ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ П. А. СТОЛЫПИНА»

На правах рукописи

УДК 633.11: 631.811

Цыганова Надежда Александровна

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ В КАЧЕСТВЕ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Специальность 06.01.04 - агрохимия

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук, доцент
Воронкова Наталья Артёмовна

Омск 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 9

ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ 10

1.1 Физиологически активные вещества и их значение для растений .. 10

1.2 Физиологическая и биохимическая роль органических кислот в росте и развитии растений 16

1.3 Применение органических кислот (интермедиатов цикла Кребса) в сельском хозяйстве 20

ГЛАВА 2 ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ 29

2.1 Метеорологические и почвенные условия проведения исследований 29

2.2 Объекты и методы исследований 38

ГЛАВА 3 ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ 46

ГЛАВА 4 ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ 54

4.1 Формирование ассимиляционной поверхности яровой мягкой пшеницы 54

4.2 Фотосинтетическая продуктивность посевов яровой мягкой пшеницы 62

4.3 Динамика накопления сухого вещества растениями яровой мягкой пшеницы 66

ГЛАВА 5 СОДЕРЖАНИЕ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ 72

5.1 Содержание макроэлементов в растениях яровой мягкой пшеницы .. 72

5.2 Вынос и расход макроэлементов яровой мягкой пшеницей 74
ГЛАВА 6 ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ 79
6.1 Урожайность яровой мягкой пшеницы 79
6.2 Структура урожая яровой мягкой пшеницы 84
6.3 Оценка качества зерна яровой мягкой пшеницы 89
ГЛАВА 7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ 95
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ 106
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 107
ПРИЛОЖЕНИЯ 131

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Одной из основных задач земледелия является производство зерновой продукции: обеспечение населения – продовольствием, животноводства – кормами, а промышленность – сырьем. В аграрной политике нашего государства производству зерна яровой пшеницы отводится центральная роль, так как она является основной возделываемой культурой в России. К примеру, в Омской области посевные площади этой культуры занимают около 80%. Увеличение валового сбора зерна и улучшение качества урожая остаются неизменной задачей сельхозпроизводителей. Решение ее может быть реализовано через применение широкого спектра агрохимических средств, в том числе и биологически активных веществ (регуляторы роста, витамины, гумусовые вещества, антибиотики, некоторые органические кислоты и др.). Использование их в агротехнологиях позволяет экзогенно влиять на адаптивный и продукционный потенциал растений (Яхин, Лубянов и др., 2014; Шаповал, Можарова., и др., 2015; Котляров и др., 2016). В исследованиях В.А. Исайчева (2004), И.Р. Вильдфлуш (2011), Г.А. Карповой, Л.В. Карповой (2015) отмечено, что применение этих веществ в растениеводстве экономически выгодно, к тому же позволяет снизить антропогенную нагрузку на агроценоз и получить экологически безопасную продукцию.

Органические кислоты, такие как янтарная, яблочная, лимонная и щавелевая, обладают высокой биологической активностью, стимулируя рост и развитие растений. Они являются интермедиатами основных физиолого-биохимических процессов: фотосинтеза, дыхания и морфогенеза. Образуясь уже на первых этапах жизненного цикла растений – при прорастании семян, они являются самыми распространенными веществами в растении наряду с углеводами и белками (Верещагин, Кропоткина, 2010; Емельянов, Максимова, и др., 2016).

Исследования по изучению эффективности органических кислот (янтарной, яблочной, лимонной и щавелевой) в условиях лесостепной зоны

Западной Сибири фрагментарны и недостаточно систематизированы. В связи с этим, установление влияния предпосевной обработки семян органическими кислотами на продуктивность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях Омского Прииртышья актуальны и практически значимы.

Цель исследования - изучить эффективность предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы органическими кислотами (янтарной, яблочной, лимонной, щавелевой) при возделывании ее в лесостепной зоне Западной Сибири.

Задачи исследований:

– выявить концентрации растворов органических кислот (янтарной, яблочной, лимонной, щавелевой), оказывающие ростостимулирующие влияние на посевные качества и морфофизиологические показатели проростков яровой мягкой пшеницы;

– изучить влияние предпосевной обработки семян органическими кислотами на динамику накопления биомассы и фотосинтетическую продуктивность посевов яровой мягкой пшеницы;

– определить содержание макроэлементов (NPK) в растениях яровой мягкой пшеницы в зависимости от предпосевной обработки семян органическими кислотами;

– установить действие предпосевной обработки семян органическими кислотами на структуру урожая, продуктивность и качество зерна яровой мягкой пшеницы;

– дать экономическую и биоэнергетическую оценку эффективности применения органических кислот для предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы в южной лесостепной зоне Западной Сибири.

Научная новизна. Впервые проведены исследования по изучению эффективности применения органических кислот (янтарной, яблочной, лимонной, щавелевой) для предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири. Установлены закономерности и направленность влияния предпосевной обработки семян

органическими кислотами на всхожесть, морфофизиологические параметры проростков пшеницы, на динамику нарастания биомассы и фотосинтетическую продуктивность посевов яровой мягкой пшеницы. В полевых условиях определены эффективные концентрации растворов изучаемых органических кислот для предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы. Даны количественные и качественные параметры выноса и расхода макроэлементов в зависимости от предпосевной обработки семян органическими кислотами. Установлено, что наиболее эффективно применение янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}М для предпосевной обработки семян, прибавка урожайности составила 0,29 т/га зерна. Дана экономическая и биоэнергетическая оценка применения органических кислот для предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты исследований являются научным обоснованием эффективности применения органических кислот (янтарной, яблочной, лимонной, щавелевой) для предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепной зоны Западной Сибири. Проведенные исследования являются новыми углубленными данными о влиянии предпосевной обработки семян яровой пшеницы растворами органических кислот на фотосинтетическую продуктивность посевов, интенсивность накопления биомассы растениями, урожайность и качество зерна. Разработанные на основании выполненных исследований рекомендации по обработке семян яровой мягкой пшеницы янтарной кислотой (10^{-3}М) на фоне $N_{30}P_{60}$ позволят получать прибавку урожайности культуры на уровне 20%. Агроприем повышает экономическую и биоэнергетическую эффективность возделывания яровой мягкой пшеницы.

Методология и методы исследования. Методология исследований включала анализ научных источников, разработку рабочей гипотезы, постановку цели и задач исследований, проведение экспериментов и наблюдений, лабораторных анализов по общепринятым методикам и ГОСТам,

математическую обработку полученных данных и их анализ. В работе использованы эмпирические методы исследований (полевой и лабораторный опыт), статистические (дисперсионный и корреляционный анализ), а также цифровое и текстовое отображение полученных результатов.

Основные положения, выносимые на защиту:

– закономерности влияния предпосевной обработки семян органическими кислотами (янтарной, яблочной, лимонной, щавелевой) на фотосинтетическую продуктивность посевов яровой мягкой пшеницы в зависимости от состава кислоты и концентрации рабочего раствора;

– эффективность применения органических кислот в качестве стимуляторов роста для предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы.

– экономическое и биоэнергетическое обоснование эффективности применения органических кислот для предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы.

Достоверность полученных результатов. Достоверность результатов научного исследования подтверждена большим количеством экспериментального материала, полученного за трехлетний период. Лабораторный, полевой опыты, и агрохимические анализы проведены в строгом соответствии с методическими требованиями. Запланированные наблюдения, учеты, измерения и анализы выполнены в полном объеме. Проведена статистическая обработка полученных данных. Результаты исследований успешно прошли производственную проверку в 2020 году и были внедрены на площади 55 га в СПК им. Кирова Калачинского района Омской области.

Апробация результатов. Основные положения и результаты исследований вошли в научные отчеты лаборатории агрохимии «Омского АНЦ» по теме исследований «Разработка регламентов комплексного применения минеральных и органических удобрений на черноземных почвах лесостепи Западной Сибири» (№ 0797–2014–0006) за 2017-2018 гг. Материалы диссертации ежегодно докладывались на научно-техническом совете кафедры

агрохимии и почвоведения Омского ГАУ. Основные положения диссертационной работы докладывались на научно-практических конференциях: «Сборник докладов круглого стола в рамках XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии» (г. Москва, 2016 г.), «Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства» (г. Омск, 2016 г.), «Актуальные проблемы научного обеспечения земледелия Западной Сибири» (г. Омск, 2020 г.), «Безопасность городской среды» (г. Омск, 2020 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 статей, из них 1 статья в журнале из списка Scopus, 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России и 4 статьи в сборниках научных конференций.

Личный вклад автора. Соискателем разработана общая концепция и программа исследований, которая была реализована согласно плану в лабораторных и полевых условиях с личным участием автора. Выполнен анализ научной литературы по теме исследований, проведена математическая обработка экспериментальных данных. Обобщенные результаты исследования отражены в выводах к работе, на основе которых сформулированы предложения производству.

Структура и объём работы. Диссертационная работа изложена на 139 страницах. Состоит из введения, 7 глав, заключения и рекомендаций производству, содержит 18 таблиц и 17 рисунков. Список литературы включает 226 наименований, в том числе 10 работ зарубежных авторов.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю – доктору с.-х. наук Н.А. Воронковой, научному сотруднику В.Д. Дороненко, старшему научному сотруднику Е.В. Тукмачевой, всем сотрудникам лабораторий агрохимии и качества зерна «Омского АНЦ», а также сотрудникам кафедры агрохимии и почвоведения «Омского ГАУ».

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

БАВ – биологически активные вещества;

ЛК – лимонная кислота;

ПОС – предпосевная обработка семян;

ФП – фотосинтетический потенциал;

ЧПФ – чистая продуктивность фотосинтеза;

ЩК – щавелевая кислота;

ЯбК – яблочная кислота;

ЯК – янтарная кислота.

ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Физиологически активные вещества и их значение для растений

На формирование урожая сельскохозяйственных культур оказывает действие большое количество факторов, которые влияют на его количество и качество. При поиске способов увеличения данных показателей сельхозпроизводителями на первый план выдвигаются требования по разработке высокоэффективных приемов использования минеральных удобрений, гербицидов, регуляторов роста и других средств химизации, благодаря которым формируется не менее половины прибавки урожайности зерновых культур.

Основной задачей сельхозтоваропроизводителей в условиях рыночных отношений является увеличение валового сбора урожая с наименьшими затратами, что позволяет обеспечить высокую рентабельность производства. В свою очередь, экологизация и биологизация сельскохозяйственного производства предполагает поиск путей минимизации вреда, который оказывают на агроэкосистемы химические вещества, используемые в растениеводстве (Минеев, 1995; Балуева, 2004; Мухортов, 2013). Именно эти два аспекта подталкивают сельхозтоваропроизводителей к поиску и освоению инновационных, экологически безопасных, ресурсо- и энергосберегающих агроприёмов и технологий, которые должны включать применение веществ химической и биологической природы, обладающих высокой физиологической активностью, слабо выраженными кумулятивными свойствами и широким спектром биологического действия (Аленин, Кшникаткина, 2012). Поиск возможностей управления процессами роста и развития растений с применением физиологически активных химических веществ – актуальная задача как в биохимии и физиологии растений, так и в сельскохозяйственной практике (Шаповал, Можарова, и др., 2015).

Применение различных физиологически активных веществ в сельскохозяйственном производстве было начато ещё в XX в., а в настоящий период без них не обходится ни одна современная агротехнология (Котляров, Котляров, Федулов, 2016). Этому способствовали фундаментальные открытия молекулярных основ гормональной регуляции роста и развития растений (Шевелуха, 1992; Кефели, Чайлахян, 1975), раскрытие различных биохимических процессов синтеза различных веществ и управление ими в организме, установление механизмов действия многих физиологически активных веществ.

К настоящему времени накоплен большой фактический материал о действии физиологически активных веществ на растения. Наиболее хорошо изучено влияние их на рост, изменения в органообразовании, фотосинтез, дыхание, накопление запасных веществ и др. Схожий характер действия физиологически активных веществ можно объяснить тем, что они действуют на одни и те же звенья и пути метаболизма. Специфичность же действия каждого отдельного вещества заключается в действии их на определенные ферменты и реакции растительной клетки. Кроме того, инициируемые ими эффекты зависят от концентрации их применения (Карпова, Миронова, 2009).

Стимулирование роста и развития растений с помощью физиологически активных веществ позволяет оказывать направленное влияние на отдельные этапы онтогенеза с целью мобилизации генетических возможностей растительного организма и, как следствие, повышать продуктивность и качество сельскохозяйственных культур (Калинин, 1965; Немченко, 1992). Также стимуляторы могут влиять на антистрессовые свойства растений в условиях действия абиотических и биотических стрессовых факторов (Вакуленко, 2004; Прусаковаи др., 2005; Костин, 2008, Колмыкова и др., 2012).

Физиологически активные вещества, попадая в растения, включаются непосредственно в обмен веществ или оказывают на него опосредованное действие. В результате этого изменяется направление обмена веществ, биохимических процессов и реакций, что приводит к снижению или подъему

уровня жизнедеятельности растений и создает возможность управлять их продуктивностью. К достоинствам регуляторов роста также можно отнести то, что они не преследуют целей биологического уничтожения вредных организмов, а, применяемые даже в микроколичествах, оказывают существенное влияние на ростовые, физиологические и формообразовательные процессы, происходящие в растениях, позволяют человеку управлять развитием последних в нужном для себя направлении (Шаповал, Вакуленко, Прусакова и др., 2009).

Особое место в комплексе современных агротехнологических приемов, направленных на реализацию потенциальной продуктивности сельскохозяйственных культур, занимают регуляторы роста. К ним относятся химические и органические соединения, обладающие высокой физиологической активностью. Являясь мощным средством управления онтогенезом растений природные и синтетические регуляторы роста и развития растений находят широкое применение в технологии возделывания сельскохозяйственных растений и в практическом растениеводстве (Кефеле, 1978; Шевелуха, Ковалев, Груздев, 1985; Hampton, Hebbiethwaite, 1985; Муромцев, Чкаников, Кулаева и др., 2004; Шаповал, 2005; Вакуленко, 2004; Исайчев, 2012; Вильдфлуш, 2011;. Костин, Костин, 2013).

Последние 20-30 лет характеризуются тем, что применение и изучение действия регуляторов роста стало приобретать массовый характер, о чем свидетельствует расширение их ассортимента и появление на рынке новых препаратов. Свободный доступ к ним так же является их достоинством в сравнении со многими химическими веществами. Поэтому активно ведутся работы в области создания новых универсальных регуляторов роста, которые помимо всех функций выполняли бы для растения и защитную роль.

В настоящее время «Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ», содержит более 100 наименований торговых марок регуляторов роста растений. Около 50 из них широко используются при возделывании различных

сельскохозяйственных культур. В России масштабы применения регуляторов роста в сельскохозяйственной практике пока еще весьма ограничены и не соответствуют реальным потребностям производства. А в развитых европейских странах регуляторами роста обрабатывается 50-80% посевов сельскохозяйственных культур (Гущина, Володькин, 2016).

С особенностями свойств и проявления биологической активности регуляторов роста связаны сложности и ограничения их широкого применения: достаточно узкий диапазон концентраций, превышение которых приводит к ингибированию ростовых процессов и даже гибели растений, к биологическому разрушению в природных условиях (Муромцев, 1984). В России рынок регуляторов роста растений формируют в основном отечественные производители и объемы их применения пока невелики. Основное неприятие сельхозпроизводителей вызывают сверхнизкие дозы от 10^{-2} до 10^{-11}М используемых регуляторов роста (Вакуленко, Шаповал, 2000).

Условно по механизму действия на растения регуляторы роста делят на индукторы (включение под действием вещества процесса, который не шел в клетке в отсутствие данного элемента) и стимуляторы (усиление, активация уже идущих процессов) (Yakovleva, Tarchevsky, Maksyutova, 2001). Однако в ряде случаев одновременное осуществление этих механизмов делает невозможным провести четкую грань между их воздействием на растения (Ковалев, 1992; Кулаева, 1995).

Опыты по изучению влияния регуляторов роста на урожайность зерновых культур проводятся давно. В основном они ведутся в двух направлениях: замачивание семян в растворах регуляторов роста и опрыскивание растений в различные фазы роста растений (Чепец, 2017). Предпосевная обработка семян биологически активными препаратами и некорневая подкормка посевов позволяют повысить биологическую активность семян, активизировать физиологические процессы во время вегетации растений, повысить продуктивность и адаптационные возможности в неблагоприятных условиях, улучшить качество конечной продукции.

Использование стимуляторов роста растений позволяет ускорить наступление фенологических фаз, формирование органов растений, способствуя сокращению вегетационного периода, влияет на развитие качественных признаков урожая. По мнению отдельных авторов, экзогенные регуляторы роста стимулируют активность ключевых ферментов фотосинтеза, способствуют повышению интенсивности ростовых, формообразовательных процессов и продуктивности растений, изменяют интенсивность метаболических процессов, усиливают иммунитет (Ефименко, 2006; Павловская и др., 2010).

Физиологический эффект действия регуляторов роста по данным В. А. Кумакова (1988) зависит от химической природы препарата, его концентрации, фазы развития растений, экологических факторов. Существует мнение, что химические аналоги, в отличие от природных соединений, не включаются, а вторгаются в обмен веществ растения и нарушают процессы метаболизма (Ракитин, 1983). Синтетические ингибиторы способны более резко подавлять ростовые процессы, длительно не инактивироваться растительными тканями. Характер их действия часто связан не только с ростом, но и с нарушением морфогенетических процессов.

Также к положительным характеристикам применения регуляторов роста растений можно отнести разносторонний спектр действия, способствующий значительному снижению объемов применения средств защиты растений от вредителей и болезней. Учитывая, что некоторые препараты обладают значительным иммуностимулирующим действием, их комплексное применение совместно с фунгицидами дает основание для снижения норм расхода последних на 25-30%, что позволит получать экологически безопасную и более дешевую продукцию. В работе В.В. Котлярова, Д.В. Котлярова, Д.Ю. Донченко, Е.К. Яблонской, Ю.П. Федулова, проведенной на базе КубГАУ, установлено, что применение экзогенных регуляторов роста обеспечивает защиту зерновых культур от бактериальной и фузариозной корневых гнилей, благотворно влияет на

растение в течение вегетации и усиливает продуктивность агробиоценоза. В работах Е.Н. Зюзиной (2008) и Г.А. Карповой (2016) отмечено действие бактериальных препаратов и регуляторов роста на защитные свойства яровой пшеницы.

В применении каждого отдельного препарата необходимо опираться на тщательные исследования всех сторон его применения, изучении его действия на клеточном уровне и в производственных условиях, так как в зависимости от многих факторов (культуры, способов обработки, срока действия, концентрации вещества) одно и то же вещество может оказывать стимулирующее и ингибирующее действие на жизненно-важные процессы в растениях. Также необходимо не забывать, что регуляторы роста растений не могут заменить питательные вещества, необходимые для формирования высококачественного зерна. А на фоне стабильного получения всех необходимых элементов питания при применении регуляторов роста культурные растения улучшают компенсаторную способность, лучше переносят стресс, не снижая показатели качества зерна и урожайность (Саскевич и др., 2009; Powles, 2010; Замотаева, 2014).

В настоящее время получено несколько сотен соединений химического и биологического происхождения, обладающих регуляторным действием на рост и развитие растений. С появлением все новых регуляторов роста, в состав которых входят вещества различной природы, возникает необходимость более глубокого и детального изучения сущности их действия на растения, определения эффективных концентраций действующих веществ и рациональных приемов их применения. Решение этих вопросов требует проведения дальнейших исследований в условиях лабораторного и полевых опытов с целью определения их влияния на продуктивность сельскохозяйственных растений.

1.2 Физиологическая и биохимическая роль органических кислот в росте и развитии растений

В течение долгого времени интерес исследователей ограничивался изучением кислот, придающих кислый вкус большинству плодов и ягод, вегетативным органам таких растений, как щавель, ревень и других. Растения, не имеющие кислый вкус, находились вне поля зрения исследователей, так как отсутствовали доступные методы химического анализа. В этот период были известны следующие кислоты: щавелевая, винная, лимонная и яблочная. До 30-х годов знания о химическом составе растений ограничивались общим содержанием кислот, определяемых титрованием растворами щелочей. Разработка в 40-50-х годах новых методов химического анализа дала возможность разделять смеси органических кислот, определять количество конкретной кислоты и ее химическую природу, и как результат – изучать химизм образования и превращения кислот в растениях (Солдатенков, 1971).

При изучении химизма дыхания и фотосинтеза было выявлено, что в этих сложных процессах значимое место занимают органические кислоты. Восстановление углекислоты в фотосинтезе и окисление углеводов в дыхании совершается при участии органических кислот. Дыхание и фотосинтез и относятся к разным типам метаболических процессов: фотосинтез является анаболическим процессом, в результате которого создается сложное органическое вещество с повышенным содержанием химической энергии, а в процессе дыхания, наоборот, органическое вещество распадается на простые неорганические вещества с выделением энергии (Федулов и др., 2019). Эти процессы обуславливают образование и широкое распространение органических кислот в растительном мире. Они столь же обязательная составная часть растения, как углеводы и белки. В аминокислотах, образующих белки, на долю углеродного скелета их приходится 80-90%. Органические кислоты входят в состав постоянных структурных элементов растительных тканей и клеток, таких, как пектиновые вещества – полимер

галактуроновой кислоты; клеточные мембраны включают некоторые органические кислоты как составную часть фосфолипидов.

Низкомолекулярные продукты вторичного метаболизма растений длительное время рассматривались как балластные, ненужные для их жизнедеятельности вещества. Выделение и изучение их в XIX века и в первой половине XX века обусловливалось лишь тем, что они служили лекарственными и парфюмерными препаратами или просто таксономическими маркерами. Однако, начиная с 30-х годов двадцатого столетия накоплен огромный фактический материал, указывающий на важную роль многих вторичных метаболитов как регуляторов роста и развития растительных организмов. Детальное их исследование не только открывает перспективу для понимания проблем эндогенной химической регуляции в целом, но и оказывает все возрастающее влияние на решение практических задач сельскохозяйственного производства (Овчинников, 1987).

Большим достижением, показавшим образование и превращение ряда органических кислот в процессе дыхания, явилась концепция, предложенная в начале 40-х годов и названная циклом трикарбоновых кислот (цикл Кребса). Но разнообразие органических кислот, встречающихся в растениях, во много раз превосходит их количество в цикле Кребса (рисунок 1). Большая часть кислот из звеньев превращений цикла была обнаружена в растениях значительно раньше его открытия.

Рисунок 1 – Последовательность превращений органических кислот в цикле Кребса

Цикл трикарбоновых кислот можно рассматривать как выработанный клеткой механизм, имеющий двоякое назначение. Основная функция его заключается в том, что это совершенный клеточный «котел», в котором осуществляются полное окисление вовлекаемого в него органического субстрата и отщепление водорода. Другая функция цикла – снабжение клетки рядом предшественников для биосинтетических процессов. Обычно цикл трикарбоновых кислот является дальнейшей «надстройкой» над анаэробными энергетическими механизмами клетки (Магомедов, 1988).

Цикл Кребса играет чрезвычайно важную роль в обмене веществ растительного организма. Он служит конечным этапом окисления не только углеводов, но также белков, жиров и других соединений. В ходе реакций цикла освобождается основное количество энергии, содержащейся в окисляемом субстрате, причем большая часть этой энергии не теряется для организма, а

утилизируется при образовании высокоэнергетических конечных фосфатных связей АТФ.

Значение цикла Кребса не исчерпывается его вкладом в энергетический обмен клетки. Не менее важную роль играет то обстоятельство, что многие промежуточные продукты цикла используются при синтезе различных соединений. Прежде всего, следует отметить участие ряда органических кислот в азотном обмене, синтезе и распаде белковых веществ. Из кетокислот в ходе реакций переаминирования и восстановительного аминирования образуются аминокислоты. Из пировиноградной кислоты образуется аланин, из щавелевоуксусной и а-кетоглутаровой – аспарагиновая и глутаминовая кислоты, соответственно. Аспартат может образовываться также в лиазной реакции, при аминировании фумаровой кислоты с участием фермента аспартазы. Для синтеза липидов, полиизопренов, углеводов и ряда других соединений используется ацетил-КоА (Емельянов и др., 2016). Через реакции цикла Кребса устанавливается тесная связь между обменом трех важнейших групп соединений – белками, жирами и углеводами.

Внимание исследователей привлекает изучение роли и функции органических кислот в растительном метаболизме, так как они играют важную роль в процессах фотосинтеза, дыхания и морфогенеза, а с другой они рассматриваются как фактор стимуляции роста и развития. Образуясь уже на первых этапах жизненного цикла растений – при прорастании семян, они являются самыми распространенными веществами в растении наряду с углеводами и белками. В дальнейшем они принимают участие в большинстве метаболических процессов на всех уровнях организации растительного организма. Поэтому изучение вопроса применения интермедиатов цикла Кребса в агротехнологиях и их влияние на рост и развитие растений является актуальным и практически значимым.

1.3 Применение органических кислот (интермедиатов цикла Кребса) в сельском хозяйстве

Известно, что органические кислоты играют важную роль в обмене веществ растений. Работами С.В. Солдатенкова, В.А. Чеснокова и их учеников показано разнообразие путей образования, накопления и использования кислот при различных физиологических состояния различных видов растений.

Из литературных данных известно, что кислоты цикла Кребса – лимонная, янтарная, яблочная и фумаровая, введенные экзогенно (при обработке семян и вегетирующих растений), легко проникают в митохондрии и используются так же быстро, как и их эндогенные формы (Верхотурова и др., 1988). Внутриклеточные концентрации интермедиатов цикла Кребса невелики и сравнимы с действующими концентрациями фитогормонов, которые при низких концентрациях (10^{-5} – 10^{-11}М) осуществляют химический запуск физиологических программ (Кондрашова, 1972; Овчинников, 1987). Янтарная кислота, введенная экзогенно, оказывает активирующее действие на различные физиолого-биохимические процессы у растений, может изменять энергетический уровень ферментов, стимулировать ростовые процессы (Клочкова, Авдокачев, 1999; Куркина, 2003; Верещагин, Кропоткина, 2010).

Применение интермедиатов цикла Кребса в агротехнологиях нашей страны значительно меньше по объему, чем в европейских странах. Известны гербициды, фунгициды, инсектициды и регуляторы роста, в состав которых входит янтарная кислота. Именно эта кислота чаще всего встречается в составах агрохимических препаратов как один из составных компонентов. В 2021 году в «Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ», вошли два препарата на основе янтарной кислоты: Янтарная кислота фирмы «Ортон» и Янтарин фирмы «Август». Остальные кислоты цикла Кребса реже встречаются в составах агрохимических веществ и не используются как самостоятельные компоненты для ростостимулирующих препаратов несмотря на то, что играют важную роль в энергетическом обмене клеток растений.

Впервые возможность применения янтарной кислоты в сельском хозяйстве была осуществлена А. В. Благовещенским в 40-х годах прошлого века, который показал ее стимулирующий эффект на прорастание семян маша и хлопчатника (1968). Положительное влияние янтарной кислоты на рост и развитие растений по-прежнему привлекает внимание исследователей с одной стороны, с точки зрения изучения механизма действия, роли и функции органических кислот в растительном метаболизме, с другой – как фактор роста и развития, используемый в практике растениеводства, к тому же экологически безопасный.

Янтарная кислота – не удобрение, она действует на живой организм любых растений как естественный активатор их жизнестойкости. Кроме того, на основании данных о возможных механизмах действия янтарной кислоты можно предположить, что ее влияние на растения особенно четко выражено в условиях стресса (Surcusetal., 1994; Бабенко, Сафронова, 2005). Растительная клетка воспринимает многие экзогенные органические соединения как «обломки кораблекрушения», как сигналы о неблагополучном состоянии соседних клеток: их механическом разрушении или стрессе, сопровождающемся деградацией полимеров и липидов, и выходом из них промежуточных продуктов катаболизма (Кадырова, 2005). По-видимому, реакция клеток на экзогенную янтарную кислоту сходна с реакцией на олигомерные продукты деградации биополимеров и на оксигенированные производные ненасыщенных жирных кислот (Тарчевский, 1997).

Действие янтарной кислоты не всегда вызывает положительный отклик у растения, что зависит от совокупности факторов, таких как тип культуры, применяемые концентрации и вид обработки. Кроме того, обычно при синтезе янтарной кислоты в качестве катализатора использовали соли тяжелых металлов, нейтрализующих ростостимулирующую эффективность янтарной кислоты. Хотя для многих культур получены позитивные результаты. Янтарная кислота легко всасывается при замачивании семян, а при опрыскивании поступает в растения через листья, регулируя энергетический

обмен. Предпосевная обработка семян ЯК в концентрации 10^{-3}М стабильно повышает урожай различных культур на 20-30%. При более благоприятных условиях можно прогнозировать повышение урожая на 30-40%. Стимуляция ростовых процессов наблюдается в довольно широком диапазоне концентраций, от 2 мг до 1-2 г на 1 л воды (Андрианова и др., 1996).

По данным Е.Н. Гущиной и Л.Д. Шаманской (2009), изучавших эффективность применения янтарной кислоты в качестве стимулятора роста при выращивании посадочного материала облепихи, некорневая подкормка янтарной кислотой обеспечивала увеличение выхода саженцев и повышение их качества. В исследованиях Н.Н. Безрученок и О. И. Михайловой выявлено положительное действие предпосевной обработки семян соком рябины, в состав которого входят и органические кислоты (яблочная, фолиевая, винная и лимонная), на всхожесть, энергию прорастания и биометрические параметры проростков тыквы.

В исследованиях ростостимулирующего действия предпосевной обработки семян смесью органических кислот в различных концентрациях (10^{-7}-10^{-15}%) на развитие и урожайность салата, редиса и томата отмечено, что использование этого приема способствовало повышению энергии прорастания (до 12%), лабораторной всхожести (до 27%), силы роста семян (до 10%), длины корешка (до 33%). В опыте отмечено увеличение урожайности редиса (на 27-84%) и томата (на 16-18%) (Лой, Санжарова и др., 2015). В работе В.В. Кропоткиной (2009) исследуемые растворы органических кислот (лимонной, α-кетоглутаровая, янтарная, яблочная, щавелевая) использовались в молярных концентрациях от 10^{-3} до 10^{-15}М. Отмечено положительное действие некорневой подкормки смеси кислот на рост и показатели качества редиса. Обработка вегетирующих растений картофеля увеличивала урожайность картофеля на 21-43% и содержание сухих веществ, крахмала и аскорбиновой кислоты в продукции. Замачивание черенков винограда в растворе органических кислот способствовало формированию

более мощной корневой системы, повышало качество посадочного материала и увеличило выход саженцев в среднем на 10%.

В работах ученых отмечено, что плазмалемма растительной клетки воспринимает янтарную кислоту, как неспецифический сигнал о нехватке энергетических ресурсов или кислородного голодания соседних клеток (Тарчевский и др., 1999). В результате приводятся в действие механизмы НАДФН-оксидазной сигнальной системы и индуцируются локальная и системная устойчивость растительных тканей к патогенам (Дьяков и др., 2001) и стрессорным факторам (Андрианова и др., 1996). Сигнальное действие янтарной кислоты наблюдается при её применении в значительно меньших концентрациях по сравнению с концентрациями, необходимыми для обеспечения митохондрий субстратом. Помимо этого, наблюдается эффект длительного последействия.

Янтарная кислота действует на растения как естественный активатор их жизнестойкости. Кроме того, на основании данных о возможных механизмах действия янтарной кислоты можно предположить, что ее влияние на растения особенно четко выражено в условиях стресса (Surcus et al., 1994; Бабенко, Сафронова, 2005). Проявляя антистрессовые свойства, янтарная кислота повышает устойчивость растений к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды (Коф и др., 1999). Так, при переуплотнении почвы обработка янтарной кислотой увеличивала урожайность яровой пшеницы почти в 2 раза (Клочкова, Третьяков, 2001), при засухе способствовала оптимизации водного режима растений гороха. При изучении стресспротекторного действия предпосевной обработки семян ячменя янтарной кислотой (10^{-3}М) в условиях почвенной засухи отмечено положительное влияние на длину надземной части растений и ее биомассы, а также на содержание воды в листьях. Обработка семян янтарной кислотой уменьшала вызываемое засухой угнетение роста растений (Луговая, Карпец и др., 2014). Е.М. Коф и Т.А. Борисова (1999) при изучении антистрессового действия янтарной кислоты на проростки гороха двух сортов установили, что

янтарная кислота уменьшает вредный эффект низкой температуры и гипоксии. В работе А.А. Евглевского (2013) с соавторами отмечено, что янтарная кислота обладает выраженной способностью связывать свободные радикалы, ингибировать процессы перекисного окисления липидов в клетках, испытывающих стресс при воздействии внешних условий, и, таким образом, уменьшать интенсивность окислительных процессов в организме, защищать аппарат клеток и структуру их мембран от разрушительных воздействий.

Внимание ученых и сельхозтоваропроизводителей привлекают регуляторы роста как альтернатива протравителям для обработки семян и растений в целях защиты сельскохозяйственных культур от болезней. В исследованиях Л.Я. Плотниковой и Т.Ю. Штубей (2009) оценено влияние янтарной кислоты на цитофизиологические реакции пшеницы, инфицированной бурой ржавчиной. Опрысканные янтарной кислотой проростков повлияло на экспрессию защитных реакций зараженных растений – отмечено образование АФК и синтез защитного полисахарида каллозы. Применение регуляторов янтарной кислоты для обработки семян и растений озимой пшеницы на IV этапе органогенеза способствует снижению поражаемости озимой пшеницы септориозом и бурой ржавчиной (Полоус и др., 2012). Проведенные исследования в Ставропольском крае по изучению влияния янтарной кислоты на развитие септориоза озимой пшеницы показали снижение развития болезни основного стебля (20,6%) и колоса (12,8%) (Асалиев, Головинова, 2007). В работе А.С. Кононова, А.В. Шугаева (2012) при обработке семян рифаном и янтарной кислотой в смешанных люпино-ячменных посевах и соево-ячменных отмечено снижение суммарной интенсивности транспирации в 1,7 раза в сравнении с применением только одного рифана и повышение в 1,8 раза интенсивности фотосинтеза по сравнению с контролем. Также установлено, что предпосевная обработка семян увеличивала общую стрессоустойчивость растений к неблагоприятным факторам и снижала заболеваемость растений ячменя бурой ржавчиной на 90-95%.

