – V. 7. – №. 1and2. – P. 25-27.
143. Kumar, S., Singh, S. K., Maurya, D. K., Kumar, M. Effect of Nitrogen and Phosphorus Fertilization on the Growth and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.) // International Journal of Environment and Climate Change. – 2024. – V. 14. – №. 1. – P. 552-557.
144. Leghari, A. H., Laghari, G. M., Ansari, M. A., Mirjat, M. A., Laghari, U. A., Leghari, S. J., Abbasi, Z. A. Effect of NPK and boron on growth and yield of wheat variety TJ-83 at Tandojam soil //Advances in Environmental Biology. – 2016. – V. 10. – №. 10. – P. 209-216.
145. Li, J., Wang, Z., Song, Y., Li, J., Zhang, Y. Effects of reducing nitrogen application rate under different irrigation methods on grain yield, water and nitrogen utilization in winter wheat //Agronomy. – 2022. – V. 12. – №. 8. – P. 1835.
146. Liaqat Ali L. A., Qamar Mohy-ud-Din Q. M. D., Mushtaq Ali M. A. Effect of different doses of nitrogen fertilizer on the yield of wheat // International Journal of Agriculture and Biology. – 2003. – V. 5. – №. 4. – P. 438-439.
147. Liben, M., Assefa, A., Tadesse, T., Mariye, A. Response of bread wheat to nitrogen and phosphorous fertilizers at different agro-ecologies of Northwestern Ethiopia //Proceedings of the 12th Regional Wheat Workshop for Eastern, Central and Southern Africa. – 2004. – P. 41.
148. Lu, Q., Jia, D., Zhang, Y., Dai, X., He, M. Split application of potassium improves yield and end-use quality of winter wheat //Agronomy Journal. – 2014. – V. 106. – №. 4. – P. 1411-1419.
149. Majeed, M. A., Ahmad, R., Tahir, M., Tanveer, A., Ahmad, M. Effect of phosphorus fertilizer sources and rates on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) //Asian Journal of Agriculture and Biology. – 2014. – V. 2. – P. 14-20.

150. Malghani, A. L., Malik, A. U., Sattar, A., Hussain, F., Abbas, G., Hussain, J. Response of growth and yield of wheat to NPK fertilizer //Sci. Int. – 2010. – V. 24. – №. 2. – P. 185-189.
151. Mansour, A. A., Bassiouny, A. H., El-Maksoud, A. effect of different rates of NPK fertilization on wheat (*triticum aestivum*, l) under newly cultivated sandy soil conditions //Journal of Plant Production. – 2009. – V. 34. – №. 3. – P. 1797-1817.
152. Maqsood, M., Shehzad, M. A., Ramzan, Y., Sattar, A. Effect of nitrogen nutrition on growth, yield and radiation use efficiency of different wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars //Pakistan Journal of Agricultural Sciences. – 2014. – V. 51. – №. 2. P. 441-448.
153. Maurya, P., Kumar, V., Maurya, K. K., Kumawat, N., Kumar, R., Yadav, M. P. Effect of potassium application on growth and yield of wheat varieties //The Bioscan. – 2014. – V. 9. – №. 4. – P. 1371-1373.
154. Mian M. A. R., Nafziger E. D. Seed size and water potential effects on germination and seedling growth of winter wheat //Crop Science. – 1994. – V. 34. – №. 1. – P. 169-171.
155. Mosali, J., Desta, K., Teal, R. K., Freeman, K. W., Martin, K. L., Lawles, J. W., Raun, W. R. Effect of foliar application of phosphorus on winter wheat grain yield, phosphorus uptake, and use efficiency //Journal of Plant Nutrition. – 2006. – V. 29. – №. 12. – P. 2147-2163.
156. Muhammad Yasin, M. Y., Bhutto, A. W., Bazmi, A. A., Sadia Karim, S. K. Efficient utilization of rice-wheat straw to produce value-added composite products // Int. J. Chem. Env. Eng. – 2010. – V. 1. – №. 2. – P. 136-143.
157. Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vianello, A. Physiological effects of humic substances on higher plants //Soil Biology and Biochemistry. – 2002. – V. 34. – №. 11. – P. 1527-1536.
158. Noonari, S., Kalhor, S.A., Ali, A., Mahar, A., Raza, S., Ahmed, M., Shah, S.F.A. and Baloch, S.U. Effect of different levels of phosphorus and method of

application on the growth and yield of wheat //Natural Science. – 2016. – V. 8. – №. 7. – P. 305-314.

159. NSIA. (2021). Afghanistan statistical yearbook 2020. Kabul, National Statistic and Information Authority (NSIA). Retrieved 28 June 2021 <https://www.nsia.gov.af:8080/wp-content/uploads/2021/04/Afghanistan-Statistical-Yearbook-first-Version.pdf> (дата обращения 20.11.2021). – Текст: электронный.

160. Obaidi et al., 2017 National catalogue of wheat varieties in Afghanistan. https://www.researchgate.net/publication/354652432_Catalogue_of_Wheat_Varieties_in_Afghanistan.

