

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

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва 2022

Работа выполнена на кафедре агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Омский аграрный университет имени П.А. Столыпина» в 2017-2019 гг.

Научный руководитель:

Воронкова Наталья Артёмовна
доктор сельскохозяйственных наук, доцент

Официальные оппоненты:

Гармаш Нина Юрьевна
доктор биологических наук, ФГБНУ
Федеральный исследовательский центр
«Немчиновка», лаборатория аналитических и
регистрационных испытаний, главный
научный сотрудник

Карпова Галина Алексеевна
доктор сельскохозяйственных наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный
университет», кафедра «Общая биология и
биохимия», заведующая кафедрой

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Волгоградский
государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится «21» апреля 2022 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 006.029.01 при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а и на сайте:

https://vniia-pr.ru/upload/iblock/bbd/tsyganova_diss_07_02_2022.pdf

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31 а, учёному секретарю диссертационного совета, e-mail: dissovet_vniia@mail.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета

Никитина Любовь Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 интермедиями 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 ростостимулирующее 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 $10^{-3}M$ 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 ($10^{-3}M$) 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».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Состояние изученности вопроса

В первой главе работы отмечена важная роль биологически активных веществ в онтогенезе растений. Рассмотрено их влияние на основные биохимические процессы (фотосинтез, дыхание и др.) и продуктивность растений. Отмечено значение энергетического обмена для роста и развития растений, связанного с циклом трикарбоновых кислот. Представлены результаты исследований отечественных и зарубежных авторов по изучению эффективности применения органических кислот в растениеводстве.

2. Условия, объекты и методы проведения исследований

Диссертационная работа выполнена на основе обобщения материалов исследований автора, проведенных в 2017-2019 гг. на опытном поле лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский АНЦ». Объекты исследования: яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum*), минеральные удобрения, органические кислоты.

Почва опытного участка – лугово-черноземная среднесуглинистая со следующими агрохимическими показателями в пахотном слое: содержание гумуса (по Тюрину) – 6,4-6,6%, повышенное содержание P_2O_5 – 125-132 мг/кг и очень высокое содержание K_2O (по Чирикову) – более 180 мг/кг почвы. Суммарное количество поглощенных оснований (по Каппену) составляло – 32,1 ммоль/100 г почвы, доля Ca^{2+} – 89%, Mg^{2+} – 11% и $Na^+ < 1\%$, pH (по методу ЦИНАО) – 6,4-6,7.

Метеорологические условия в годы проведения исследований были различными. В 2017 году отмечен дефицит атмосферных осадков, ГТК за май-август составил 0,70 при среднем многолетнем значении 1,10. Температура воздуха находилась в пределах среднемноголетних значений. Вегетационный период 2018 года – влажный, выпало 245 мм осадков при норме 197 мм. Средняя температура воздуха за период май-август была близка к среднемноголетним значениям. Распределение осадков за вегетационный период 2019 года было неравномерным, ГТК 0,97. Средняя температура воздуха составила 16,5°C и была близкой к среднему многолетнему значению (16,2°C).

Для установления ростостимулирующих концентраций растворов органических кислот для предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы был заложен лабораторный опыт в соответствии с ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести». Схема опыта состояла из следующих вариантов предпосевной обработки семян: 1. Контроль (без обработки); 2. Дистиллированная вода; 3. Янтарная кислота ($10^{-3}M$); 4. Янтарная кислота ($10^{-5}M$); 5. Янтарная кислота ($10^{-7}M$); 6. Яблочная кислота ($10^{-3}M$); 7. Яблочная кислота ($10^{-5}M$); 8. Яблочная кислота ($10^{-7}M$); 9. Щавелевая кислота ($10^{-3}M$); 10. Щавелевая кислота ($10^{-5}M$); 11. Щавелевая кислота ($10^{-7}M$); 12. Лимонная кислота ($10^{-3}M$); 13. Лимонная кислота ($10^{-5}M$); 14. Лимонная кислота ($10^{-7}M$). Повторность в опыте четырехкратная, во времени – трехкратная. В опыте были определены: всхожесть и энергия прорастания, длина главного корня и проростка, сырая и сухая биомасса корней и проростков. Рассчитан стимуляционный коэффициент.

Полевые исследования по изучению эффективности применения органических кислот для предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы проведены 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 (2x9) входили следующие варианты:

Фактор А – минеральные удобрения: 1. Контроль (без удобрений); 2. Внесение азотно-фосфорных удобрений в дозе $N_{30}P_{60}$.

Фактор Б – предпосевная обработка семян: 1. Контроль (без обработки семян); 2. Янтарная кислота ($10^{-3}M$); 3. Янтарная кислота ($10^{-7}M$); 4. Яблочная кислота ($10^{-3}M$); 5. Яблочная кислота ($10^{-5}M$); 6. Щавелевая кислота ($10^{-3}M$); 7. Щавелевая кислота ($10^{-5}M$); 8. Лимонная кислота ($10^{-3}M$); 9. Лимонная кислота ($10^{-7}M$).

Обработку семян (смачивание с последующим просушиванием) проводили непосредственно перед посевом пшеницы. Расход рабочего раствора 70 л/т семян. Расположение делянок – систематическое, площадь делянки 16 м² (2 x 8),

четырёхкратная повторность. В опыте высевался среднеспелый сорт яровой мягкой пшеницы Омская 36 селекции Омского АНЦ (СибНИИСХ). Норма высева - 4,5 млн всхожих зёрен на 1 га. В качестве удобрений использовались: аммиачная селитра (азота – 34%), аммофос (азота – 12%, фосфора – 52%). Минеральные удобрения вносили локально до посева. Агротехника – общепринятая для зоны. Урожайность приведена к 100% чистоте и влажности 14%.