Проведенные исследования Т.О. Ястреб, Н.Н. Мирошниченко и др. (2012) показали, что предпосевная обработка семян проса комплексным микроудобрением «Реаком» и янтарной кислотой повышала устойчивость растений к высокой температуре и корневым гнилям. При комбинации Реакома с янтарной кислотой усиливалось положительное влияние на теплоустойчивость растений проса. В условиях полевого опыта при обработке семян янтарной кислотой отмечено увеличение урожайности культуры.

Согласно Т.И. Смирновой, С.Д. Хижняк и др., (2017) продукты деструкции комплексонов, производных янтарной кислоты, нетоксичны и могут подвергаться в природных условиях биологической утилизации, что свидетельствует о возможности эффективной замены традиционных комплексонов, производных уксусной кислоты (этилендиаминтетрауксусная и иминодиуксусная кислоты), на экологически безопасные комплексоны, производные янтарной кислоты.

Активно ведутся разработки по комплексообразованию различных соединений с дикарбоновыми кислотами, оказывающих стимулирующее влияние на растения. Так, в работе О.В. Кольцовой с соавторами (2015) оценена эффективность комплексного соединения янтарной кислоты с моноэтаноламином (гидросукцинат моноэтаноламмония) для обработки семян гороха и фасоли. В условиях лабораторного опыта установлено, что полученное комплексное соединение действует эффективнее по сравнению с исходными компонентами, увеличивая энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян в 1,2 раза. В опытах О.Д. Занозиной и И.В. Шабановой (2016) при применении полученного микроудобрения (некорневая подкормка) на основе янтарной и лимонной кислот отмечено увеличение урожайности озимой пшеницы на 20% и повышение качества полученного зерна.

Имеются сведения о том, что янтарная кислота снимает негативное влияние на растения высокого уровня засолённости почвы, снижает содержание нитратов в корнеплодах почти в 2 раза при их чрезмерном содержании в почве (Budaj, 2000). Существуют данные по протекторному

действию экзогенной янтарной кислоты на растения в условиях загрязнения среды тяжёлыми металлами (ТМ) – в основном медью (Cu), кадмием (Cd) и никелем (Ni) (Львова, Коротченко, 2017). В то же время, актуальнейшей экологической проблемой на сегодняшний день является загрязнение среды свинцом (Pb). В работе А.В. Линдиман с соавторами (2010) было изучено влияние янтарной кислоты на миграционные свойства Cd и Pb в системе «почва-растение». Объектом исследования выступили растения, устойчивые к загрязнению почвы ТМ и способные накапливать их в своей биомассе – салат листовой, овёс посевной и горчица полевая. Экспериментальные данные показали, что добавление в почву экзогенной янтарной кислоты стимулировало накопление растениями биомассы и повышало устойчивость растений к загрязнению почвы, как Cd, так и Pb. Авторами было выдвинуто предположение, что влияние янтарной кислоты на устойчивость исследуемых растений, может быть связано как с образованием в почве малоподвижных форм Pb и Cd, так и с повышением защитных реакций на их токсическое действие.

При изучении влияния янтарной кислоты на продуктивность и урожайность различных культурных растений было выявлено, что предпосевная обработка способствует увеличению высоты растений, числа стеблей на растение, а также площади листовой поверхности и содержания пигментов и азота в тканях (Куренкова, Табаленкова, 2001). В свою очередь это влияло на показатели продуктивности: возрастала кустистость растений, увеличивалась сухая масса зерна в колосе, повышалось число зерновок, вес 1000 зерен и улучшался процент содержания белка в зерне (Бабенко, Сафронова, 2005).

На данный момент накоплено достаточное количество данных, подтверждающих стимулирующее действие янтарной кислоты на растения, однако многие аспекты остаются до сих пор малоизученными или противоречивыми. В то же время исследований, касающихся адаптогенного действия янтарной кислоты на растения в условиях экзогенного стресса

различной этиологии, пока ещё недостаточно по сравнению с исследованиями адаптогенного действия других биостимуляторов, например, брассиностероидов. В инструкциях по применению препаратов, содержащих янтарную кислоту, предназначенных для использования в растениеводстве, имеются неточности и разночтения, касающиеся как концентрации рабочих растворов (от сверхмалых доз до 1 г/л), так и времени экспозиции (от 12 до 24 часов) и способов применения (замачивание, проращивание семян, экзогенное внесение в среду для выращивания, опрыскивание). Учитывая то, что янтарная кислота оказывает своё регулирующее действие в микродозах, большое значение приобретает разработка чёткого регламента применения данного препарата, так как в случае биостимуляторов передозировка может привести к противоположному результату.

Неоднозначен также вопрос влияния янтарной кислоты на всхожесть и энергию прорастания семян. Например, существуют данные о том, что обработка янтарной кислотой увеличивает всхожесть семян сельскохозяйственных растений как в лабораторных, так и в полевых условиях. Но есть и другие данные, в которых отмечены противоположные тенденции по влиянию янтарной кислоты на посевные качества семян. В работе К. Иланго с соавторами (1999) при изучении влияния различных стимуляторов роста на прорастание семян альбиции было установлено, что обработка семян 1% раствором янтарная кислота не увеличивала их всхожесть. Это может быть обусловлено как применением высоких концентраций янтарной кислоты, так и видоспецифичной реакцией данного растения на обработку янтарной кислотой. Вероятно, ингибирующее действие янтарной кислоты на растения в данном случае связано с неправильной дозировкой, которая не подходит для данной культуры, поэтому рекомендации по приготовлению рабочих растворов должны быть специфичными для каждого вида растения. В работе Н.И. Грабовской (2020) отмечено, что растворы биостимуляторов на основе янтарной кислоты нельзя использовать для выращивания растений, а только для предпосевной

подготовки семян путём замачивания на несколько часов с последующей промывкой перед посадкой.

Тенденции химизации мирового растениеводства показывают, что в настоящий период времени возрастает научный и практический интерес к регуляторам роста и развития растений. В последние годы углубилось понимание механизма действия многих известных регуляторов роста, созданы новые препараты узконаправленного действия (например, активаторы и ингибиторы фитогормонов), регуляторы метаболизма, фотосинтеза, транспирации и других процессов. Уже вышли на стадию внедрения и применения препараты третьего поколения, гектарные дозы применения которых исчисляются миллиграммами.

Таким образом, управление ростом и развитием растений при помощи регуляторов роста позволяет существенно повысить устойчивость растений к высоким и низким температурам, недостатку влаги, поражаемости болезнями, повреждениям вредителями и неблагоприятным факторам среды. Использование их в агротехнологиях и появление все новых препаратов на основе физиологически активных веществ требует проведения исследований по изучению их влияния на онтогенез растений. Несмотря на большое число исследований по применению органических кислот в качестве биогенных стимуляторов роста, многие аспекты их действия на растения остаются малоизученными, носят противоречивый характер и требуют дальнейшего изучения по углублению и расширению представлений о влиянии на ростовые и продукционные процессы сельскохозяйственных культур.

ГЛАВА 2 ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Метеорологические и почвенные условия проведения исследований

Территория Омской области лежит в пределах Западно-Сибирской низменности, которая представляет собой обширную тектоническую впадину, в течение весьма длительного периода аккумулировавшую в себе разнообразные рыхлые наносы, отлагавшиеся морями, текучими водами и ветрами. Мощность рыхлой осадочной толщи, по данным геологических исследований, достигает в отдельных частях свыше 1000 м.

Опытное поле, на котором был заложен полевой опыт, находится на северо-западной окраине города Омска и по природному районированию относится к лесостепной зоне, которая широкой полосой пересекает центральную часть области. Общая площадь территории составляет 54922 км^2.

Климат зоны имеет явные признаки континентальности, что проявляется в резком переходе по времени года положительных температур в отрицательные, в многократном возврате холодов в весенний и раннелетний периоды, в неравномерности распределения осадков по сезонам года (Агроклиматические…, 1971). Эти признаки формируются под влиянием притока холодных арктических масс воздуха, а также теплых и сухих с территории Казахстана и Средней Азии (Иванов, 1948). Годовая амплитуда температур воздуха достигает 80-90°С, что подчеркивает резкую континентальность климата.

Для лесостепной зоны Омской области характерными показателями температурных условий являются: холодная и суровая зима, жаркое лето, ветреная и сухая весна, непродолжительная осень, короткий безморозный период и резкие колебания температуры.

Континентальные арктические массы воздуха приносят сильные морозы зимой (до -40ºС и ниже). Летом часто преобладает сухая жаркая погода. Среднегодовая температура воздуха близка к 0°С. Средняя температура января: -17,50…-19,50°С, июля: +18,50…+19,50°С. Продолжительность

вегетационного периода в среднем составляет 160-165 дней, длинна безморозного периода 115-125 дней. Сумма активных температур (выше 10°С) составляет 1800-2000°С.

Неблагоприятной особенностью климата южной лесостепной зоны является недостаточное и неустойчивое увлажнение, нередко сопровождаемое сильными засухами. Больше половины осадков приходится на летние месяцы – период интенсивной вегетации растений. Дожди весенне-летнего сезона имеют ливневый характер и распределяются по территории неравномерно. Среднегодовое количество осадков 300-370 мм, за вегетационный период их выпадает 190-220 мм, ГТК составляет 0,7-0,9.

Устойчивый снежный покров образуется в начале ноября. Высота его увеличивается медленно и на конец зимы достигает в среднем 20-30 см. Распределение снега неравномерное. В зимний период почва промерзает на глубину 150 см, в отдельные годы до 200-300 см (Агроклиматический справочник…, 1959). Весенние заморозки заканчиваются, как правило, в конце мая, а осенние начинаются в среднем с 20 сентября.

Погодные условия за период исследований 2017-2019 гг. заметно отличались по гидротермическим показателям (рисунок 2).

Для зерновых культур наиболее губительны майская и июньская засухи, когда осадков выпадает меньше половины от нормы. Подобная остро засушливая обстановка за годы исследований сложилась в 2017 году. Оптимальное увлажнение за этот вегетационный период было только в июле (ГТК=1,24), в остальные же месяцы растения испытывали недостаток влаги. Температуры воздуха за вегетационный период находилась в пределах среднемноголетнего показателя, значительно превышая его только в августе на 2,3°С.

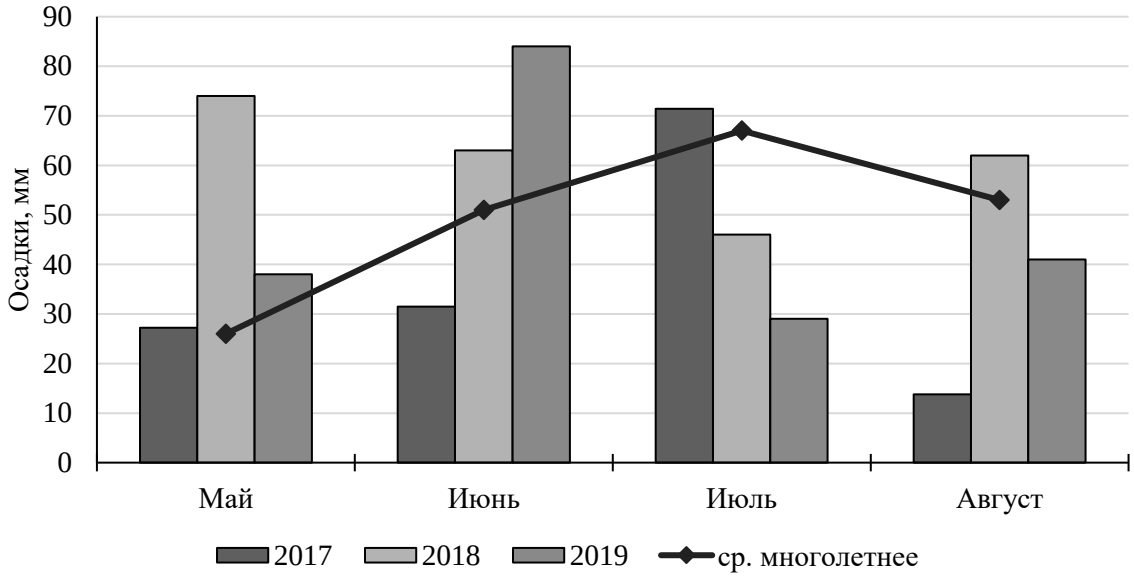


Рисунок 2 – Распределение атмосферных осадков
за вегетационный период 2017-2019 гг.

Как высокие, так и низкие температуры нарушают течение биохимических процессов в клетках, и тем самым могут вызывать в них необратимые изменения, приводящие к прекращению роста и гибели растений. Теплообеспеченность сельскохозяйственных культур за годы исследований была удовлетворительной (рисунок 3).

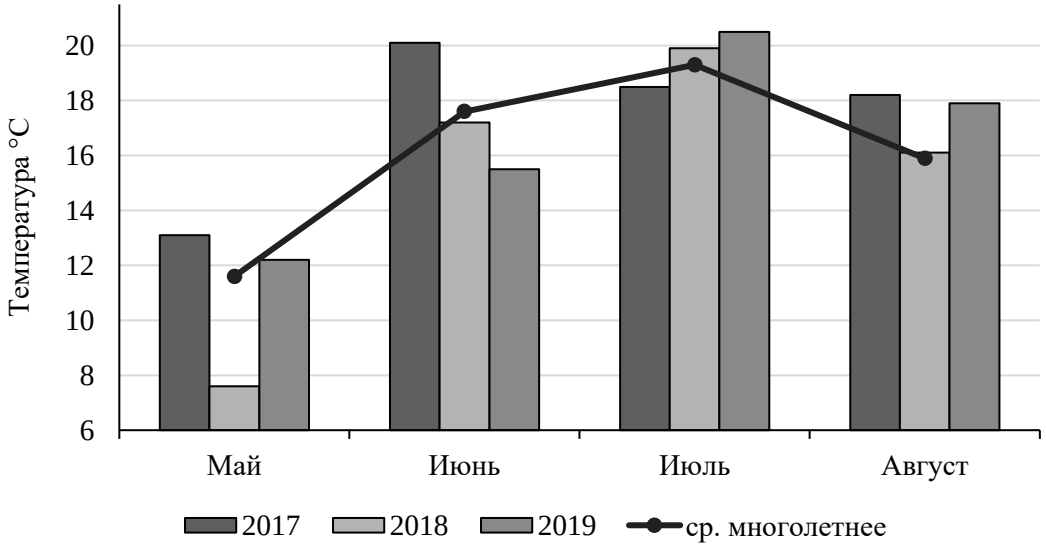


Рисунок 3 – Средняя месячная температура воздуха (°С)
за вегетационный период 2017-2019 гг.

Вегетационный период 2018 года характеризовался избыточным переувлажнением почвы в мае (выше среднемноголетнего показателя на 48 мм) и недостаточным – в июле. В остальные периоды вегетации растения получали достаточное для роста и развития количество осадков. Сумма осадков за 4 месяца превысила многолетний показатель на 24%. Отклонение температура воздуха в мае от среднемноголетней, снижение на 4°С, в совокупности с избыточным увлажнением не способствовало появлению дружных всходов и развитию проростков пшеницы. С июня по август температура воздуха была в пределах среднемноголетних значений.

Количество осадков, выпавших за вегетационный период 2019 года, соответствовало значению многолетнего показателя, но распределение осадков с мая по август было неравномерным. Следует отметить, что в июле отклонение от нормы составило 43% – в этот период растения испытывали недостаток влаги. В июне ГТК был на уровне 1,83 – это свидетельствует об избыточном увлажнении в этот период. Недостаточно увлажнена почва была в июле и августе. В мае показатели увлажнённости и теплообеспеченности были оптимальными для развития растений. Температурный максимум был зафиксирован в августе, где значение среднемноголетнего показателя было превышено на 2°С.

Погодные условия в годы проведения исследований были различными по температурному режиму и количеству выпавших осадков. Это позволило объективно оценить влияние различных концентрации органических кислот на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в разных погодных условиях.

Почвенный покров представляет собой форму природных ресурсов многостороннего использования в сельском хозяйстве. До 85% территории Западной Сибири лежит в пределах самой крупной аллювиально-аккумулятивной равнины земного шара – Западно-Сибирской низменности, расположенной в глубине азиатского континента. Равнинный, а в центральной части котловинный характер рельефа Западно-Сибирской низменности

обуславливает плохую дренированность, высокий уровень стояния грунтовых вод и аккумуляцию солей, что нарушает географическую закономерность формирования зональных автоморфных почв и сдвигает процесс почвообразования в сторону развития почв полугидроморфного и гидроморфного ряда.

Большое разнообразие в происхождении и составе почвообразующих пород является одной из причин пестроты почвенного покрова Западной Сибири. Почвообразующие породы влияют на состав, свойства формирующихся почв и скорость идущих процессов почвообразования. В Омской области главными почвообразующими породами являются преимущественно четвертичные образования разного возраста, происхождения и литологического состава.

Зональными почвами лесостепи являются черноземы обыкновенные, выщелоченные черноземы и лугово-черноземные. Черноземные почвы этой зоны характеризуются высоким содержанием гумуса (5-9%) и азота, имеют широкое соотношение C:N и устойчивое преобладание гуминовых кислот над фульвокислотами (Возбуцкая, 1968; Гамзиков, 1981). Встречаются небольшими контурами и различные подтипы солонцов, серые лесные, которые расположены в основном в северной части зоны. Сельскохозяйственная освоенность этой территории самая высокая в области и составляет 80-90%.

Почва опытного участка – лугово-черноземная среднемощная среднегумусовая тяжелосуглинистая. Лугово-черноземные почвы являются полугидроморфными аналогами черноземов. Формируются под травянистой растительностью в условиях повышенного увлажнения в течение значительной части вегетационного периода за счет поверхностного стока или почвенно-грунтовых вод, залегающих на глубине 3-6 м, а также в результате их совместного действия. Ежегодные и сезонные колебания уровня грунтовых вод отражаются не только на водном режиме, но и на температурном и тепловых свойствах почвы.

Морфологические признаки лугово-черноземных почв сходны с признаками автоморфных черноземов. Их отличительные признаки – повышенная гумусированность и наличие глубинной глееватости. По гранулометрическому составу лугово-черноземные почвы относятся к тяжело - и среднесуглинистым с высоким содержанием физической глины (40-70%), мелкого песка и крупной пыли (20-50%) (Соколов, 1968; Мищенко, 2007). Высокий процент фракций крупной пыли и мелкого песка придает этим почвам удовлетворительную водопроницаемость.

Лугово-черноземные почвы широко используются в сельском хозяйстве, 89% их введено в пашню. По составу поглощенных катионов эти почвы близки к своим аналогам – черноземам. В поглощающем комплексе преобладает кальций (73-95%). Содержание магния по профилю варьирует в пределах 4-25% от общей суммы катионов, натрия 1-3%. Агрохимическая характеристика почвы опытного участка представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Агрохимические показатели лугово-черноземной среднемощной среднегумусовой тяжелосуглинистой почвы

Глубина взятия образца, см	Гумус, %	Азот общий, %	Поглощенные основания, ммоль/100 г почвы			Сумма поглощенных оснований, ммоль/100 г почвы	pH водн
			Ca	Mg	Na		
0-20	6,73	0,32	28,50	3,42	0,18	32,10	6,45
21-44	4,65	0,25	27,71	5,04	0,24	32,99	6,45
45-59	1,85	0,12	25,18	3,60	0,16	28,94	6,97
60-84	0,39	0,09	19,10	2,50	0,11	21,71	7,35
85-100	0,28	0,07	13,60	2,10	0,10	15,80	7,43
101-150	0,07	0,05	11,12	2,00	0,09	13,29	7,45

Территория опытного участка расположена в области четвертичных аллювиальных равнин. Почвообразующие породы представлены палево-бурыми тяжелыми глинами и суглинками. Засоление пород по данным водной вытяжки не отмечено.

Характеристика морфологического строения лугово-черноземной среднемощной среднегумусовой тяжелосуглинистой почвы проводилась по

описанию разреза, заложенного на опытном поле лаборатории агрохимии «Омского АНЦ» в 2018 году.

Вскипает от соляной кислоты с глубины 94 см.

$А_{пах}$ 0-24 см Сухой, темно-серый, однородный, комковато-пылеватый, тяжелосуглинистый, много остатков корней.

АВ 24-46 см Свежий, серый, книзу серовато-бурый, комковато-зернистый, тяжелосуглинистый, тонкопористый. Корней меньше. Переход в горизонт В постепенный по цвету.

$В_1$ 46-79 см Свежий, серовато-бурый, неоднородный с потеками гумуса, тяжелосуглинистый, уплотненный, тонкопористый.

$В_2$ 79-94 см Свежий, светло-бурый, однородный, уплотненный, тяжелосуглинистый, тонкопористый.

$С_к$ 94-120 см Увлажненный, буровато-желтый, неоднородный с пятнами карбонатов, бесструктурный, тяжелосуглинистый. Вскипает от соляной кислоты.

Благодаря высокой гумусированности и микроструктуренности, почвы тяжелого гранулометрического состава обладают повышенной влагоемкостью, хорошей водоотдачей, средней водопроницаемостью и относительно невысоким процентом связанной воды (Мищенко, 1991).

Определение почвенных влагозапасов при отсутствии достоверных прогнозов по осадкам вегетационного периода, имеет важную практическую значимость в земледелии. Оценка связи предпосевных почвенных влагозапасов с урожайностью на основе длительных наблюдений (1991-2008 гг.) в стационарных опытах на черноземной почве южной лесостепи Западной Сибири показала, что запасы продуктивной влаги в почве в слое 0-100 см определяли урожайность сельскохозяйственных культур. В работе В.Г. Холмова и Л.В. Юшкевича (2005) связь урожая зерновых культур с весенними запасами влаги в почве оценивалась на уровне невысокой (r = 0,70-0,72). Наблюдения за условиями увлажнения в полевом опыте показали, что весенние запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы

оценивались как хорошие, более 130 мм (таблица 2). Систематическое применение минеральных удобрений в среднем по севообороту обеспечило увеличение весенних влагозапасов в почве на 8%.

Таблица 2 – Влагообеспеченность перед посевом, 2017-2019 гг., мм

Слой почвы, см	Без удобрений			Удобренный фон		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019
0-20	44	36	26	47	35	28
20-40	48	38	37	43	39	38
40-60	45	32	37	41	37	40
60-80	52	31	41	42	32	46
80-100	50	33	40	48	30	49
Сумма	239	170	181	221	173	201

Продуктивность яровой пшеницы определяется рядом факторов, воздействующих на растения в период формирования урожая (Кореньков, 1999). Среди них важнейшее значение принадлежит обеспеченности растений азотом, в меньшей степени другими элементами минерального питания. Питание растений на ранних этапах роста и развития обеспечивается по преимуществу запасами нитратного азота. Исследованиями Кочергина (1965), Гамзикова (2013) на черноземных почвах Западной Сибири установлено, что уровень обеспеченности азотом следует оценивать по содержанию нитратного азота в почве.

Исследования проводились на двух фонах удобренности, которые отличались по содержанию основных элементов минерального питания (таблица 3).

Таблица 3 – Обеспеченность основными элементами питания перед посевом, мг/кг (n=4)

Год исследования	$N\text{-}NO_3$		P_2O_5	K_2O
	Слой почвы, см			
	0-40	0-100	0-20	0-20
Фон без удобрений				
2017	7,4	4,0	139,7	349,9
2018	7,5	4,6	153,0	360,5
2019	6,7	5,3	124,7	372,1
Фон $N_{30}P_{60}$				
2017	14,6	6,9	233,3	382,4
2018	14,5	10,9	289,0	467,7
2019	11,9	6,5	260,7	363,6

Перед посевом на естественном фоне обеспеченность почвы нитратным азотом в слое почвы 0-40 см была низкая (6,7-7,5 мг/кг), а на удобренном – средняя (11,9-14,6 мг/кг); подвижным фосфором, соответственно, повышенная (124,7-153,0 мг/кг) и очень высокая (223,3-289,0 мг/кг). Содержание обменного калия независимо от фона было очень высоким и объясняется высоким содержанием данного элемента в почвообразующих породах Западной Сибири.

Таким образом, погодные условия в годы проведения исследований были различными по температурному режиму и количеству выпавших осадков. Это позволило объективно оценить влияние изучаемых факторов на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в разных погодных условиях. Систематическое внесение удобрений в опыте способствовало улучшению условий азотного питания, обеспеченность нитратным азотом в среднем за годы исследований была выше на удобренных фонах в сравнении с неудобренным. Содержание подвижного фосфора на неудобренном фоне в слое 0-20 см было на уровне 139,1 мг/кг почвы. Тогда как за счет систематического внесения минеральных удобрений обеспеченность растений P_2O_5 возросла на 63,6-136 мг/кг в сравнении с вариантом без удобрений. Исследования калийного режима почвы показали, что содержание обменного

калия в почве опытного участка очень высокое и не зависело от внесения минеральных удобрений.

2.2 Объекты и методы исследований

В качестве объектов исследования были выбраны: яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum*) сорт Омская 36, янтарная кислота (*этан-1,2-дикарбоновая кислота*), яблочная кислота (*2-гидроксибутандиовая кислота*), щавелевая кислота (*этандиовая кислота*), лимонная кислота (*2-гидрокси-1,2,3-пропантрикарбоновая кислота*).

Таблица 4 – Характеристика применяемых органических кислот

Наименование	Квалификация	Стандарт
Янтарная кислота	хч	ГОСТ 6341-75
Яблочная кислота	ч	ГОСТ 6-09-4058-75
Щавелевая кислота	чда	ГОСТ 22180-76
Лимонная кислота	хч	ГОСТ 3652-69

Яровая мягкая пшеница Омская 36 селекции Омского АНЦ (СибНИИСХ) – высокоурожайный, пластичный сорт степного экотипа, крупнозерный, обладает высокой засухоустойчивостью и жаростойкостью, обладает устойчивостью к болезням, полеганию и осыпанию, отзывчив на повышенный агрофон, сохраняет качество при перестое на корню, формирует зерно с отличными хлебопекарными качествами.

Янтарная кислота (этан-1,2-дикарбоновая кислота) – естественный продукт, вырабатывается в клетках животных и растений, образуется в результате жизнедеятельности микроорганизмов, является участником обмена веществ. Универсальный промежуточный метаболит, продукт пятой и субстрат шестой реакции цикла Кребса, является активным антиоксидантом и образуется в митохондриях. Содержится во многих растениях, может накапливаться в результате окисления спирта некоторыми плесневыми грибами.

Яблочная кислота является промежуточным продуктом цикла трикарбоновых кислот и глиоксилатного цикла. В цикле Кребса L-яблочная кислота образуется путём гидратации фумаровой кислоты и далее окисляется коферментом НАД + в щавелевоуксусную кислоту. Широко распространена в растениях, содержится в плодах, но преобладает в яблоках и в семечковых и косточковых плодах. Содержится в семенах злаков и бобовых, а также в листьях. Большие количества яблочной кислоты накапливаются в вегетативных органах сочных растений (суккулентов).

Щавелевая кислота содержится в растениях, как в свободном виде, так и в виде солей. Особенно часто она содержится в растениях в виде щавелевого кальция, который накапливается иногда в очень больших количествах, в форме сросшихся между собой кристаллов. Суккуленты содержат большие количества щавелевой кислоты. В незначительном количестве содержится в плодах и ягодах. Может накапливаться в результате развития на сахарных растворах некоторых плесневых грибов.

Лимонная кислота накапливается в заметных количествах в листьях растений при их развитии. В южных широтах ее содержание в них бывает выше, чем в северных. В ягодах – смородине, малине, землянике – преобладает над яблочной. Данная кислота может быть получена при выращивании на растворах сахаров некоторых плесневых грибов. Активирует цикл Кребса в организме, что способствует ускорению метаболизма.

Исследования проводились в 2017-2019 годы в лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский АНЦ». Предмет исследований – установление зависимостей изучаемых объектов в системе «почва-растение-удобрение». В исследованиях использовали лабораторный, полевой, агрофизические и агрохимический методы исследований.

Для установления доз органических кислот, оптимизирующих рост и развитие растений яровой пшеницы, были заложены лабораторный (2017 г.) и полевой опыты (2017-2019 гг).

Разведение растворов.

Базовые растворы органических кислот готовили концентрацией 0,1 моль/л. Методом последовательного разбавления базового раствора получали растворы с необходимыми мольными долями.

Лабораторный опыт: «Установление концентраций растворов органических кислот для предпосевной обработки семян, оказывающих ростостимулирующие влияние на посевные качества и морфофизиологические показатели проростков яровой мягкой пшеницы».

Лабораторный опыт по изучению влияния различных концентраций органических кислот на энергию прорастания, всхожесть и активацию ростовых процессов семян яровой мягкой пшеницы был заложен в лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский АНЦ» в соответствии с ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести». В эксперименте использовались семена яровой мягкой пшеницы сорта Омская 36 урожая 2016 года 100% чистоты, 96% всхожести, масса 1000 зерен = 36 г. Схема опыта состояла из следующих вариантов:

1. Контроль (без обработки семян);
2. Вода (обработка семян дистиллированной водой);
3. Раствор ЯК в концентрации 10^{-3}М;
4. Раствор ЯК в концентрации 10^{-5}М;
5. Раствор ЯК в концентрации 10^{-7}М;
6. Раствор ЯбК в концентрации 10^{-3}М;
7. Раствор ЯбК в концентрации 10^{-5}М;
8. Раствор ЯбК в концентрации 10^{-7}М;
9. Раствор ЩК в концентрации 10^{-3}М;
10. Раствор ЩК в концентрации 10^{-5}М;
11. Раствор ЩК в концентрации 10^{-7}М;
12. Раствор ЛК в концентрации 10^{-3}М;
13. Раствор ЛК в концентрации 10^{-5}М;
14. Раствор ЛК в концентрации 10^{-7}М.

Вариант обработки семян водой был включен также в схему опыта для оценки ПОС, так как исследователи утверждают, что обработка водой путем смачивания способствует активации дыхания семян, тем самым влияет на энергию прорастания и силу роста. Диапазон концентраций рабочих растворов для ПОС сформулирован на основе их эффективности в проведенных ранее работах исследователей (Верещагин, Кропоткина, 2010).

Семена обрабатывали растворами, перемешивали, равномерно распределяя по всей массе. Просушивали при комнатной температуре до полного высыхания. Семена раскладывали в чашки Петри, простерилизованные при +180°С два часа в сушильном шкафу Venticell, на фильтровальную бумагу по 25 шт. в каждую. Заливали дистиллированной водой 7 мл на каждую чашку Петри. Проращивали при постоянной температуре +21°С в термостате. Повторность в опыте четырехкратная, во времени – трехкратная. На третьи сутки проведения эксперимента снимали показания энергии прорастания (силы роста семян). На 7 сутки определяли всхожесть, измеряли и оценивали морфофизиологические параметры проростков семян: длину корня и ростка, массу корня и ростка. Рассчитывали стимуляционный коэффициент (Савельев, 2015).

Полевой опыт: «Эффективность применения органических кислот для ПОС яровой мягкой пшеницы».

Проведение наблюдений, отбор почвенных и растительных образцов в полевом опыте осуществляли по общепринятым методикам, изложенным в следующих источниках: «Методика полевого опыта» (Доспехов, 1985), «Методы агрохимических исследований» (Пискунов, 2004).

В эксперименте использовались семена яровой мягкой пшеницы сорта Омская 36 урожая предыдущего года 100% чистоты, 94-98% всхожести, масса 1000 зерен = 38 г. Полевой опыт закладывали на опытном полигоне лаборатории агрохимии в системе пятипольного зернопарового севооборота. Севооборот был заложен в 1987 году со следующим чередованием культур: пар чистый – пшеница – соя – пшеница – ячмень. Севооборот развернут во

времени и пространстве. Предшественник – соя. В схему двухфакторного опыта (2х9) входили следующие варианты, отобранные на основе проведенного лабораторного опыта:

Фактор А – удобрения:

1. без удобрений;

2. внесение азотно-фосфорных удобрений в дозе $N_{30}P_{60}$.

Фактор Б – ПОС:

1. Контроль (без обработки семян);
2. Раствор ЯК в концентрации 10^{-3}М;
3. Раствор ЯК в концентрации 10^{-7}М;
4. Раствор ЯбК в концентрации 10^{-3}М;
5. Раствор ЯбК в концентрации 10^{-5}М;
6. Раствор ЩК в концентрации 10^{-3}М;
7. Раствор ЩК в концентрации 10^{-5}М;
8. Раствор ЛК в концентрации 10^{-3}М;
9. Раствор ЛК в концентрации 10^{-7}М.

Предпосевная обработка семян проводилась за день до посева. Расход рабочего раствора – 7 л на 1 ц семян. Семена обрабатывались, равномерно перемешивались и раскладывались тонким слоем для удаления лишней влаги до полного высыхания.