161. Obaidi MQ, Osmanzai M, Singh RP, Pena J, Braun HJ, Sharma R. Development of four new Ug99 resistant wheat varieties for Afghanistan // Wheat Information Service. – 2011. – P. 4-10.

162. O'Brien, D. T., Barnes, M. S., Campbell, R. S. Influence of NPK and manure fertilization on yield and quality of spring wheat in Iowa // Journal of Plant Nutrition. – 2020. – V. 43. – №. 11. – P. 2822-2838.

163. Otteson B. N., Mergoum M., Ransom J. K. Seeding rate and nitrogen management effects on spring wheat yield and yield components //Agronomy journal. – 2007. – V. 99. – №. 6. – P. 1615-1621.

164. Panchal A. R., Tank D. A., Vaishnav P. R. Response of irrigated durum wheat (*Triticum durum* Desf.) variety GW-1139 on yield and quality to nitrogen level and its time of application. – 2008. – V. 9. – №. 2. – P. 497-499.

165. Pandey I. B. et al. Response of late-sown wheat (*Triticum aestivum*) varieties to nitrogen levels. – 2008.

166. Patel, H.R., and Upadhyay, R.C. Effect of nitrogen and phosphorus on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in vertisol // Journal of Agricultural Research. – 1993. – V. 15. – №. 3. – P. 207-211.

167. Peng J., Sun D., Nevo E. Wild emmer wheat, '*Triticum dicoccoides*', occupies a pivotal position in wheat domestication process //Australian Journal of Crop Science. – 2011. – V. 5. – №. 9. – P. 1127-1143.

168. Pettigrew W. T. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton // *Physiologia plantarum*. – 2008. – V. 133. – №. 4. – P. 670-681.
169. Rahman, M. A., Sarker, M. A. Z., Amin, M. F., Jahan, A. H. S., Akhter, M. M. Yield response and nitrogen use efficiency of wheat under different doses and split application of nitrogen fertilizer. – 2011. – V. 36. – № 2. – P. 231-240.
170. Ram T., Yadavand S. K., Sheoran R. S. Growth analysis of wheat (*Triticum aestivum* L.) under varying fertility levels and *Azotobacter* strains // *Indian Journal of Agricultural Research*. – 2005. – V. 39. – №. 4. – P. 295-298.
171. Ramadas S., Kumar T. M. K., Singh G. P. Wheat production in India: Trends and prospects // *Recent advances in grain crops research*. – IntechOpen, 2019.
172. Rashid, A. (1997). FAO/GIEWS Special Report on Afghanistan 08/97. Available online at: <http://www.fao.org/3/w6059e/w6059e00.htm> (дата обращения 28.10.2021). – Текст: электронный.
173. Rawal N . Nutrient use efficiency (NUE) of wheat (*Triticum aestivum* L.) as affected by NPK fertilization // *Plos one*. – 2022. – V. 17. – №. 1.
174. Sahoo, B., Saraswat, M. L., Haque, N., Khan, M. Y. Influence of chemical treatment of wheat straw on carbon–nitrogen and energy balance in sheep // *Small Ruminant Research*. – 2002. – V. 44. – №. 3. – P. 201-206.
175. Setter T. L., Carlton G., Australia P. A. W. The structure and development of the cereal plant // AUSTRALIAN GOVERNMENT. *The Wheat Book, Principles and Practice*. Camberra. – 2000. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Wheat-book-%3A-principles-and-practice-Anderson-Garlinge/dd784efa73b3a2c58e55ac7a727ca2cee6dfa338>. (дата обращения 27.10.2021). – Текст: электронный.
176. Shafeek M. R., Helmy Y. I., Shokr M. M. B. Response of hot pepper (*Capsicum annum* L.) to nitrogen fertilizer and humic acid levels under sandy soil conditions in plastic house // *Middle East Journal of Agriculture Research*. – 2014. – V. 3. – №. 2. – P. 235-241.

177. Sharma A. Influence of phosphorus levels and phosphorus solubilizing fungi on yield and nutrient uptake by wheat under sub-humid region of Rajasthan, India / A. Sharma, U. S. Rawat, B. K. Yadav // International Scholarly Research Net Work Agronomy. – 2012. – P. 1-9. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.5402/2012/234656> (дата обращения 21.10.2022). – Текст: электронный.

178. Sharma R., Nang M. Afghanistan wheat seed scenario: status and imperatives //International Journal of Agricultural Policy and Research. – 2018. – V. 6. – №. 5. – P. 71-5.

179. Shewry P. R. Wheat //Journal of experimental botany. – 2009. – V. 60. – №. 6. – P. 1537-1553.

180. Shewry P. R., Hey S. J. The contribution of wheat to human diet and health //Food and energy security. – 2015. – V. 4. – №. 3. – P. 178-202.

181. Singh P., Agrawal V. K., Singh Y. V. Effect of potassium and FYM on growth parameters, yield and mineral composition of wheat (*Triticum aestivum* L.) in alluvial soil // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. – 2019. – V. 8. – №. 3. – P. 24-27.