Анализ почвенных и растительных образцов проводили стандартными агрохимическими методами. В почвенных пробах определяли запасы продуктивной влаги термостатно-весовым методом; содержание нитратного азота с дисульфобензойной кислотой по Грандваль-Ляжу, подвижного фосфора и обменного калия по методу Чирикова в соответствии ГОСТ 26204-91 (Аринушкина, 1970). Определение валового азота, фосфора и калия в растительных образцах проводили из одной навески по В.В. Пиневику (1955) с окончанием определения валового азота по методу полумикроКъельдаля, фосфора – по Дениже, калия – на пламенном фотометре. Фенологические наблюдения, определение сохранности растений к уборке и структурный анализ выполнены по методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989, 2019). Площадь листьев рассчитывали по методике В.В. Анисеева, Ф.Ф. Кутузова (1961). Накопление биомассы растениями в течение онтогенеза определяли весовым методом. Фотосинтетический потенциал посевов определяли как сумму площади листьев растений на 1 га за каждые сутки определенного межфазного периода. Чистую продуктивность фотосинтеза по А.А. Ничипоровичу рассчитывали по формуле: $ЧПФ = (B_2 - B_1) / 0,5 \cdot (L_1 + L_2) \cdot n$, где $(B_2 - B_1)$ – прирост сухой массы за n дней, $0,5 \cdot (L_1 + L_2)$ – средняя рабочая площадь листьев за время данного периода, n - число дней в учетном периоде. Коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза по формуле: $K_{хоз} = W_3 / W_H \cdot 100\%$, где W_3 – масса зерна, г; W_H – надземная биомасса растений, полученная при уборке, г (Ничипорович, 1956, 1961, 1973). Анализ качества зерна проведен в лаборатории качества зерна ФГБНУ «Омский АНЦ» по общепринятым методикам.

Экономическую и биоэнергетическую оценку приемов проводили с использованием методических рекомендаций и нормативов СибНИИСХ и ОмГАУ (Кошелев, 1987; Ермохин, Неклюдов, 1994). Статистическая обработка опытных данных проведена статистическими методами корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову (1985).

3. Влияние органических кислот на морфофизиологические показатели проростков яровой мягкой пшеницы

В лабораторном опыте исследованиями установлены ростостимулирующие концентрации рабочих растворов органических кислот для предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы, оказывающие влияние на морфофизиологические параметры проростков. В опыте отмечена тенденция повышения энергии прорастания, всхожести семян и длины проростков яровой мягкой пшеницы. Существенно увеличилась сырая масса корней яровой пшеницы в вариантах предпосевной обработки семян янтарной кислотой ($10^{-3}M$; $10^{-7}M$), яблочной кислотой ($10^{-3}M$) и лимонной кислотой ($10^{-3}M$; $10^{-7}M$) (рис. 1).

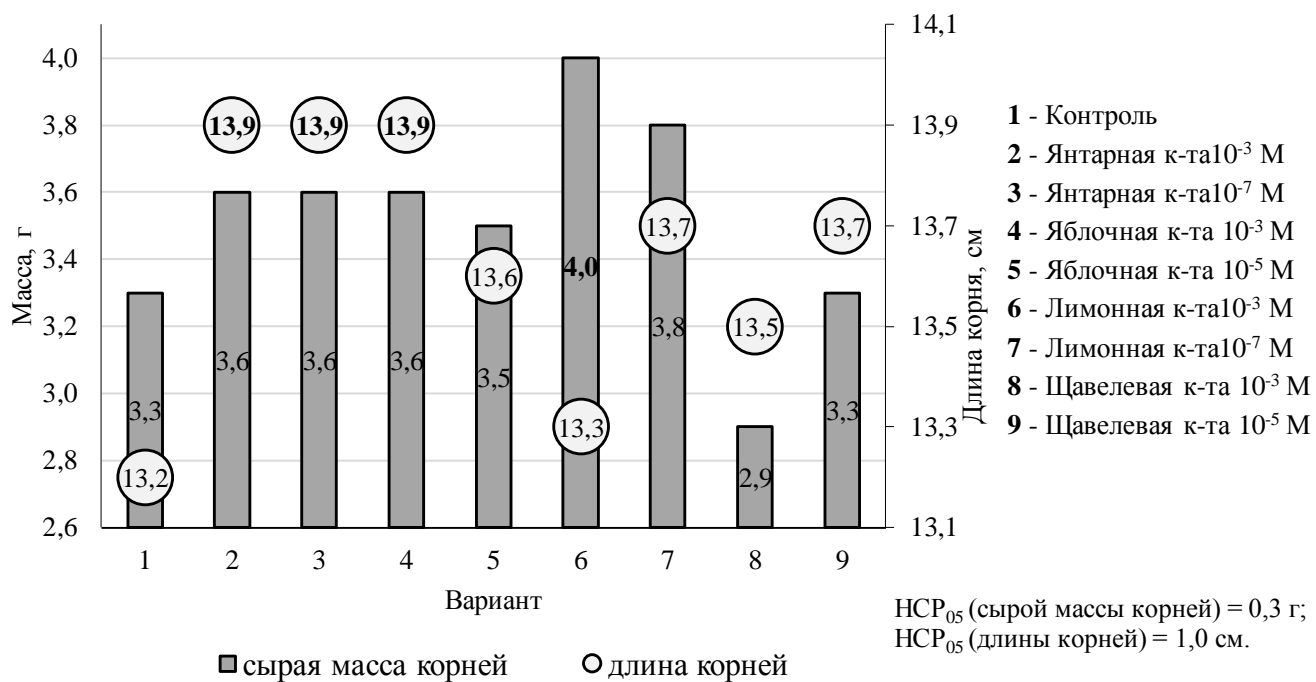


Рисунок 1 – Влияние органических кислот на морфофизиологические параметры проростков яровой мягкой пшеницы