Расположение делянок – систематическое, площадь делянки 16 м^2 (2 м × 8 м), учетная площадь 14,4 м^2 (1,8 м × 8 м), четырехкратная повторность. Агротехника – общепринятая для зоны. Зяблевая обработка проведена орудием Степняк-7,4 на глубину 16-18 см. Закрытие влаги весной игольчатым орудием БМШ-15. В опыте высевался среднеспелый сорт яровой мягкой пшеницы Омская 36. Норма высева составляла 5 млн всхожих зёрен на 1 га. В качестве удобрений в опыте использовались: аммиачная селитра (азота – 34%), аммофос (азота – 12%, фосфора – 52%). Минеральные удобрения вносили локально до посева. Посев сеялкой СС-1,6. После посева провели прикатывание 3ККШ-6. Фоновое проведение гербицидной обработки баковой

смесью Примадонна 0,5 л/га + Гранат 0,015 кг/га + Овсюген Экспресс 0,5 л/га – в фазу кущения ежегодно. Уборка проводилась в оптимальные сроки созревания зерна прямым комбайнированием Сампо-130.

Почвенные образцы для определения содержания продуктивной влаги и содержания основных элементов питания отбирались буром послойно из почвенных горизонтов через каждые 20 см до глубины 100 см. Отбор образцов и определения проводили перед закладкой полевых опытов и после уборки яровой пшеницы.

В почвенных образцах были определены:

– $pH_{водн}$ почвенного раствора в соответствии с ГОСТ 26423-85 «Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки»;

– продуктивная влага термостатно-весовым методом;

– нитратный азота по Грандваль-Ляжу с дисульфофеноловой кислотой (Аринушкина, 1970);

– подвижный фосфор и обменный калий по методу Чирикова в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26204-91 «Почвы определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО»;

Фенологические наблюдения проводились в основные фазы роста и развития яровой пшеницы: всходы, кущение, выход в трубку, колошение. За полное наступление фазы принимался день, когда она наблюдалась у 75% растений.

В течение вегетационного периода изучалась динамика изменения следующих морфофизиологических показателей растений: ассимиляционная поверхность листьев, накопление сухой биомассы растений. Площадь листьев определяли по методике В.В. Аникеева, Ф.Ф. Кутузова (1961) и рассчитывали умножением длины листа на его ширину и на коэффициент 0,67 (для злаковых культур). Фотосинтетический потенциал посевов определяли как сумму площади листьев растений на 1 га за каждые сутки определенного межфазного

периода (Ничипорович, 1961). Чистую продуктивность фотосинтеза по рассчитывали по формуле А.А. Ничипоровича (1961, 1973):

$$ЧПФ = (В_2 – В_1) / 0,5(Л_1 + Л_2) \times n,$$

где $(В_2 – В_1)$ – прирост сухой массы за n дней, $0,5(Л_1 + Л_2)$ – средняя рабочая площадь листьев за время данного периода, *n* – число дней в учетном периоде.

Коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза по формуле А.А. Ничипоровича (1956): Кхоз = WЗ / WH · 100 %, где WЗ – масса зерна, г; WH – надземная биомасса растений, полученная при уборке, г.

В растительных образцах определены валовый азот, фосфор и калий по Пиневич (1955) с окончанием определения валового азота по методу полумикроКъельдаля, фосфора – по Дениже, калия – на пламенном фотометре.

Оценка качества зерна пшеницы проведена по следующим параметрам:

– стекловидность в соответствии с ГОСТ 10987-76 «Зерно. Методы определения стекловидности»;

– натура в соответствии с ГОСТ Р 54895-2012 «Зерно. Метод определения натуры»;

–содержание белка в зерне (Nx5,7) по ускоренному методу полумикроКьельдаля в модификации И.М. Базавлука;

– содержание сырой клейковины в зерне (%) и качество клейковины. ГОСТ Р 54478-2011 «Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице»;

Анализ структуры урожая яровой пшеницы выполняли в соответствии с методикой Государственного сортоиспытания по четырем пробным снопам, взятым с площади 0,25 $м^2$ с каждой делянки (1971). Учитывалась высота растений, длина колоса, озерненность колоса, число колосков, масса 1000 зерен, продуктивная кустистость.

Экономическую и биоэнергетическую оценку приемов проводили с использованием методических рекомендаций и нормативов СибНИИСХ и ОмГАУ (Кошелев и др., 1987; Ермохин, Неклюдов, 1994).

Статистическую обработку опытных данных проводили методами корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову (1985) с использованием пакета программ Microsoft Office Excel 7.0 и Statist.

ГЛАВА 3 ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Совокупность физических и биологических изменений, происходящих в зерне в процессе их перехода из состояния покоя к возобновлению метаболизма, называется прорастанием и заканчивается образованием проростка. Начало роста при прорастании семян зерновых является результатом процессов, происходящих в два этапа: на первом активируется основной метаболизм, а на втором – процессы, подготавливающие растяжение клеток (Федотов и др., 2015).

Взаимодействие между отдельными компонентами растущего организма осуществляется с помощью фитогормонов и природных ингибиторов, которые обладают высокой физиологической активностью и участвуют в обмене веществ (Рост растений…, 1977). В покоящихся семенах ростовые вещества находятся в связанной форме, а с поступлением воды они переходят в физиологически активное состояние, поэтому в прорастающем семени возрастает содержание витаминов (аскорбиновой и никотиновой кислот, рибофлавина, пиридоксина, фолиевой кислоты и др.), а также холина, органических кислот и некоторых других веществ.

Для получения высоких и устойчивых урожаев с хорошим качеством продукции очень важно получить дружные всходы оптимальной густоты. Поэтому вопрос стимулирования прорастания семян и происходящих в них ростовых процессов занимает ключевое место в современном растениеводстве (Матвеева, 2014). Поиск новых физиологически активных веществ является важной задачей современных исследователей, так как активация физиологических процессов развития растения имеет важное теоретическое и практическое значение.

Имеется много данных по управлению прорастанием семян путем воздействия на них физическими и химическими факторами (Костин, 1998; Исайчев, 2004; Зюзина, 2007; Карпова, 2015, 2016; Ерохин, 2018).

Исследования влияния ростостимуляторов на морфофизиологические показатели семян на ранних стадиях их развития считаются важными с точки зрения разработки мер по управлению процессами прорастания. Многими исследователями отмечено влияние предпосевной обработки регуляторами роста на такие процессы прорастания, как набухаемость, энергия прорастания, лабораторная всхожесть, активность ферментов (Еремеева, 1989; Яхин, Лубянов, 2001; Миронова, 2009). Основное практическое значение их применения состоит в стимуляции скорости прорастания семян, появления дружных всходов, уничтожении патогенной микрофлоры (Тарасов и др., 2019).

Целью закладки лабораторного опыта являлось определение ростостимулирующих концентраций органических кислот (янтарной, яблочной, щавелевой, лимонной), активизирующих рост и развитие проростков яровой мягкой пшеницы.

Важное значение в увеличении урожайности сельскохозяйственных культур имеет качество посевного материала. Прерывание покоя и прорастание семян сопровождается определенными морфофизиологическими изменениями (Иванов, 1971). К основным показателям качества семян, характеризующих их пригодность к посеву, относятся энергия прорастания и лабораторная всхожесть, которые свидетельствуют о способности семян прорастать за определенный период времени при оптимальных для данной культуры условиях (Козлобаев и др., 2008; Каспировский, 2013). Показывая число проросших семян за определенный срок, они характеризуют активность плазмы клетки, интенсивность обмена веществ и степень устойчивости к болезням в полевых условиях. Высокая энергия прорастания семян обусловливает более интенсивное поглощение воды при набухании и лучшее прорастание при недостаточной влажности среды (Чепец, 2017).

Лабораторная всхожесть характеризует способность семян образовывать нормально развитые проростки при оптимальных для каждой культуры условиях проращивания. Энергия прорастания – способность семян

быстро и дружно прорастать за более короткий срок чем при определении всхожести. Этот показатель, как правило, более тесно коррелируют со всхожестью семян в поле (Алексейчук, 2009). Своевременное получение дружных всходов с развитой первичной корневой системой является одним из важнейших условий получения высокой урожайности при возделывании зерновых культур.

В ходе проведенных исследований было выявлено влияние органических кислот на параметры прорастания семян яровой мягкой пшеницы (таблица 5).

Таблица 5 – Влияние ПОС растворами органических кислот на лабораторную всхожесть и энергию прорастания семян яровой мягкой пшеницы, %

Вариант ПОС		Энергия прорастания	Лабораторная всхожесть
органическая кислота	концентрация раствора, М		
Контроль	обработка семян H_2O	88	90
Янтарная	10^{-3}	89	91
	10^{-5}	83	84
	10^{-7}	93	89
Яблочная	10^{-3}	89	88
	10^{-5}	92	93
	10^{-7}	89	91
Щавелевая	10^{-3}	89	92
	10^{-5}	91	87
	10^{-7}	89	87
Лимонная	10^{-3}	93	96
	10^{-5}	89	92
	10^{-7}	96	95
$НРС_{05}$		8	9

Энергия прорастания и всхожесть в лабораторном опыте находились в пределах 83-96% и 84-96%, соответственно. Существенного влияния на эти показатели органические кислоты не оказали. Отмечена лишь положительная тенденция их увеличения в вариантах обработки семян водными растворами янтарной кислоты (10^{-3}М), яблочной кислоты (10^{-5}М) и лимонной кислоты (10^{-3}М; 10^{-7}М). Максимальный эффект получен при обработке лимонной кислотой в концентрации 10^{-7}М. Энергия прорастания семян

пшеницы в этом варианте увеличилась на 8% в сравнении с контролем, а всхожесть на 5%.

Для каждого варианта опыта был рассчитан эффект стимуляции предпосевной обработки по формуле (1):

$$Сэ = \frac{(Соб - Ск)}{100} * Н / \frac{М*К}{100}, \quad (1)$$

где Соб – сила роста обработанных семян (%);

Ск – сила роста контрольного варианта – без ПОС (%);

Н – норма высева (5 млн всхожих зерен);

М – масса тысячи зерен (36 г);

К – количество зерен в колосе (28 шт.).

Силу роста определяли методом морфофизиологической оценки проростков и выражали в процентном отношении сильных проростков к числу анализируемых семян. При этом учитывали размеры ростка, степень развития и размеры зародышевых корешков, а также степень поражения фитопатогенными микроорганизмами (Савельев, 2015). В опыте от ПОС увеличились показатели силы роста, поэтому с большой долей вероятности можно будет получить прибавку урожайности яровой мягкой пшеницы на уровне расчетной величины эффекта стимуляции (таблица 6).

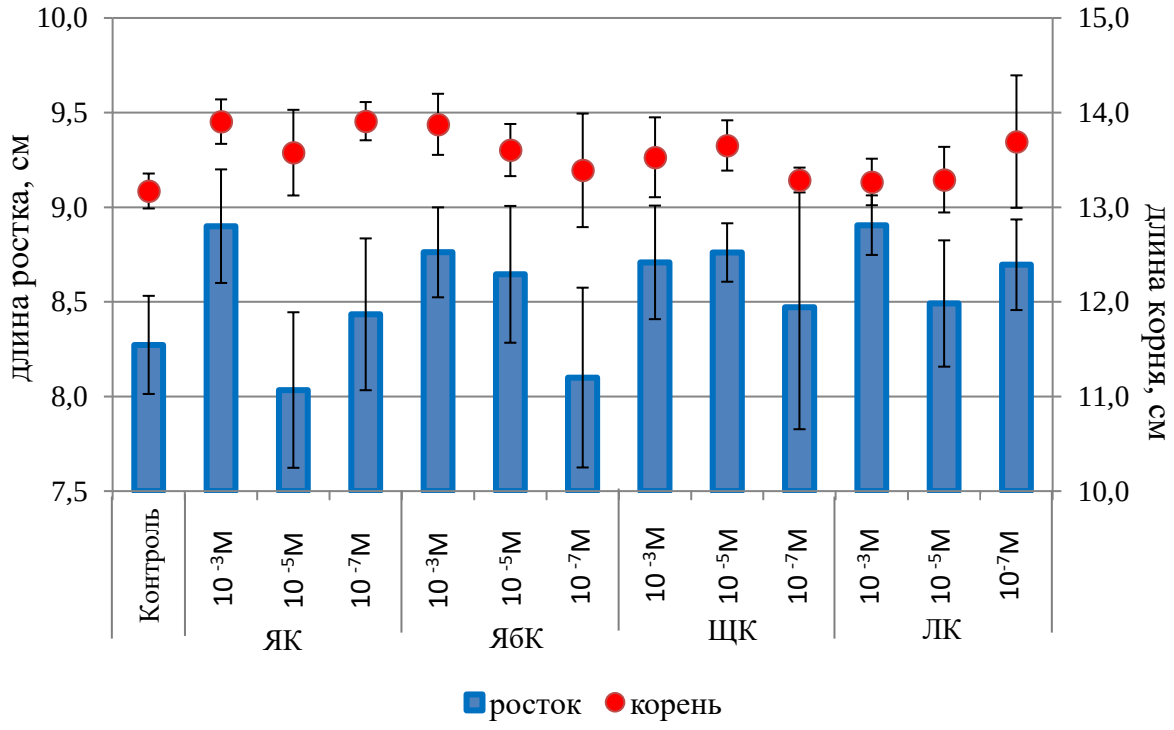
Таблица 6 – Эффект стимуляции от предпосевной обработки растворами органических кислот в различных концентрациях, т/га

Вариант ПОС		Эффект стимуляции
органическая кислота	концентрация раствора, М	
Янтарная	10^{-3}	0,25
	10^{-5}	отсутствует
	10^{-7}	0,10
Яблочная	10^{-3}	0,15
	10^{-5}	0,10
	10^{-7}	отсутствует
Щавелевая	10^{-3}	0,05
	10^{-5}	отсутствует
	10^{-7}	отсутствует
Лимонная	10^{-3}	0,20
	10^{-5}	0,10
	10^{-7}	0,15

Максимальный эффект стимуляции был получен при обработке семян раствором янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}М, расчетная прибавка урожая от обработки семян в этом варианте составила 0,25 т/га зерна.

Особенности роста и развития проростков при применении ростостимулирующих препаратов также проявляются в изменении показателях длины зародышевых корней и побегов, а также их массы. Эти параметры отражают накопление органического вещества, интенсивность клеточного деления и скорость роста растения.

Анализ морфометрических параметров проростков позволил выявить общую закономерность, проявившуюся в изменении роста первичной корневой системы и ростка (рисунок 4).



($НСР_{05}$ длины ростков = 0,92; $НСР_{05}$ длины корней = 0,98)

Рисунок 4 – Влияние ПОС органическими кислотами на морфометрические параметры проростков семян яровой мягкой пшеницы

Исследования изменения величины морфометрических параметров показали их зависимость от концентрации раствора органической кислоты. При оценке развития проростков отмечено максимальное увеличение длины

ростка в вариантах обработки семян растворами янтарной и лимонной кислот в концентрации 10^{-3}М на 7% относительно контрольного варианта. Максимальное увеличение длины корня в опыте составило 0,7 см и было отмечено при обработке семян растворами янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}М и 10^{-7}М и лимонной кислоты в концентрации 10^{-3}М. Следует отметить, что статистически достоверного различия по этим показателям в опыте нет.

Накопление растением сырой и сухой биомассы имеет большое значение также, как и изменение морфометрических параметров проростков. Накопление биомассы в зависимости от действия органических кислот учитывалось на седьмые сутки лабораторных исследований (таблица 7).

Таблица 7 – Изменение морфофизиологических показателей развития проростков пшеницы в зависимости от ПОС

Вариант ПОС		Сырая масса, г/100шт		Сухая масса, г/100шт.		$m_к$ / $m_п$
органическая кислота	концентрация раствора, М	корень	росток	корень ($m_к$)	росток, ($m_п$)	
Контроль	обработка семян H_2O	3,3	6,0	0,64	0,61	1,0
Янтарная	10^{-3}	3,6	6,0	0,68	0,61	1,1
	10^{-5}	3,9	5,3	0,56	0,56	1,0
	10^{-7}	3,6	5,7	0,67	0,57	1,2
Яблочная	10^{-3}	3,6	5,3	0,63	0,60	1,0
	10^{-5}	3,5	5,9	0,64	0,59	1,1
	10^{-7}	3,4	5,7	0,57	0,55	1,0
Щавелевая	10^{-3}	2,9	5,6	0,57	0,58	1,0
	10^{-5}	3,3	5,6	0,59	0,61	1,0
	10^{-7}	2,9	5,3	0,61	0,61	1,0
Лимонная	10^{-3}	4,0	6,0	0,69	0,63	1,1
	10^{-5}	4,1	6,2	0,71	0,65	1,1
	10^{-7}	3,8	6,3	0,69	0,70	1,0
$НРС_{05}$		0,3	0,2	0,03	0,02	

Обработка семян лимонной кислотой способствовала увеличению показателей сырой массы корней на 7-23% во всех вариантах обработки янтарной и лимонной кислоты.

Наибольшее влияние на накопление сырой массы растений оказала обработка семян раствором лимонной кислоты в концентрации 10^{-3}М. Масса первичных корешков выше контроля на 20 %, а проростка на 7%. Подобная

тенденция наблюдается и при накоплении воздушно-сухой массы проростков яровой пшеницы. Обработка семян испытуемыми растворами лимонной кислоты оказала стимулирующее действие на сухую массу первичной корневой системы, которая превышала контрольный на 7-10%. Наибольший стимулирующий эффект отмечен в варианте обработки семян раствором лимонной кислоты в концентрации 10^{-7}М – сухая масса проростков в 1,1 раз превысила контрольные значения.

В условиях высоких температур и недостатка влаги в начале прорастания и развития проростков физиологическая зависимость между массой корневой системы и массой побега может играть важную роль в формировании урожая (Коробко, Жухарева, 2015). На начальных этапах прорастания семян физиологическая зависимость между корневой системой относительно развития надземной части играет важную роль в развитии проростка. Одним из показателей развития проростка является корнеобеспеченность как отношение абсолютно сухой массы корневой системы к абсолютно сухой массе побега. Корнеобеспеченность проростков в вариантах опыта, отражающую отношение длины корня к длине проростка, составила от 0,9 до 1,2. Наиболее развитой по отношению к надземной части оказалась корневая система проростков в варианте обработки семян раствором янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}М.

Таким образом, проведенные исследования показали, что обработка семян яровой пшеницы органическими кислотами активизирует биологические и физиологические процессы в семени и влияет на рост и развитие растений пшеницы уже на начальном этапе развития. В лабораторном опыте выявлено, что обработка семян водными растворами органических кислот увеличила энергию прорастания, лабораторную всхожесть семян, длину корешков и проростков. Исследуемые кислоты положительно влияют на накопление как сырой, так и воздушно-сухой массы проростков яровой пшеницы. На основании проведенных лабораторных

исследований была составлена схема полевого опыта из наиболее эффективных концентраций растворов органических кислот.

ГЛАВА 4 ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Зерновые культуры с момента прорастания до созревания семян проходят определенные стадии развития. Рост – это прибавка сухой массы, а развитие – качественные изменения, связанные с образованием органов и частей растений. Процессы роста и развития растения являются важными факторами, определяющими урожайность культуры, и лежат в основе формирования зерна (Богомазов и др., 2017).

Структура продуктивности, количество сухого вещества, накапливаемого растением к концу вегетации, являются отражением физиолого-биохимических процессов, происходящих в растении на протяжении всего онтогенеза (Булгакова, Ниловская, 2006).

Вегетативные органы растений являются основным источником органических и минеральных веществ, необходимых для формирования зерна. Оптимальное для культуры развитие вегетативных частей растений является предпосылкой для получения высоких урожаев (Петров и др., 2008). Многочисленные факторы, которые определяют рост и развитие вегетативных и генеративных органов зерновых культур, необходимо регулировать для формирования высокой продуктивности посевов (Богомазов и др., 2017).

4.1 Формирование ассимиляционной поверхности яровой мягкой пшеницы

Среди большого количества факторов, определяющих рост, развитие и продуктивность растений, ведущая роль принадлежит фотосинтетической деятельности посевов. Создание оптимальных условий для работы фотосинтетического аппарата на всем протяжении вегетации растений является необходимым условием формирования высокого уровня урожайности (Беденко и др., 1990; Гамзикова, 2008; Васин и др., 2016).

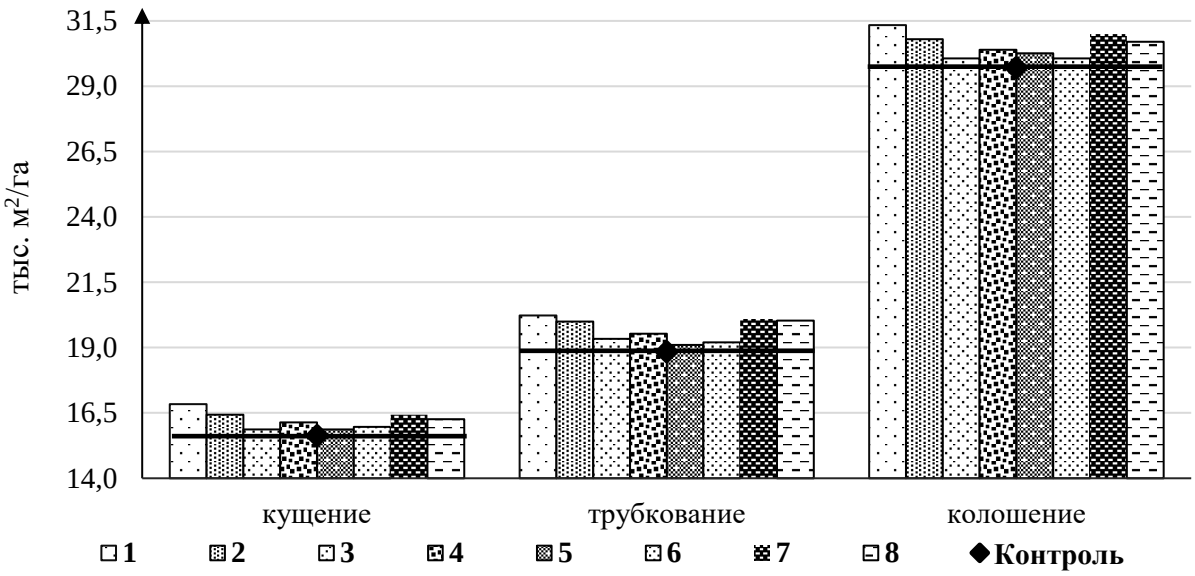
Продуктивность сельскохозяйственных культур зависит от интенсивности протекания процесса фотосинтеза, когда в зелёных растениях образуется органическое вещество и солнечная энергия переходит в энергию растительной биомассы. Эффективность этого процесса зависит от функционирования посевов как фотосинтезирующей системы. Продуктивность растения определяется общим характером ростовых процессов, интенсивностью роста отдельных органов и длительностью периода вегетации растения (Ничипорович, 1963). Управление процессами фотосинтеза и их регулирование представляет собой один из наиболее эффективных путей управления продукционными процессами растений, соответственно воздействуя на урожайность (Богомазов и др., 2017). Одним из способов регулирования данного процесса является использование физиологически активных веществ – регуляторов роста и развития растений (Кефели, 1978; Костин, 2010; Исайчев, 2004; Петров и др., 2012; Каспировский, 2013).

Теория фотосинтетической деятельности как фактора урожайности получила свое развитие в трудах А.А. Ничипоровича и была основана на рациональном управлении фотосинтетической деятельностью растений (Алиев, 1974). Значимость основных показателей фотосинтеза в формировании и величине урожайности подтверждена результатами многочисленных исследований по изучению фотосинтетической деятельности растений (Ничипорович, 1956; Кумаков, 1985; Каюмов, 1989).

Одним из важных показателей фотосинтетической деятельности растений является величина площади листьев, усваивающая световую энергию солнечной радиации, которая в процессе фотосинтеза преобразуется в потенциальную энергию органического вещества (Алиев, 1974; Жиленко и др., 2015). Оптимальное формирование площади листьев в посевах заключается в быстром ее росте, достижении максимальной величины и сохранении активного состояния ее на высоком уровне в течение длительного периода. Изучение динамики формирования ассимилирующей поверхности в

посевах и создание условий для оптимальной ее величины имеет большое практическое значение, так как связанные с ними показатели фотосинтеза играют значительную роль в формировании урожайности сельскохозяйственных культур (Павловская, Тимаков, и др., 2019). Площадь фотосинтетической поверхности является модификационным показателем, который зависит от условий выращивания, от уровня водного и минерального питания, а также от биологических особенностей культуры. По мнению А.А. Ничипоровича (1970), посевами, обладающими оптимальной площадью листьев и хорошей динамикой ее развития и формирования, считаются такие, в которых листовая поверхность быстро вырастает до 40-50 тыс. $м^2$ /га

Проведенные нами исследования показали, что формирование листовой поверхности яровой пшеницы зависело от минерального питания и варианта предпосевной обработки семян (рисунки 5, 6). В период проведения исследований наблюдалось увеличение площади листьев растений от всходов к фазе колошения (приложение А). Следует отметить, что увеличение нарастания площади листьев различалось по годам исследований и зависело от количества осадков и теплообеспеченности периода вегетации. Так, площадь листьев в фазу колошения в благоприятном по увлажнению 2017 году была выше, чем в последующие два года. Условия в эти годы исследований сложились неблагоприятно, дефицит осадков июля при среднесуточной температуре 19,9-20,5^{o}С существенно снизил площадь листьев. У растений наблюдалось подсыхание нижних листьев.



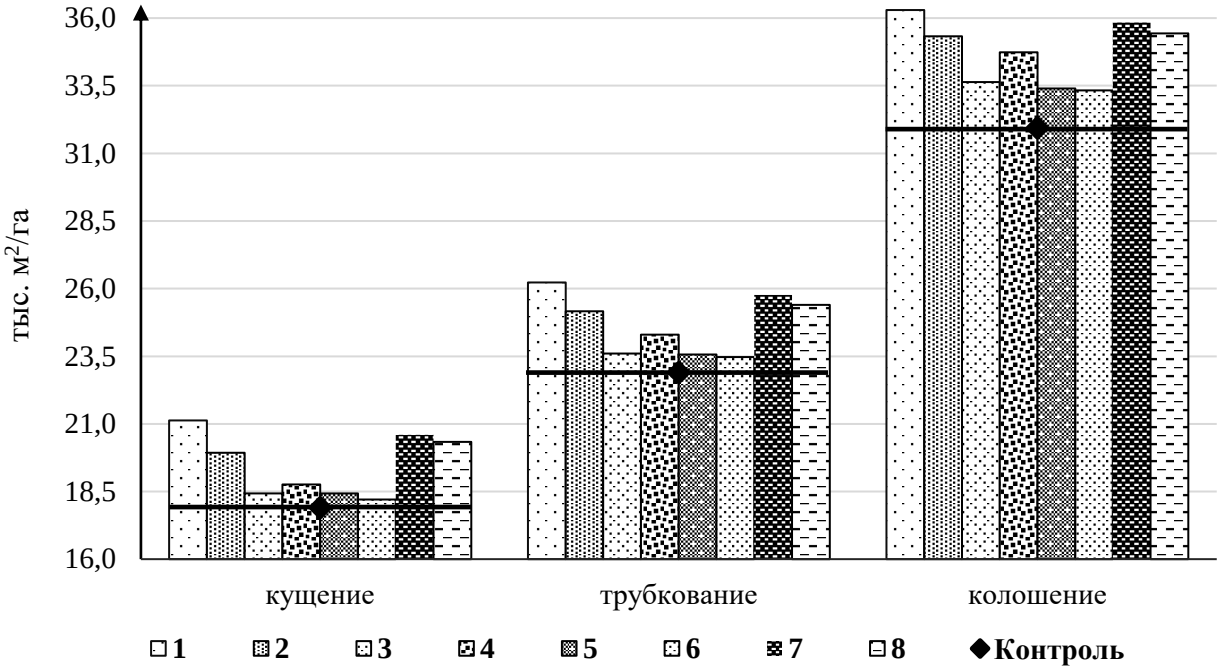
1 - Янтарная к-та10^{-3} М; **2** - Янтарная к-та10^{-7} М; **3** - Яблочная к-та 10^{-3}М;
4 - Яблочная к-та 10^{-5}М; **5** - Щавелевая к-та 10^{-3}М; **6** - Щавелевая к-та 10^{-5}М;
7 - Лимонная к-та10^{-3}М; **8** - Лимонная к-та10^{-7}М;

Рисунок 5 – Динамика формирования площади листовой поверхности яровой мягкой пшеницы в зависимости от вариантов ПОС органическими кислотами на неудобренном фоне, в среднем за 2017-2019 гг.

В начале вегетации (фаза кущения) площадь ассимиляционной поверхности яровой мягкой пшеницы варьировала от 15,6 до 21,1 тыс. м^2/га. На этом этапе онтогенеза для злаковых культур характерно интенсивное поглощение макроэлементов, поэтому внесение минеральных удобрений позволило растениям сформировать ассимиляционную поверхность на 16-35% больше, чем на неудобренном фоне.

Анализ динамики нарастания листового аппарата показал, что к фазе выхода в трубку площадь листовой поверхности составила в зависимости от варианта предпосевной обработки семян на неудобренном фоне 18,8-20,2 тыс. м^2/га, а на удобренном 22,9-26,2 тыс. м^2/га.

Внесение азотно-фосфорных удобрений способствовало увеличению площади листовой поверхности на 3,7-6,6 тыс. м^2/га в фазу колошения в зависимости от варианта предпосевной обработки семян в сравнении с контрольным вариантом на неудобренном фоне.



1 - Янтарная к-та10^{-3} М; **2** - Янтарная к-та10^{-7} М; **3** - Яблочная к-та 10^{-3}М;
4 - Яблочная к-та 10^{-5}М; **5** - Щавелевая к-та 10^{-3}М; **6** - Щавелевая к-та 10^{-5}М;
7 - Лимонная к-та10^{-3}М; **8** - Лимонная к-та10^{-7}М;

Рисунок 6 – Динамика формирования площади листовой поверхности мягкой пшеницы в зависимости от вариантов ПОС органическими кислотами на удобренном фоне, в среднем за 2017-2019 гг.

Максимальный стимулирующий эффект от предпосевной обработки на удобренном фоне наблюдался от фазы кущения до колошения в вариантах обработки семян янтарной и лимонной кислотами в концентрации 10^{-3}М и позволил увеличить площадь листовой поверхности до 35,8-36,3 тыс. м^2/га, что на 12-14% выше, чем в контрольном варианте на удобренном фоне.

В среднем за годы исследований обработка семян органическими кислотами в основные фазы развития яровой мягкой пшеницы на разных фонах удобренности увеличивала ассимиляционную поверхность на 1-18% в сравнении с контрольным вариантом. Максимальная величина фотосинтезирующей поверхности листьев сформировалась в фазу колошения на фоне внесения азотно-фосфорных удобрений в вариантах ПОС водным раствором янтарной и лимонной кислот в концентрации 10^{-3}М и составила 36,3 и 35,8 тыс. м^2/га, соответственно.

Учитывая важность изучения влияния площади листовой поверхности на урожайность культуры, нами был проведён анализ экспериментальных данных, в результате которого выявлены тесные прямые корреляционные взаимосвязи. Проведенный математический анализ показал высокую корреляционную связь урожайности с величиной ассимиляционной поверхности яровой мягкой пшеницы в основные фазы роста культуры (таблица 8). Установлена тесная положительная корреляционная зависимость между этими показателями.

Таблица 8 – Зависимость урожайности яровой мягкой пшеницы (y) от площади листовой поверхности (x)

Фаза развития	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r)
Кущение	y = 0,1194x + 1,1251	+ 0,89
Трубка	y = 0,0796x + 1,4864	+ 0,85
Колошение	y = 0,0951x + 0,1547	+ 0,88

Примечание: x = [15,6-36,3] тыс. м^2/га

Оценка продуктивности посевов характеризуется суммарной работой площади листьев растений за определенный период, которая называется фотосинтетическим потенциалом. Этот параметр характеризует потенциальную способность посева поглотить приходящую за определенный период энергию ФАР (Федулов и др., 2019). Характер динамики площади листьев отразился на величине фотосинтетического потенциала растений и увеличивался по мере увеличения площади листовой поверхности и длительности межфазных периодов.

Максимальными значениями фотосинтетического потенциала характеризовалась фаза колошения, а минимальными – фаза кущения. Результаты исследований показали, что фотосинтетический потенциал зависел от фазы вегетации пшеницы, условий минерального питания и концентрации раствора янтарной кислоты.

За трехлетний период исследований наибольшее значение фотосинтетического потенциала на неудобренном фоне отмечено в период выхода в трубку – колошения яровой пшеницы и составило

267,3-282,0 тыс. м^2/га в сутки в зависимости от вариантов обработки (таблица 9). Наименьшие значения – в период всходы – кущение (93,8-101,0 тыс. м^2/га в сутки). В вариантах обработки семян органическими кислотами значение фотосинтетического потенциала превышало контроль на 8,2-33,1 тыс. м^2/га в сутки (2-7%).

Таблица 9 – Влияние органических кислот и минеральных удобрений на фотосинтетический потенциал посевов яровой мягкой пшеницы, тыс. м^2/га в сутки, в среднем за 2017-2019 гг.