182. Sisie S. A., Mirshekari B. Effect of phosphorus fertilization and seed biofertilization on harvest index and phosphorus use efficiency of wheat cultivars. – 2011. – V. 9. – №. 2. – P. 388-391

183. Soil Survey Staff, Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture. Soil Series Classification Database. Available online. <https://www.agroinvestor.ru/markets/news/41616-v-etom-godu-v-rossii-snizilas-urozhaynost-zernovykh/>. (дата обращения 21.10.2021). – Текст: электронный.

184. Soofizada Q. Evaluation of the effects of nutrient management on grain yield, quality, and rheological properties of common wheat varieties (*Triticum aestivum* L.). – 2023. https://www.researchgate.net/publication/370651637_Evaluation_of_the_effects_of_nutrient_management_on_grain_yield_quality_and_rheological_properties_of_common_wheat_varieties_Triticum_aestivum_L. (дата обращения 25.10.2021). – Текст:

электронный.

185. Spilde L. A. Influence of seed size and test weight on several agronomic traits of barley and hard red spring wheat // *Journal of Production Agriculture*. – 1989. – V. 2. – №. 2. – P. 169-172.

186. Sun, C., Sun, N., Ou, Y., Gong, B., Jin, C., Shi, Q., Lin, X. Phyto melatonin and plant mineral nutrition // *Journal of Experimental Botany*. – 2022. – V. 73. – №. 17. – P. 5903-5917.

187. Sylvester-Bradley R., Dampney P. M. R., Murray A. W. A. The response of winter wheat to nitrogen. – 1996. – P. 151-174.

188. Tabak, M., Lepiarczyk, A., Filipek-Mazur, B., Lisowska, A. Efficiency of nitrogen fertilization of winter wheat depending on sulfur fertilization // *Agronomy*. – 2020. – V. 10. – №. 9. – P. 1304.

189. Tanács, L., Matuz, J., Gerő, L., Petrőczy, I. M. Effects of NPK fertilizers and fungicides on the quality of bread wheat in different years // *Cereal Research Communications*. – 2005. – V. 33. – P. 627-634.

190. Tilahun, G., Feyissa, T., Kedir, N., Genene, G., Habtamu, S., Ashinie, B., Abdo, W. Recommendations of production management practices // *Fifteen years' achievements. Oromia Agricultural Research Institute, Sinana Agricultural Research Center, Bale Robe, Ethiopia*. – 2008. – V. 259. – P. 39-46.

191. United Nations Food and Agriculture Organization (2022) (FAO). FAOSTAT database. Rome. <https://www.fao.org/common-pages/common-elements/top-navigation-content-2022/statistics/en/> (дата обращения 23.10.2021). – Текст: электронный.

192. United States Department of Agriculture. World agricultural production [Database]. International Production Assessment Division 2023. Retrieved from <https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/default.aspx?id=> (дата обращения 22.10.2021). – Текст: электронный.

193. Verkleij F. N. Seaweed extracts in agriculture and horticulture: a review // *Biological Agriculture a Horticulture*. – 1992. – V. 8. – №. 4. – P. 309-324.

194. Verma R. N., Nirala R. K., Ashwani Kumar A. K. Response of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties to phosphorus application under late sown condition in Central Uttar Pradesh // *Farm Science Journal*. – 2005. V. 14. – №. 1. – P. 52-53.

195. Veselá M. Amino acid and soluble protein cocktail from waste keratin hydrolysed by a fungal keratinase of *Paecilomyces marquandii* / M. Veselá, J. Friedrich // *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. – 2009. – V. 14. – P. 84-90.

196. Wang, J. Effects of nitrogen application rate under straw incorporation on photosynthesis, productivity and nitrogen use efficiency in winter wheat / J. Wang, S. Hussain, X. Sun, P. Zhang, T. Javed, E.S. Dessoky, X. Ren, Chen, X. // *Frontiers in Plant Science*. – 2022. – V. 13. – P. 862088.

197. Warraich, E. A. Effect of nitrogen on source-sink relationship in wheat / E. A. Warraich, N. A. Nazik Ahmed, S. M. A. Basra, I. A. Irfan Afzal // *International Journal of Agriculture and Biology*. – 2002. – V. 4. – №. 2. – P. 300-302.

198. Waziri, A. Making Afghanistan wheat secure by 2022 / A. Waziri, A. Habibi, A. R. Manan, H. Rabbani, H. Kamalzai, K. S. J. Alawi, M. Osmanzai, M. A. Dost, N. Bakhtani // *Wheat Information Service*. – 2013. №. 116. – P. 12-14.

199. Worldometer (2022). Население Афганистана. <https://www.worldometers.info/world-population/afghanistan-population/>

200. Yadav, D.S. Effect of zero tillage and nitrogen level on wheat (*Triticum aestivum*) after rice (*Oryza sativa*) / D.S. Yadav, R.P. Shukla, B.K. Susant // *Indian Journal of Agronomy*. – 2005. – V. 50. – №. 1. – P. 52-53.

201. Youssef, S. M., Faizy, S. E. D., Mashali, S. P., El-Ramady, H., Ragab, S. Effect of different levels of NPK on wheat crop in North Delta. – 2013. <https://scholar.google.co.in/citations?user=uLLci6MAAAAJ&hl=en> (дата обращения 20.10.2021). – Текст: электронный.

