

На правах рукописи

Ерофеева Елена Николаевна

**ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПРЕДПОСЕВНОЙ
ОБРАБОТКИ СЕМЯН TRITICUM AESTIVUM ПРИРОДНЫМИ
РЕГУЛЯТОРАМИ РОСТА**

03.02.08 – экология (биологические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Казань – 2011

Работа выполнена на кафедре биологии, химии, технологии хранения и переработки продукции растениеводства агрономического факультета ФГОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия»

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук,
профессор Костин Владимир Ильич

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Хохлова Людмила Петровна

доктор биологических наук, профессор
Ильина Наталья Анатольевна

Ведущая организация: ФГОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия»

Защита диссертации состоится «21» апреля 2011 года в 14³⁰ часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.081.19 при Казанском (Приволжском) Федеральном университете по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18.

Факс: (843) 238-76-01; e-mail: attestat.otdel@ksu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского Казанского (Приволжского) Федерального университета по адресу: г. Казань, ул. Кремлевская, 35.

Автореферат разослан « 16 » марта 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного Совета
кандидат биологических наук, доцент Р. М. Зелеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Продовольственная безопасность в 21 веке становится одной из наиболее острых экологических проблем. Всё возрастающее количество народонаселения планеты требует увеличения производства продуктов питания, а это, прежде всего, увеличение производства растениеводческой продукции.

В настоящее время обозначилась тенденция экологизации производства продуктов питания, которая потребовала применения альтернативных методов, с минимально возможным уровнем техногенного загрязнения окружающей среды (Яшутин, Дробышев, Хомченко, 2008). В связи с токсичностью пестицидов, особое значение приобретают регуляторы роста природного происхождения. Наиболее безопасным и одновременно действенным способом борьбы с грибковыми и бактериальными болезнями является применение универсальных биологических препаратов, обладающих стимулирующими, защитными свойствами и способствующих повышению устойчивости растений к различным неблагоприятным факторам окружающей среды (Усанова, Тисленко, 2009; Иванов, Чернуха, 2010). Многие препараты способны усиливать метаболические процессы, продуцировать экзо- и эндотоксины, ингибирующие поступление тяжелых металлов (ТМ) в систему «почва – растения». Эффективность и экологическая безопасность биологических препаратов способствуют всё более широкому их внедрению при выращивании сельскохозяйственных растений для получения экологически чистой продукции.

В связи с возрастающей антропогенной нагрузкой на окружающую природную среду в настоящее время, имея в виду качество растениеводческой продукции, большое внимание уделяют содержанию в ней тяжелых металлов (Лукаткин, 2007; Фатхутдинова, 2008; Кошкин, 2010). Поступая в организм человека с продуктами питания, ТМ оказывают токсическое, канцерогенное, тератогенное, мутагенное действие. Тяжелые металлы являются протоплазматическими ядами. В связи с этим актуальным является поиск эффективных методов снижения поступления ТМ в растения.

Изложенное послужило основанием для выбора темы и поиска альтернатив в деле повышения урожайности и улучшения качества озимой пшеницы, основной продовольственной культуры. Как одну из них, можно рас-

смаатривать предпосевную обработку семян регуляторами роста. Современной наукой отмечается, что применение регуляторов роста оказывает существенное влияние на равномерное появление всходов и энергию прорастания, что впоследствии отражается на общем состоянии посевов, росте и развитии растений в онтогенезе, на урожайность и качественные показатели зерна (Алексеева, Аникеева, 2009; Космынина, 2009; Иванов, Чернуха, 2010).

Исследования проводились в соответствии с тематическими планами и программами Министерства сельского хозяйства РФ (№ государственной регистрации 120.0600.149), а также по обычным программам и являлись составной частью плана научной работы Ульяновской ГСХА.

Цель и задачи. Целью исследований явились разработка и обоснование системы предпосевной обработки семян *Triticum aestivum* природными регуляторами роста (гуми, пектин, фитоспорин) для установления эколого-физиологических эффектов.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие задачи:

- изучить влияние предпосевной обработки семян природными регуляторами роста на показатели прорастания и посевные качества семян;
- исследовать роль предпосевной обработки семян в развитии адаптационных реакций растений при действии неблагоприятных факторов среды осенне-зимне-весеннего периода;
- оценить воздействие изучаемых факторов на продукционные процессы и качество продукции *Triticum aestivum*;
- выявить влияние регуляторов роста на предотвращение аккумуляции тяжелых металлов в растениях *Triticum aestivum*;
- дать энергетическую и экономическую оценку применения предпосевной обработки семян *Triticum aestivum* регуляторами роста.