Вариант ПОС (В)		Всходы - кущение	Кущение - трубка	Трубка - колошение	$\sum$ ФП
органическая кислота	концентрация раствора, М				
Фон без удобрений (А)					
Контроль	-	93,8	150,7	267,3	511,8
Янтарная	10^{-3}	101,0	161,9	282,0	544,9
	10^{-7}	98,6	160,0	277,2	535,8
Яблочная	10^{-3}	95,2	154,7	270,6	520,5
	10^{-5}	96,8	156,3	273,6	526,7
Щавелевая	10^{-3}	95,2	152,8	272,4	520,4
	10^{-5}	95,8	153,6	270,6	520,0
Лимонная	10^{-3}	98,6	160,8	279,0	538,4
	10^{-7}	97,6	160,3	276,3	534,2
Фон $N_{30}P_{60}$					
Контроль	-	107,4	183,2	287,4	578,0
Янтарная	10^{-3}	126,8	209,9	326,7	663,4
	10^{-7}	119,6	201,3	318,0	638,9
Яблочная	10^{-3}	110,6	188,8	302,7	602,1
	10^{-5}	112,6	194,4	312,6	619,6
Щавелевая	10^{-3}	110,6	188,5	300,6	599,7
	10^{-5}	109,2	187,7	300,0	596,9
Лимонная	10^{-3}	123,6	206,1	322,5	652,2
	10^{-7}	122,0	203,2	318,9	644,1
$НСР_{05}$	А	0,8	2,6	1,0	18,7
	В	1,7	5,6	2,0	39,7
	АВ	2,0	7,9	2,9	56,2

*Примечание: * - без обработки семян*

На удобренном фоне фотосинтетический потенциал яровой мягкой пшеницы возрастал от начала вегетации растений и достигал максимального значения к фазе колошения (287,4-326,7 тыс. м^2/га в сутки) в зависимости от вариантов обработки семян. Наименьшие значения данного показателя отмечены в период от всходов до кущения и составили

107,4-126,8 тыс. м^2/га в сутки. При предпосевной обработке семян пшеницы органическими кислотами отмечено повышение мощности ассимиляционного аппарата. Максимальное увеличение показателей ФП относительно контрольных значений также отмечено на фоне применения азотно-фосфорных удобрений и составило в фазу кущения 2-18%, в фазу выхода в трубку – 2,5-15%, в фазу колошения – 4-14%. Максимальные показатели получены при обработке семян янтарной и лимонной кислотами.

В сумме за период всходы-колошение более высокие показатели фотосинтетического потенциала получены на удобренном фоне в вариантах ПОС янтарной, яблочной и лимонной кислотами. Фотосинтетический потенциал яровой пшеницы за этот период по отношению к контролю варьировал в этих вариантах от 619,6 до 663,4 тыс. м^2/га в сутки. Наибольший показатель был отмечен в варианте применения янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}М (663,4 тыс. м^2/га в сутки), что в 1,3 раза больше, чем в контрольном варианте на неудобренном фоне.

Результаты корреляционного анализа позволили установить прямую зависимость показателей урожайности яровой мягкой пшеницы от суммарной величины фотосинтетического потенциала за период от всходов до колошения (рисунок 7). Установлена сильная корреляционная зависимость, коэффициент корреляции составил r = 0,99.

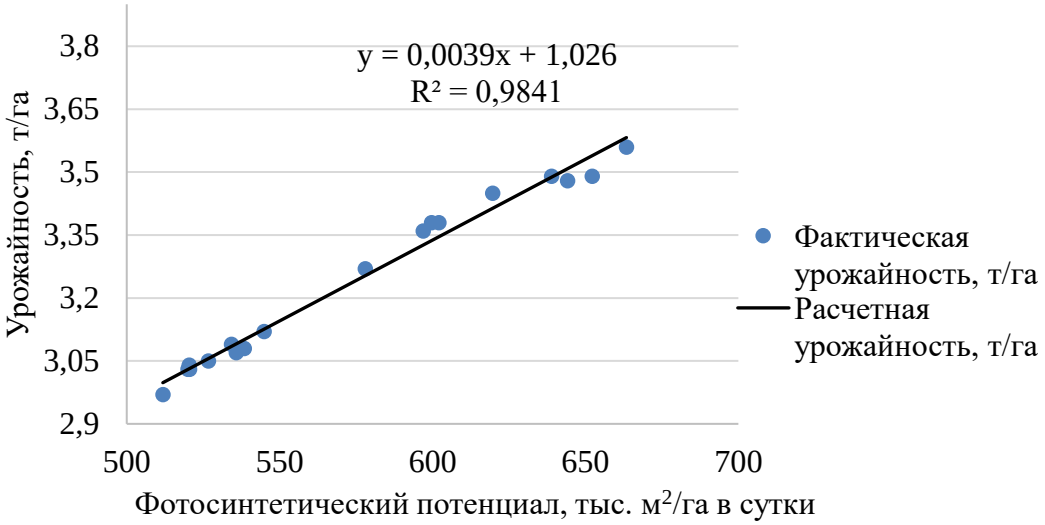


Рисунок 7 – Зависимость урожайности яровой пшеницы от величины фотосинтетического потенциала

Таким образом, наблюдения за формированием листовой поверхности яровой мягкой пшеницы в течение вегетации выявили зависимость ее величины от варианта ПОС и фона удобренности. В вариантах внесения азотно-фосфорных удобрений отмечено увеличение площади листовой поверхности на 16-35% в фазу кущения, 25-39% в фазу выхода в трубку и на 12-22% в фазу колошения в сравнении с контрольным вариантом на неудобренном фоне. Максимальная величина фотосинтезирующей поверхности листьев сформировалась в фазу колошения на фоне внесения азотно-фосфорных удобрений в вариантах ПОС водным раствором янтарной и лимонной кислот в концентрации 10^{-3}М, которая составила 36,3 и 35,8 тыс. м^2/га, соответственно. Увеличение фотосинтетического потенциала опытной культуры отмечено в этих же вариантах и достигнуто за счет оптимизации минерального питания и применения янтарной и лимонной кислот для ПОС в качестве регуляторов роста.

4.2 Фотосинтетическая продуктивность посевов яровой мягкой пшеницы

Оптимальная густота стояния растений на единице площади способствует лучшему использованию ими солнечного света, содержащихся в почве питательных веществ и влаги, обеспечивающих высокую продуктивность культуры (Алиев, 1974).

Отношение общей площади листьев растений к занимаемой ими площади посева называют листовым индексом (ЛИ). По величине данного показателя судят о степени обеспеченности посева влагой и элементами минерального питания. ЛИ в зависимости от культуры варьирует от 1 до 7 м^2/м^2 (Третьяков, Паничкин, и др., 2003). Средний показатель листового индекса для большинства сельскохозяйственных культур составляет 4-5 м^2/м^2. Посев, имеющий такой ЛИ, поглощает около 90% ФАР (Кумаков, 1988, 1995).

Необходимым условием высокого поглощения ФАР является увеличение площади листьев в период колошения. Однако в зонах неустойчивого увлажнения посев, имеющий высокий листовой индекс,

расходует большое количество влаги в первую половину вегетации, создавая неблагоприятные условия в период формирования зерна (Карпова, Миронова, 2009).

Исследованиями установлено, что величина листового индекса яровой мягкой пшеницы за годы исследований варьировала в пределах от 3,0 до 3,1 $м^2/м^2$ на неудобренном фоне и от 3,2 до 3,6 $м^2/м^2$ на удобренном фоне (таблица 10). Максимальные значения этого показателя были отмечены в варианте ПОС водными растворами янтарной и лимонной кислот в концентрации 10^{-3}М на фоне внесения минеральных удобрений, которые составили 3,6 $м^2/м^2$ и превысили контрольный вариант на 20%.

Таблица 10 – Влияние органических кислот и минеральных удобрений на показатели фотосинтетической деятельности посева яровой мягкой пшеницы в фазу колошения

Вариант ПОС (В)		ЛИ, $м^2/м^2$	ЧПФ, $г/м^2$в сутки	$К_{хоз}$, ед
органическая кислота	концентрация раствора, М			
Фон без удобрений (А)				
Контроль*	-	3,0	5,1	0,359
Янтарная	10^{-3}	3,1	5,3	0,330
	10^{-7}	3,1	5,3	0,345
Яблочная	10^{-3}	3,0	5,3	0,349
	10^{-5}	3,0	5,3	0,352
Щавелевая	10^{-3}	3,0	5,2	0,350
	10^{-5}	3,0	5,0	0,368
Лимонная	10^{-3}	3,1	5,4	0,332
	10^{-7}	3,1	5,3	0,335
Фон $N_{30}P_{60}$				
Контроль*	-	3,2	5,2	0,345
Янтарная	10^{-3}	3,6	5,5	0,348
	10^{-7}	3,5	5,4	0,352
Яблочная	10^{-3}	3,4	5,2	0,353
	10^{-5}	3,5	5,4	0,354
Щавелевая	10^{-3}	3,3	5,3	0,350
	10^{-5}	3,3	5,3	0,367
Лимонная	10^{-3}	3,6	5,4	0,351
	10^{-7}	3,5	5,4	0,347
$НСР_{05}$	А	0,02	0,19	0,18
	В	0,05	0,41	0,37
	АВ	0,06	0,58	0,53

*Примечание: * - без обработки семян*

Продуктивность работы листового аппарата растений находит конечное выражение в чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ). Она характеризует среднюю продуктивность работы листьев за определенный период вегетации и определяется отношением прироста сухой биомассы к показателю фотосинтетического потенциала посева за этот же период (которая выражает собой общую сухую биомассу, накапливаемую за сутки в расчете на 1 м^2).

ЧПФ является отражением баланса между интенсивностью фотосинтеза, дыхания в дневное и ночное время суток. Результаты проведенных опытов показывают, что наибольшее увеличение ЧПФ отмечалось в фазу колошения в вариантах ПОС лимонной кислотой на двух фонах и составило 5,3-5,4 г/м^{2}в сутки. Обработка семян янтарной кислотой водным раствором в концентрации10^{-3}М увеличивала данный показатель на 0,2-0,4 г/м^{2}в сутки в сравнении с контрольным вариантом. Максимальный положительный эффект от обработки раствором яблочной кислоты в концентрации10^{-5}М был получен на удобренном фоне, где чистая продуктивность фотосинтеза достигала 5,4 г/м^2 в сутки. Установлена тесная положительная корреляционная зависимость между урожайностью и чистой продуктивностью фотосинтеза яровой мягкой пшеницы (г = 0,73), уравнение регрессии $y = 2{,}654x^2 – 26{,}861x + 71{,}011$.

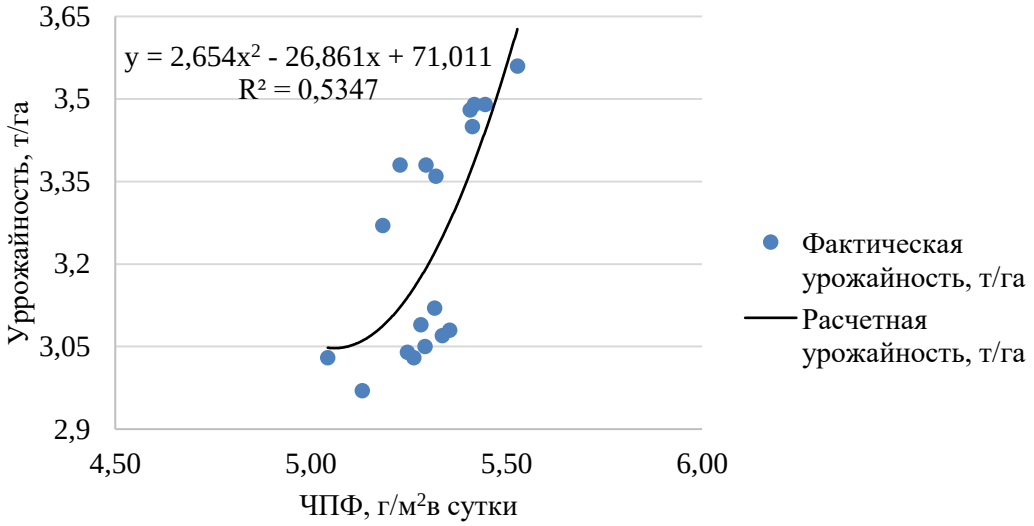


Рисунок 8 – Зависимость урожайности яровой пшеницы от чистой продуктивности фотосинтеза

При формировании урожаев учитывается коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза ($К_{хоз}$), который определяет перераспределение ассимилянтов между хозяйственно ценной частью урожая и побочной продукцией. Коэффициент характеризует направленность продукционного процесса и как сложный показатель зависит, в первую очередь, от биологического потенциала растения, а также от агротехнических и агрометеорологических факторов (Усанова, Васильев, 2014).

Исследованиями выявлено влияние на коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза изучаемых факторов. На неудобренном фоне этот показатель варьировал в пределах от 3,330 до 3,368 и был максимальным в варианте ПОС щавелевой кислотой в концентрации 10^{-3}М и был на 0,009 ед. выше, чем в контрольном варианте. В вариантах обработки семян яблочной и щавелевой кислотами при внесении азотно-фосфорных удобрений отношение массы зерна к общей сухой биомассе растений отличалось от этих же показателей на неудобренном фоне на 0,001-0,004 ед. Следует отметить увеличение $К_{хоз}$ на удобренном фоне в вариантах применения растворов янтарной и лимонной кислоты на 0,007-0,008 и на 0,012-0,019, соответственно.

Таким образом, величина листового индекса ярового мягкой пшеницы за годы исследований зависела от фона удобренности и варианта ПОС. Максимальные значения этого показателя были отмечены в варианте ПОС водными растворами янтарной и лимонной кислот в концентрации 10^{-3}М на фоне внесения минеральных удобрений, которые составили 3,6 $м^2/м^2$ и превысили контрольный вариант на 20%. Наиболее продуктивными были растения в вариантах ПОС янтарной и лимонной кислотами, которые накапливали 5,4-5,5 г сухой биомассы на 1 $м^2$ за сутки. Максимальное значение доли хозяйственно ценной части урожая к общей биомассе растений отмечено в варианте ПОС щавелевой кислотой в концентрации 10^{-5}М на неудобренном фоне. Коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза в этом варианте составил 0,368 ед.

4.3 Динамика накопления сухого вещества растениями яровой мягкой пшеницы

В исследованиях фотосинтетической деятельности посевов для характеристики продуктивности растений определяют общую продуктивность, выражаемую накопленным количеством сухого вещества на единице площади посева. Именно при фотосинтезе образуется 90-95% сухой массы биологического урожая и аккумулируется 100% энергии солнечной радиации (Алиев, 1974). Прирост сухой растительной биомассы является внешним выражением и количественным признаком суммарного итога биохимических процессов в растении (Чулков, 2009).

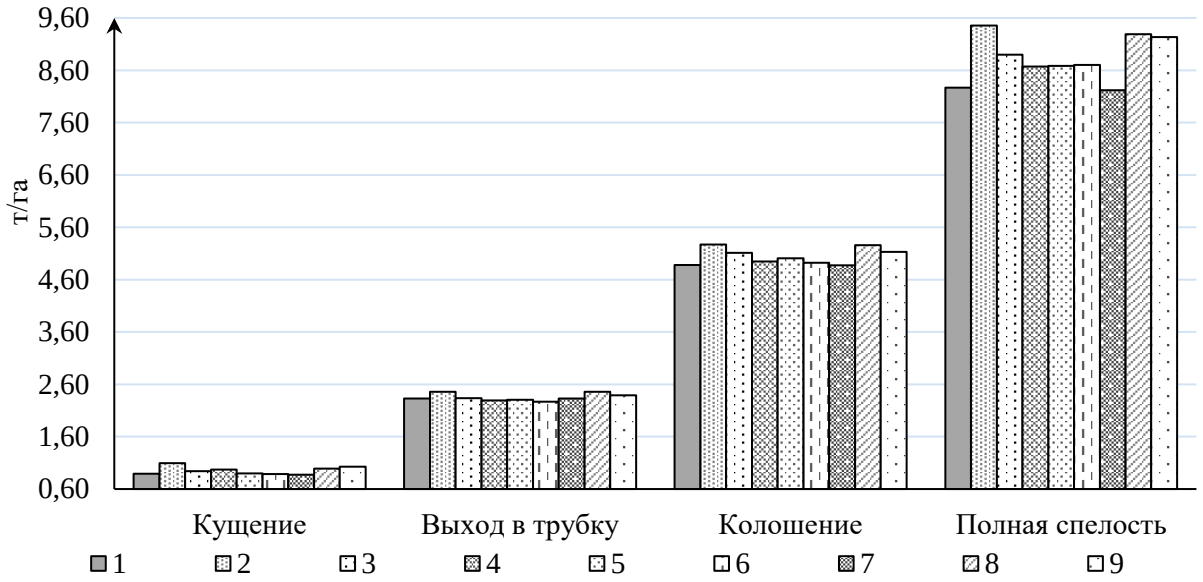
Направленность процесса накопления сухого вещества и перераспределение ассимилянтов между продуцирующей и запасающей системами зависит от биологических особенностей сорта и условий возделывания культуры. Каждый орган растения – листья, стебель, зеленые части колоса принимает двойственное участие в наливе зерна. С одной стороны, они участвуют в фотосинтезе и поставляют зерну ассимиляты, с другой – отдают ему запасные вещества, а также вещества, освобождающиеся в ходе старения и отмирания частей растения (Миронова, 2009). Накопление сухого вещества в листьях имеет чрезвычайно важное значение для формирования урожая, так как на поздних этапах органогенеза именно они снабжают формирующие зерновки азотистыми вещества. В период налива зерна происходит усиленный отток соединений азота их нижних частей растения в верхние – репродуктивные органы.

Динамика и характер накопления биомассы в первой и второй половинах вегетации различен. От всходов до колошения пшеницы прирост органических веществ идет за счёт роста листьев и стебля, а во второй половине – за счёт формирования зерна и прироста массы колоса (Бесалиев, Чурбакова, 2019). Биомасса растения является энергетическим эквивалентом, который характеризует интенсивность фотосинтеза. Поэтому фенологические наблюдения и изучение динамики нарастания вегетативной

массы растений под влиянием различных условий минерального питания и других приемов повышения продуктивности сельскохозяйственных культур является емким показателем продукционного процесса посевов.

В наших исследованиях установлено, что сухое вещество накапливалось в течение всего периода вегетации, однако, темп его нарастания зависел от изучаемых факторов (минеральные удобрения и органические кислоты). Изменения накопления сухого вещества растениями пшеницы по годам представлены в приложении Б. На рисунках № 9 и 10 показано влияние фонов питания (естественный и $N_{30}P_{60}$) и предпосевной обработки семян на накопление сухой биомассы яровой мягкой пшеницы в динамике за период всходы – полная спелость.

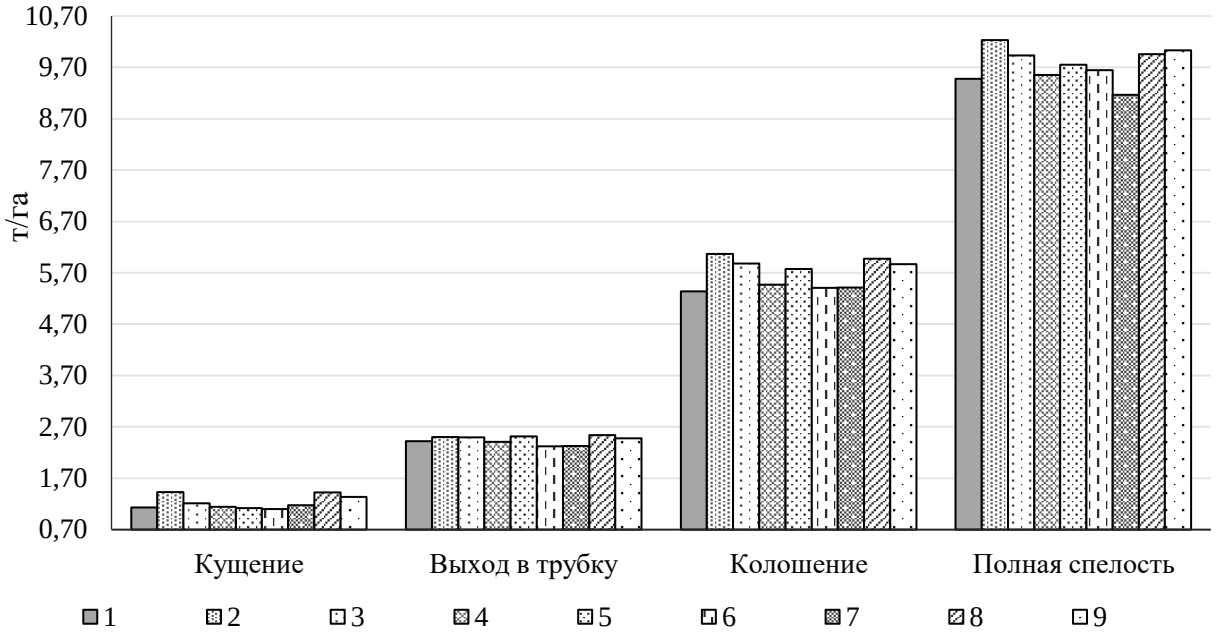
Количество сухой биомассы в среднем за три года возрастало в зависимости от фаз развития растении яровой пшеницы. Наибольший прирост сухого вещества в растениях опытной культуры отмечен в период колошение-полная спелость и составил 3,34-4,18 т/га возд.-сух. в-ва на неудобренном фоне и 3,75-4,24 т/га возд.-сух. в-ва на фоне внесения минеральных удобрений. Следует отметить, что на фоне без внесения удобрений накопление сухой биомассы во всех вариантах увеличивалось равномерно до фазы колошения. От фазы колошения к фазе полной спелости отмечено более интенсивное увеличение сухой биомассы яровой мягкой пшеницы в вариантах ПОС растворами лимонной и янтарной кислот. Этот период в онтогенезе растений пшеницы характеризуется высокой фотосинтетической активностью, так как количество синтезируемого органического вещества достигает 50% от общей суммы за вегетационный период.



1 - Контроль; 2 - Янтарная кислота10^{-3} М; 3 - Янтарная кислота10^{-7}М;
4 - Яблочная кислота10^{-3}М; 5 - Яблочная кислота 10^{-5}М; 6 - Щавелевая кислота10^{-3}М;
7 - Щавелевая кислота10^{-5}М; 8 - Лимонная кислота10^{-3}М; 9 - Лимонная кислота10^{-7}М

Рисунок 9 – Динамика накопления биомассы яровой мягкой пшеницы на фоне без удобрений в зависимости от варианта ПОС, т/га возд.-сух. в-ва

На удобренном фоне накопление биомассы происходило интенсивнее, чем на естественном фоне за счет улучшения условий минерального питания. Применение минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{60}$ увеличило выход возд.-сух. в-ва с одного гектара пашни в фазу полной спелости на 15%. Биомасса растений пшеницы на удобренном фоне в фазу кущения была на 0,24 т/га возд.-сух. в-ва больше, чем на неудобренном. К фазе колошения эта разница увеличилась до 0,46 т/га. ПОС органическими кислотами на удобренном фоне позволила повысить накопление сухого вещества к концу вегетации на 0,17-0,76 т/га возд.-сух. в-ва.

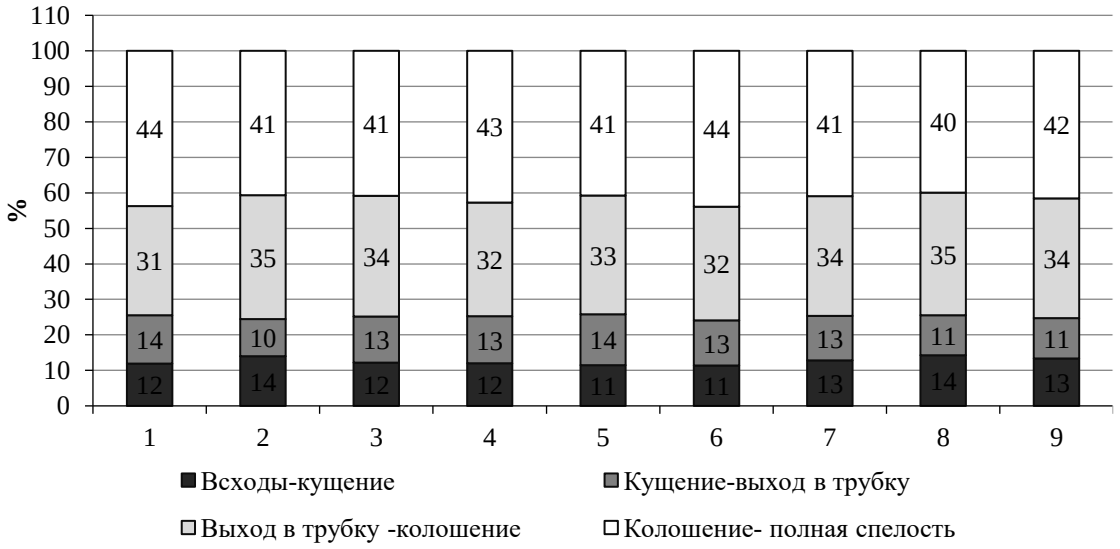


1 - Контроль; 2 - Янтарная кислота10^{-3}М; 3 - Янтарная кислота10^{-7}М;
4 - Яблочная кислота10^{-3}М; 5 - Яблочная кислота 10^{-5}М; 6 - Щавелевая кислота10^{-3}М;
7 - Щавелевая кислота10^{-5}М; 8 - Лимонная кислота10^{-3}М; 9 - Лимонная кислота10^{-7}М

Рисунок 10 – Динамика накопления биомассы яровой мягкой пшеницы на удобренном фоне в зависимости от варианта ПОС, т/га возд.-сух. в-ва

Нами выявлено, что ПОС органическими кислотами на удобренном фоне оказывало существенное влияние на ход продукционного процесса и накопление фитомассы яровой мягкой пшеницы. Это влияние проявлялось в увеличении прироста сухой биомассы к концу вегетационного периода на 11-24 % в сравнении с вариантом без обработки семян на неудобренном фоне (рисунок 11). Так, в контрольных вариантах (без обработки), в среднем за 3 года, максимальный приростов сухой массы приходился на период колошение-полная спелость. Обработка семян органическими кислотами позволила сдвинуть интенсивность прироста органических веществ на период выход в трубку – колошение и сформировать сухую массу посевов на уровне 5,41-6,07 т/га возд.-сух. в-ва, что на 1,3-13,7% выше, чем в контрольном варианте. Накопление максимального количества органических соединений к началу фазы колошения позволяет растениям расходовать большее

количество запасных веществ на формирование более крупного колоса и зерновок.



1 - Контроль; **2** - Янтарная к-та10^{-3}М; **3** - Янтарная к-та10^{-7}М;
4 - Яблочная к-та 10^{-3}М; **5** - Яблочная к-та 10^{-5}М; **6** - Щавелевая к-та 10^{-3}М;
7 - Щавелевая к-та 10^{-5}М; **8** - Лимонная к-та10^{-3}М; **9** - Лимонная к-та10^{-7}М

Рисунок 11 – Интенсивность нарастания биомассы на удобренном фоне в зависимости от ПОС, % возд.-сух. в-ва

Результаты исследований показали, что ПОС органическими кислотами позволило повысить относительную скорость прироста фитомассы опытной культуры в течение вегетации. В фазу кущения максимальная величина биомассы посева отмечена в вариантах обработки семян водными растворами янтарной и лимонной кислот в концентрации 10^{-3}М. В период выход в трубку – колошение наибольшее увеличение данного показателя наблюдалось в вариантах обработки семян водным раствором янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}М и лимонной кислоты в концентрации 10^{-7}М и составило 35% от общего прироста фитомассы за вегетацию.

Таким образом, предпосевная обработка семян органическими кислотами на фоне внесения азотно-фосфорных удобрений ($N_{30}P_{60}$) оказала положительное влияние на накопление сухого вещества и увеличила относительную скорость прироста биомассы растений яровой мягкой пшеницы. Применение минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{60}$ увеличило выход

воздушно-сухого вещества с одного гектара пашни в фазу полной спелости на 15%. Максимальную величину биомассы растения сформировали на удобренном фоне в вариантах обработки семян водным раствором янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}М и лимонной кислоты в концентрации 10^{-7}М, которая составила 10,23 и 10,03 т/га возд.-сух. в-ва, соответственно. Это на 21 и 24% выше, чем в варианте без обработки семян на неудобренном фоне.

ГЛАВА 5 СОДЕРЖАНИЕ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

5.1 Содержание макроэлементов в растениях яровой мягкой пшеницы

Минеральное питание является одним из основных физиологических процессов в жизни растений. Условия питания оказывают влияние на ход и темпы формирования отдельных органов растения, на направление и интенсивность биохимических процессов и в конечном результате на качество и величину получаемого урожая (Панников, 1977). Количество накопленных питательных веществ в зерне определяет качество получаемой продукции, которое зависит от содержания минеральных элементов в почве (Агеев, 2005).

Элементный химический состав зависит от двух факторов: генотипического и экологического. Химический состав растений в условиях постоянно изменяющихся внешних факторов может быть скорректирован применением агрохимических средств, в том числе и регуляторов роста (Якушкина, 2004). В исследованиях ученых отмечено положительное влияние регуляторов роста на содержание макроэлементов в основной и побочной продукции пшеницы (Карпова, 2013; Каспировский, 2013). Изучение их влияния на минеральное питание конкретной культуры как важнейшего процесса, определяющего формирование урожая, является актуальной задачей (Булгакова, 2006).

Растения потребляют азота больше, чем любого другого элемента, так как он является составной частью всех аминокислот, белков, нуклеиновых кислот и хлорофилла, а также липидов и ферментов. (Петербургский, 1971). Фосфор участвует в синтезе белка и сложных углеводов, необходимых в процессе дыхания. Фотосинтетический потенциал посевов зависит от фосфорного питания растений. Калий увеличивает гидрофильность цитоплазмы, воздействует на образование и передвижение углеводов, синтез белка и регулирует активность других элементов питания.

Увеличение содержания питательных элементов в зерне пшеницы связано с наиболее интенсивным его накоплением в вегетативных органах до

формирования колоса под влиянием различных факторов, в том числе и росторегуляторов. Растения, сформировавшие максимальную биомассу, имеют предпосылки к увеличению оттока ассимилянтов из листостебельной массы в генеративные органы, что влияет на содержание их в зерне.

Исследования по определению содержания основных макроэлементов в зависимости от ПОС биологически активными веществами имеет актуальное значение при разработке системы удобрения культуры

Результаты исследований показали, что содержание и распределение макроэлементов (NPK) в основной и побочной продукции в большей степени зависели от фона удобренности (таблица 11). В опыте отмечено изменение содержания азота в зерне, азота и калия в соломе в зависимости от изучаемых факторов. В среднем за три года по содержанию фосфора в зерне и соломе, а также калия в зерне существенных различий не отмечено.

Таблица 11 – Химический состав зерна и соломы яровой мягкой пшеницы в зависимости от применения минеральных удобрений и органических кислот, в среднем за 2017-2019 гг.

Вариант ПОС		Содержание в зерне, %			Содержание в соломе, %		
органическая кислота	концентрация раствора, М	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Фон без удобрений							
Контроль*	-	2,36	0,80	0,60	0,65	0,18	1,36
Янтарная	10^{-3}	2,50	0,84	0,61	0,65	0,16	1,32
	10^{-7}	2,41	0,84	0,69	0,70	0,16	1,35
Яблочная	10^{-3}	2,39	0,84	0,68	0,50	0,15	1,31
	10^{-5}	2,40	0,82	0,64	0,50	0,15	1,29
Щавелевая	10^{-3}	2,39	0,86	0,66	0,70	0,15	1,35
	10^{-5}	2,39	0,82	0,59	0,70	0,15	1,34
Лимонная	10^{-3}	2,47	0,85	0,66	0,60	0,16	1,30
	10^{-7}	2,47	0,83	0,62	0,65	0,16	1,36
Фон $N_{30}P_{60}$							
Контроль*	-	2,53	0,87	0,65	0,62	0,17	1,38
Янтарная	10^{-3}	2,71	0,84	0,69	0,65	0,21	1,41
	10^{-7}	2,62	0,87	0,71	0,58	0,18	1,39
Яблочная	10^{-3}	2,59	0,85	0,64	0,65	0,18	1,43
	10^{-5}	2,59	0,86	0,71	0,63	0,18	1,38
Щавелевая	10^{-3}	2,60	0,84	0,67	0,60	0,18	1,43
	10^{-5}	2,59	0,85	0,72	0,60	0,18	1,36
Лимонная	10^{-3}	2,66	0,84	0,69	0,59	0,17	1,39
	10^{-7}	2,66	0,86	0,71	0,58	0,18	1,38

*Примечание: * - без обработки семян*

Установлено, что содержание азота в зерне изменялось в пределах от 2,36 до 2,71%. На естественном фоне среднее содержание азота в зерне в зависимости от ПОС изменялось в среднем на 0,03-0,14%. Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{60}$ позволило увеличить накопление азота в зерне на 0,17%. Максимальное накопление азота в зерне яровой мягкой пшеницы (2,71%) было отмечено на удобренном фоне в варианте ПОС янтарной кислотой в концентрации 10^{-3}М. Содержание азота в побочной продукции составляло 0,62% и было выше на неудобренном фоне.

Содержание фосфора в зерне и соломе изменялось незначительно. В опыте яровой мягкой пшеницей было накоплено в зерне от 0,80 до 0,87%, в соломе от 0,15 до 0,21%. Максимальное содержание этого элемента питания в растениях отмечено на фоне внесения азотно-фосфорных удобрений.

Предпосевная обработка семян органическими кислотами на естественном фоне снижала содержание калия в соломе пшеницы, в то время как на удобренном фоне содержание калия в вариантах ПОС было на уровне варианта обработки семян водой. Накопление калия в основной продукции было интенсивнее на удобренном фоне удобренности. При снижении концентрации раствора органических кислот отмечена тенденция увеличения содержания калия в зерне пшеницы.