202. Zecevic, V. Effect of nitrogen fertilization on winter wheat quality / V. Zecevic, D. Knezevic, J. Boskovic, D. Micanovic, G. Dozet //Cereal Research Communications. – 2010. – V. 38. – №. 2. – P. 243-249.

203. Zhang X. Contribution of cultivar, fertilizer and weather to yield variation of winter wheat over three decades: A case study in the North China Plain / X. Zhang, W. Shufen, S. Hongyong, C. Suying // European journal of agronomy. – 2013. – V. 50. – P. 52-59. DOI:10.1016/j.eja.2013.05.005

204. Zhang, X., Response of canopy photosynthesis, grain quality, and harvest index of wheat to different nitrogen application methods / X. Zhang, S. Du, Y. Xu, Y. Qiao, C. Cao, W. Li. // Plants. – 2022. – V. 11. – №. 18. – P. 2328.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение А

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ В ПЕРИОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Таблица 1. Метеорологические данные в период исследований 2020-2021 гг.

Стандартная метеорологическая неделя	Период 2020-21		Температура (°C)		Относительная влажность	Скорость ветра км/ч	Осадки (мм)
			Макс	Мин			
48	23Нояб	29- Нояб	14.4	2.0	66	6.3	4.6
49	30Нояб	6- Дек	18.8	4.0	53	6.8	0
50	7-Дек	13- Дек	12.1	1.4	73	6.1	13.4
51	14- Дек	20-Д Дек	9.5	-3.0	53	6.2	0
52	21- Дек	27- Дек	13.1	-0.6	55	8.5	0.3
1	27- Дек	2- ЯНВ	8.0	-5.1	47	6.4	0
2	3-ЯНВ	9- ЯНВ	7.8	-4.7	47	6.3	0
3	10- ЯНВ	16- ЯНВ	12.0	-3.9	49	5.9	0
4	17- ЯНВ	23- ЯНВ	16.1	0.0	37	8.8	0
5	24- ЯНВ	30- ЯНВ	12.4	-2.9	29	6.7	0
6	31- ЯНВ	6-Фев	17.3	1.4	32	8.1	0
7	7- Фев	13- Фев	21.4	5.0	29	7.7	0
8	14- Фев	20- Фев	22.8	6.1	20	8.4	0
9	21- Фев	27- Фев	19.9	6.0	45	9.5	6.2
10	28- Фев	6-Март	22.0	6.2	32	8.6	0.9
11	7- Март	13- Март	23.9	9.1	25	9.4	3
12	14-Март	20- Март	25.6	10.1	34	9.1	0.9
13	21-Март	27- Март	25.6	10.4	48	8.8	16.8
14	28-Март	3-Апр	27.6	11.6	17	13.5	0
15	4- Апр	10- Апр	28.6	12.9	16	10.9	0
16	11- Апр	17- Апр	30.4	16.0	25	10.7	3.6
17	18- Апр	24- Апр	31.1	16.2	14	11.0	0
18	25- Апр	1-Май	34.6	19.4	14	9.6	0
19	2- Май	8- Май	30.5	16.8	45	9.8	4.2
20	9- Май	15- Май	34.1	19.9	18	9.6	0

Таблица 2. Метеорологические данные в период исследований 2021-2022 гг.

Стандартная метеорологическая неделя	Период 2021-22		Температура(°С)		Относительная влажность	Скорость ветра км/ч	Осадки (mm)
			Max	Min			
48	23-Нояб	29-Нояб	18.7	4.3	40	7.4	0
49	30-Нояб	6-Дек	18.8	4.7	35	7.8	0.2
50	7-Дек	13-Дек	14.7	0.3	50	6.8	0
51	14-Дек	20-Дек	11.7	-2.0	43	6.3	0
52	21-Дек	27-Дек	17.5	3.2	28	7.1	0.4
1	27-Дек	2-Янв	12.4	1.9	38	8.2	20.7
2	3-Янв	9-Янв	10.0	3.6	83	9.8	87.7
3	10-Янв	16-Янв	11.5	1.2	72	7.7	4.9
4	17-Янв	23-Янв	11.2	2.5	77	9.5	39.8
5	24-Янв	30-Янв	11.5	-0.8	75	6.3	0
6	31-Янв	6-Фев	14.8	0.8	61	8.6	0.4
7	7-Фев	13-Фев	15.5	0.7	49	8.0	0.5
8	14-Фев	20-Фев	17.0	2.7	46	7.0	0
9	21-Фев	27-Фев	18.8	4.8	45	10.1	1.6
10	28-Фев	6-Март	22.0	7.2	40	8.8	6.5
11	7-Март	13-Март	26.1	9.9	47	11.0	2.1
12	14-Март	20-Март	31.2	13.9	21	9.9	0
13	21-Март	27-Март	28.5	11.3	17	9.1	0
14	28-Март	3-Апр	28.1	10.5	14	10.0	0
15	4-Апр	10-Апр	33.9	15.5	12	8.5	0
16	11-Апр	17-Апр	33.8	16.5	9	9.9	0.3
17	18-Апр	24-Апр	30.7	15.4	26	11.4	1.8
18	25-Апр	1-Май	36.0	19.3	14	9.5	0
19	2-Май	8-Май	35.3	20.0	19	10.6	0.4
20	9-Май	15-Май	36.7	20.5	10	10.2	0

Таблица 3. Метеорологические данные в период исследований 2022-2023 гг.