Наибольшее увеличение длины главного корня до 13,9 см получено при предпосевной обработке семян янтарной (10^{-3} М; 10^{-7} М) и яблочной кислотами (10^{-3} М). Обработка семян лимонной кислотой в концентрации 10^{-3} М увеличила сырую массу корней до 4 г, что на 21% выше, чем в контрольном варианте.

Максимальный стимуляционный эффект получен от обработки семян раствором янтарной кислоты в концентрации 10^{-3} М составил 0,25 т/га зерна. На основании проведенных лабораторных исследований была составлена схема полевого опыта из наиболее эффективных концентраций растворов органических кислот.

4. Влияние органических кислот и минеральных удобрений на рост и развитие яровой мягкой пшеницы

4.1 Формирование ассимиляционной поверхности яровой мягкой пшеницы

Проведенные нами исследования показали, что формирование ассимиляционной поверхности по фазам вегетации яровой мягкой пшеницы зависело от состава и концентрации рабочего раствора для предпосевной обработки семян, а также от условий минерального питания (рис. 2).

В среднем за годы исследований обработка семян органическими кислотами яровой мягкой пшеницы увеличивала ассимиляционную поверхность в основные фазы развития на 18% в сравнении с контрольным вариантом. Улучшение условий минерального питания (фон $N_{30}P_{60}$) способствовало увеличению площади листовой поверхности. К фазе кущения площадь листовой поверхности составила в зависимости от предпосевной обработки семян на этом фоне – 18-21 тыс. $m^2/га$, к фазе выхода в трубку – 23-26 тыс. $m^2/га$, к фазе колошения – 33-36 тыс. $m^2/га$.

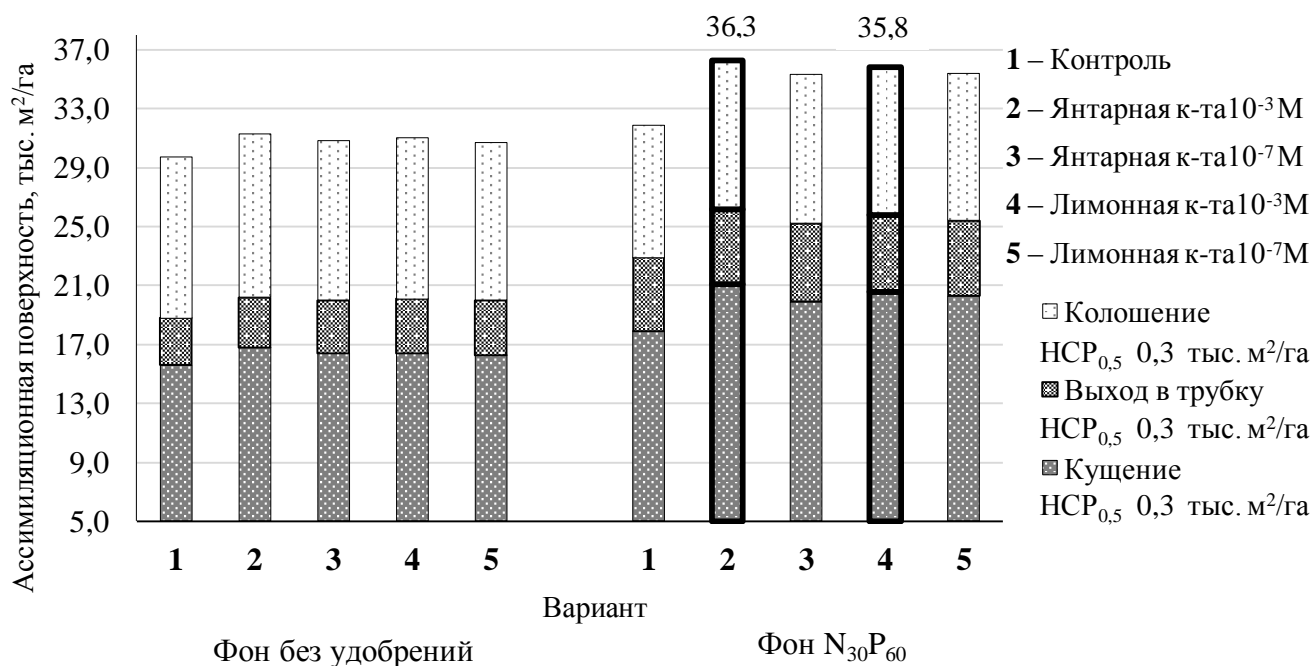


Рисунок 2 – Влияние предпосевной обработки семян органическими кислотами и минеральных удобрений на динамику формирования ассимиляционной поверхности яровой пшеницы, в среднем за 2017-2019 гг.