Таким образом, в опыте на удобренном фоне отмечено увеличение содержания азота в зерне яровой мягкой пшеницы на 0,17-0,35%. Максимальное накопление азота в зерне было в варианте ПОС янтарной кислотой в концентрации 10^{-3}М. Содержание азота в побочной продукции снижалось до 0,50% на неудобренном фоне в варианте ПОС раствором яблочной кислоты. Накопление фосфора растениями пшеницы зависело от фона удобренности и изменялось незначительно.

5.2 Вынос и расход макроэлементов яровой мягкой пшеницей

Биологические особенности сельскохозяйственных культур и условия их выращивания определяют вынос элементов минерального питания с урожаем и побочной продукцией.

Количество элементов минерального питания во всей биомассе растений (надземные органы и корни) характеризует биологический вынос, который включает в себя содержание питательных веществ как в отчуждаемой с поля основной и побочной продукции (хозяйственный вынос), так и в корневых и пожнивных остатках, листовом опаде (остаточный вынос). Хозяйственный вынос зависит от величины урожая зерна и соломы культуры.

Вынос азота, фосфора и калия тесно связан с величиной урожая зерна и соломы и содержанием в них элементов питания. В таблице 12 приведены результаты расчета данных показателей в опыте в зависимости от изучаемых факторов.

Обработка семян на неудобренном фоне повлияла на потребление азота растениями пшеницы, вынос его основной продукцией увеличивался от 70,15 до 77,87 кг/га в зависимости от варианта. Вынос азота по вариантам опыта соломой незначительно снижался или был на уровне контроля. На хозяйственном выносе калия применение органических кислот никак не отразилось.

Увеличение урожайности яровой мягкой пшеницы при улучшении питания культуры на фоне внесения минеральных удобрений отразилось на величине выноса элементов питания основной продукцией (таблица 12). Так на фоне внесения азотно-фосфорных удобрений отмечено увеличение выноса азота зерном на 18%, фосфора на 19%. ПОС органическими кислотами на удобренном фоне увеличила на вынос азота зерном на 4,23–13,8 кг/га и калия на 0,37-3,64 кг/га. Вынос фосфора основной и побочной продукцией изменялся незначительно. Следует отметить, что максимальное увеличение выноса фосфора (22%) соломой отмечено в варианте ПОС янтарной кислотой в концентрации 10^{-3}М и составило 11,35 кг/га.

Результаты исследований показали, что при ПОС органическими кислотами содержание в растениях фосфора и калия не изменялось, а по содержанию азота отмечена тенденция повышения на 0,17-0,35% в сравнении с контролем. Максимальное накопление азота в зерне 2,71 % было в варианте

ПОС янтарной кислотой в концентрации 10^{-3}М, сбор белка с гектара при этом увеличился на 17%.

Таблица 12 – Влияние минеральных удобрений и предпосевной обработки семян на вынос и расход элементов питания яровой мягкой пшеницей, в среднем за 2017-2019 гг.

Вариант ПОС		Вынос элементов, кг/га									Расход элементов, кг/т зерна		
органическая кислота	концентрация раствора, М	зерно			солома			общий (хозяйственный)					
		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Фон без удобрений													
Контроль*	-	70,15	23,86	20,89	26,33	7,35	56,55	96,49	31,20	77,44	32,49	10,51	26,07
Янтарная	10^{-3}	77,87	26,31	19,97	27,66	6,99	57,51	105,54	33,30	77,48	33,83	10,67	24,83
	10^{-7}	73,99	25,79	21,29	27,22	6,88	58,02	101,21	32,66	79,31	32,97	10,64	25,83
Яблочная	10^{-3}	72,40	25,35	20,60	22,62	6,22	55,57	95,03	31,57	76,17	31,36	10,42	25,14
	10^{-5}	73,22	25,01	19,62	23,49	6,41	55,23	96,70	31,42	74,85	31,71	10,30	24,54
Щавелевая	10^{-3}	72,59	26,25	20,17	26,25	6,53	57,46	98,83	32,77	77,62	32,51	10,78	25,53
	10^{-5}	72,51	24,85	17,88	25,45	6,50	56,98	97,96	31,35	74,86	32,33	10,35	24,71
Лимонная	10^{-3}	76,12	26,18	20,33	24,43	6,76	56,20	100,55	32,94	76,53	32,65	10,69	24,85
	10^{-7}	76,22	25,75	19,16	24,51	6,78	58,98	100,73	32,53	78,14	32,60	10,53	25,29
Фон $N_{30}P_{60}$													
Контроль*	-	82,84	28,34	21,26	34,28	9,27	76,71	117,12	37,61	97,97	35,82	11,50	29,96
Янтарная	10^{-3}	96,64	29,90	24,68	39,34	11,35	85,53	135,98	41,26	110,22	38,20	11,59	30,96
	10^{-7}	91,52	30,25	24,90	34,61	10,68	82,27	126,12	40,93	107,17	36,14	11,73	30,71
Яблочная	10^{-3}	87,52	28,62	21,63	37,35	10,34	82,36	124,87	38,96	103,99	36,94	11,53	30,77
	10^{-5}	89,38	29,67	24,50	37,15	10,75	80,94	126,52	40,42	105,43	36,67	11,72	30,56
Щавелевая	10^{-3}	87,98	28,50	22,76	34,48	10,15	82,17	122,45	38,66	104,93	36,23	11,44	31,04
	10^{-5}	87,07	28,56	24,30	34,27	10,47	77,68	121,34	39,03	101,99	36,11	11,62	30,35
Лимонная	10^{-3}	92,68	29,20	24,08	35,00	10,28	82,47	127,68	39,48	106,55	36,59	11,31	30,53
	10^{-7}	92,47	29,93	24,82	34,51	10,85	81,84	126,98	40,77	106,66	36,49	11,72	30,65

*Примечание: * - без обработки семян*

Таким образом, расход и вынос азота яровой мягкой пшеницей увеличивается при применении минеральных удобрений и ПОС на удобренном фоне. Снижение расхода азота отмечено в вариантах ПОС яблочной кислотой на естественном фоне. Динамика выноса и расхода фосфора и калия растениями яровой мягкой пшеницы от ПОС органическими кислотами изменялась незначительно. В варианте ПОС лимонной кислотой в концентрации 10^{-3}М как на удобренном фоне, так и на фоне внесения азотно-фосфорных удобрений отмечено снижение расхода макроэлементов. Обработка семян янтарной кислотой в концентрации 10^{-3}М на удобренном фоне увеличивает расход азота на 5,71 кг/га в сравнении с контрольным вариантом.

ГЛАВА 6 ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

6.1 Урожайность яровой мягкой пшеницы

Урожайность является интегральным показателем продуктивности культуры, который зависит от особенностей комплекса факторов: почвенно-климатических условий местности, технологии возделывания, биологических особенности культуры и др. (Алиев, 1974; Аристархов, 2000; Хамова и др., 2001). Она является результатом фотосинтетической деятельности растений в посевах и отражает направленность и интенсивность продукционного процесса. Продуктивность сельскохозяйственных культур – это основной показатель, который характеризует эффективность использования различных агротехнических приемов (Харитонова и др., 2009; Каспировский, 2013). Именно урожайность отображает целесообразность и результативность того или иного приема возделывания сельскохозяйственной культуры. Д.А. Сабинин (1971) неоднократно подчеркивал важность изучения формирования урожая в онтогенезе растений и контроля факторов, влияющих на этот процесс.

Продуктивность зерновых культур оценивается по количеству полученной хозяйственно ценной части, которая в значительной степени зависит от температурного режима и условий увлажнения в течение вегетации. Резкие колебания этих показателей оказывают влияние на величину валового сбора зерна. Для ослабления влияния неблагоприятных погодных условий необходима эффективная система ведения сельского хозяйства, позволяющая сохранить продуктивность культуры на высоком уровне (Трубилин и др., 2017). Одним из факторов снижения данного риска является использование регуляторов роста. Положительное влияние регуляторов роста на продуктивность зерновых культур отражено в исследованиях многих авторов (Карпова, 2007; Зюзина, 2008; Бакулова, 2009; Исайчев, 2013; Ткачук и др., 2013). Предпосевная обработка семян регуляторами роста способствует стимуляции ростовых процессов на

ранних этапах, формированию мощной вегетативной массы, что способствует повышению продуктивности сельскохозяйственных культур.

В результате проведенных исследований было установлено, что урожайность яровой мягкой пшеницы зависела от метеорологических условий вегетационного периода и минерального питания (приложение В). В благоприятный по влаго- и теплообеспеченности 2017 год была получена наибольшая урожайность яровой мягкой пшеницы, которая в зависимости от изучаемых в опыте факторов изменялась от 3,15 до 3,75 т/га зерна. Прохладная и влажная погода вегетационного периода 2018 года повлияла на продуктивность культуры, которая находилась в пределах от 3,03 до 3,57 т/га. Недостаток осадков и высокая температура воздуха, превышающая среднемноголетние показатели, во второй половине вегетационного периода 2019 года определили продуктивность яровой мягкой пшеницы на уровне 2,73-3,36 т/га.

Важную роль в формировании урожайности культуры играли условия минерального питания (таблица 13). Так, внесение азотно-фосфорных удобрений в дозе $N_{30}P_{60}$ позволило получить прибавку в опыте на уровне 10%. Внесение минеральных удобрений позволило дополнительно получить 0,28-0,33 т/га зерна.

Таблица 13 – Урожайность яровой мягкой пшеницы в зависимости от вариантов ПОС органическими кислотами и фона удобренности, в среднем за 2017-2019 гг.

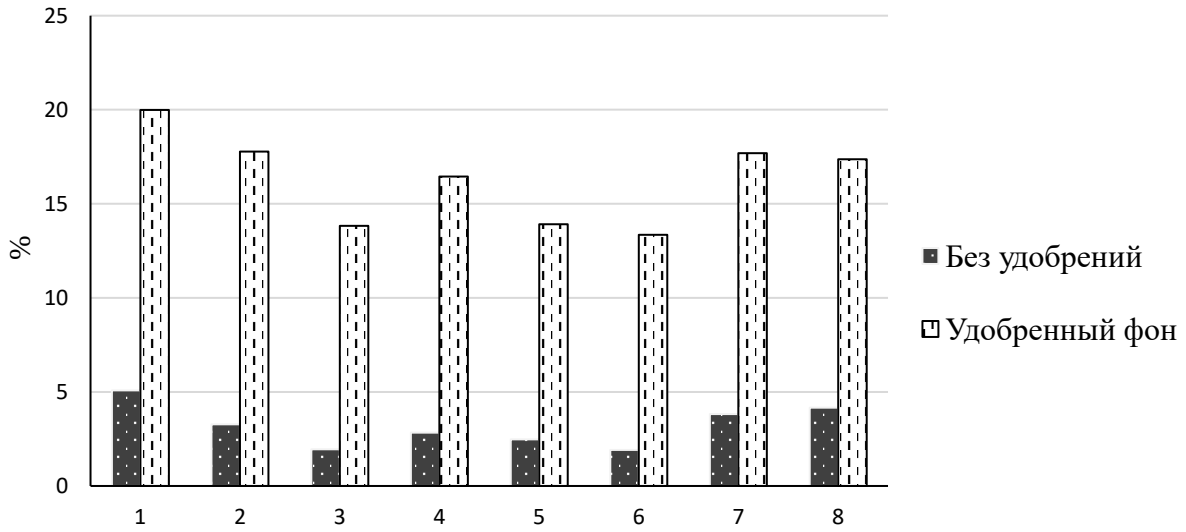
Вариант ПОС		Урожайность, т/га	Прибавка, т/га		
органическая кислота	концентрация раствора, М		от удобрений (А)	от ПОС (В)	общая (АВ)
Фон без удобрений					
Контроль*	-	2,97	-	-	-
Янтарная	10^{-3}	3,12	-	0,15	0,15
	10^{-7}	3,07	-	0,10	0,10
Яблочная	10^{-3}	3,03	-	0,06	0,06
	10^{-5}	3,05	-	0,08	0,08
Щавелевая	10^{-3}	3,04	-	0,07	0,07
	10^{-5}	3,03	-	0,06	0,06
Лимонная	10^{-3}	3,08	-	0,11	0,11
	10^{-7}	3,09	-	0,12	0,12
Фон $N_{30}P_{60}$					
Контроль*	-	3,27	0,30	-	-
Янтарная	10^{-3}	3,56	0,44	0,29	0,59
	10^{-7}	3,49	0,43	0,22	0,52
Яблочная	10^{-3}	3,38	0,35	0,11	0,41
	10^{-5}	3,45	0,40	0,18	0,48
Щавелевая	10^{-3}	3,38	0,34	0,11	0,41
	10^{-5}	3,36	0,34	0,09	0,39
Лимонная	10^{-3}	3,49	0,41	0,22	0,52
	10^{-7}	3,48	0,39	0,21	0,51
$НСР_{05}$		0,25	0,15	0,11	0,23

*Примечание: * - без обработки семян*

Максимальная прибавка по отношению к контролю на удобренном фоне получена при применении водного раствора янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}М для ПОС на фоне применения азотно-фосфорных удобрений. Прибавка в этом варианте составила 0,29 т/га, что на 9% больше, чем в контрольном варианте на удобренном фоне. Незначительно по эффективности ему уступали варианты предпосевной обработки семян янтарной кислотой в концентрации 10^{-7}М и оба варианта применения лимонной кислоты. Прибавки в этих вариантах составили 7%, дополнительно было получено 0,21-0,22 т/га зерна. Более низкая урожайность в годы исследований была отмечена при обработке семян яровой пшеницы раствором щавелевой кислоты. Независимо от

фона удобренности и концентрации раствора прибавка в этих вариантах была в пределах ошибки опыта.

Агротехнология, включающая внесение азотно-фосфорных удобрений в дозе $N_{30}P_{60}$ и ПОС органическими кислотами, позволила создать благоприятные условия для роста и развития культуры и получить прибавку на уровне 13-20% (рисунок 12). Улучшение условий минерального питания на удобренном фоне и предпосевная обработка семян способствуют более интенсивному накоплению органической массы и повышению фотосинтетической активности посевов пшеницы, что, в итоге, положительно влияет на продуктивность культуры. Максимальная урожайность в опыте была получена в варианте обработки семян водным раствором янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}М и составила 3,56 т/га. При этом прибавка к контролю составила 0,59 т/га, что на 20% выше, чем в контрольном варианте. Общая прибавка на уровне 0,51-0,52 т/га отмечена в вариантах обработки семян лимонной кислотой и янтарной кислотой в концентрации 10^{-7}М на фоне применения азотно-фосфорных удобрений, что на 17-18% выше контрольного варианта.



1 - Янтарная к-та 10^{-3}М; 2 - Янтарная к-та 10^{-7}М; 3 - Яблочная к-та10^{-3}М; 4 - Яблочная 10^{-5}М; 5 - Щавелевая к-та10^{-3}М; 6 - Щавелевая к-та10^{-5}М; 7 - Лимонная к-та10^{-3}М; 8 - Лимонная к-та 10^{-7}М.

Рисунок 12 – Общая прибавка в зависимости от ПОС органическими кислотами и фона удобренности, в среднем за 2017-2019 гг.

Данные о влиянии предпосевной обработки семян наиболее эффективных вариантов (янтарной и лимонной кислотой) в зависимости от концентрации раствора на продуктивность яровой мягкой пшеницы на удобренном фоне представлены на рисунке. Следует отметить, что при уменьшении концентрации водного раствора янтарной кислоты для ПОС отмечено снижение продуктивности культуры (рисунок 13). Изменение концентрации раствора лимонной кислоты не отразилось на урожайности культуры, которая сохранялась на уровне 3,48-3,49 т/га.

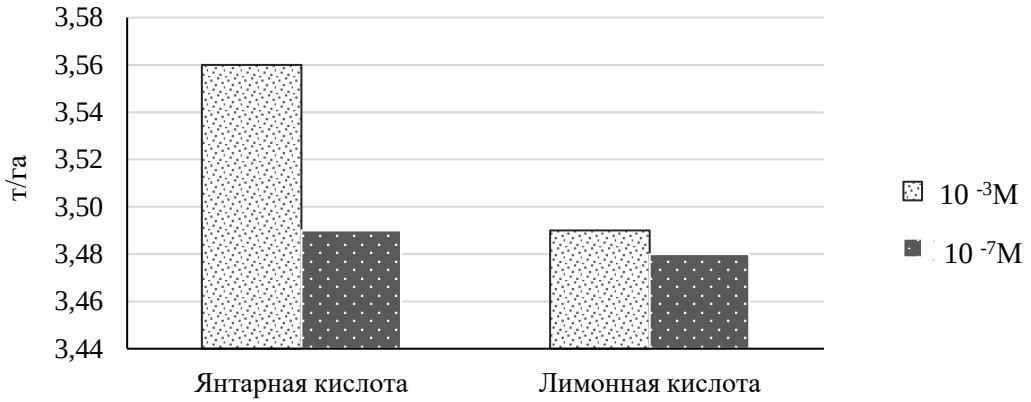


Рисунок 13 – Эффективность применения органических кислот для ПОС в зависимости от концентрации раствора на удобренном фоне, в среднем за 2017-2019 гг.

Таким образом, установлено, что изучаемые в опыте факторы способствуют увеличению урожайности на 0,06-0,52 т/га. Эффективность применения органических кислот для ПОС яровой мягкой пшеницы зависела от уровня минерального питания культуры. Отмечена тенденция увеличения продуктивности яровой мягкой пшеницы в вариантах предпосевной обработки семян органическими кислотами на неудобренном, прибавка составила 2-5%. При улучшении уровня минерального питания эффективность предпосевной обработки увеличивается и составила 0,11-0,29 т/га. Максимальную прибавку (20%) к контролю обеспечило применение водного раствора янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}М для ПОС на фоне применения азотно-фосфорных удобрений. При снижении концентрации раствора отмечено снижение

эффективности ПОС на 2%. В среднем за три года в вариантах применения лимонной кислоты для ПОС установлено, что снижение концентрации раствора не повлияло на урожайность культуры, которая составила 3,48 т/га. Общая прибавка от применения удобрений и лимонной кислоты составила 0,51-0,52 т/га, что на 18% выше контрольного варианта.

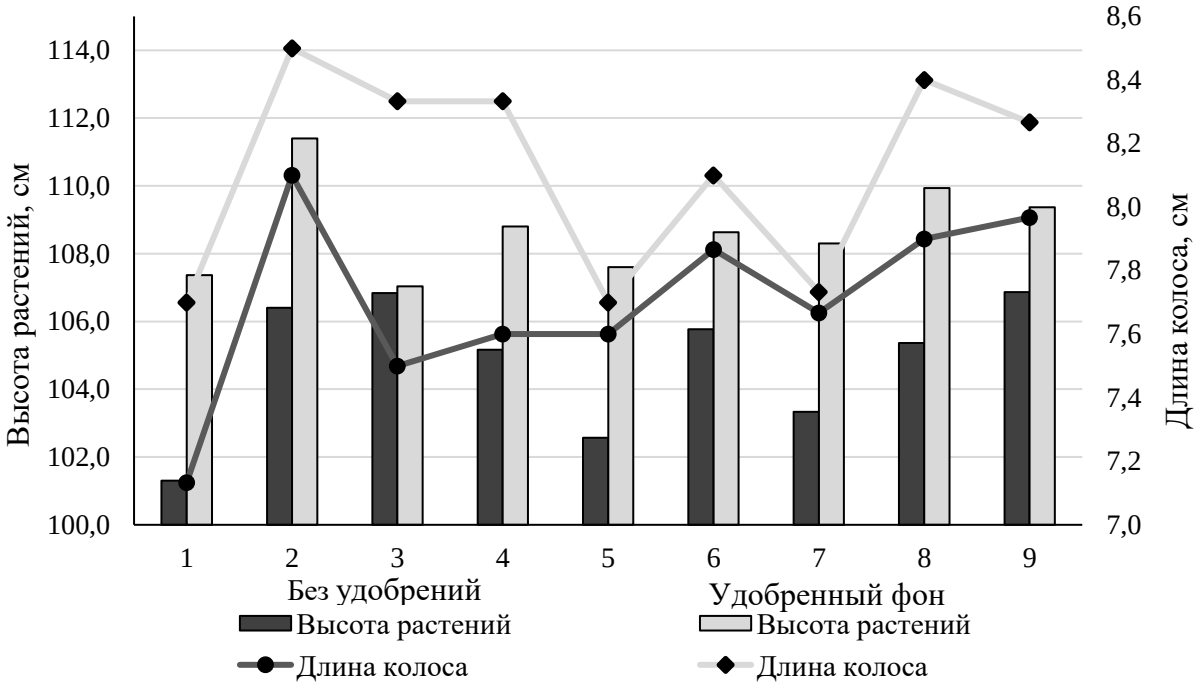
6.2 Структура урожая яровой мягкой пшеницы

Для установления закономерности формирования урожая широко используется структурный анализ. Структура урожая – это количественное выражение элементов и органов растения по результатам морфобиометрической диагностики, которые определяют величину урожая и отражают взаимодействие растения и среды на определенных этапах роста и развития (Савицкий, Николаев, 1974). Структурный анализ позволяет выявить, за счет каких элементов получен урожай. Наиболее продуктивны посевы сельскохозяйственных культур, развитие растений и колосьев которых проходит при оптимальном сочетании элементов минерального питания в почве и благоприятных условиях внешней среды. Следует отметить, что условия среды, ускоряющие процессы формирования колоса, колосков и цветков уменьшают при этом количество этих элементов (Мнатсаканян, 2018).

К основным элементам структуры урожая относят величину продуктивного стеблестоя на единицу площади, число зерен в колосе, массу 1000 зерен и продуктивность колоса. Их величина зависит от многих факторов, в том числе и от применения препаратов со стимулирующим эффектом.

Разработка агротехнических приемов управления процессом формирования высоких урожаев должна быть связана с установлением закономерностей образования и изменчивости основных компонентов урожая в условиях определенной климатической зоны (Леонтьев 1971). Структурный анализ позволяет выявить закономерности влияния приемов интенсификации на определенные компоненты урожайности культуры, за счет которых увеличивается сбор зерна.

Проведенный анализ позволил определить особенности формирования элементов структуры урожая яровой мягкой пшеницы в зависимости от ПОС и внесения азотно-фосфорных удобрений в условиях южной лесостепи Омской области. Установлено, что элементы структуры урожая яровой мягкой пшеницы изменялись по годам и зависели от метеорологических условий вегетационного периода и изучаемых факторов в опыте (рисунок 14). Так, высота растений пшеницы в опыте изменялась по годам от 86,1 до 146,9 см и была максимальной в 2017 (приложения Г, Д, Е). Это объясняется тем, что в 2017 году в период начала стеблевания растения получили достаточное количество влаги для формирования соломины. Средняя высота растений за годы исследований была в пределах 101,3-111,4 см и зависела от фона удобренности в опыте. В опыте отмечена тенденция увеличения длины колоса в зависимости от изучаемых факторов.



1 - Контроль; **2** - Янтарная к-та10^{-3}М; **3** - Янтарная к-та10^{-7}М;
4 - Яблочная к-та 10^{-3}М; **5** - Яблочная к-та 10^{-5}М; **6** - Щавелевая к-та 10^{-3}М;
7 - Щавелевая к-та 10^{-5}М; **8**- Лимонная к-та10^{-3}М; **9** - Лимонная к-та10^{-7}М

Рисунок 14 – Влияние минеральных удобрений и ПОС органическими кислотами на длину колоса и высоту растений, среднее за 2017-2019гг.

Продуктивная кустистость является важным показателем в структуре урожайности и определяется как среднее количество нормально развитых

стеблей, дающих зерно на одном растении. В проведенных исследованиях величина данного показателя в среднем за три года изменялась от 1,4 до 1,9 и зависела от фона удобренности. Внесение азотно-фосфорных удобрений увеличивало продуктивную кустистость на 14%. Наибольшее число продуктивных стеблей было отмечено в вариантах ПОС растворами янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}М и яблочной кислоты в концентрации 10^{-5}М на удобренном фоне (таблица 14). Продуктивная кустистость в этих вариантах была на уровне 1,9.

Таблица 14 – Влияние минеральных удобрений и ПОС органическими кислотами на формирование элементов структуры урожая яровой мягкой пшеницы, среднее за 2017-2019 гг.

Вариант ПОС		Продуктивная кустистость	Количество, шт.		Масса, г	
органическая кислота	концентрация раствора, М		колосков в колосе	зерен в колосе	зерна с 1 растения	1000 зерен
Фон без удобрений						
Контроль*	-	1,4	14,7	27,7	1,3	36,7
Янтарная	10^{-3}	1,6	15,7	28,9	1,8	38,5
	10^{-7}	1,5	15,7	28,1	1,5	37,3
Яблочная	10^{-3}	1,5	14,7	28,0	1,6	37,0
	10^{-5}	1,5	15,0	29,1	1,5	37,1
Щавелевая	10^{-3}	1,6	15,2	27,0	1,7	38,5
	10^{-5}	1,4	15,3	26,8	1,4	38,1
Лимонная	10^{-3}	1,5	15,9	28,6	1,8	38,6
	10^{-7}	1,6	15,0	28,2	1,7	38,4
Фон $N_{30}P_{60}$						
Контроль*	-	1,6	15,7	28,9	1,8	37,5
Янтарная	10^{-3}	1,9	16,5	31,0	2,2	39,8
	10^{-7}	1,7	16,1	29,4	2,0	38,5
Яблочная	10^{-3}	1,7	15,3	29,0	1,8	38,3
	10^{-5}	1,9	15,7	29,1	2,0	38,9
Щавелевая	10^{-3}	1,6	15,0	28,7	1,7	38,5
	10^{-5}	1,7	16,0	28,5	1,8	37,7
Лимонная	10^{-3}	1,8	16,2	31,4	2,0	39,4
	10^{-7}	1,7	16,3	31,3	1,9	39,2
$НСР_{05}$ A		0,12	0,44	$F_ф<F_т$	0,23	1,04
B		0,26	0,94	$F_ф<F_т$	0,49	2,20
AB		0,36	1,33	$F_ф<F_т$	0,70	3,11

*Примечание: * - без обработки семян*

Потенциал продуктивности колоса определяется числом колосков в нём, образовавшихся на выступах колосового стержня (Коваленко и др., 2017). Чем их больше в колосе, тем выше урожайность культуры (Ковтун и др., 2015). Закладка колосков в колосе приходится на конец фазы кущения и начало фазы выхода в трубку. Уменьшение количества колосков чаще всего связано с недостатком влаги и питательных элементов в этот период. За годы исследований максимальное число колосков в колосе сформировалось на удобренном фоне в варианте ПОС раствором янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}М и составило 16,5 штук, что на 12 % выше контроля.

Количество зерен в колосьях изменяется по годам и зависит от складывающихся погодных условий в период цветения и их формирования (Корнилов, 1951). Снижение числа зёрен в колосе пшеницы отмечается в засушливые годы, когда атмосферная засуха сочетается с недостатком влаги в почве (Мартынова и др., 2019). Озерненность колоса в опыте в среднем за три года варьировала от 27,7 до 31,4 штук. Отмечена тенденция увеличения количества формирующихся зерен в колосе в зависимости от изучаемых в опыте факторов.

Немаловажную роль в повышении урожайности играет масса 1000 зерен, увеличение которой способно на 3% повысить сбор зерна. Масса 1000 зерен является важным элементом продуктивности колоса, так как отражает количество вещества, содержащегося в зерне, и определяет его крупность. Она также является показателем качества семенного материала, учитываемого при определении нормы высева, в значительной мере определяет всхожесть и жизнеспособность семян (Ковтун и др., 2015). Крупность зерна определяется генотипом в сочетании с внешними условиями в период формирования зерна. Максимальных значений масса тысячи зерен достигает в благоприятные годы, а плохие условия в период формирования зерна резко снижают выраженность данного признака. (Багавиева, Василова, 2009). В наших исследованиях масса тысячи зерен в среднем по опыту находилась в пределах от 36,7 до 39,8 г. При внесении азотно-фосфорных удобрений ($N_{30}P_{60}$) отмечена тенденция увеличения

данного показателя на 2-3%. ПОС на неудобренном фоне повышала массу 1000 зерен на 0,3-1,9 г. Данные значения находились в пределах ошибки опыта. Сочетание ПОС и внесение минеральных удобрений в опыте несущественно увеличило массу тысячи зерен в сравнении с контролем.

Увеличение массы зерна с одного растения изменялось пропорционально значениям массы тысячи зерен и количеству колосков в колосе. Максимальные значения 2,0-2,2 г отмечены на удобренном фоне в вариантах ПОС янтарной и лимонной кислотами.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод о зависимости урожайности яровой мягкой пшеницы от элементов структуры урожая. С целью определения взаимосвязи между отдельными элементами структуры урожая был проведен корреляционный анализ, который показал, что все изучаемые параметры находятся в средней и сильной связи с урожайностью яровой мягкой пшеницы (таблица 15). Выявлена наиболее тесная связь между урожайностью и продуктивной кустистостью яровой мягкой пшеницы (r = 0,88). Эта зависимость позволила сделать вывод о том, что увеличение сбора зерна в опыте было достигнуто за счет увеличения продуктивного стеблестоя растений пшеницы в вариантах ПОС на фоне внесения минеральных удобрений.

Таблица 15 – Зависимость урожайности яровой мягкой пшеницы (y) от элементов структуры урожая (x)

Элементы структуры урожая	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции (r)
Продуктивная кустистость	y = 1,1485x + 1,3695	+ 0,88
Количество колосков в колосе	y = 0,2645x - 0,8723	+ 0,72
Количество зерен в колосе	y = 0,0929x + 0,2278	+ 0,67
Масса зерна с 1 растения	y = 0,7252x + 1,9626	+ 0,81
Масса 1000 зерен	y = 0,1696x - 3,2361	+ 0,69

Таким образом, анализ структуры урожая показал, что урожайность яровой пшеницы зависела от густоты продуктивного стеблестоя и элементов продуктивности колоса. Улучшение минерального питания растений пшеницы при внесении азотно-фосфорных удобрений ($N_{30}P_{60}$) и ПОС органическими кислотами способствовали повышению продуктивной кустистости на 21-36%, тенденции увеличения колосков в колосе на 2-12% и массы 1000 зерен на 3-8% в

сравнении с контролем. Более высокая продуктивность растений яровой мягкой пшеницы в вариантах с ПОС была обусловлена увеличением числа продуктивных стеблей и озерненности колоса, что положительно повлияло на массу зерна одного растения. Применение минеральных удобрений и ПОС раствором янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}М позволили увеличить продуктивную кустистость до 1,9 и массу тысячи зерен до 39,8 г, что позволило получить максимальную прибавку в опыте, составившую 20%.

6.3 Оценка качества зерна яровой мягкой пшеницы

Пригодность зерна для использования его в определенных целях определяют по его качественным характеристикам, которые отражают совокупность биологических, физико-химических и технологических свойств зерна. Зерно пшеницы содержит важные элементы питания для человека: белки, крахмал, сахара и витамины. Количество белка в зерне яровой пшеницы изменяется в зависимости от сорта и условий выращивания. Кроме белка в зерне содержится 63-74% безазотистых экстрактивных веществ, 2-2,5% жира, 2-3% клетчатки, 1,5-2% золы, 10-14% воды (Ахтариева, Белкина, 2018).

В зависимости от назначения зерно бывает семенное, продовольственное, фуражное и техническое. Технологические свойства зерна имеют первостепенное значение, так как обеспечивают нормальный выход и уровень качества получаемых из зерна мучных продуктов (Терехов и др., 2006). Для производства муки, крупы, хлебных и кондитерских изделий необходимо обеспечить зерноперерабатывающую промышленность высококачественным сырьем. К основным показателям качества зерна относятся: белок, клейковина, индекс деформации клейковины (ИДК), стекловидность и натура.

На качество зерна пшеницы оказывают влияние различные факторы: климатические и погодные условия, агрофизические свойства почвы, виды удобрений и сроки их внесения, нормы высева, предшественники, сортовые особенности. Несмотря на то, что качество зерна относится к признакам, наследственно закрепленным у пшеницы, имеются исследования, в которых

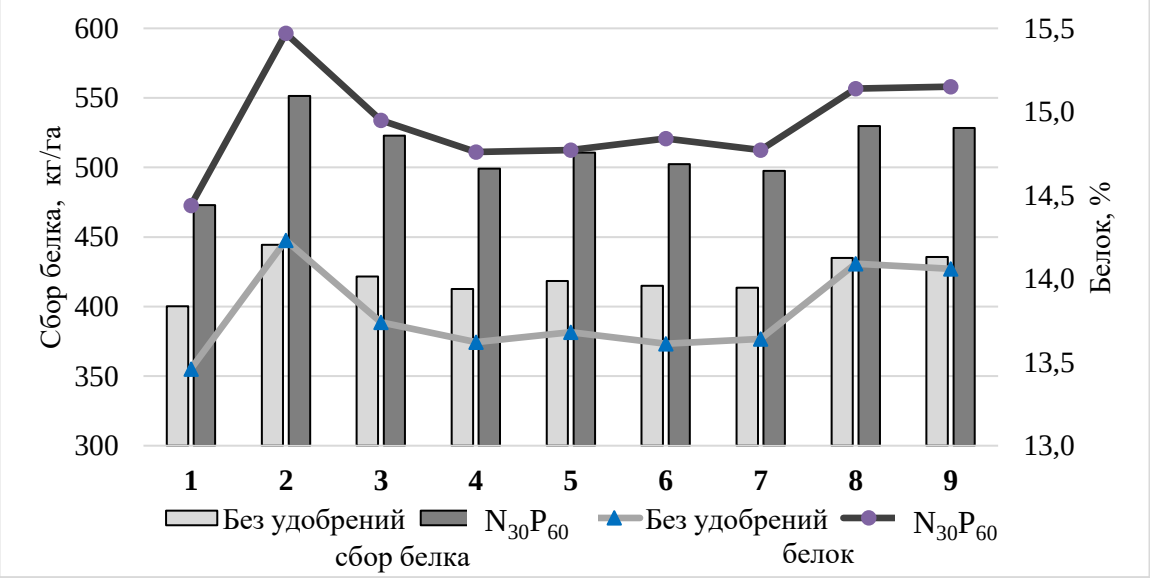
подтверждено влияние средств интенсификации сельскохозяйственного производства на сохранение и повышение технологических свойств зерна. Анализ литературных данных позволил заключить, что некоторые приемы агротехники служат мощным фактором управления не только продуктивностью культуры, но качеством зерна. Так, в исследованиях многих авторов отмечено, что применение регуляторов роста является одним из перспективных направлений повышения урожайности сельскохозяйственных растений и качества получаемой продукции (Муш, 1994; Новиков, 1995; Карпова, 2009; Костин, 2010; Дулов, 2007; Исайчев, Андреев, Каспировский, 2013; Гарифуллина, Таланов, 2016). Их применение активизирует физиологические процессы и повышает адаптационные возможности растений в неблагоприятных условиях, что позволяет увеличить сбор зерна и улучшить качество продукции.