Стандартная метеорологическая неделя	Период 2022-23		Температура (°C)		Относительная влажность	Скорость ветра км/ч	Осадки (mm)
			Макс	Мин			
48	23-Нояб	29-Нояб	17.8	1.9	46	7.1	0
49	30-Нояб	6-Дек	16.0	2.3	48	6.9	0
50	7-Дек	13-Дек	13.2	1.9	59	6.0	9.9
51	14-Дек	20-Дек	13.7	-0.5	65	7.1	0
52	21-Дек	27-Дек	12.3	-1.3	66	6.2	0
1	27-Дек	2-Янв	11.2	1.3	64	8.6	17.4
2	3-Янв	9-Янв	12.4	1.2	72	8.5	25.3
3	10-Янв	16-Янв	4.5	-5.1	67	8.1	11.9
4	17-Янв	23-Янв	6.4	-1.6	69	9.5	7.6
5	24-Янв	30-Янв	7.3	-1.8	79	6.2	4.9
6	31-Янв	6-Фев	16.2	2.5	64	7.2	3.2
7	7-Фев	13-Фев	15.3	1.2	62	10.6	4.5
8	14-Фев	20-Фев	23.6	7.1	55	9.8	0
9	21-Фев	27-Фев	22.9	7.7	39	7.7	0.2
10	28-Фев	6-Март	19.0	8.7	28	9.3	22.7
11	7-Март	13-Март	25.7	9.9	62	7.9	0.3
12	14-Март	20-Март	25.8	11.1	38	7.8	1
13	21-Март	27-Март	19.4	8.9	28	8.4	64.3
14	28-Март	3-Апр	22.2	9.7	61	9.0	4.0
15	4-Апр	10-Апр	26.8	10.1	68	7.7	0
16	11-Апр	17-Апр	32.0	15.9	30	9.4	7.2
17	18-Апр	24-Апр	28.7	12.2	18	8.6	0
18	25-Апр	1-Май	31.9	17.3	26	10.2	0.1
19	2-Май	8-Май	31.3	16.4	19	9.1	0.1
20	9-Май	15-Май	35.6	18.2	22	11.5	0.0

Приложение Б

СТОИМОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ ПШЕНИЦЫ

Таблица 4. Общая стоимость выращивания пшеницы (афгани/га)

Постоянные расходы					
#	Детали	Единица	Количество	Цена	Сумма
1	Аренда земли, на 1 сезон за гектар	Гектар	1	8,000	8,000
2	Вспашка	Час	5	600	3,000
3	Строительство валов и Создание оросительных каналов	Рабочая сила	4	350	1,400
4	Посев семян	Рабочая сила	4	350	1,400
5	Семéна	кг	125	46	5,750
6	Орошение	нет	8	200	1,600
7	Уборка и обмолот урожая	Рабочая сила	8	350	2,800
8	Прочие расходы	LS	1	1,500	1,500
9	Упаковка и транспортировка	LS	1	1,000	1,000
10	Прополка	Рабочая сила	4	350	1,400
Итого					27,850

Таблица 5. Общая стоимость выращивания пшеницы (Руб./га)

Постоянные расходы					
#	Детали	Единица	Количество	Цена	Сумма
1	Аренда земли, на 1 сезон за гектар	Гектар	1	10,080	10,080
2	Вспашка	Час	5	756	3,780
3	Строительство валов и Создание оросительных каналов	Рабочая сила	4	441	1,764
4	Посев семян	Рабочая сила	4	441	1,764
5	Семёна	кг	125	57.96	7,245
6	Орошение	нет	8	252	2,016
7	Уборка и обмолот урожая	Рабочая сила	8	441	3,528
8	Прочие расходы	LS	1	1,890	1,890
9	Упаковка и транспортировка	LS	1	1,260	1,260
10	Прополка	Рабочая сила	4	441	1,764
Итого					35,091

Приложение В

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ (ПРИМЕР)

Таблица 6. Дисперсионный анализ (ANOVA)

Источник вариации	DF	Сумма квадратов	Средний квадрат	F-критерий	Значение
Повторность	2	1.368			
Обработки	8	13.751	1.719	11.486	0.00003
Ошибка	16	2.395	0.150		
Общая сумма	26	17.514			

Таблица 7. Таблицы среднего, стандартного отклонения, стандартной ошибки и критической разницы

Вариант	Показатель 1	
	Среднее	Стандартная ошибка
1	1.457	0.071
2	2.347	0.160
3	2.420	0.544
4	2.737	0.377
5	2.783	0.127
6	2.803	0.195
7	3.353	0.237
8	3.700	0.214
9	3.950	0.047
НСР ₀₅	0.675	
Стд.ошибка (среднее)	0.223	
Стд.ошибка (дисперсия)	0.316	