Максимальная величина ассимиляционной поверхности сформировалась к фазе колошения на фоне внесения азотно-фосфорных удобрений в вариантах предпосевной обработки семян водным раствором янтарной и лимонной кислот в концентрации $10^{-3}M$ и составила 36,3 и 35,8 тыс. $m^2/га$, соответственно. Интенсивность нарастания площади листовой поверхности в этих вариантах была выше, чем в контрольном варианте в фазу кущения на 18 и 14%, в фазу выхода в трубку – на 15 и 11% и в фазу колошения – на 14 и 11%, соответственно.

4.2 Фотосинтетическая продуктивность посевов яровой мягкой пшеницы

Теоретическими и практическими исследованиями установлено, что интенсивность фотосинтеза растений определяет продуктивность сельскохозяйственных культур и качество получаемого урожая. Результаты наших исследований показали, что фотосинтетический потенциал яровой мягкой пшеницы зависел от условий минерального питания и предпосевной обработки семян растворами органических кислот (таблица 1).

В сумме за период всходы-колошение более высокие показатели фотосинтетического потенциала получены на удобренном фоне ($N_{30}P_{60}$) в вариантах предпосевной обработки семян янтарной и лимонной кислотами, который изменялся в пределах от 638,9 до 663,4 тыс. $m^2/га$ в сутки. Наибольшим он был в варианте с применением янтарной кислоты в концентрации $10^{-3}M$ (663,4 тыс. $m^2/га$ в сутки), что в 1,3 раза выше, чем в контрольном варианте (без удобрений и предпосевной обработки).

Чистая продуктивность фотосинтеза, отражающая накапливаемую растениями за определенный период времени общую сухую биомассу, в эксперименте варьировала от 5,1 до 5,5 $г/м^2$ в сутки. Растения пшеницы на фоне внесения $N_{30}P_{60}$ интенсивнее накапливали сухое вещество. На удобренном фоне при обработке семян яровой мягкой пшеницы янтарной кислотой ($10^{-3}M$) чистая продуктивность фотосинтеза достигала

5,5 г/м² сутки, что на 8% выше, чем в варианте без применения минеральных удобрений и предпосевной обработки семян.

Таблица 1 – Влияние предпосевной обработки семян органическими кислотами и минеральных удобрений на фотосинтетическую продуктивность посевов яровой мягкой пшеницы за период от всходов до колошения, в среднем за 2017-2019 гг.

Вариант предпосевной обработки семян (В)		Фотосинтетический потенциал, тыс. м ² сутки/га	Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м ² ·сутки
Фон без удобрений (А)			
Контроль (без обработки)	-	511,8	5,1
Янтарная кислота	10 ⁻³ М*	544,9	5,3
	10 ⁻⁷ М	535,8	5,3
Лимонная кислота	10 ⁻³ М	538,4	5,4
	10 ⁻⁷ М	534,2	5,3
Фон N ₃₀ P ₆₀			
Контроль (без обработки)	-	578,0	5,2
Янтарная кислота	10 ⁻³ М	663,4	5,5
	10 ⁻⁷ М	638,9	5,4
Лимонная кислота	10 ⁻³ М	652,2	5,4
	10 ⁻⁷ М	644,1	5,4
НСР ₀₅	А	18,7	0,2
	В	39,7	0,4
	АВ	56,2	F _φ <F _T

Примечание: * - концентрация раствора

Установлена прямая сильная зависимость ($r = 0,97$) урожайности яровой мягкой пшеницы от суммарной величины фотосинтетического потенциала за период от всходов до колошения (рис. 3). Тренд линейного уравнения показал, что при интенсификации процесса фотосинтеза урожайность культуры возрастала.

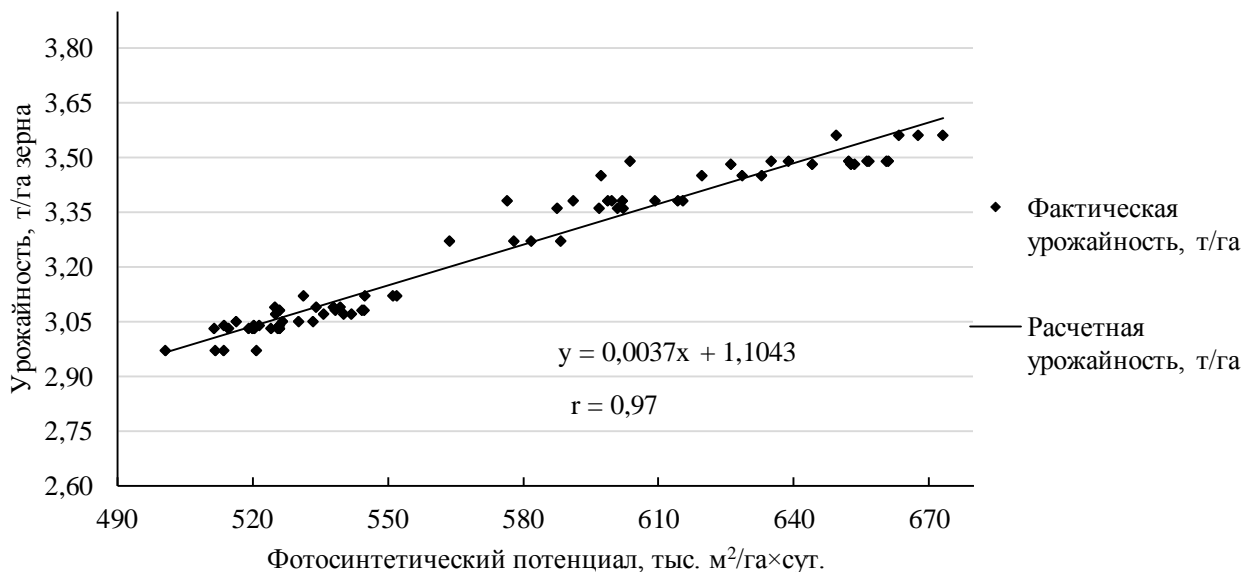


Рисунок 3 – Зависимость урожайности яровой мягкой пшеницы (Y, т/га) от величины фотосинтетического потенциала (X, тыс. м²/га·сут), в среднем за 2017-2019 гг. (n=57)