Содержание белка является одним из самых важных показателей качества зерна, который определяет его технологические свойства. Белок – основной ценный элемент пшеницы, который представляет собой сложный комплекс высокомолекулярных органических соединений. В его элементарном составе около 53% углерода, 17% азота, 7% водорода (Исайчев, 2013). Большая часть белков в зерне находится в эндосперме, причем в твердой форме, в качестве запасного вещества, что делает их более стойкими к химическим и физическим воздействиям. Высокое содержание белка в зерне многие исследователи считают гарантией отличного качества продуктов его переработки. Количество белка в зерне пшеницы варьирует от 9 до 26%. Однако, по мировым стандартам белка в зерне должно быть не менее 13,5% (Новиков, 2014).

В среднем за годы исследований в зависимости от вариантов приемов предпосевной обработки семян и фона питания содержание белка в зерне яровой пшеницы варьировало от 13,45 до 15,47% (рисунок 15). Содержание белка, как и других показателей качества зерна, зависело от погодных условий (приложение Ж). Наиболее низкие показатели по белку получены в 2018 году (13,08-14,98%), а максимальное содержание белка отмечено в 2017 году (14,04-16,23%). Такая закономерность формирования белковости зерна связана с тем, что в наиболее

благоприятные годы формируется максимальная урожайность зерна и на единицу урожая приходится меньшее количество легкодоступного азота, находящегося в почвенно-поглощающем комплексе. В годы с неблагоприятными погодными условиями урожайность культур снижается, и обеспеченность единицы продукции легкодоступными формами азота повышается (Чулков, 2009).

Предпосевная обработка янтарной и лимонной кислотами увеличила белковость зерна на неудобренном фоне на 0,60-0,77%. Внесение минеральных удобрений ($N_{30}P_{60}$) увеличивало содержание белка в зерне на 0,98%. Большее содержание белка в зерне в этих вариантах связано с формированием максимальной площади листьев и вегетативной массы растений, из которых во время колошения идет отток ассимилянтов в колос, в том числе и азота, который идет на синтез белковых веществ. ПОС органическими кислотами на фоне внесения азотно-фосфорных удобрений позволила увеличить содержание белка на 0,32-1,03%. Применение раствора лимонной кислоты в концентрации 10^{-7}М не снизило содержание белка в зерне, содержание которого было на уровне 15,15%. Максимальное содержание белка было получено на удобренном фоне в варианте ПОС янтарной кислотой в концентрации 10^{-3}М.



1 - Контроль; **2** - Янтарная к-та 10^{-3}М; **3** - Янтарная к-та 10^{-7}М;
4 - Яблочная к-та 10^{-3}М; **5** - Яблочная к-та 10^{-5}М; **6** - Щавелевая к-та 10^{-3}М;
7 - Щавелевая к-та 10^{-5}М; **8** - Лимонная к-та 10^{-3}М; **9** - Лимонная к-та 10^{-7}М

Рисунок 15 – Содержание белка в зерне и сбор белка с 1 га в зависимости от ПОС и минеральных удобрений, в среднем за 2017-2019 гг.

Урожайность культуры и содержание белка в зерне определяют сбор белка с 1 га. Внесение азотно-фосфорных удобрений способствовало повышению урожайности и, как следствие, увеличению сбора белка с 1га пашни на 73 кг. Предпосевная обработка увеличивала сбор белка в зависимости от варианта на неудобренном фоне на 13-44 кг/га. На минеральном фоне ПОС дала максимальный эффект и позволила увеличить сбор белка на 26-80 кг/га. Максимальный сбор белка был получен в варианте ПОС янтарной кислотой в концентрации 10^{-3} М и составил 552 кг/га.

В таблице 16 приведена характеристика физико-химических свойств зерна яровой мягкой пшеницы в зависимости от изучаемых в опыте факторов.

Таблица 16 – Влияние органических кислот и минеральных удобрений на показатели качества зерна яровой мягкой пшеницы, в среднем за 2017-2019 гг.

Вариант ПОС (В)		Натура, г/л	Стекловидность, %	Клейковина, %	ИДК, ед. прибора
органическая кислота	концентрация раствора, М				
Без удобрений (А)					
Контроль*	-	724	51	28,7	57
Янтарная	10^{-3}	737	52	29,7	57
	10^{-7}	730	51	28,4	58
Яблочная	10^{-3}	721	49	27,6	53
	10^{-5}	716	50	28,6	57
Щавелевая	10^{-3}	716	50	28,9	58
	10^{-5}	717	50	28,8	56
Лимонная	10^{-3}	740	50	29,2	57
	10^{-7}	741	49	29,0	56
Фон $N_{30}P_{60}$					
Контроль*	-	739	50	29,3	57
Янтарная	10^{-3}	745	52	30,5	59
	10^{-7}	743	52	29,8	58
Яблочная	10^{-3}	743	51	30,4	59
	10^{-5}	745	51	29,5	58
Щавелевая	10^{-3}	743	52	29,9	58
	10^{-5}	741	51	29,9	57
Лимонная	10^{-3}	746	52	29,9	59
	10^{-7}	739	51	30,0	59
$НСР_{05}$ А		$F_ф<F_т$	0,91	2,10	1,15
В		$F_ф<F_т$	$F_ф<F_т$	$F_ф<F_т$	$F_ф<F_т$
АВ		$F_ф<F_т$	$F_ф<F_т$	$F_ф<F_т$	$F_ф<F_т$

*Примечание: * - без обработки семян*

Натура – один из важных показателей качества зерна, который указывает на массу единицы объема зерна и является косвенным показателем выхода муки. Натурная масса зависит от погодных условий в период вегетации. При достаточном количестве запасов влаги в почве и оптимальной температуре воздуха, во время налива зерно крупное, хорошо выполнено. Зерно с высоким показателем натуры содержит больше мучнистого вещества и меньше алейронового слоя, оболочек. В оболочке зерна и зародыше содержится жир, который ускоряет порчу муки при хранении. Изменение натуры зерна происходит за счет изменения соотношения оболочек и эндосперма. При увеличении эндосперма зерно становится крупнее, уменьшается зольность, а выход муки увеличивается (Костин и др., 2008).

В наших исследованиях натура зерна варьировала по вариантам опыта от 716 до 746 г/л. Следует отметить, что при внесении азотно-фосфорных удобрений прослеживалась тенденция увеличения натуры зерна. Наиболее высоконатурное зерно было сформировано растениями яровой мягкой пшеницы на фоне внесения минеральных удобрений в варианте ПОС раствором лимонной кислоты в концентрации 10^{-3}М (746 г/л).

Содержание клейковины в зерне пшеницы и ее качество зависит в основном от наследственных свойств сорта, но ее количество может снизиться из-за неблагоприятных климатических условий. В мировой практике клейковине зерна придается важное значение. Зерно сильной пшеницы должно содержать не менее 28% сырой клейковины (Шевелуха, Василенко, 1998). Оценка содержания сырой клейковины показала, что полученное зерно относится ко второму классу, так как содержание ее в зерне выше 28%. Количество клейковины за годы исследований изменялось в пределах от 27,6% до 30,5%. Качество клейковины в опыте согласно требованиям государственного стандарта находилось в пределах 43-77 ед. ИДК и соответствовало I группе (удовлетворительно крепкая).

Важный признак качества зерна – стекловидность, который характеризует мукомольно-хлебопекарные достоинства зерна. Стекловидное зерно содержит больше белка, отличается механической прочностью и дает больший выход муки

высших сортов (Егоров, 2007). Крахмальные зерна стекловидного эндосперма крепко и плотно связаны между собой белком, что придает прозрачность зерну. Между крахмальными зернами мучнистого эндосперма белка меньше, образуются пустоты, заполненные воздухом – такое зерно непрозрачное и матовое (Колмаков и др., 2010). Стекловидность зерна в нашем опыте находилась на уровне 49-52% и была максимальной на фоне внесения минеральных удобрений.

Таким образом, исследованиями установлено, что внесение минеральных удобрений и ПОС органическими кислотами оказали влияние на качество зерна яровой мягкой пшеницы. Следует отметить, что существенное увеличение показателей качества зерна в опыте было отмечено по фактору применения азотно-фосфорных удобрений. При предпосевной обработке семян достоверные различия между вариантами были отмечены только по содержанию белка. Высоконатурное зерно было сформировано растениями яровой мягкой пшеницы на фоне внесения минеральных удобрений в варианте ПОС раствором лимонной кислоты в концентрации 10^{-3}М (746 г/л). По показателю ИДК в опыте в среднем за годы исследований получено зерно первой группы качества. Стекловидность зерна в опыте находилась на уровне 49-52%. Максимальное содержание белка было получено на удобренном фоне ($N_{30}P_{60}$) в варианте ПОС янтарной кислотой в концентрации 10^{-7}М. Сбор белка составил 552 кг/га.

ГЛАВА 7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

В условиях рыночной экономики важнейшей задачей при производстве растениеводческой продукции является повышение рентабельности производства зерна. Применение энергетически и экономически целесообразных технологических приемов способствует более рациональному использованию материальных и земельных ресурсов. Конечным результатом разработки новых технологий должно быть повышение эффекта, который представляет собой соотношение полезного результата (сохранение почвенного плодородия, повышение продуктивности культуры, улучшения качества продукции) и затрат на производственный процесс.

Экономическая эффективность любого приема агротехнологии оценивается по его влиянию на улучшение конечных показателей сельскохозяйственного производства. Основные пути повышения эффективности приемов – это увеличение прибыли за счет снижения производственных и трудовых затрат, повышения урожайности и улучшения качества продукции (Бутузов, 2009).

Расчеты экономической эффективности применения удобрений проведены в соответствии с методикой, разработанной отделом экономики СибНИИСХ под руководством Б.С. Кошелева и др. (1987).

Для расчета экономической эффективности ПОС органическими кислотами приняты средние затраты на 1 га пашни и урожайность (базовая) по хозяйствам южной лесостепной зоны за 2017-2019 гг. В эту же статью включены затраты на предпосевную обработку семян и приобретение препаратов на 1 га пашни. Реализационная цена одной тонны семян мягкой яровой пшеницы второго класса – 7500 руб./т. Стоимость удобрений: аммиачной селитры – 14800 руб./т, аммофоса – 26000 руб./т.

Экономическую эффективность приемов в агротехнологии яровой пшеницы определяли путем сопоставления затрат и прибыли, полученной от реализации продукции. В таблице приведены данные анализа экономической эффективности производства зерна яровой мягкой пшеницы в зависимости от вариантов обработки ПОС на фоне $N_{30}P_{60}$ и неудобренном фоне.

В наших исследованиях производственные затраты в том числе и дополнительные затраты на внесение минеральных удобрений и предпосевную обработку варьировали от 12313 до 16895 рублей (таблица 17). В вариантах ПОС органическими кислотами производственные затраты увеличивались незначительно, так как стоимость препаратов невысокая и они применяются в малых концентрациях. Внесение минеральных удобрений увеличивало затраты на 37%. Себестоимость продукции также зависела от изучаемых факторов в опыте. Внесение азотно-фосфорных удобрений увеличило себестоимость продукции на 1016,30 рублей и снизило рентабельность на 24% в варианте без обработки семян. Минимальная себестоимость 1 тонны семян отмечена в варианте ПОС янтарной кислотой в концентрации 10^{-3}М на естественном фоне и составила 3951,30 руб.

Возмещение затрат на производство продукции и получение прибыли с реализации зерна в растениеводстве является важным показателем эффективности производства. Так ПОС на неудобренном фоне позволила получить прибыль на уровне 10407-11072 рублей с гектара. Увеличение затрат на минеральные удобрения снизило доход с гектара на 2317 рублей с гектара и рентабельность до 57%. Полученные прибавки урожайности от ПОС на удобренном фоне позволили повысить уровень рентабельности до 61-72%. Максимальная рентабельность отмечена в вариантах ПОС янтарной и лимонной кислотами на неудобренном фоне и составила 88 и 90%.

Таблица 17 – Экономическая эффективность применения минеральных удобрений и органических кислот для ПОС яровой мягкой пшеницы, в среднем за 2017-2019 гг.

Вариант ПОС		Урожай-ность, т/га	Стоимость продукции, тыс. руб./га	Себестоимость, тыс. руб./т	Прибыль, тыс. руб./га	Рентабельность, %
органическая кислота	концентрация раствора, М					
Фон без удобрений						
Контроль*	-	2,97	22,28	4,15	9,96	81
Янтарная	10^{-3}	3,12	23,40	3,95	11,07	90
	10^{-7}	3,07	23,03	4,01	10,71	87
Яблочная	10^{-3}	3,03	22,73	4,07	10,41	84
	10^{-5}	3,05	22,88	4,04	10,56	86
Щавелевая	10^{-3}	3,04	22,80	4,05	10,48	85
	10^{-5}	3,03	22,73	4,07	10,41	85
Лимонная	10^{-3}	3,08	23,10	4,00	10,78	88
	10^{-7}	3,09	23,18	3,99	10,86	88
Фон $N_{30}P_{60}$						
Контроль*	-	3,27	24,53	5,16	7,65	57
Янтарная	10^{-3}	3,56	26,70	4,75	9,81	72
	10^{-7}	3,49	26,18	4,84	9,29	69
Яблочная	10^{-3}	3,38	25,35	5,00	8,46	63
	10^{-5}	3,45	25,88	4,89	8,99	66
Щавелевая	10^{-3}	3,38	25,35	5,00	8,46	63
	10^{-5}	3,36	25,20	5,03	8,32	61
Лимонная	10^{-3}	3,49	26,18	4,84	9,29	69
	10^{-7}	3,48	26,10	4,85	9,22	68

*Примечание: * - без обработки семян*

ПОС в технологии выращивания яровой пшеницы способствовала повышению рентабельности производства зерна по сравнению с контрольными вариантами на неудобренном фоне на 4-9% и на 4-15% на фоне внесения азотно-фосфорных удобрений. Стоимость реализованной продукции с 1 га пашни на удобренном фоне в вариантах предпосевной обработки семян возросла на 675-2175 рублей за счет увеличения валового сбора зерна.

Расчет экономической эффективности применения ПОС органическими кислотами на двух фонах удобренности показал, что в среднем за три года дополнительная прибыль изменялась в пределах 745,89-2160 руб./га и была максимальной в вариантах обработки семян янтарной и лимонной кислотами на удобренном фоне (рисунок 16). Следует отметить, что на минеральном фоне в

этих вариантах дополнительная прибыль была на 45-57% выше в сравнении с этими же вариантами на неудобренном фоне.

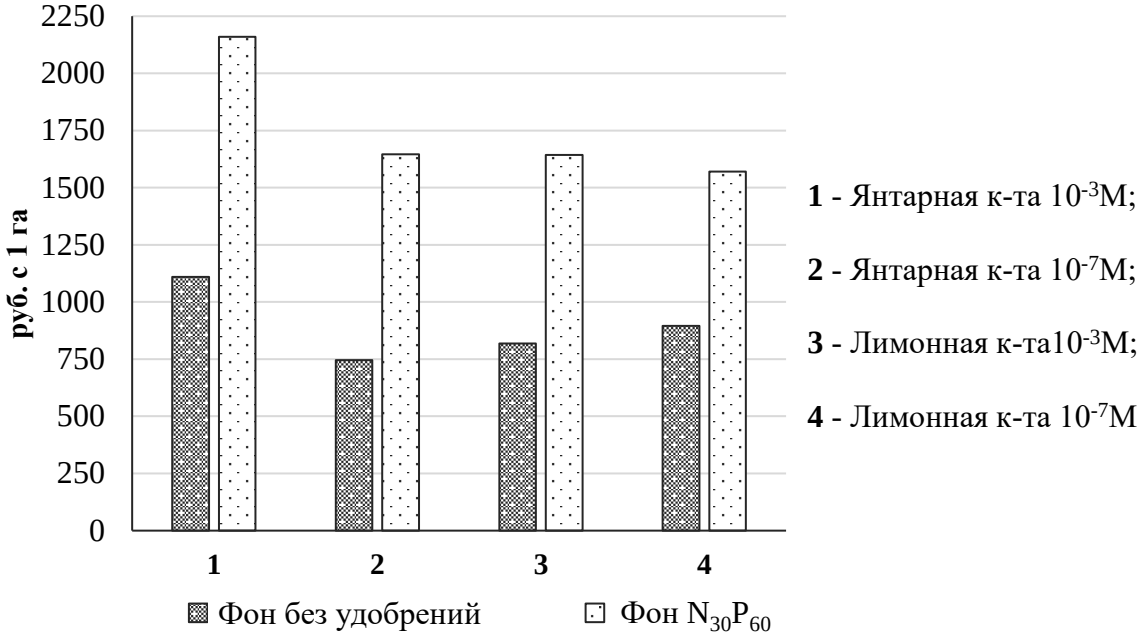


Рисунок 16 – Дополнительная прибыль в зависимости от ПОС и фона удобренности, среднее за 2017-2019 гг.

Наряду с оценкой эффективности производства сельскохозяйственных продуктов посредством денежных и трудовых показателей в мировой практике применяют метод энергетической оценки, учитывающий количество энергии, затраченной на производство продукции, аккумулированной в ней (Миндрин, 1997). Энергетическая оценка позволяет сравнить различные приемы технологии производства сельскохозяйственной продукции с точки зрения расхода энергетических ресурсов и выявить главные резервы экономии технической энергии в земледелии (Гарифуллина, 2016). Кроме того, оценка энергетической эффективности технологий и приемов дает долгосрочную оценку и более объективна, чем экономическая, так как не зависит от постоянно изменяющихся стоимостных показателей ресурсов производства и продукции. Сочетание же энергетического подхода с экономическим дает наиболее разностороннюю оценку эффективности и тем самым позволяет увеличить ее точность.

Рост урожайности сельскохозяйственных культур при интенсификации производства сопровождается обычно увеличением затрат невозобновляемой энергии. Поэтому необходимо учитывать энергозатраты на новый прием в агротехнологии и выход валовой энергии в урожае, выявляя степень окупаемости энергозатрат. Расчет совокупных затрат энергии основан на описании производственного процесса по технологической карте, позволяющий учесть весь поток ресурсов и перевести их к единому показателю с помощью энергетических эквивалентов (Дж) (Ермохин, Неклюдов, 1994). Проведенный анализ позволил оценить эффективность производства зерна и сравнить разные приемы с точки зрения расходов важнейшего вида ресурсов – энергии и определить пути ее экономии.

Структура затрат совокупной энергии при выращивании яровой мягкой пшеницы определена по энергоемкости трудозатрат рабочих, электроэнергии, предпосевной обработки, топлива, семян, минеральных удобрений, сельхозмашин и гербицидов (рисунок 17). По энергоемкости затраты на внесение минеральных удобрений и ГСМ являются в технологии возделывания культуры самыми высокими и составили от суммы общих затрат энергии на производство единицы продукции 28 и 29%, соответственно. Если расход энергии на топливо является фиксированной величиной в зависимости от выбора сельхозмашин, то энергозатраты на внесение минеральных удобрений зависят от дозы внесения и вида удобрений. Поэтому очень важно выбрать оптимальные варианты для получения максимально возможного приращения валовой энергии от выбранной технологии возделывания сельскохозяйственной культуры. Затраты энергии на ПОС составили 0,3% и являются самой малоэнергозатратной категорией в структуре общих затрат.

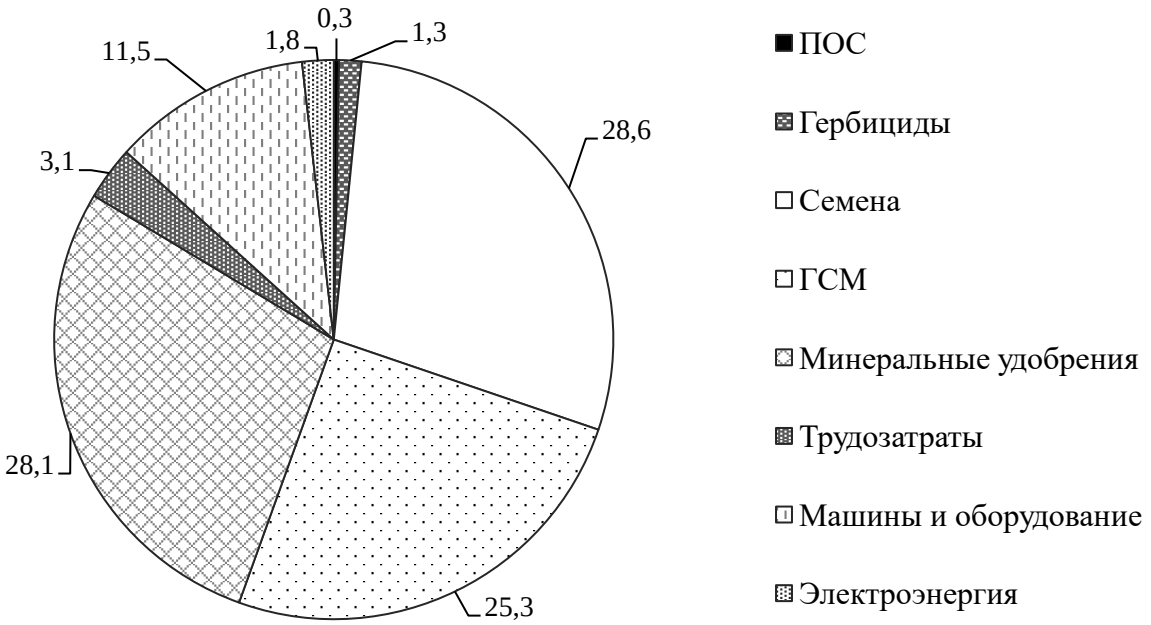


Рисунок 17 – Структура затрат совокупной энергии при возделывании яровой мягкой пшеницы в зернопаровом севообороте, среднее за 2017-2019 гг.

Анализ энергетической оценки возделывания яровой пшеницы показал, что величина энергии основной и побочной продукции зависела от уровня минерального питания растений и от обработок семян органическими кислотами (таблица 18). Выход валовой энергии в урожае в зависимости от варианта предпосевной обработки на неудобренном фоне варьировал от 48,44 до 50,89 ГДж/га, на удобренном фоне от 53,33 до 58,06 ГДж/га. Содержание энергии в урожае было наибольшим на удобренном фоне в варианте обработки семян водным раствором янтарной кислоты в концентрации10^{-3}М и составило 58,06 ГДж/га.

Затраты энергии при внесении минеральных удобрений и предпосевной обработки семян несколько выше относительно затрат контрольных вариантов. Применение минеральных удобрений повышает энергозатраты на 39%, а предпосевная обработка на 0,3%. Однако чистый энергетический доход, который определяется как разница между полученной энергией с урожаем и общими затратами на возделывания культуры, в вариантах с ПОС на удобренном фоне был выше на 1,13-4,40 ГДж/га показателей контрольного варианта на неудобренном фоне.

Таблица 18 – Энергетическая эффективность минеральных удобрений и ПОС яровой мягкой пшеницы органическими кислотами, в среднем за 2017-2019 гг.

Вариант ПОС		Затраты совокупной энергии, ГДж/га	Выход валовой энергии в урожае, ГДж/га	Приращение валовой энергии, ГДж/га	Энергетический коэффициент
органическая кислота	концентрация раствора, М				
Неудобренный фон					
Контроль*	-	13,19	48,44	35,25	3,67
Янтарная	10^{-3}	13,24	50,89	37,64	3,84
	10^{-7}	13,24	50,07	36,83	3,78
Яблочная	10^{-3}	13,24	49,42	36,18	3,73
	10^{-5}	13,24	49,75	36,50	3,76
Щавелевая	10^{-3}	13,24	49,58	36,34	3,74
	10^{-5}	13,24	49,42	36,18	3,73
Лимонная	10^{-3}	13,24	50,23	36,99	3,79
	10^{-7}	13,24	50,40	37,16	3,81
Фон $N_{30}P_{60}$					
Контроль*	-	18,36	53,33	34,97	2,90
Янтарная	10^{-3}	18,42	58,06	39,65	3,15
	10^{-7}	18,42	56,92	38,50	3,09
Яблочная	10^{-3}	18,42	55,13	36,71	2,99
	10^{-5}	18,42	56,27	37,85	3,06
Щавелевая	10^{-3}	18,42	55,13	36,71	2,99
	10^{-5}	18,42	54,80	36,38	2,98
Лимонная	10^{-3}	18,42	56,92	38,50	3,09
	10^{-7}	18,42	56,76	38,34	3,08

*Примечание: * - без обработки семян*

При учете потока используемой энергии в производственном процессе определяют энергетический коэффициент, который показывает отношение валовой энергии полученного урожая к суммарным затратам на его производство. Технология возделывания сельскохозяйственной культуры считается эффективной, если коэффициент больше единицы.

В наших исследованиях установлено, что ПОС органическими кислотами на удобренном фоне дает максимальные прибавки энергии, но за счет увеличения статьи затрат на минеральные удобрения снижается коэффициент энергетической эффективности процесса производства зерна яровой мягкой пшеницы. При применении удобрений энергетический коэффициент снижался в среднем на 21%. Максимальные значения коэффициента энергетической

эффективности посева яровой мягкой пшеницы отмечены на неудобренном фоне в вариантах ПОС янтарной и лимонной кислот.

Таким образом, предложенный прием возделывания яровой мягкой пшеницы, включающий ПОС органическими кислотами на двух фонах удобренности (естественный, $N_{30}P_{60}$) отвечает требованиям экономической и энергетической целесообразности и является эффективным. Дополнительные затраты на внесение минеральных удобрений и ПОС семян органическими кислотами окупаются за счет увеличения валового сбора зерна с гектара пашни. Установлено, что применение янтарной и лимонной кислот экономически эффективно, так как данный прием позволил повысить величину получаемой прибыли и, соответственно, рентабельность. Самые высокие показатели экономической эффективности были получены в вариантах ПОС янтарной и лимонной кислотами. Величина дополнительной прибыли от ПОС изменялась в пределах 745,89-2160 руб./га. Максимальная рентабельность отмечена в вариантах ПОС янтарной и лимонной кислотами на неудобренном фоне и была на уровне 88-90%. Включение в технологию возделывания яровой пшеницы ПОС является энергетически эффективным приемом, так как во всех вариантах коэффициент энергетической эффективности больше единицы. ПОС способствует увеличению коэффициента энергетической эффективности производства зерна яровой пшеницы на 0,06-0,25 единиц и позволяет получить прибавку к урожаю при относительно небольших энергетических затратах. При этом следует отметить, что наибольший показатель чистого энергетического дохода 39,65 ГДж/га был получен в варианте с обработкой семян раствором янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}М на удобренном фоне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные лабораторные и полевые исследования по изучению эффективности применения органических кислот (янтарной, яблочной, лимонной, щавелевой) для предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы на двух фонах удобренности (неудобренный, $N_{30}P_{60}$) в условиях лесостепи Западной Сибири позволили сделать следующие выводы:

1. В лабораторном опыте по изучению влияния предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы водными растворами органических кислот на посевные качества и морфофизиологические показатели проростков установлены ростостимулирующие концентрации янтарной (10^{-3}М; 10^{-7}М), яблочной (10^{-3}М; 10^{-5}М), щавелевой (10^{-3}М; 10^{-5}М), лимонной(10^{-3}М; 10^{-7}М) кислот. В этих вариантах отмечена тенденция увеличения энергии прорастания, всхожести семян и длины проростков яровой мягкой пшеницы. Существенно увеличилась сырая масса корней яровой пшеницы в вариантах предпосевной обработки семян янтарной кислотой (10^{-3}М; 10^{-7}М), яблочной кислотой (10^{-3}М) и лимонной кислотой (10^{-3}М; 10^{-7}М). Расчетный эффект стимуляции от предпосевной обработки семян органическими кислотами варьировал от 0,05 до 0,25 т/га и был максимальным при предпосевной обработке семян раствором янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}М.

2. Установлено, что фотосинтетическая продуктивность посевов яровой мягкой пшеницы изменялась в зависимости от варианта предпосевной обработки семян и фона удобренности. Максимальная величина ассимилирующей поверхности листьев сформировалась в фазу колошения в вариантах предпосевной обработки семян янтарной и лимонной кислотами в концентрации 10^{-3}М на фоне внесения $N_{30}P_{60}$ и составила 36,3 и 35,8 тыс. м^2/га, соответственно. При этом чистая продуктивность фотосинтеза в этих вариантах была 5,5 и 5,4 г/м^2 сухой биомассы в сутки. Наибольший фотосинтетический потенциал посева (663,4 тыс. м^2/га в сутки) за период от всходов до колошения отмечен при обработке семян янтарной кислотой (10^{-3}М), что в 1,3 раза больше, чем в контрольном варианте. Установлена тесная взаимосвязь продуктивности

культуры с величиной ассимиляционной поверхности (r = 0,89) и фотосинтетического потенциала (r = 0,97).

3. Интенсивность ростовых процессов и накопление сухого вещества растениями пшеницы зависели от предпосевной обработки семян органическими кислотами и фона минерального питания. Выявлено, что накопление сухого вещества к фазе полной спелости в зависимости от предпосевной обработки семян органическими кислотами на удобренном фоне повышалось на 0,17-0,76 т/га. Предпосевная обработка семян янтарной и лимонной кислотами в концентрации 10^{-3}М увеличила интенсивность накопления биомассы растениями в фазы кущения на 26-27% и колошения на 12-14% в сравнении с контролем. В опыте установлена тесная корреляционная связь продуктивности культуры с биомассой растений в фазы: кущения (r = 0,91), колошения (r = 0,96) и полной спелости (r = 0,90).

4. При предпосевной обработке семян органическими кислотами (янтарной, яблочной, лимонной, щавелевой) содержание в растениях фосфора и калия не изменялось, а по содержанию азота отмечена тенденция повышения на 0,17-0,35%. Максимальное содержание азота в зерне 2,71% было в варианте предпосевной обработки семян янтарной кислотой в концентрации 10^{-3}М, сбор белка с гектара составил 551 кг/га. При этом 17% в общем сборе белка обеспечено приемом предпосевной обработки семян.

5. Предпосевная обработка семян органическими кислотами в большей степени оказывала влияние на продуктивную кустистость и элементы продуктивности колоса (масса зерна, число колосков и зерен в колосе) на фоне внесения минеральных удобрений. Наибольшее влияние на элементы структуры урожая оказала предпосевная обработка семян янтарной кислотой 10^{-3}М. Продуктивная кустистость увеличилась на 36%, число колосков на 12%, масса тысячи зерен возросла до 39,8 г, что позволило получить максимальную прибавку в опыте – 20%. Установлена тесная корреляционная связь урожайности яровой мягкой пшеницы с продуктивной кустистостью (r = 0,88) и массой зерна с одного растения (r = 0,81).

6. При предпосевной обработке семян органическими кислотами на минеральном фоне отмечена тенденция увеличения содержания белка в зерне. Максимальное увеличение содержания белка получено в варианте предпосевной обработки семян янтарной кислотой (10^{-3}М), что на 2,01% выше, чем в контрольном варианте. Наиболее высокие технологические показатели зерна получены при комплексном применении минеральных удобрений ($N_{30}P_{60}$) и предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы янтарной кислотой (10^{-3}М). Натура составила 745 г/л, стекловидность – 52%, клейковина 30,5%.

7. Эффективность предпосевной обработки семян растворами органических кислот зависела от условий минерального питания. На фоне внесения минеральных удобрений ($N_{30}P_{60}$) прибавки урожайности составили 0,11-0,29 т/га зерна. Обработка семян щавелевой кислотой (10^{-3}М; 10^{-5}М) и яблочной кислотой (10^{-3}М) не оказала влияние на продуктивность яровой мягкой пшеницы. Предпосевная обработка семян лимонной кислотой (10^{-3}М; 10^{-7}М) и янтарной кислотой (10^{-7}М) обеспечила прибавку на уровне 0,21-0,22 т/га зерна. При предпосевной обработке семян яблочной кислотой (10^{-5}М) получена прибавка 0,18 т/га зерна. Максимальную прибавку 0,59 т/га зерна обеспечило применение янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}М на фоне внесения азотно-фосфорных удобрений.