Приложение Г

ФОТОГРАФИИ МИКРОСКОПИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

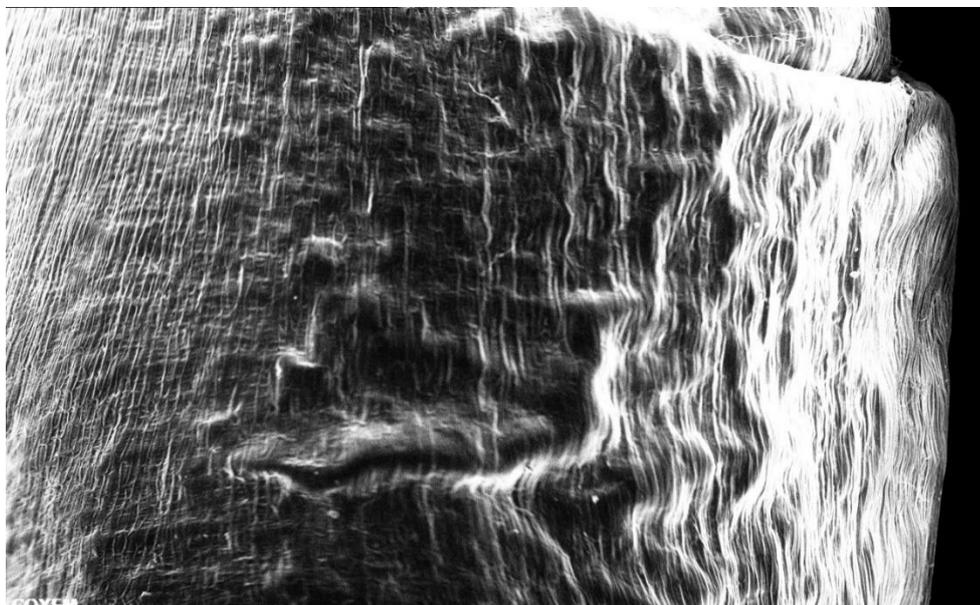


Рисунок 1 – Анализ зерна пшеницы с использованием электронного микроскопа Сохем EM-30 PLUS.

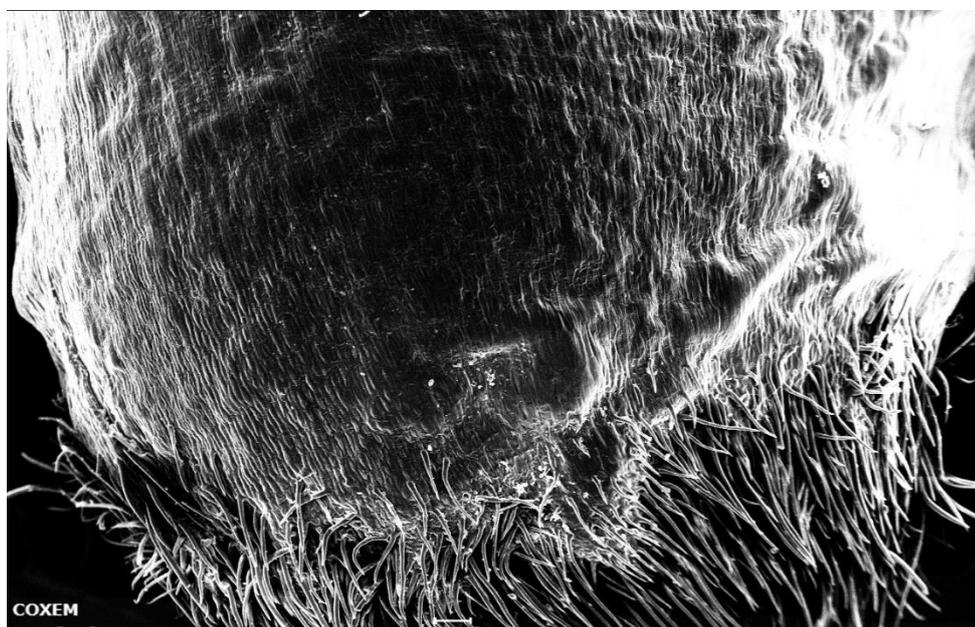


Рисунок 2 – Анализ зерна пшеницы с использованием электронного микроскопа Сохем EM-30 PLUS.