Таким образом, исследованиями установлено, что применение минеральных удобрений в комплексе с предпосевной обработкой семян янтарной кислотой ($10^{-3}M$) увеличивало фотосинтетическую продуктивность посевов яровой мягкой пшеницы.

4.3 Динамика накопления сухого вещества растениями яровой мягкой пшеницы

Предпосевная обработка семян органическими кислотами на фоне ($N_{30}P_{60}$) оказала положительное влияние на синтез сухого вещества и увеличила относительную скорость прироста биомассы растений яровой мягкой пшеницы. Установлено, что на удобренном фоне накопление биомассы происходило интенсивнее (рис. 4).

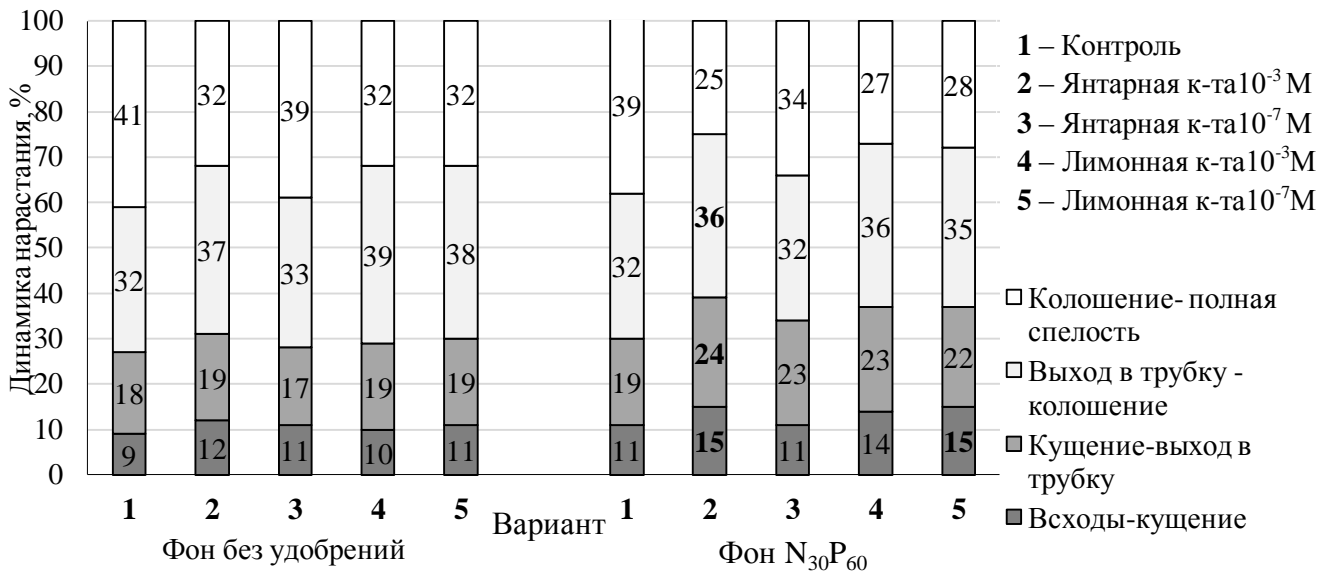


Рисунок 4 – Влияние предпосевной обработки семян органическими кислотами и минеральных удобрений на динамику нарастания воздушно-сухой биомассы яровой мягкой пшеницы в зависимости от предпосевной обработки семян, в среднем за 2017-2019 гг.

Наращение надземной массы в период от всходов до кущения составляло 11-15% от общего накопления сухого вещества к фазе полной спелости, к фазе выхода в трубку – 19-24%. В период выход в трубку-колошение прирост сухого вещества достигал 32-36%. Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{60}$ увеличило накопление воздушно-сухого вещества яровой мягкой пшеницей в фазу полной спелости на 15%. Предпосевная обработка семян органическими кислотами на удобренном фоне повысила накопление воздушно-сухого вещества к фазе полной спелости на 0,17-0,76 т/га. Максимальная биомасса растений сформировалась на удобренном фоне в вариантах обработки семян янтарной кислотой в концентрации $10^{-3}M$ и лимонной кислотой в концентрации $10^{-7}M$, которая составила 10,23 и 10,03 т/га воздушно-сухого вещества, соответственно. Это на 21 и 24% выше, чем в контрольном варианте. Следовательно, комплексное применение минеральных удобрений и органических кислот интенсифицировало биолого-физиологические процессы культуры.

5. Содержание макроэлементов в растениях яровой мягкой пшеницы

Минеральное питание оказывает влияние на процесс и темпы формирования отдельных органов растения, на направление и интенсивность биохимических

процессов и в конечном результате на качество и величину получаемого урожая, что доказано многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных авторов.