Научная новизна. Впервые в почвенно-климатических условиях Среднего Поволжья выполнены комплексные исследования по изучению и внедрению природных регуляторов роста в технологии возделывания озимой пшеницы для повышения устойчивости к неблагоприятным факторам среды, продуктивности и получения экологически чистого зерна.

Разработана и обоснована система предпосевной обработки семян пектином, гуми и фитоспорином. Установлено положительное влияние исследуемых регуляторов роста на адаптацию *Triticum aestivum* к неблагопри-

ятым факторам среды осенне-зимне-весеннего периода, продуктивность и качество получаемой продукции, а также предотвращение загрязнения растений тяжелыми металлами.

Выявлено, что протравливание семян перед посевом пестицидом Раксон ингибирует некоторые важнейшие физиолого-биохимические процессы, а также увеличивает вероятность аккумуляции тяжелых металлов в растениях.

Подтверждена эффективность природных регуляторов роста, показано, что их использование может способствовать снижению доз вносимых минеральных удобрений.

Практическая значимость. Результаты наших исследований, полученные в лабораторных и полевых опытах, показывают, что гуми, пектин и фитоспорин обладают полифункциональной физиологической активностью, повышают адаптацию растений к неблагоприятным факторам среды, продуктивность *Triticum aestivum*, препятствуют поступлению тяжелых металлов в растения, способствуют формированию экологически чистого зерна более высокого качества.

Предложенная производству обработка семян озимой пшеницы препаратами гуми и пектином является экологически безопасной, малозатратной, повышает экономический и энергетический эффект.

Полученные данные используются в учебном процессе по курсам физиология и биохимия растений, экология на агрономическом и биотехнологическом факультетах, а также представляют интерес для специалистов сельского хозяйства.

Основные положения, выносимые на защиту.

- в результате предпосевной обработки семян пектином, гуми и фитоспорином интенсифицируются метаболические процессы при прорастании семян *Triticum aestivum*;
- предпосевная обработка семян природными регуляторами роста способствует формированию адаптивных реакций, оптимизации формирования листовой поверхности, накоплению биомассы растениями *Triticum aestivum*, улучшению биохимических показателей качества зерна;
- регуляторы роста снижают поступление тяжелых металлов в растения *Triticum aestivum*;

- при применении регуляторов роста повышается энергетическая и экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на Международной научно-практической конференции посвященной памяти профессора А.Ф. Блиннохватава «Образование, наука, практика: инновационный аспект» (Пенза, 2008), на Международной научно-практической конференции посвященной 65-летию образования Волгоградской сельскохозяйственной академии (Волгоград, 2009), Международной научно-практической конференции «Инновации сегодня: образование, наука, производство» (Ульяновск, 2009), III Всероссийском с международным участием конгрессе студентов и аспирантов-биологов «Симбиоз – Россия 2010» (Н.Новгород, 2010), Международной научно-практической конференции «Научное обеспечение агропромышленного производства» (Курск, 2010), 3-й Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы безопасности жизнедеятельности и промышленной экологии» (Ульяновск, 2010), II международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященный 50-летию РУДН «Инновационные процессы в АПК» (Москва, 2010), Всероссийской школе молодых учёных и специалистов «Перспективные технологии для современного сельскохозяйственного производства» (Ульяновск, 2010).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 10 статей, в том числе 2 в изданиях по перечню ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 7 глав, выводов и рекомендаций производству. Работа изложена на 122 страницах компьютерного текста, содержит 21 таблицу, 21 рисунок и 10 приложений. Список литературы включает 256 источников, в том числе 75 - зарубежных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Объекты, методы и условия проведения опытов

Объектом изучения являлась озимая пшеница сорта Ларс. В качестве регуляторов роста изучали следующие препараты: гиббереллин, гуми, пектин, фитоспорин, также использовали протравитель семян Раксон.

Гиббереллин – фитогормон, под его влиянием активируется деление клеток, способен снимать репрессию генов кодирующих репрессор, блокирующий активацию роста стебля. Обработка гиббереллином выводит семена и клубни некоторых растений из состояния покоя.

Гуми – универсальный препарат для стимуляции роста и развития, повышения устойчивости к болезням, вредителям, химическим пестицидным отравлениям, заморозкам, засухе и другим стрессам растений. Действующее вещество гуми – биоактивированные по молекулярному весу БМВ – соли гуминовых кислот природного происхождения и важнейшие микроэлементы адаптогенной природы.

Пектин (0,05 % концентрации) выделенный из *Amaranthus cruentus*. По химической природе пектин представляет собой высокомолекулярный полисахарид, а для исследований был взят пектин с молекулярной массой 1400-2000 у.е. который растворим в воде и образует эмульсию в состав которой входит Д-галактуроновая кислота и нейтральные моносахариды – галактоза, ксилоза, арабиноза.