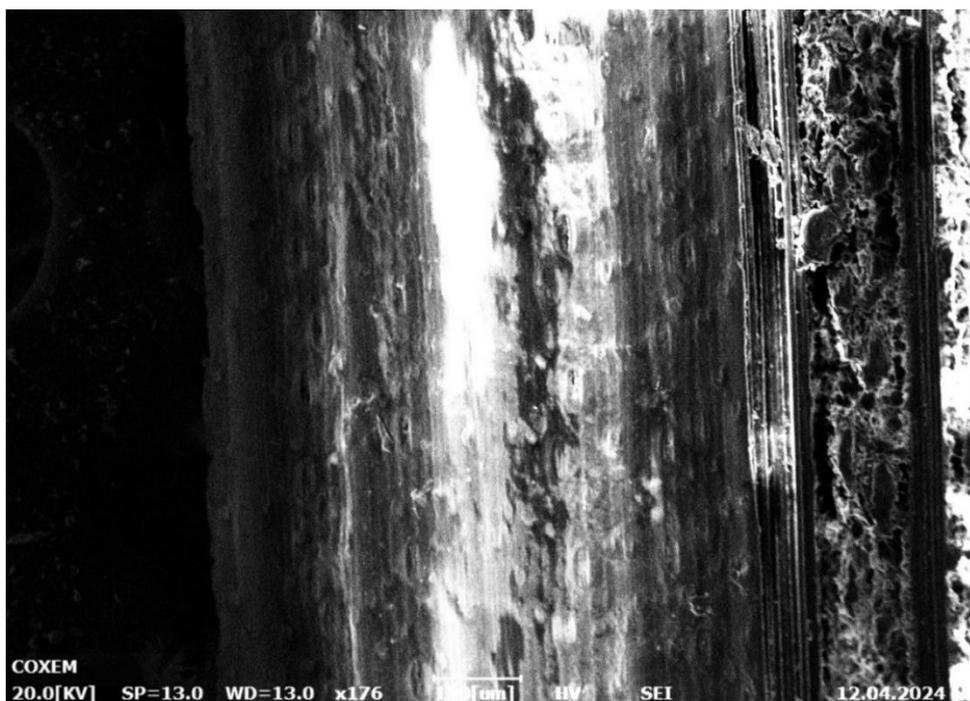


Рисунок 3 – Анализ соломы озимой пшеницы с помощью электронного микроскопа Сохем EM-30 PLUS.

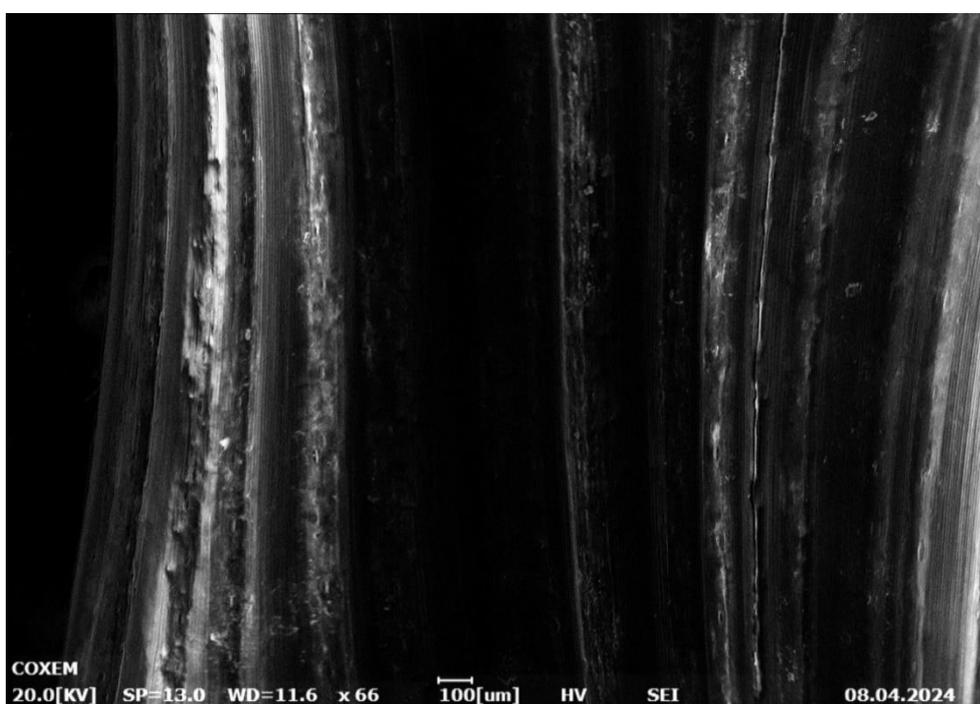


Рисунок 4 – Анализ соломы озимой пшеницы с помощью электронного микроскопа Сохем EM-30 PLUS.