Анализ экспериментальных данных показал, что при предпосевной обработке семян органическими кислотами содержание в растениях валовых форм фосфора и калия не изменилось, а по содержанию азота отмечена тенденция повышения на 0,17-0,35% абсолютной величины в сравнении с контролем. Установлено, что содержание азота в зерне варьировало в пределах от 2,36 до 2,71%. Максимальное накопление азота в зерне 2,71% было получено на удобренном фоне в варианте предпосевной обработки семян янтарной кислотой в концентрации $10^{-3}M$.

На минеральном фоне ($N_{30}P_{60}$) в варианте без предпосевной обработки семян отмечено увеличение выноса азота зерном на 18% и фосфора на 19%. Предпосевная обработка семян органическими кислотами на этом фоне способствовала увеличению выноса азота зерном на 4,23-13,8 кг/га и калия на 0,37-3,64 кг/га. Вынос фосфора основной и побочной продукцией пшеницы изменялся незначительно.

6. Эффективность применения минеральных удобрений и органических кислот при возделывании яровой мягкой пшеницы

6.1 Урожайность яровой мягкой пшеницы

Улучшение условий минерального питания и предпосевная обработка семян способствовали более интенсивному накоплению органического вещества и повышению фотосинтетической активности посевов пшеницы, что, в итоге, положительно отразилось на продуктивности культуры. Установлено, что эффективность предпосевной обработки семян растворами органическими кислотами зависела от условий минерального питания. Так, на фоне $N_{30}P_{60}$ в вариантах предпосевной обработки семян органическими кислотами получены прибавки на уровне 13-20% в сравнении с вариантом без внесения минеральных удобрений (таблица 2). Прибавка урожайности на минеральном фоне варьировала от 0,09 до 0,29 т/га зерна.

Таблица 2 – Влияние предпосевной обработки семян органическими кислотами и минеральных удобрений на урожайность яровой мягкой пшеницы (фон $N_{30}P_{60}$), в среднем за 2017-2019 гг.

Вариант предпосевной обработки семян		Урожайность, т/га	Прибавка, т/га		
			от удобрений (А)	от ПОС** (В)	общая (АВ)
Контроль (без обработки)	-	3,27	0,30	-	-
Янтарная	$10^{-3}M^*$	3,56	0,44	0,29	0,59
	$10^{-7}M$	3,49	0,43	0,22	0,52
Яблочная	$10^{-3}M$	3,38	0,35	0,11	0,41
	$10^{-5}M$	3,45	0,40	0,18	0,48
Щавелевая	$10^{-3}M$	3,38	0,34	0,11	0,41
	$10^{-5}M$	3,36	0,34	0,09	0,39
Лимонная	$10^{-3}M$	3,49	0,41	0,22	0,52
	$10^{-7}M$	3,48	0,39	0,21	0,51
НСР ₀₅		0,25	0,15	0,11	0,23

Примечание: * - концентрация раствора, ** - предпосевная обработка семян

Установлено, что обработка семян растворами щавелевой кислоты (10^{-3}M ; 10^{-5}M) и яблочной кислоты (10^{-3}M) не оказала достоверного влияния на продуктивность яровой мягкой пшеницы. При предпосевной обработке семян яблочной кислотой (10^{-5}M) получена прибавка 0,18 т/га зерна. Прибавка на уровне 0,21-0,22 т/га отмечена в вариантах обработки семян лимонной кислотой (10^{-3}M ; 10^{-7}M) и янтарной кислотой (10^{-7}M). Максимальная урожайность в опыте была получена в варианте обработки семян янтарной кислотой в концентрации 10^{-3}M и составила 3,56 т/га зерна, при этом прибавка к контролю составила 0,29 т/га зерна. Прибавка от предпосевной обработки семян в этом варианте в комплексе с внесением удобрений составила 0,59 т/га, что на 20% выше, чем в контрольном варианте.

6.2 Структура урожая яровой мягкой пшеницы

Анализ элементов структуры урожая яровой мягкой пшеницы позволил определить особенности формирования урожайности культуры в зависимости от предпосевной обработки семян и внесения азотно-фосфорных удобрений в условиях лесостепи Омской области (таблица 3).

Влияние фактора предпосевной обработки семян на изменение элементов структуры урожая пшеницы в большей степени проявилось на удобренном фоне. Установлено, что продуктивная кустистость увеличилась на 21-36%, число колосков в колосе на 12% и масса 1000 зерен на 8%, в сравнении с контролем. При предпосевной обработке семян раствором янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}M отмечено увеличение продуктивной кустистости (1,9), числа колосков в колосе (16,5 шт.), массы тысячи зерен (39,8 г), что позволило получить максимальную прибавку (20%) урожайности в опыте.

Таблица 3 – Влияние предпосевной обработки семян органическими кислотами и минеральных удобрений на формирование элементов структуры урожая яровой мягкой пшеницы, среднее за 2017-2019 гг.