8. Предпосевная обработка семян органическими кислотами (янтарной, яблочной, лимонной, щавелевой) при возделывании яровой мягкой пшеницы на лугово-черноземной почве является экономически эффективным приемом. Прибыль в зависимости от фона удобренности и варианта предпосевной обработки семян изменялась в пределах 8,32-11,07 тыс. руб./га. Наибольший дополнительный доход 2160 руб./га получен в варианте предпосевной обработки семян янтарной кислотой (10^{-3}М), рентабельность 72%. Коэффициент биоэнергетической эффективности в этом варианте составил 3,15.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

При возделывании яровой мягкой пшеницы (по зернобобовому предшественнику) на лугово-черноземной почве в условиях лесостепи Западной Сибири рекомендуется применение водного раствора янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}М (или 0,012%) для предпосевной обработки семян в комплексе с основным внесением минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{60}$. Данный прием обеспечивает получение прибавки на уровне 0,59 т/га зерна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев, В.В. Агрохимия (Южно-Российский аспект): учебник для студентов вузов. / В.В. Агеев, А.И. Подколзин; Под. ред. В.В. Агеева. – Ставрополь: Ставропольский ГАУ, Т. 1. 2005. – 488 с.

2. Агроклиматические ресурсы Омской области. – Л: Гидрометеоиздат, 1971. – 187 с.

3. Агроклиматический бюллетень ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС». – Омск. – 2017-19 гг.

4. Агроклиматический справочник по Омской области / Глав. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Омское упр. гидрометеорол. службы. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1959. – 228 с

5. Агрохимические методы исследования почв. 1975. − М.: Наука. − 656 с.

6. Адрианова, Ю.Е. Хлорофилл и продуктивность растений / Ю. Е. Адрианова, И. А. Тарчевский. – М., 2000. –135 с.

7. Алексейчук Г.Н. Сила роста семян зерновых культур и ее оценка методом ускоренного старения – Мн.: Право и экономика, 2009. – 44 с.

8. Аленин, П.Г. Продукционный потенциал зерновых, зернобобовых, кормовых и лекарственных культур и совершенствование технологии их возделывания в лесостепи Среднего Поволжья: монография / П.Г. Аленин, А.Н. Кшникаткина. – Пенза, 2012. –265 с.

9. Алехина Н. Д. Физиология растений / Н.Д. Алехина, Ю.В. Балнохин, В.Ф. Гавриленко и др. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 640 с.

10. Алиев А. Ш. Биологизация земледелия требование времени / А. Ш. Алиев, Б. З. Шакиров // Агрохимический вестник. – 2001. – № 4. – С. 10-15.

11. Алиев, Д.А. Фотосинтетическая деятельность, минеральное питание и продуктивность растений / Д.А. Алиев– Баку: Элм, 1974. – с. 334.

12. Андрианова Ю.Е. Влияние янтарной кислоты на продуктивность сельскохозяйственных растений, урожай и его качество / Ю.Е. Андрианова, Н.И. Сафина, Н.Н. Максютова // Агрохимия. – 1996. – № 8-9. – С. 118-123.

13. Аникеев В.В., Кутузов Ф.Ф. Новый способ определения площади листовой поверхности у злаков // Физиология растений. – 1961. – Т. 8. – № 3. – С. 375-377.

14. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М. Изд-во: МУ, 1970. – 488 с.

15. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах / А.Н. Аристархов – М.: ЦИНАО, 2000. – 524 с.

16. Асалиев, А.И. Регуляторы роста и пораженность озимой пшеницы септориозом / А.И. Асалиев, И.Н. Головинова // Защита и карантин растений. 2007. – № 8. – С. 41.

17. Ахтариева, М.К. Белок и клейковина в зерне мягкой пшеницы сортов сибирской селекции в условиях Северного Зауралья / М.К. Ахтариева, Р.И. Белкина // Пермский аграрный вестник. – 2018. – № 4 (24). – С. 34-40.

18. Бабенко, О.Н. Влияние регуляторов роста на проростки яровой пшеницы в условиях водного стресса / О.Н. Бабенко, Н.М. Сафронова // Вестник науки Казахского гос. агротехнич. университета им. С. Сейфуллина. –2005. – Т. 4. – №7. – С. 19-24.

19. Бабенко, О.Н., Сафронова Н. М. Влияние регуляторов роста на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы // Валихановские чтения-10: мат. межд. научно-практ. конф. –2005. – Т. 11. – С. 28-30.

20. Багавиева, Э.З. Особенности сортов яровой мягкой пшеницы по элементам структуры урожая /Багавиева Э.З., Василова Н.З. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2009. – Т. 4, № 1 (11). – С. 101-105.

21. Балуева, Н.П. Экологические аспекты применения фиторегуляторов в растениеводстве // Научные результаты – агропромышленному производству / Курган. гос. с.-х. акад. – Курган, 2004. – Т. 1. – С. 253 – 255.

22. Беденко, В.П. Активность фотосинтетического аппарата высокопродуктивных форм пшеницы / В.П. Беденко, Сидоренко О.И. // Фотосинтез и продуктивность растений. – Саратов, 1990. – С. 28-32.

23. Бесалиев, И.Н. Закономерности накопления, прироста и реализации сухой биомассы яровой твёрдой пшеницы в Оренбургском Приуралье / И.Н. Бесалиев, С.М. Чурбакова // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – 2019. – № 4. – С. 23.

24. Благовещенский, А.В. Теоретические основы воздействия янтарной кислоты на растения / А.В. Благовещенский. – М.: Наука, 1968. – 117 с.

25. Богомазов, С.В. Фотосинтетический потенциал и урожайность агроценозов яровой пшеницы в зависимости от систем основной обработки почвы и гуминовых удобрений / С.В. Богомазов, М.А. Симонян, О.А. Ткачук, Е.В. Павликова // Нива Поволжья. – 2017. – № 4 (45). – С. 23-29.

26. Булгакова Н.Н., Ниловская Н.Т. Биологические аспекты оптимизации минерального питания пшеницы. – М.:ВНИИА, 2006. – 224 с.

27. Бутузов А.С. Эффективность применения регуляторов роста при возделывании озимой пшеницы / А.С. Бутузов // Аграрный вестник Урала. – 2009. – № 11. – С. 50-52.

28. Вакуленко В.В. Регуляторы роста растений в сельскохозяйственном производстве / В.В. Вакуленко, О.А. Шаповал // Плодородие. – 2001. – № 2. – С. 23-24.

29. Вакуленко В.В., Шаповал О.А. Новые регуляторы роста в сельскохозяйственном производстве / Научное обеспечение и совершенствование методологии агрохимического обслуживания земледелия России: сб. ст. – М. – 2000. – С.71-89.

30. Вакуленко, В.В. Регуляторы роста / В.В. Вакуленко // Защита и карантин растений. – 2004. – №1. – С. 24-26.

31. Васин В.Г. Фотосинтетическая деятельность и урожайность сортов ячменя при применении удобрений и стимуляторов роста / В.Г. Васин,

Е.В. Карлов, А.В. Васин // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 3. – С. 15-19.

32. Верещагин А.Л. Влияние сверхмалых доз интермедиатов цикла Кребса на рост и развитие ряда двудольных растений: монография / А.Л. Верещагин, В.В. Кропоткина. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 94 с.

33. Верещагин А.Л., Нурминский В.Н., Еремина В.В., Захарьева Ю.И., Озолина Н.В., Саляев Р.К. Влияние ряда дикарбоновых кислот в сверхмалых концентрациях на барьерную функцию мембраны изолированной вакуоли // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. – 2013. – Т. 6. – № 2. – С. 3-7.

34. Верзилин В.Ф. Регуляторы роста и их применение в растениеводстве. М., Наука, 1971. – 144 с.

35. Верхотурова, Г.С. Работа цикла Кребса на свету и некоторые механизмы его регуляции / Г.С. Верхотурова, Л.И. Астафурова, Л.И. Кудинова // Вопросы взаимосвязи фотосинтеза и дыхания / под ред. В.Л. Вознесенского. - Томск: Изд-во Томского ун-та, 1988. – С. 19-29.

36. Вильдфлуш И.Р. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур. Минск: Беларус. Наука, 2011. – 293с.

37. Возбуцкая, А.Е. Химия почв / А.Е. Возбуцкая. – М.: Высшая школа, 1968. – 427 с.

38. Воронкова, Н.А. Влияние длительного применения удобрений в севообороте на фосфатный режим черноземов выщелоченных Западной Сибири // Агрохимия. – 2010. – № 12. – С. 10-17.

39. Гамбург, К.З. Регуляторы роста растений / К.З. Гамбург, О.Н. Кулаева, Г.С. Муромцев. – М.: Колос, 1979. – 271 с.

40. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах // Рос. акад. с.-х. наук, Сиб. Отд-ние. Новосиб. гос. Аграр. Ун-т. – Новосибирск, 2013. – 790 с.

41. Гамзиков Г.П. Эффективность препаратов ризосферных бактерий при внесении под пивоваренный ячмень / Г.П. Гамзиков, П.Р. Шотт // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2005. – № 1. – С. 29-32.

42. Гамзиков, Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири / Г.П. Гамзиков. – М.: Наука, 1981. – 267с.

43. Гамзикова, О.И. Этюды по физиологии, агрохимии и генетике минерального питания растений / О.И. Гамзикова; отв. ред. акад. РАСХН Г.П. Гамзиков; РАСХН, Сиб. отд-ние, НГАУ. – Новосибирск: Агрос, 2008. – 372 с.

44. Гарифуллина, Л.Ф. Роль предпосевной обработки семян и удобрений в повышении урожайности и качества зерна озимой пшеницы на серой лесной почве в условиях Предкамья Республики Татарстан / Л.Ф. Гарифуллина, И.П. Таланов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2 (40). – С. 20-24.

45. Гарифуллина, Л.Ф. Эффективность предпосевной обработки семян и фона питания при возделывании озимой пшеницы (в условиях Предкамья Республики Татарстан) / Л.Ф. Гарифуллина, И.П. Таланов, Л.З. Каримова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – №2 (22). – С. 15-20.

46. Гордон, Л.Х. Ингибиторный анализ роли янтарной кислоты в переходных процессах ответ-адаптация в растительных тканях (на примере дыхания / Л.Х. Гордон // Янтарная кислота в медицине, пищевой промышленности, сельском хозяйстве / науч. ред.: М.Н. Кондрашова [и др.]; Пром.-фин. компания АО «Внедрение». – Пущино, 1996. – С. 231-233.

47. Грабовская, Н.И. Особенности применения янтарной кислоты в качестве биостимулятора и адаптогена растений / Н.И. Грабовская, О.Н. Бабенко, Н.М. Сафронова, Р.К. Хусаинова // Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. – 2020. – № 1. – С. 28-32.

48. Градобоев Н. Д. Почвы Омской области / Н. Д. Градобоев, В. М. Прудникова, И. Сметанин. – Омск: Ом. кн. изд-во, 1960. – 373 с.

49. Гродзинский, А.М. Основы химического взаимодействия растений / А. М. Гродзинский – Киев, 1973. – 200 с.

50. Гудинова Е. Н. Особенности возделывания яровой пшеницы в Омской области: учеб. пособие / Е. Н. Гудинова, Н. М. Крючков, Л. И. Шанина; – Омск: ОмСХИ, 1993. – 72 с.

51. Гущина, В.А. Биопрепараты и регуляторы роста в ресурсосберегающем земледелии / А.А. Володькин; В.А. Гущина. – Пенза: РИО ПГСХА, 2016. – 206 с.

52. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – 5-е изд. доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

53. Дулов, М.И. Урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в лесостепной зоне Среднего Поволжья при применении ресурсосберегающих технологий возделывания / М.И. Дулов, А.П. Троц // Сельскохозяйственная биология. – 2007. – №5. – С. 100-104.

54. Егоров, Г.А. Технология муки. Практический курс / Г.А. Егоров. М.: ДеЛипринт, 2007. – 143 с.

55. Емельянов, В.В. Биохимия : учеб. пособие / В.В. Емельянов, Н.Е. Максимова, Н.Н. Мочульская; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 132 с.

56. Еремеева, В.Г. Полевая всхожесть семян пшеницы и овса в Западной Сибири и приемы ее повышения: автореферат дис. … канд. с.-х. наук / В.Г. Еремеева. – Омск, 1989. – 13 с.

57. Ермакова, Е.А. Изучение действия янтарной кислоты на ростовые и продукционные процессы пшеницы / Е.А. Ермакова, Г.В. Песцов, М.Б. Никишина, И.В. Шахкельдян, Ю.М. Атрощенко, А.С. Шумилин // В сборнике: Университет XXI века: научное измерение. Материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, магистрантов и соискателей ТГПУ им. Л.Н. Толстого. Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого, 2011. – С. 115-118.

58. Ермохин, Ю.И. Экономическая и биоэнергетическая оценка применения удобрений: методические рекомендации / Ю.И. Ермохин, А.Ф. Неклюдов. – Омск, 1994. – 44 с.

59. Ерохин, А.И. Влияние электромагнитного поля низкой частоты на посевные качества семян и урожайность гороха, ячменя и яровой пшеницы / А.И. Ерохин // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2018. – № 2 (26). – С. 17-22.

60. Ефименко, В.В. Влияние регуляторов роста растений на фотосинтетический аппарат и продуктивность растений земляники / В.В. Ефименко. // Инновации молодых ученных – сельскому хозяйству: материалы Всероссийской конференции. – М., 2006. – С. 210-214.

61. Жиленко, С.В. Эффективность агрохимических приемов при возделывании озимых зерновых культур / С.В. Жиленко, Л.Б. Винничек, Н.И. Аканова // Нива Поволжья. – 2015. – № 2. (35). – С. 19-25.

62. Замотаева, Н.А. Влияние длительного применения минеральных удобрений и средств защиты растений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы и овса /Н.А. Замотаева // Аграрный научный журнал. – 2014. – № 11. – С. 21-24.

63. Занозина, О.Д. Способ получения микроудобрения на основе биоактивных кислот // О.Д. Занозина, И.В. Шабанова // Научный альманах. – 2016. –№ 6-2 (19). – С. 459-461.

64. Зюзина, Е.Н. Оптимизация физиолого-биохимических процессов при прорастании семян яровой пшеницы под влиянием регуляторов роста / Е.Н. Зюзина // Инновации молодых ученых агропромышленному комплексу: Научно-практическая конференция молодых ученых. – Пенза, 2007. – С. 22-23.

65. Зюзина, Е.Н. Формирование урожайности и посевных качеств семян яровой мягкой пшеницы под влиянием регуляторов роста и бактериальных препаратов в лесостепи Поволжья: дис. на соискан. ... канд. с.-х. наук / Е.Н. Зюзина. – Пенза, 2008. – 23 с.

66. Иванов, В.Б. Клеточные основы роста растений / В.Б Иванов – М.: Наука, 1974. – 202 с.

67. Иванов, В.К. Климат Омской области и его значение для сельского хозяйства / В.К. Иванов – Омск: Омское областное государственное издательство, 1948. – 31 с.

68. Иванов, П.К. Яровая пшеница / П.К. Иванов – М.: Изд-во «КолосС», 1971. – 328 с.

69. Исайчев, В.А. Влияние предпосевной обработки хелатными микроудобрениями и регуляторами роста на посевные качества семян гороха и яровой мягкой пшеницы / В.А. Исайчев, Н.Н. Андреев, А.В. Каспировский // Нива Поволжья. – 2013. – № 1 (26). – С. 16-19.

70. Исайчев, В.А. Влияние регуляторов роста и хелатных микроудобрений на урожайность и показатели качества гороха и озимой пшеницы / В.А. Исайчев, Н.Н. Андреев, Ф.А Мударисов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 1 (17). – С. 12-16.

71. Исайчев, В.А. Влияние регуляторов роста на содержание тяжелых металлов в зерне яровой пшеницы сорта Землячка в условиях Среднего Поволжья / В.А. Исайчев, Н.Н. Андреев, А.В. Каспировский // Вестник Казанского ГАУ. – 2013. – № 1 (27). – С. 103-107.

72. Исайчев, В.А. Оптимизация продукционного процесса сельскохозяйственных культур под воздействием микроэлементов и росторегуляторов в условиях лесостепи Поволжья: автореф. дис. … док. с.-х. наук / В.А. Исайчев. – Казань, 2004. – 47 с.

73. Исайчев, В.А. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от предпосевной обработки семян регуляторами роста / В.А. Исайчев, Н.Н. Андреев, А.В. Каспировский // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2013. – № 3 (23). – С. 14-19.

74. Кадырова, Р.Г. Янтарная кислота и ее свойства: монография / Р.Г. Кадырова, Г.Ф. Кабиров, Б.М. Гильметдинов. – Казань, 2005. – 99 с.

75. Калинин, Ф.Л. Регуляторы роста растений. Биохимия их действия и применения / Ф.Л. Калинин, Ю.Г. Мережинский, – Киев: Наукова думка, 1965. – 382 с.

76. Карпова, Г.А. Оптимизация продукционного процесса агроценозов яровой пшеницы и ячменя при использовании регуляторов роста / Г.А. Карпова, М.Е. Миронова // Нива Поволжья. – 2009. – № 1. – С. 8-13.

77. Карпова, Г.А. Активация ранних ростовых процессов семян под действием регуляторов роста как фактор повышения полевой всхожести и урожайности яровой пшеницы / Г.А. Карпова, Л.В. Карпова, Е.Ю. Фролова // Нива Поволжья. – 2016. – № 1 (38). – С. 29-35.

78. Карпова, Г.А. Влияние предпосевной обработки регуляторами роста на физиолого-биохимические процессы при прорастании и посевные качества семян пшеницы и ячменя / Г.А. Карпова, Л.В. Карпова // Нива Поволжья. – 2015. – № 2 (35). – С. 32-38.

79. Карпова, Г.А. Динамика содержания элементов минерального питания в зеленой массе растений пшеницы и ячменя под действием бактериальных препаратов и регуляторов роста / Г.А. Карпова // Нива Поволжья. – 2013. – №2 (27). – С.41-45.

80. Карпова, Г.А. Эффективность использования регуляторов роста и бактериальных препаратов на яровой пшенице / Г.А. Карпова, Е.Н. Зюзина // Зерновое хозяйство. – 2007. – №5. – С. 16-17.

81. Каспировский, А.В. Влияние регуляторов роста на продуктивность растений яровой пшеницы в условиях лесостепи Поволжья: автореф. дис. … канд. с.-х. наук / А.В. Каспировский – Кинель, 2013. – 21 с.

82. Каюмов, М.К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур / М.К. Каюмов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 320 с.

83. Кефели В.И. Новые тенденции о регуляторах роста растений / В.И. Кефели, М.Х. Чайлахян // Успехи соврем. биологии. – 1975, Т. 80. – С. 116-127.

84. Кефели, В.И. Природные ингибиторы роста и фитогормоны / В.И. Кефели. – М.: Наука, 1974. – 132 с.

85. Кефели, В.И. Рост растений. Механизм регуляции / В.И. Кефели. – М.: Наука, 1978. – С. 46-47.

86. Клочкова Н.М. Влияние производных янтарной кислоты на рост и развитие яровой пшеницы / Н.М. Клочкова, А.В. Адвокачев // АгроXXI. – 1999. – № 3. – С. 20-21.

87. Клочкова, Н.М. Влияние различных ФАВ на некоторые физиологически-биохимические процессы и урожайность / Н.М. Клочкова, Н.Н. Т ретьяков // Тез. докл. конф. «Регуляторы роста и развития растений в биотехнологиях». – М.: МСХА, 2001. – С. 246-247.

88. Клочкова, Н.М. Янтарная кислота – перспективный регулятор роста растений / Н.М. Клочкова, А.В. Авдокачев // сборник студенческих работ по итогам 52-й студенческой научной конференции, вып. 5. – М., МСХА, 1999. – с. 53-58.

89. Ковалев В.М. Применение регуляторов роста растений для повышения устойчивости и продуктивности зерновых культур / В.М. Ковалев – М.: ВНИИТЭИагропром, 1992. – 48 с.

90. Коваленко, С.А. Корреляционные взаимосвязи между урожаем и элементами его структуры у сортов яровой твёрдой пшеницы донской селекции / С.А. Коваленко, А.И. Грабовец, В.П. Кадушкина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 5 (67). – С. 31-33.

91. Ковтун, В.И. Озернённость, масса зерна колоса и масса 1000 зёрен в повышении урожайности озимой мягкой пшеницы / В.И. Ковтун, Л.Н. Ковтун // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3 (53). – С. 27-29.

92. Козлобаев, В.В. Посевные качества семян озимой пшеницы / В.В. Козлобаев, Н.В. Ермакова // Аграрная наука. – 2008. – №7 – С.25-27.

93. Колмаков, Ю.В. Курс лекций по дисциплине «Технология хранения и переработки продукции растениеводства»: Учеб. пособие // Ю.В. Колмаков, Р.И. Белкина, В.М. Распутин, М.В. Веденева. – Тюмень, 2010. – 368 с.

94. Колмыкова, Т.С., Эффективность регуляторов роста растений при действии абиотических стрессовых факторов / Т.С. Колмыкова, А.С. Лукаткин // Агрохимия. – 2012. – № 1. – С. 83-94.

95. Кондрашова, М.Н. Накопление и использование янтарной кислоты в митохондриях / М. Н. Кондрашова. – М.: Наука, 1972. – С. 151-170.

96. Кононов, А.С. Влияние биопрепаратов, молибдена, бора и янтарной кислоты на физиологические показатели люпино-ячменных и соево-ячменных агроценозов / А.С. Кононов, А.В. Шугаев // Вестник Брянского государственного университета. – 2012. – №4-2. – С. 148-152.

97. Кореньков, Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений /Д.А. Кореньков. – М.: Агропрогресс, 1999. – 295 с.

98. Корнилов, А.А. Размеры листьев как показатель условия развития пшеницы / А.А. Корнилов // Доклады АН СССР. – 1951. – №4. – 23 с.

99. Коробко, В.В. Сравнительная характеристика роста и развития проростков некоторых сортов яровой пшеницы / В.В. Коробко, О.П. Жухарева // Бюллетень ботанического сада Саратовского государственного университета. – 2015. – №13. – С. 187-191.

100. Костин В.И. Улучшение посевных качеств семян – важный резерв повышения урожайности / В.И. Костин // Физиолого-биохимические аспекты обработки семян сельскохозяйственных культур. – Ульяновск: Ульяновская ГСХА, 2003. – С. 3-9.

101. Костин, В.И. Элементы минерального питания и росторегуляторы в онтогенезе сельскохозяйственных растений: монография / В.И. Костин, В.А. Исайчев, О.В. Костин. – Москва: Изд. «Колос», 2006. – 290 с.

102. Костин, О.В. Влияние пектина из Amaranthus cruentus на урожайность и мукомольные показатели качества муки озимой пшеницы / О.В. Костин, В.И. Костин, Ф.А. Мударисов // Вестн. Саратов. ун-та им. В.И. Вавилова. – 2008. – № 8. – С. 22-25.

103. Костин, В. И. Перспективы использования фиторегулятора «Мелафен» в растениеводстве: Монография // В.И. Костин, О.В. Костин – Ульяновск, Изд. РАЕН, 2013. – 129 с.

104. Костин, В.И. Теоретические и практические аспекты предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур физическими и химическими факторами: монография / В.И. Костин. – Ульяновск, 1998. – 120 с.

105. Костин, В.И. Теоретические основы предпосевной обработки семян различными физическими и химическими факторами / В.И. Костин // Энергосберегающие технологии в растениеводстве: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: РИО ПГСХА, 2005. – С. 3-10.

106. Костин, В.И. Морфофизиологические параметры и меристематическая активность проростков яровой пшеницы под действие композиционных кремнийорганических препаратов на основе вермикомпоста / В.И. Костин, Т.Д. Игнатова, С.Н. Сергатенко // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. – № 3. – (35). – С. 61-70.

107. Костин, О.В. Изменения фотосинтетических показателей озимой пшеницы от воздействия регуляторов роста / О.В. Костин, О.М. Церковнова // Вестник РАСХН. – 2010. – № 2. – С.37-39.

108. Котляров, Д.В. Физиологически активные вещества в агротехнологиях: монография / В.В. Котляров, Д.В. Котляров, Ю.П. Федулов – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 224 с.

109. Котляров, В.В. Применение физиологически активных веществ в агротехнологиях: учебное пособие для подготовки магистров / В.В. Котляров, Ю.П. Федулов, К.А. Доценко, Д.В. Котляров, Е.К Яблонская. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – 169 с.

110. Коф Э. М. Антистрессовое действие янтарной кислоты на проростки гороха /Э.М. Коф, Т.А. Борисова, Р.В. Макарова, Н.Н. Симонова // Агрохимия. – 1999. – № 1. – С. 55-59.

111. Кочергин, А.Е. Условия питания зерновых культур азотом, фосфором и калием и применение удобрений на черноземах Западной Сибири: автореф. дис… д-ра с.-х. наук: 01.06.04 / Кочергин Алексей Ефимович. – М., 1965. – 40 с.

112. Кошелев, Б.С. Экономическая оценка почвозащитной технологии: метод. рекомендации / Б.С. Кошелев, В.В. Первых, В.П. Нейбауэр; ВАСХНИЛ. СО, СибНИИСХ. – Новосибирск, 1987. – 33 с.

113. Кулаева, О.Н. Как регулируется жизнь растений / О.Н. Кулаева // Соросовский образовательный журнал. – 1995. – №1. – С. 20-27.

114. Кулаева, О.Н. Новейшие достижения в изучении механизма действия фитогормонов / О.Н. Кулаева, О.С. Прокопцева // Биохимия. – 2004. – №3. – С. 293-310.

115. Кумаков, В.А. Биологические основы возделывания яровой пшеницы по интенсивной технологии / В.А. Кумаков. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 104 с.

116. Кумаков, В.А. Физиология формирования урожая яровой пшеницы и проблемы селекции / В.А. Кумаков // Сельскохозяйственная биология. – 1995. – №5. – С. 3-19.

117. Кумаков, В.А. Физиология яровой пшеницы / В.А. Кумаков. – М.: Колос. – 1980. – 205 с.

118. Куперман И.А., Хитрово Е.В. Дыхательный газообмен как элемент продукционного процесса растений. Новосибирск: Наука, 1977. – 184 с.

119. Куперман, Ф.М. Морфофизиология растений / Ф.М. Куперман. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1973. – С. 201-217.

120. Кураков, С.А. Стимуляторы роста – резерв урожайности / С.А. Кураков, Г.С. Соцкий // Химизация сельского хозяйства. – 1991. – № 12. – С. 79-80.

121. Куренкова, С.В. Влияние янтарной кислоты на продуктивность растений ячменя / С.В. Куренкова, Т.Н. Табаленкова // Тез. докл. конф.

«Регуляторы роста и развития растений в биотехнологиях». – М.: МСХА, 2001. – С. 175.

122. Куркина, М.В. Влияние органических кислот цикла Кребса на образование триоз в листьях ячменя / М.В. Куркина // Теоретические и прикладные аспекты биоэкологии / Калининградский гос. ун-т. – Калининград, 2003. – С. 58-64.

123. Кшникаткина А.Н. Агроэкологические аспекты применения регуляторов роста, биопрепаратов и микроудобрений в технологии возделывания интродуцируемых культур / А.Н. Кшникаткина, В.Н. Еськин // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы: сборник материалов IV Междун. научно-практической конференции. – Пенза: РИО Пензенской ГСХА, 2007. – С. 54-55.

124. Леонтьев С.И. Структура урожая яровой пшеницы в зоне южной лесостепи // Науч. труды. – Омск с.-х. институт, 1971. – Т.92. – С. 70-74.

125. Линдиман А.В. Применение янтарной кислоты в процессе фитоэкстракции свинца и кадмия из загрязнённых почвах / А.В. Линдиман, Л.В. Шведова, Н.В. Тукумова, А.П. Куприяновская, А.В. Невский // Эколого-экономические проблемы химических технологий. Вестник МИТХТ. – 2010. – Т.5, № 5. – С. 102-105.

126. Луговая, А.А. Стресспротекторное действие жасмоновой и янтарной кислот на растения ячменя в условиях почвенной засухи / А.А. Луговая, Ю.В. Карпец, А.И. Обозный, Ю.Е. Колупаев // Агрохимия. – 2014. – № 4. – С. 48-55.

127. Львова, В.А., Коротченко И. С. Применение ЭДТА, янтарной кислоты в процессе фитоэкстракции никеля и кадмия из загрязнённых почв / В.А. Львова, И.С. Коротченко // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2017. – № 1 (124). – С. 144-149.

128. Магомедов, И.М. Фотосинтез и органические кислоты / И.М. Магомедов. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1988. – 204 с.

129. Максютова, Н.Н. Действие экзогенной янтарной кислоты на растения / Н.Н. Макеютова, В. Г. Яковлева // Проблемы ботаники на рубеже

XX-XXI веков: тез. докл. II (X) съезда Русского ботанического общества. – СПб.: Ботанический институт РАН, 1998. – С. 179.

130. Максютова, Н.Н. Ростостимулирующее действие янтарной кислоты на растения пшеницы / Н.Н. Максютова [и др.] // Янтарная кислота в медицине, пищевой промышленности, сельском хозяйстве / науч. ред. М.Н. Кондрашова [и др.]; Пром.-фин. компания АО «Внедрение». – Пущино, 1997. – С. 246-250.

131. Мартынова, С.В. Взаимосвязь морфометрических параметров ярового ячменя с урожайностью / С.В Мартынова., В.Н. Пакуль, Д.Е. Андросов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2019. – Т. 49. – № 5. – С. 11-20.

132. Матвеева Н.В. Отзывчивость яровой пшеницы на предпосевную обработку семян регуляторами роста и микроудобрениями в северной лесостепи Тюменской области / дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01 / Н.В. Матвеева. – Тюмень, 2014. – 16 с.

133. Миндрин, А.С. Энергоэкономическая оценка сельскохозяйственной продукции / А.С. Миндрин. – М.: ЦНИИМ, 1997. – 294 с.

134. Минеев, В.Г. Эколого-агрохимические аспекты биологизации земледелия / В.Г. Минеев // Агрохимия. – 1995. – № 4. – С. 108-115.

135. Миронова, М.Е. Влияние регуляторов роста и бактериальных препаратов на формирование урожайности ячменя в условиях лесостепи Поволжья: автореф. дис. ... канд. биол. наук / М.Е. Миронова. – Пенза, 2009. – 22 с.

136. Мищенко Л.Н., Мельников А.Л. Почвы Западной Сибири учеб. Пособие. – Омск: Изд-во: ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2007. – 248 с.

137. Мищенко, Л.Н. Почвы Омской области и их сельскохозяйственное использование / Л.Н. Мищенко. – Омск, 1991. – 105 с.

138. Мнатсаканян, А.А. Совершенствование технологии возделывания озимой пшеницы с использованием регуляторов роста и водорастворимого микробиоудобрения при различном уровне азотного питания в условиях

центральной зоны Краснодарского края: автореф. дис. … канд. с.-х. наук / А.А Мнатсаканян. – Краснодар, 2018. – 24 с.

139. Мокроносов, А.Т. Фотосинтетическая функция и целостность растительного организма / А.Т. Мокроносов. – М.: Наука, 1983.

140. Муромцев, Г.С. Основы химической регуляции роста и продуктивности растений / Г.С. Муромцев, Д.И. Чкаников, О.Н. Кулаева. – М.: Агропромиздат, 1987. – 383 с.

141. Муромцев, Г.С. Регуляторы роста растений и урожай / Г.С. Муромцев // Вестник с.-х. науки. – 1984. – № 7. – С. 75-83.

142. Мухортов, С.Я. Регуляторы роста в овощеводстве Центрально-Черноземного региона России (теория и практика применения): монография / С.Я. Мухортов. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2013. – 159 с.

143. Муш Н.Н. Регуляторы роста растений и качество зерна / Н.Н. Муш, Т.Г. Барановскя // Химия в сельском хозяйстве. – 1994. – № 3. – С. 23.

144. Немченко, В.В. Применение регуляторов роста для повышения устойчивости растений к неблагоприятным условиям произрастания в Зауралье: автореф. дис. … д-ра с.-х. наук / В.В. Немченко. – Новосибирск: НГАУ, 1992. – 50с.

145. Никитин, В.В. Значение отдельных агротехнологических факторов в биологизации земледелия / А.Н. Воронин, В.В. Навальнев, А.П. Карабутов. – Агрохимия. – 2013. – № 8. – С. 53-58.

146. Ничипорович, А.А. О путях повышения продуктивности фотосинтеза растений в посеве / А.А. Ничипорович // Фотосинтез и вопросы продуктивности растений. – М. – 1963. С. 5-36.

147. Ничипорович, А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев / А.А. Ничипорович // XV Тимирязевские чтения. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 94 с.

148. Ничипорович, А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах / А.А. Ничипорович. – М.: Изд. АНСССР, 1961. – 185 с.

149. Ничипорович, А.А. Основы фотосинтетической продуктивности растений / А А. Ничипорович // Современные проблемы фотосинтеза: сборник. – М., 1973. – С. 17-43.

150. Ничипорович, А.А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев / А.А. Ничипорович. – М.: АН СССР, 1961. – 93 с.

151. Новиков, Н.Н. Биохимия растений / Н.Н. Новиков. – М.: КолосС, 2012. – 679 с.

152. Новиков, Н.Н. Биохимические основы формирования качества продукции растениеводства: учеб. пособие / Н.Н. Новиков. – М.: Изд-во РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014. – 194 с

153. Новиков, Н.Н. Действие фиторегуляторов на синтез белков и качество зерна пшеницы / Н.Н. Новиков, Б.Б. Войесса // Известие ТСХА. – 1995. – № 1. – С. 65-75.

154. Нормативы выноса элементов питания сельскохозяйственными культурами. – М.: ЦИНАО, 1991. – 66 с.

155. Овчинников, Ю.А. Биоорганическая химия / Ю.А. Овчинников. – М.: Просвещение, 1987. – 815с.