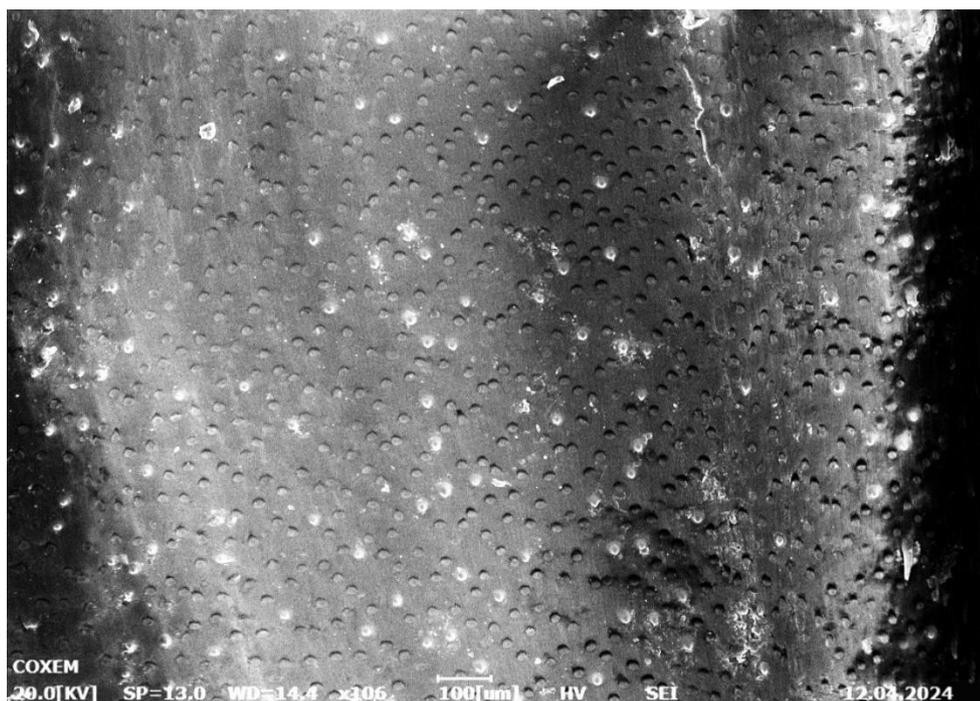


Рисунок 5 – Анализ шелухи пшеницы с использованием электронного микроскопа Сохем EM-30 PLUS.

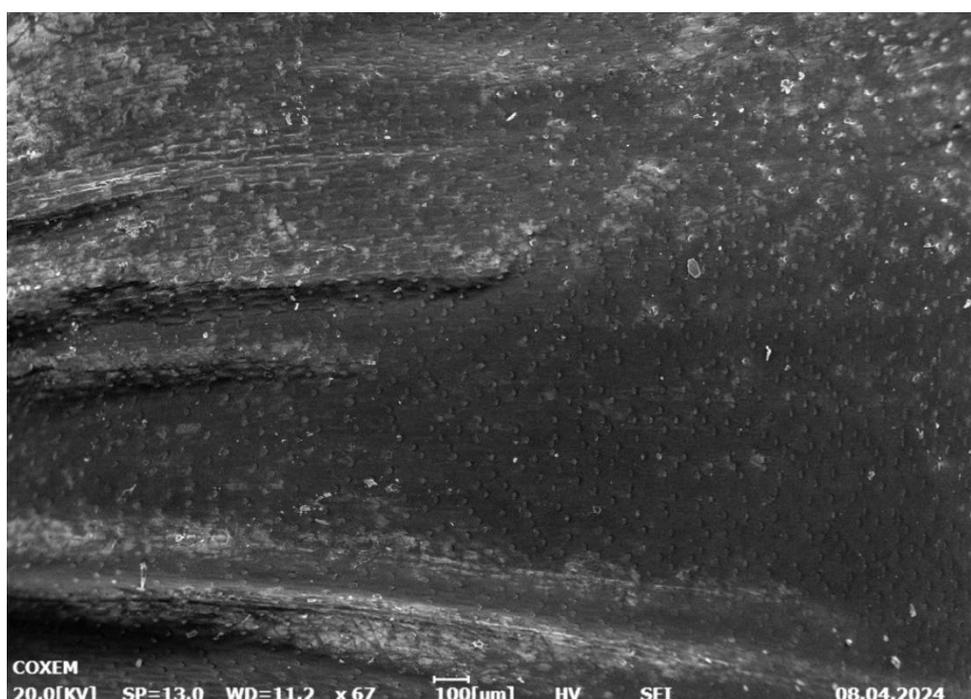


Рисунок 6 – Анализ шелухи пшеницы с использованием электронного микроскопа Сохем EM-30 PLUS.

Приложение Д

Азот (N), фосфор (P₂O₅) и калий (K₂O) вносились с использованием мочевины, диаммофоса (DAP) и сульфата калия (K₂SO₄) соответственно. Диаммофос, содержащий 46% P₂O₅ и 18% N, вносился до посева. Мочевина вносилась в два этапа: 60% на стадии кущения и 40% на ранней стадии выхода в трубку. Таким образом, азот вносился в три этапа: до посева через диаммофос и в два последующих этапа через мочевины. Калий вносился до посева с использованием сульфата калия, который содержит 50% K₂O. См. таблицу ниже для получения подробной информации о нормах внесения.

Вариант	N	P	K	Мочевина (46 % N), кг/га	DAP (46% P ₂ O ₅ , 18% N) кг/га	K ₂ SO ₄ (50% K ₂ O) кг/га
Контроль	0	0	0	0	0	0
N₁, P₁, K₁	70	30	30	126.7	65.2	72.0
N₁, P₁, K₂	70	30	60	126.7	65.2	144.0
N₁, P₂, K₁	70	60	30	101.1	130.4	72.0
N₁, P₂, K₂	70	60	60	101.1	130.4	144.0
N₂, P₁, K₁	140	30	30	278.8	65.2	72.0
N₂, P₁, K₂	140	30	60	278.8	65.2	144.0
N₂, P₂, K₁	140	60	30	253.3	130.4	72.0
N₂, P₂, K₂	140	60	60	253.3	130.4	144.0