Вариант предпосевной обработки семян (В)	Продуктивная кустистость	Количество, шт.		Масса, г		
		колосков в колосе	зерен в колосе	зерна с 1 растения	1000 зерен	
Фон без удобрений (А)						
Контроль (без обработки)	-	1,4	14,7	27,7	1,3	36,7
Янтарная	10^{-3}M^*	1,6	15,7	28,9	1,8	38,5
	10^{-7}M	1,5	15,7	28,1	1,5	37,3
Лимонная	10^{-3}M	1,5	15,9	28,6	1,8	38,6
	10^{-7}M	1,6	15,0	28,2	1,7	38,4
Фон $\text{N}_{30}\text{P}_{60}$						
Контроль (без обработки)	-	1,6	15,7	28,9	1,8	37,5
Янтарная	10^{-3}M	1,9	16,5	31,0	2,2	39,8
	10^{-7}M	1,7	16,1	29,4	2,0	38,5
Лимонная	10^{-3}M	1,8	16,2	31,4	2,0	39,4
	10^{-7}M	1,7	16,3	31,3	1,9	39,2
НСР ₀₅ А		0,12	0,44	$F_{\phi} < F_{\Gamma}$	0,23	1,04
В		0,26	0,94	$F_{\phi} < F_{\Gamma}$	0,49	2,20
АВ		0,36	1,33	$F_{\phi} < F_{\Gamma}$	0,70	3,11

Примечание: * - концентрация раствора

Увеличение числа продуктивных стеблей и озерненности колоса в вариантах предпосевной обработки семян янтарной и лимонной кислотами положительно повлияло на массу зерна с одного растения, что отразилось на урожайности культуры. Корреляционный анализ урожайности культуры с продуктивной кустистостью ($r = 0,88$) и массой зерна с одного растения ($r = 0,81$) доказал их значимость в формировании продуктивности культуры.

6.3 Оценка качества зерна яровой мягкой пшеницы

Качественный анализ зерна яровой мягкой пшеницы показал, что использование органических кислот для предпосевной обработки семян на минеральном фоне улучшало качество получаемого зерна (таблица 4).

Содержание белка в зерне увеличилось на 0,32-2,01% в зависимости от варианта опыта. Максимальное содержание белка получено на удобренном фоне в варианте предпосевной обработки семян янтарной кислотой в концентрации $10^{-3}M$, что на 2,01% выше, чем в контрольном варианте. На неудобренном фоне предпосевная обработка семян повысила сбор белка на 13-44 кг/га, а применение органических кислот для предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы в сочетании с внесением минеральных удобрений ($N_{30}P_{60}$) – на 26-79 кг/га. Максимальный сбор белка получен в варианте предпосевной обработки семян янтарной кислотой в концентрации $10^{-3}M$ и составил 551 кг/га. При этом 17% в общем сборе белка обеспечено приемом предпосевной обработки семян.

Таблица 4 – Влияние предпосевной обработки семян органическими кислотами и минеральных удобрений на качество зерна яровой пшеницы, в среднем за 2017-2019 гг.

Вариант предпосевной обработки семян (В)	Белок, %	Сбор белка, кг/га	Доля влияния ПОС** на сбор белка, %	Стекловидность, %	Клейковина, %	
Фон без удобрений (А)						
Контроль (без обработки)	-	13,46	400		51	28,7
Янтарная кислота	$10^{-3}M^*$	14,23	444	11	52	29,7
	$10^{-7}M$	13,74	422	5	51	28,4
Лимонная кислота	$10^{-3}M$	14,09	435	9	50	29,2
	$10^{-7}M$	14,06	436	9	49	29,0
Фон $N_{30}P_{60}$						
Контроль (без обработки)	-	14,44	473		50	29,3
Янтарная кислота	$10^{-3}M$	15,47	551	17	52	30,5
	$10^{-7}M$	14,95	523	11	52	29,8
Лимонная кислота	$10^{-3}M$	15,14	530	12	52	29,9
	$10^{-7}M$	15,15	528	12	51	30,0
НСР ₀₅ А		0,09	5		0,91	2,10
В		0,18	10		$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$
АВ		$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$		$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$

Примечание: * - концентрация раствора; ** - предпосевная обработка семян

Наиболее высокие технологические показатели зерна получены в варианте комплексного применения минеральных удобрений и предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы янтарной кислотой в концентрации $10^{-3}M$. Натура в этом варианте составила 745 г/л, стекловидность – 52%, клейковина 30,5%, по показателю ИДК в опыте получено зерно первой группы качества.

7. Экономическая и биоэнергетическая оценка эффективности применения минеральных удобрений и органических кислот для предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы

В условиях рыночной экономики важнейшей задачей при производстве растениеводческой продукции является повышение рентабельности производства зерна. Анализ экономической эффективности показал, что предложенный прием возделывания яровой мягкой пшеницы, включающий предпосевную обработку семян органическими кислотами на двух фонах удобренности (неудобренный, $N_{30}P_{60}$) является экономически эффективным. Дополнительная прибыль в среднем за три года изменялась в пределах от 746 до 2160 руб./га и была максимальной в вариантах обработки семян янтарной и лимонной кислотами на удобренном фоне (таблица 5). Наибольшая прибыль получена при предпосевной обработке семян янтарной кислотой ($10^{-3}M$) и составила 9805 руб./га.

Таблица 5 – Экономическая и биоэнергетическая эффективность применения органических кислот для предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы (фон $N_{30}P_{60}$), в среднем за 2017-2019 гг.