156. Остапенко, А.П. Обработка семян регуляторами роста повышает урожай // Земледелие. – 2004. – № 1. – С. 38-39.

157. Павловская, Н.Е. Биотехнология создания экологически безопасных средств защиты растений от болезней и вредителей / Н.Е. Павловская, И.Н. Гагарина, Д.Б. Бородин, И.В. Горькова, Г.А. Борзенкова // Труды Междунар. форума по проблемам науки, техники и образования. – М, 2010. – С.151-153.

158. Павловская, Н.Е. Изучение морфофизиологических показателей и чистой продуктивности фотосинтеза ярового ячменя, возделанного с применением биопрепаратов / Н.Е. Павловская, А.Г. Тимаков, И.В. Яковлева, В.В. Мамеев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2019. – №1 (33). – С. 153-167.

159. Панников, В.Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В.Д. Панников, В.Г. Минеев. – М.: Колос, 1977. – 512 с.

160. Петербургский, А.В. Агрохимия и физиология питания растений / А.В. Петербургский. – М.: Россельхозиздат, 1971. – 333 с.

161. Петров, Н.Ю. Влияние биостимуляторов на фотосинтетическую деятельность яровой пшеницы / Н.Ю. Петров, Н.В. Бердников, В.В. Чернышков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2008. – № 2 (10). – С. 22-25.

162. Петров, Н.Ю. Фотосинтетическая деятельность и продуктивность сортов озимой пшеницы в зависимости от применяемых препаратов / Н.Ю. Петров, Н.С. Онищенко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – №10 (96). – С.23-25.

163. Пиневич, В.В. Определение азота и фосфора в растительном материале из одной навески / В.В. Пиневич // Доклады ВАСХНИЛ, 1955. – № 1. – С.33-34.

164. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: Колос, 2004. – 312 с.

165. Плечова, О.И. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы биопрепаратами на основе диазотрофов / О.И. Плечова // Агрохимический вестник, 2013, № 3. – С. 38-40.

166. Плотникова, Л.Я. Влияние салициловой и янтарной кислот на цитофизиологические реакции пшеницы, инфицированной бурой ржавчиной / Л.Я. Плотникова, Т.Ю. Штубей // Цитология. – 2009. – Т. 51. – №1. – С. 43-52.

167. Полевой, В.В. Механизмы регуляторных процессов / В. В. Полевой // Труды Петергофского биол. ин-та. – Л.: изд-во ЛГУ, 1972. – № 21. – С. 191-207.

168. Полевой, В.В. Физиология растений / В.В. Полевой. – М: Высшая школа, 1982. – 464 с.

169. Полоус, Г.П. Влияние регуляторов роста на поражаемость озимой пшеницы болезнями. / Г.П. Полоус, В.И. Жабина, Н.А. Есаулко // Вестник АПК Ставрополья. – 2012. – №2 (6). – С. 16-17.

170. Прусакова, Л.Д. Регуляторы роста в повышении устойчивости к полеганию и урожайности ярового ячменя / Л.Д. Прусакова, С.И. Чижова, В.Г. Головатый // Регуляторы роста растений. – Л., 1989. – С.27-33.

171. Прусакова, Л.Д. Регуляторы роста растений с антистрессовыми и имунопротекторными свойствами / Л.Д. Прусакова, Н.Н. Малеванная, С. Л. Белопухов [и др.] // Агрохимия – 2005. – № 11. – С. 76-86.

172. Ракитин, Ю.В. Химические регуляторы жизнедеятельности растений / Ю.В. Ракитин. – М: Наука, 1983. – 80 с.

173. Рева, М.И. Использование физиологически активных веществ в овощеводстве. М.: ВНИИО, 2000. – С. 212-213.

174. Ремпе, Е.Х. Регуляторы роста растений как фактор снижения негативного действия пестицидов / Е.Х. Ремпе, Л.П. Воронина, Л.К. Батурина // Агрохимия. – 1999. – №3. – С. 64-69.

175. Рост растений и природные регуляторы: сборник научных трудов / Академия наук СССР, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева; отв. ред. В.И. Кефели. – Москва: Наука, 1977. – 295 с.

176. Сабинин, Д.А. Минеральное питание как фактор органообразования / В.А. Сабинин // Избранные труды по минеральному питанию. – М.: Наука, 1971. – 512 с.

177. Савельев, В.А. Яровая пшеница: монография // В.А Савельев. – Куртамыш: Куртамышская типография, 2015. – 249 с.

178. Савицкий, М.С. Структура урожая зерновых культур в Белоруссии: Метод. пособие для повышения квалификации агрономов / М.С. Савицкий, М.Е. Николаев. – М.: Изд-во БСХА, 1974. – 62 с.

179. Саскевич, П.А. Применение регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / П.А. Саскевич, В.Р. Кажарский, С.Н. Козлов // Горки. – 2009. – 296 с

180. Смирнова, Т.И. Деградация комплексонов, производных янтарной кислоты, под действием УФ излучения // Т.И. Смирнова, С.Д. Хижняк,

В.М. Никольский, Я.М. Халяпина, П.М. Пахомов // Журнал прикладной химии. – 2017. – Т. 90. – №4. – С. 406-411.

181. Соколов, Б.С. Справочник агрогидрологических свойств почвы Омской и Тюменской (южной части) областей / Б.С. Соколов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – 217 с.

182. Солдатенков, С.В. Обмен органических кислот у растений / С.В. Солдатенков. – Л.: Наука, 1971. – 44 с.

183. Сычев В.Г., Шафран С.А., Духанина Т.М. Диагностика минерального питания полевых культур и определение потребности в удобрениях. – М.: ВНИИА, 2017. – 220 с.

184. Тарасов, С.С. Изменения морфо-физиологических показателей прорастающих семян пшеницы под влиянием ультразвукового воздействия / С.С. Тарасов, А.П. Веселов, Е.К. Крутова // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 6. – С. 38-42.

185. Тарчевский, И.А. Янтарная кислота — миметик салициловой кислоты / И. А. Тарчевский, Н.Н. Максютова, В.Г. Яковлева, А.Н. Гречкин // Физиология растений. – 1999. – Т. 46, № 1. – С. 23-28.

186. Тарчевский, И.А. О вероятных причинах активирующего действия янтарной кислоты на растения / И.А. Тарчевский // Янтарная кислота в медицине, пищевой промышленности, сельском хозяйстве / науч. ред. М.Н. Кондрашова [и др.]; Пром.-фин. компания АО ≪Внедрение≫. – Пущино, 1997. – С. 217-219.

187. Терехов, М.Б. Формирование качества зерна яровой пшеницы в условиях серых лесных почв Нижегородской области / М.Б. Терехов, В.М. Кочетов // Научные труды Нижегородской ГСХА (Агрономия). – Н. Новгород: НГСХА, 2006. – С. 27-29.

188. Технология применения регуляторов роста в земледелии. Метод. пособ. / Под ред. С. П. Пономаренко. – К., 2003. – 54 с.

189. Тимошкин, А.А. Повышение качества и сохранности зерна яровой пшеницы в условиях южной лесостепи Омской области: дис. канд. с.-х. наук – Омск, 1998. – 225 с.

190. Ткачук, О.А. Эффективность применения регуляторов роста при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья / О.А. Ткачук, Е.В. Павликова, А.Н. Орлов // Молодой ученый. – 2013. – № 4. – С. 677-679.

191. Третьяков, Н.Н. Практикум по физиологии растений / Н.Н. Третьяков, Л.А. Паничкин, М.Н. Кондратьев. 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Колос, 2003. – 288 с.

192. Трубилин, А.И. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур: учеб. пособие / А.И. Трубилин, Г.Ф. Петрик, А.Г. Прудников – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 95 с.

193. Усанова, З.И. Теория и практика создания высокопродуктивных посевов овса посевного в условиях Центрального Нечерноземья: монография / З.И. Усанова, А.С. Васильев. – Тверь: Тверская ГСХА, 2014. – 325 с.

194. Федин, М.А. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / М.А. Федин. – М.: Агропромиздат, 1985. – 265 с.

195. Федотов, Г.Н. Оценка посевных качеств семян / Г.Н. Федотов, М.Ф. Федотова, В.С. Шалаев, Ю.П. Батырев, С.Б. Васильев, Д.А. Новиков // Лесной вестник. – 2015. – Т. 19. – № 6. – С. 211-220.

196. Федулов, Ю.П. Фотосинтез и дыхание растений: учеб. пособие / Ю.П. Федулов, Ю.В. Подушин. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 101 с.

197. Хамова, О.Ф. Влияние минеральных удобрений и пестицидов на биологическую активность чернозема выщелоченного лесостепи Западной Сибири / О.Ф. Хамова, Л. В. Юшкевич, В.Г. Холмов, Н.Ф. Кочегарова // Бюллетень ВИУА. – М., 2001. – № 114. – С. 171.

198. Харитонова, С.В. Эффективность предпосевной обработки семян яровой пшеницы регуляторами роста и микроэлементами в условиях степной зоны Южного Урала / С.В. Харитонова, В.Б. Щукин, О.Г. Павлова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2009. – № 24-1. – С. 7-9.

199. Холмов, В.Г. Интенсификация и ресурсосбережение в земледелии лесостепи Западной Сибири: монография /В.Г. Холмов, Л.В. Юшкевич. – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2005. – 397с.

200. Чайлахян, М.Х. Роль регуляторов роста в жизни растений и в практике сельского хозяйства / М.Х. Чайлахян // Успехи современной биологии. – 1982. – Т. 93, вып. 1. – С. 23-34.

201. Чепец, Е.С. Озимый ячмень: приёмы повышения урожайности и качества зерна: монография / Е.С. Чепец. – Новочеркасск: Изд-во ‹‹НОК››, 2017. – 84 с.

202. Чулков, К.А. Продуктивность яровой пшеницы в зависимости от видовых особенностей и обработки биопрепаратом Экстрасол-55: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / К.А. Чулков. – Нижний Новгород, 2009. – 19 с.

203. Шаповал, О.А. Регуляторы роста растений в сельскохозяйственном производстве / О.А. Шаповал // Плодородие. – 2001. – №2. – С. 27-29.

204. Шаповал, О.А. Регуляторы роста растений / О.А. Шаповал, Л.Д. Вакуленко // Защита и карантин растений. – 2008. – №12. – С 53-88.

205. Шаповал, О.А. Регуляторы роста растений в агротехнологиях / О.А. Шаповал, И.П. Можарова, А.А. Коршунов // Защита и карантин растений. – 2014. – № 6. – С. 16-20.

206. Шаповал, О.А. Биологическое обоснование использования регуляторов роста растений в технологии выращивания озимого пшеницы: Автореф. дисс…. док… с.-х. наук / О.А. Шаповал. – Краснодар, 2005. – 52 с.

207. Шаповал, О.А. Регуляторы роста растений в агротехнологиях основных сельскохозяйственных культур. Монография // О.А. Шаповал, И.П. Можарова, А.Я. Барчукова и др. – М.: ВНИИА, 2015. – 350 с.

208. Шаповал, О.А. Регуляторы роста растений в практике сельского хозяйства / О.А. Шаповал, В.В. Вакуленко, Л.Д. Прусакова и др. – М.: ВНИИА, 2009. – 60 с.

209. Шевелуха, В.С. Регуляторы роста растений в сельском хозяйстве / В.С. Шевелуха, В.М. Ковалев, Л.Г. Груздев, И.К. Блиновский // Вестник с.-х. науки. – 1985. – №9. – С. 57-65.

210. Шевелуха В.С. Рост растений и его регуляция в онтогенезе / В.С. Шевелуха // М.: Колос. – 1992. – 594 с.

211. Шевелуха, В.С. Важнейшие проблемы увеличения производства повышения качества зерна и пути их решения / В.С. Шевелуха, И.И. Василенко // Проблемы повышения качества зерна пшеницы и других зерновых культур: сб. науч. трудов. – М. – 1998. – 280 с.

212. Ягодин, Б.А. Агрохимия / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.И. Кобзаренко. – М.: Колос, 2002. – 584 с.

213. Якушкина, Н.И. Физиология растений / Н.И. Якушкина. – М.: Владос, 2004. – 464 с.

214. Ястреб, Т.О. Влияние микроудобрения Реаком, салициловой и янтарной кислот на адаптацию растений проса неблагоприятным условиям среды / Т.О. Ястреб, Н.Н. Мирошниченко, Ю.Е. Колупаев, Г.П. Коц // Агрохимия. – 2012. – №4. – С. 60-67.

215. Яхин, О.И., Лубянов А.А., Яхин И.А. Современные представления о биостимуляторах // Агрохимия. – 2014. – № 7. – С. 85-90.

216. Яхин, О.И. Исследование физиологической активности новых полифункциональных биорегуляторов / О.И. Яхин, А.А. Лубянов // Регуляторы роста и развития растений в биотехнологиях: тезисы докладов. – М.: МСХА, 2001. – С. 134-135.

217. Hampton, I.C. The effect of growth retardant application on flore site utilization and assimilate distribution in ears of perennial ryegrass / I.C. Hampton, P.P. Hebblethwaite //Ann. Appl. Biol. – 1985.– V. 107.– № 1.– P. 127-136.

218. Kondrashova, M.N. Succinic acid as a physiological signal molecule / M.N. Kondrashova, S.P. Volkova, E.V. Grigorenko, A.M. Babsky, A. Podoletz, G.D. Kuznetzova // Signal Molecule and Behaviour / Editors W. Winlow, O.S. Vi-

nogradova, D.A. Sakharov. - Manchester & NY: Manchester University Press. –1991. – P. 295-300.

219. Low, V.H.K. Role of gibberellins in root and shoot growth // Gibberellins and Plant Growth / Ed H.N. Krishamoorthry. – Harvana Arg. Univ. Hissar, New Delhi, 1975. – P. 101-113.

220. Ort D. R. Redesigning photosynthesis to sustainably meet global food and bioenergy demand / D. R. Ort, S. S. Merchant, J. Alric et al. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 2015. - Vol. 112, Iss. 28. P. 8529–8536. doi: 10.1073/pnas.1424031112 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26124102.

221. Pakul V.N. Sources of efficiency of springsown soft field for conditions of Western Siberia // Science, Technology and Higher Education / Materials of the II International Research and Practice Conference. Vol. II. – Publishing Office Accent Graphics Communications. – Westwood. – Canada. – 2013. – P. 295-299.

222. Powles, S. B., Qin Yu. Evolution in Action: Plants Resistant to Herbicides. Annual Review of Plant Biology. – 2010. – Vol. 61. P. 317-347.

223. Ray, P.M. The Chemistry and Biochemistry of Plant Hormones. Recent Advances in Phytochemistry, 7. – New-York-London: Acad. Press, 1974. – P. 93-122.

224. Sorokin, A.I. Use of growth regulators for spring barley on light-brown soils / A.I. Sorokin, A.S. Tsevdenova // Grain Economy of Russia. – 2016. – № 1. P. 35-38.

225. Went, F.W. Phytohormones / F.W. Went, K.V. Thimann. – N.Y.: Mac Millan Co, 1937. – 184 p.

226. Yakovleva, V.G. Influence of NO donor nitroprusside on protein synthesis in pea seedling / V.G. Yakovleva, I. A. Tarchevsky, N.N. Maksyutova // Abstracts of International Symposium "Plant Under Environmomental Stress". – Moscow: Pulishing House of Peoples Friendship University of Russia, 2001. – P. 318-319.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Ассимиляционная поверхность яровой мягкой пшеницы в зависимости от вариантов ПОС органическими кислотами и фона удобренности, тыс. $м^2$/га

Вариант ПОС (В)		Кущение			Трубка			Колошение		
органическая кислота	концентрация раствора, М	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Фон без удобрений (А)										
Контроль*	-	16,2	15,7	15,0	19,1	18,9	18,5	30,1	29,8	29,2
Янтарная	10^{-3}	17,4	16,9	16,2	20,3	20,9	19,5	31,7	31,4	30,9
	10^{-7}	17,0	16,5	15,8	19,9	20,4	19,7	31,2	30,9	30,3
Яблочная	10^{-3}	16,3	15,9	15,4	19,4	19,4	19,2	30,3	30,4	29,5
	10^{-5}	16,7	16,2	15,5	19,5	19,7	19,4	30,8	30,6	29,8
Щавелевая	10^{-3}	16,3	16,0	15,3	19,1	19,1	19,1	30,6	30,3	29,9
	10^{-5}	16,5	15,9	15,5	19,3	19,0	19,3	30,3	30,2	29,7
Лимонная	10^{-3}	16,9	16,6	15,8	20,1	20,6	19,6	31,4	31,1	30,5
	10^{-7}	16,6	16,4	15,8	20,0	20,3	19,8	31,1	30,8	30,2
Фон $N_{30}P_{60}$										
Контроль*	-	18,4	17,9	17,4	23,4	23,2	22,1	32,3	32,1	31,4
Янтарная	10^{-3}	21,8	21,6	20,0	26,5	26,3	25,9	36,7	36,4	35,8
	10^{-7}	20,4	20,9	18,5	25,9	25,8	23,8	36,3	36,1	33,6
Яблочная	10^{-3}	18,6	18,7	18,0	23,8	24,1	22,9	34,7	34,5	31,7
	10^{-5}	19,3	19,1	17,9	24,5	25,3	23,1	35,2	35,1	33,9
Щавелевая	10^{-3}	18,7	18,5	18,1	24,0	23,4	23,3	33,9	33,4	32,9
	10^{-5}	18,5	18,2	17,9	23,9	23,6	22,9	33,2	33,8	33,0
Лимонная	10^{-3}	21,1	21,2	19,5	25,8	26,0	25,5	36,4	36,2	34,9
	10^{-7}	20,9	20,8	19,3	25,4	25,6	25,2	36,1	35,9	34,3
$НСР_{05}$ (А)		0,12			0,15			0,16		
$НСР_{05}$ (В)		0,25			0,32			0,34		
НСР (АВ)		0,35			0,45			0,48		

*Примечание: * - без обработки семян*

Приложение Б

Динамика накопления биомассы яровой мягкой пшеницы в зависимости от вариантов ПОС органическими кислотами и фона удобренности, т/га возд.-сух. в-ва

Вариант ПОС (В)		Кущение			Трубка			Колошение		
органическая кислота	концентрация раствора, М	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Фон без удобрений (А)										
Контроль*	-	1,27	0,80	0,60	2,44	2,25	2,30	5,24	4,60	4,80
Янтарная	10^{-3}	1,35	1,10	0,83	2,52	2,38	2,48	5,62	5,00	5,20
	10^{-7}	1,33	0,90	0,60	2,41	2,34	2,26	5,44	4,97	4,93
Яблочная	10^{-3}	1,19	0,80	0,92	2,40	2,20	2,27	5,20	4,82	4,83
	10^{-5}	1,22	0,85	0,63	2,60	2,08	2,23	5,38	4,85	4,80
Щавелевая	10^{-3}	1,18	0,80	0,68	2,45	2,20	2,16	5,31	4,60	4,85
	10^{-5}	1,09	0,75	0,78	2,36	2,40	2,23	5,20	4,50	4,93
Лимонная	10^{-3}	1,19	1,00	0,78	2,50	2,48	2,40	5,60	4,98	5,20
	10^{-7}	1,21	1,00	0,88	2,55	2,40	2,23	5,60	4,80	5,00
Фон $N_{30}P_{60}$										
Контроль*	-	1,51	1,08	0,80	2,54	2,35	2,38	5,73	5,08	5,20
Янтарная	10^{-3}	1,72	1,42	1,15	2,60	2,43	2,48	6,55	5,73	5,93
	10^{-7}	1,57	1,18	0,88	2,58	2,46	2,45	6,32	5,62	5,70
Яблочная	10^{-3}	1,23	1,00	1,20	2,56	2,33	2,34	5,88	5,20	5,33
	10^{-5}	1,53	1,02	0,80	2,69	2,38	2,48	6,17	5,48	5,68
Щавелевая	10^{-3}	1,30	1,00	1,00	2,28	2,46	2,23	5,62	5,21	5,40
	10^{-5}	1,25	1,08	1,20	2,34	2,34	2,30	5,60	5,20	5,44
Лимонная	10^{-3}	1,67	1,40	1,20	2,70	2,40	2,52	6,49	5,60	5,84
	10^{-7}	1,59	1,32	1,10	2,56	2,42	2,46	6,24	5,58	5,78

*Примечание: * - без обработки семян*

Приложение В

Урожайность яровой мягкой пшеницы в зависимости от вариантов ПОС органическими кислотами и фона удобренности

Вариант ПОС (**В**)		2017 год				2018 год				2019 год			
		Урожай-ность, т/га	Прибавка, т/га			Урожай-ность, т/га	Прибавка, т/га			Урожай-ность, т/га	Прибавка, т/га		
органическая кислота	концентрация раствора, М		от удобрений **(А)**	от ПОС **(В)**	от уд + ПОС **(АВ)**		от удобрений **(А)**	от ПОС **(В)**	от уд + ПОС **(АВ)**		от удобрений **(А)**	от ПОС **(В)**	от уд + ПОС **(АВ)**
Фон без удобрений (**А**)													
Контроль*	-	3,15		-		3,03		-		2,73		-	
Янтарная	10^{-3}	3,30		0,15		3,17		0,14		2,89		0,16	
	10^{-7}	3,24		0,09		3,13		0,10		2,83		0,10	
Яблочная	10^{-3}	3,19		0,04		3,08		0,05		2,81		0,08	
	10^{-5}	3,22		0,07		3,11		0,08		2,83		0,10	
Щавелевая	10^{-3}	3,23		0,08		3,10		0,07		2,80		0,07	
	10^{-5}	3,20		0,05		3,10		0,07		2,78		0,05	
Лимонная	10^{-3}	3,26		0,11		3,16		0,13		2,83		0,10	
	10^{-7}	3,28		0,13		3,15		0,12		2,85		0,12	
Фон $N_{30}P_{60}$													
Контроль*	-	3,48	0,33	-	-	3,31	0,28	-	-	3,02	0,29	-	-
Янтарная	10^{-3}	3,75	0,45	0,27	0,60	3,57	0,40	0,26	0,54	3,36	0,47	0,34	0,63
	10^{-7}	3,65	0,41	0,17	0,50	3,51	0,38	0,20	0,48	3,32	0,49	0,30	0,59
Яблочная	10^{-3}	3,55	0,36	0,07	0,40	3,38	0,30	0,07	0,35	3,20	0,39	0,18	0,47
	10^{-5}	3,61	0,39	0,13	0,46	3,45	0,34	0,14	0,42	3,30	0,47	0,28	0,57
Щавелевая	10^{-3}	3,58	0,35	0,10	0,43	3,37	0,27	0,06	0,34	3,19	0,39	0,17	0,46
	10^{-5}	3,55	0,35	0,07	0,40	3,36	0,26	0,05	0,33	3,18	0,40	0,16	0,45
Лимонная	10^{-3}	3,69	0,43	0,21	0,54	3,53	0,37	0,22	0,50	3,26	0,43	0,24	0,53
	10^{-7}	3,68	0,40	0,20	0,53	3,51	0,36	0,20	0,48	3,26	0,41	0,24	0,53
$НСР_{05}$		0,25	0,15	0,14	0,23	0,22	0,12	0,09	0,20	0,27	0,16	0,14	0,25

*Примечание: * - без обработки семян*

Приложение Г

Влияние минеральных удобрений и ПОС органическими кислотами на формирование элементов структуры урожая яровой мягкой пшеницы, 2017 год

Вариант ПОС (**В**)		Высота растений, см	Длина колоса, см	Число растений на 1 м^2	Продуктивная кустистость	Масса 1000 зерен, г	Количество колосков в колосе	Количество зерен в колосе	Масса зерна с 1 растения, г
органическая кислота	концентрация раствора, М								
Фон без удобрений (**А**)									
Контроль*	-	108,4	6,8	216	1,1	41,8	15	31	1,4
Янтарная	10^{-3}	115,3	7,1	136	1,5	42,1	16	26	1,8
	10^{-7}	115,4	7,7	218	1,4	41,3	15	24	1,4
Яблочная	10^{-3}	112,0	6,9	204	1,7	41,2	15	31	2,3
	10^{-5}	117,7	7,4	186	1,6	41,4	15	31	2,0
Щавелевая	10^{-3}	118,6	7,3	224	1,3	42,0	16	29	1,6
	10^{-5}	116,1	7,2	282	1,2	42,7	14	26	1,5
Лимонная	10^{-3}	116,0	7,1	218	1,4	42,8	16	23	1,7
	10^{-7}	113,9	7,0	228	1,4	42,9	14	24	1,5
Фон $N_{30}P_{60}$									
Контроль*	-	117,0	7,8	210	1,8	42,9	16	26	2,0
Янтарная	10^{-3}	113,1	7,3	146	1,8	43,6	16	29	2,3
	10^{-7}	112,3	7,3	172	1,7	42,0	16	26	2,2
Яблочная	10^{-3}	122,5	7,9	160	1,8	43,3	15	31	2,3
	10^{-5}	115,7	7,0	180	1,9	43,0	15	28	2,3
Щавелевая	10^{-3}	121,4	7,5	202	1,6	42,7	15	30	2,2
	10^{-5}	110,5	6,5	192	1,5	43,1	16	28	1,7
Лимонная	10^{-3}	113,7	6,7	178	1,7	43,0	16	23	2,0
	10^{-7}	116,8	7,6	170	1,8	43,3	16	33	1,9

*Примечание: * - без обработки семян*

Приложение Д

Влияние минеральных удобрений и ПОС органическими кислотами на формирование элементов структуры урожая яровой мягкой пшеницы, 2018 год

Вариант ПОС (**В**)		Высота растений, см	Длина колоса, см	Число растений на 1 м^2	Продуктивная кустистость	Масса 1000 зерен, г	Количество колосков в колосе	Количество зерен в колосе	Масса зерна с 1 растения, г
органическая кислота	концентрация раствора, М								
Фон без удобрений (**А**)									
Контроль*	-	86,1	7,4	224	1,5	28,1	15	30	1,1
Янтарная	10^{-3}	92,1	8,2	268	1,7	32,4	16	36	1,7
	10^{-7}	88,4	8,2	232	1,5	31,5	15	35	1,5
Яблочная	10^{-3}	95,9	8,1	268	1,5	29,8	14	28	1,0
	10^{-5}	85,4	8,6	186	1,7	31,0	15	36	1,2
Щавелевая	10^{-3}	88,4	8,8	166	2,2	33,0	15	37	1,9
	10^{-5}	90,8	8,1	238	1,6	34,2	16	33	1,3
Лимонная	10^{-3}	95,1	8,2	182	1,8	31,8	16	36	1,4
	10^{-7}	94,9	8,4	242	1,7	32,2	16	35	1,4
Фон $N_{30}P_{60}$									
Контроль*	-	87,5	8,3	296	1,5	31	15	36	1,1
Янтарная	10^{-3}	93,9	8,1	200	2,2	32,9	17	41	1,7
	10^{-7}	93,2	9,5	236	1,9	30,3	17	38	1,5
Яблочная	10^{-3}	91,5	9,0	192	1,8	32,8	15	35	1,9
	10^{-5}	90,2	8,4	206	2,2	31,8	17	39	1,6
Щавелевая	10^{-3}	88,9	8,6	238	1,9	31,5	14	32	1,4
	10^{-5}	106,8	8,8	182	2,0	31,2	17	34	1,2
Лимонная	10^{-3}	97,9	9,1	186	1,8	32,8	17	40	1,6
	10^{-7}	92,7	8,6	228	1,7	32,6	17	40	1,4

*Примечание: * - без обработки семян*

Приложение Е

Влияние минеральных удобрений и ПОС органическими кислотами на формирование элементов структуры урожая яровой мягкой пшеницы, 2019 год

Вариант ПОС (**В**)		Высота растений, см	Длина колоса, см	Число растений на 1 м^2	Продуктивная кустистость	Масса 1000 зерен, г	Количество колосков в колосе	Количество зерен в колосе	Масса зерна с 1 растения, г
органическая кислота	концентрация раствора, М								
Фон без удобрений (**А**)									
Контроль*	-	109,4	7,2	272	1,5	40,5	14	34	1,5
Янтарная	10^{-3}	111,8	7,3	246	1,5	41,1	15	34	1,9
	10^{-7}	116,7	8,3	200	1,7	39,1	17	35	1,5
Яблочная	10^{-3}	107,6	7,8	310	1,4	40,1	15	34	1,4
	10^{-5}	104,6	6,8	280	1,2	39,0	15	36	1,4
Щавелевая	10^{-3}	110,3	7,5	230	1,4	40,4	15	33	1,7
	10^{-5}	103,1	7,7	262	1,4	37,5	16	33	1,3
Лимонная	10^{-3}	105,0	7,2	284	1,4	41,3	16	37	2,3
	10^{-7}	111,8	8,5	226	1,7	40,0	15	35	2,3
Фон $N_{30}P_{60}$									
Контроль*	-	117,6	8,1	274	1,5	38,7	16	33	2,4
Янтарная	10^{-3}	120,5	8,1	284	1,7	42,8	16	35	2,5
	10^{-7}	115,6	8,2	288	1,5	43,1	16	34	2,4
Яблочная	10^{-3}	118,5	8,1	282	1,4	38,9	16	34	1,3
	10^{-5}	116,9	7,7	294	1,6	41,8	15	33	2,1
Щавелевая	10^{-3}	115,6	8,2	314	1,3	41,2	16	33	1,4
	10^{-5}	116,9	7,9	308	1,7	39,4	15	32	2,6
Лимонная	10^{-3}	118,2	8,4	282	1,8	42,4	16	32	2,3
	10^{-7}	118,6	8,6	298	1,6	41,8	16	34	2,4

*Примечание: * - без обработки семян*

Приложение Ж

Показатели качества зерна в зависимости от вариантов ПОС органическими кислотами и фона удобренности

Вариант ПОС (В)		Натура, г/л				Стекловидность, %				Клейковина, %				ИДК			
органическая кислота	концентрация раствора, М	2017	2018	2019	Ср.	2017	2018	2019	Ср.	2017	2018	2019	Ср.	2017	2018	2019	Ср.
	Фон без удобрений (А)																
Контроль*	-	731	690	751	724	54	51	49	51	32,6	26,1	27,3	28,7	62	60	50	57
Янтарная	10^{-3}	725	719	767	737	54	55	48	52	33,5	27,6	28,0	29,7	63	58	50	57
	10^{-7}	734	689	768	730	54	53	47	51	31,5	25,9	27,9	28,4	63	62	48	58
Яблочная	10^{-3}	731	664	768	721	50	51	47	49	30,0	26,0	26,9	27,6	54	58	46	53
	10^{-5}	734	640	776	716	53	51	46	50	30,6	27,3	28,0	28,6	61	62	49	57
Щавелевая	10^{-3}	729	641	778	716	55	52	44	50	33,0	26,3	27,5	28,9	63	63	47	58
	10^{-5}	741	640	770	717	54	50	47	50	32,0	28,0	26,3	28,8	63	55	49	56
Лимонная	10^{-3}	743	698	781	740	54	50	46	50	31,4	27,7	28,6	29,2	62	62	48	57
	10^{-7}	742	700	780	741	53	50	45	49	32,6	26,2	28,2	29,0	62	59	47	56
	Фон $N_{30}P_{60}$																
Контроль*	-	730	710	776	739	55	50	46	50	32,3	28,2	27,3	29,3	64	62	46	57
Янтарная	10^{-3}	738	715	781	745	56	52	48	52	33,6	28,8	29,0	30,5	62	63	51	59
	10^{-7}	734	714	780	743	55	52	50	52	32,8	27,9	28,6	29,8	61	64	48	58
Яблочная	10^{-3}	735	717	779	743	54	49	51	51	32,4	29,7	29,2	30,4	63	63	50	59
	10^{-5}	752	709	774	745	54	50	48	51	31,3	28,1	29,2	29,5	62	63	49	58
Щавелевая	10^{-3}	755	709	766	743	56	50	49	52	31,3	28,8	29,7	29,9	64	61	48	58
	10^{-5}	753	718	753	741	52	53	49	51	32,0	28,0	29,7	29,9	61	60	51	57
Лимонная	10^{-3}	750	728	761	746	56	50	50	52	31,7	28,5	29,4	29,9	62	67	50	59
	10^{-7}	742	717	759	739	53	50	50	51	32,0	28,4	29,6	30,0	60	65	52	59
$НСР_{05}$ (А)		$F_ф<F_т$				0,91				2,10				1,15			
$НСР_{05}$ (В)		$F_ф<F_т$				$F_ф<F_т$				$F_ф<F_т$				$F_ф<F_т$			
НСР (АВ)		$F_ф<F_т$				$F_ф<F_т$				$F_ф<F_т$				$F_ф<F_т$			

*Примечание: * - без обработки семян*

Приложение 3

«Утверждаю»
Председатель
СПК им. Кирова
Калачинского района
_____ Б.А. Ерх
19 ноября 2020 года

Акт
О внедрении результатов научной деятельности

Внедрение результатов исследований Цыгановой Н.А. по оценке эффективности предпосевной обработки семян раствором янтарной кислоты в концентрации 0,02% при возделывания яровой пшеницы сорта Уралосибирская (предшественник- чистый пар) в комплексе с ____–____ удобрениями проводилось в СПК им.Кирова (Калачинский район Омской области) на лугово-черноземной почве на площади 55 га. Прибавка в урожайности в данном варианте составила 0,30 т/га в сравнении с контрольным вариантом (2,60 т/га). При возделывании культуры получен условно чистый доход 2400 рублей с 1 га, в том числе за счет янтарной кислоты 2400 рублей с 1 га

Главный агроном СПК им Кирова _____

Председатель СПК им Кирова _____