Вариант ПОС		Урожайность, т/га	Себестоимость, тыс. руб./т	Прибыль, тыс. руб./га	Рентабельность, %	η^*
Контроль	-	3,27	5,16	7,65	57	2,90
Янтарная кислота	$10^{-3}M$	3,56	4,75	9,81	72	3,15
	$10^{-7}M$	3,49	4,84	9,29	69	3,09
Яблочная кислота	$10^{-3}M$	3,38	5,00	8,46	63	2,99
	$10^{-5}M$	3,45	4,89	8,99	66	3,06
Щавелевая кислота	$10^{-3}M$	3,38	5,00	8,46	63	2,99
	$10^{-5}M$	3,36	5,03	8,32	61	2,98
Лимонная кислота	$10^{-3}M$	3,49	4,84	9,29	69	3,09
	$10^{-7}M$	3,48	4,85	9,22	68	3,08

Примечание: η^* - энергетический коэффициент

На основании экономической и биоэнергетической оценки эффективности применения органических кислот при возделывании яровой мягкой пшеницы установлено, что применение янтарной кислоты в концентрации $10^{-3}M$ для предпосевной обработки семян пшеницы являлось наиболее эффективным приемом. Предпосевная обработка семян в комплексе с применением минеральных удобрений ($N_{30}P_{60}$) обеспечила прибавку урожайности на уровне 20%. Дополнительный доход в этом варианте составил 2160 руб./га при рентабельности 72%. Коэффициент биоэнергетической эффективности – 3,15.

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 ($10^{-3}M$; $10^{-7}M$), яблочной ($10^{-3}M$; $10^{-5}M$), щавелевой ($10^{-3}M$; $10^{-5}M$), лимонной ($10^{-3}M$; $10^{-7}M$) 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 ($10^{-3}M$; $10^{-7}M$), яблочной кислотой ($10^{-3}M$) и лимонной кислотой ($10^{-3}M$; $10^{-7}M$). 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 $10^{-3}M$.

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 $10^{-3}M$ на фоне внесения $N_{30}P_{60}$ и составила 36,3 и 35,8 тыс. $m^2/га$, 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. $m^2/га$ в сутки) за период от всходов до колошения отмечен при обработке семян янтарной кислотой ($10^{-3}M$), 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 $10^{-3}M$ 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 $10^{-3}M$, 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}M . 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}M), что на 2,01% выше, чем в контрольном варианте. Наиболее высокие технологические показатели зерна получены при комплексном применении минеральных удобрений ($\text{N}_{30}\text{P}_{60}$) и предпосевной обработки семян яровой мягкой пшеницы янтарной кислотой (10^{-3}M). 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 ($\text{N}_{30}\text{P}_{60}$) прибавки урожайности составили 0,11-0,29 т/га зерна. Обработка семян щавелевой кислотой (10^{-3}M ; 10^{-5}M) и яблочной кислотой (10^{-3}M) не оказала влияние на продуктивность яровой мягкой пшеницы. Предпосевная обработка семян лимонной кислотой (10^{-3}M ; 10^{-7}M) и янтарной кислотой (10^{-7}M) обеспечила прибавку на уровне 0,21-0,22 т/га зерна. При предпосевной обработке семян яблочной кислотой (10^{-5}M) получена прибавка 0,18 т/га зерна. Максимальную прибавку 0,59 т/га зерна обеспечило применение янтарной кислоты в концентрации 10^{-3}M 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}M), 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}M (или 0,012%) для предпосевной обработки семян в комплексе с основным внесением минеральных удобрений в дозе $\text{N}_{30}\text{P}_{60}$, обеспечивающее получение прибавки на уровне 0,59 т/га зерна.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ

1. Цыганова, Н.А., Влияние янтарной кислоты на фотосинтетическую активность яровой мягкой пшеницы / Н.А. Цыганова, Н.А. Воронкова, В.Д. Дороненко, Н.Ф. Балабанова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2019. – №3(35). – С.13-20.

2. **Цыганова, Н.А.** Эффективность применения органических кислот на яровой мягкой пшенице / Н. А. Цыганова // *Агрехимический вестник*. – 2020. – №3. – С.71-74.

Публикации в изданиях, индексируемых SCOPUS

3. Volkova, V.A. Growth-stimulating role of chelates and organic acids /V.A. Volkova, **N.A. Tsyganova**, N.A. Voronkova, E.Yu. Tyumentseva, M.N. Voronkova // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – 2020. С. 62027.

Статьи в сборниках и материалах конференций

4. **Цыганова, Н.А.** Эффективность предпосевной обработки семян стимуляторами роста / Н.А. Цыганова, Е.В. Тукмачева, В.А. Волкова, Н.А. Воронкова // В книге: Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства. Материалы 6-й международной научно-технической конференции. – Омск, 2016. – С.173-174.

5. **Цыганова, Н.А.** Предпосевная обработка семян стимуляторами роста в сверхмалых дозах / Н.А. Цыганова, Н.А. Воронкова, В.Д. Дороненко, В.А. Волкова // Применение химических веществ, ионизирующих и неионизирующих излучений в агробиотехнологиях. Сборник докладов круглого стола в рамках XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. – Москва, 2016. – С.37-40.

6. Воронкова, Н.А. Применение янтарной кислоты и хелата меди в агротехнологии яровой мягкой пшеницы / Н.А. Воронкова, В.А. Волкова, **Н.А. Цыганова**, Н.Ф. Балабанова, В.Д. Дороненко // В сборнике: Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития. Сборник научных трудов по материалам Международной научной экологической конференции. – Краснодар, 2020. – С.411-414.

7. Волкова, В.А. Оценка влияния предпосевной обработки хелатами и стимуляторами роста на начальный период онтогенеза яровой мягкой пшеницы / В.А. Волкова, **Н.А. Цыганова**, Н.А. Воронкова, В.Д. Дороненко // В сборнике: Актуальные проблемы научного обеспечения земледелия Западной Сибири. Сборник научных статей: материалы конференции. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Омский аграрный научный центр". – Омск, 2020. – С.49-55.