Фитоспорин-М – промышленный бактериальный препарат нового поколения, биофунгицид с широким спектром и длительным действием. Основа фитоспорина – это живая споровая бактериальная культура *Bacillus subtilis* 26Д, которая внутри растения (эндофит) подавляет своими продуктами жизнедеятельности размножение многих грибных и бактериальных болезней, обладает свойством повышения иммунитета и стимуляции роста у растений, что важно для повышения их продуктивности и уменьшения повторных заражений.

Раксон – системный фунгицид для предпосевной обработки семян зерновых и технических культур. Действующее вещество – тебуконазол. Обладая системным действием, раксон проникает в семя, обеззараживает его от инфекции.

Повторность опытов четырехкратная, учетная площадь делянки 15 м². Фактор А – минеральные удобрения: 1. Контроль (неудобренный фон). 2. N₁₀₀ P₇₀ K₇₀ (основное внесение N₄₀ P₅₀ K₇₀, при посеве P₂₀, ранневесенняя подкормка N₆₀). Фактор В – регуляторы роста 1. Гиббереллин (0,001 %); 2. Гуми (4 %); 3. Пектин (0,05 %); 4. Фитоспорин (4 %); 5. Протравитель (0,01 %).

Обработку семян проводили перед посевом из расчета 2 литра раствора на 1 центнер семян. Агротехника выращивания озимой пшеницы в опыте соответствовала рекомендациям для Ульяновской области.

Полевые опыты проводили в 2007-2010 гг. на опытном поле Ульяновской ГСХА. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднесуглинистый. Содержание гумуса от 4,3 до 4,8%. Реакция среды в пахотном слое почвы слабокислая – $pH_{\text{сол.}}$ – 5,8-6,5, содержание подвижного фосфора повышенное – 105-150 мг/кг, обменного калия – высокое 137-200 мг/кг. Степень насыщенности основаниями составляет 96,4-97,9%, сумма поглощенных оснований 25,5-27,8 мг.-экв./100 г почвы.

В опытах проводили следующие наблюдения, учеты и анализы:

Определение энергии прорастания и всхожести - ГОСТ 12038-84, ГОСТ 12041-82. Степень набухаемости - по У. Руге в изложении О.А. Вальтера и др., (1959). Накопление биомассы - путем взвешивания растительных проб по фазам развития растений (по Третьякову (1990)). Определение ассимиляционной поверхности листьев - по Н.Н. Третьякову (1990). Определение густоты стояния и сохранности растений после перезимовки производили путем подсчета числа растений на трех учетных площадках делянки общей площадью 1 м². Тяжелые металлы в зерне и почве – методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Содержание редуцирующих сахаров в растениях - по Бертрану (Плешков, 1985). Количество клейковины – по ГОСТу 13586.1-68, качество клейковины - на приборе ИДК-1. Суммарный белок, аминокислотный состав – кислотным и щелочным гидролизом, далее – на аминокислотном анализаторе ЛКВ-4101. Содержание крахмала колориметрическим методом в изложении Б.П. Плешкова (1985). Учет урожая проводили методом сплошного обмолота зерна с каждой делянки комбайном «Сампо». Климограммы рассчитывались по методу Н. Walter (1955). Оценка энергетической эффективности проводилась по совокупным затратам энергоресурсов на возделывание культур и накоплению потенциальной энергии в урожае основной и побочной продукции по Е.И. Базарову, Е.В. Глинки (1983). Экономическую оценку рассчитывали на основе технологических карт по системе натуральных и стоимостных экономических показателей с использованием нормативов и расценок, принятых для производственных условий учхоза Ульяновской ГСХА. Данные результатов исследований подвергались математической обработке методами дисперсионного и корреляционно-

регрессионного анализов (Доспехов, 1985) на ПЭВМ с использованием программы Excel 2003 и 2007.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние предпосевной обработки семян регуляторами роста на начальные этапы онтогенеза *Triticum aestivum*

Прорастание семени – это возобновление развития зародыша, связанного с репликацией генома, а также возобновление роста зародыша путем деления, увеличения размеров клеток и дифференцировки, сопровождающиеся резким повышением интенсивности обмена, которое происходит тогда, когда семя попадает в теплую, влажную и аэробную среду. Воздействие в это время на семя различного рода факторами может усиливать процессы прорастания.

Обработка семян регуляторами роста положительно влияет на набухаемость семян озимой пшеницы. Наиболее резко возрастает степень набухания семян во временном интервале 6 – 12 часов, и составляет в среднем 47%. Через четыре часа после намачивания, степень набухаемости под влиянием пектина превышает контроль на 3,3 %. Применение протравителя на всех этапах после замачивания снижает поступление воды в развивающееся семя, наиболее сильно этот процесс проявляется через 6 часов и составляет 1,3 % по сравнению с контролем.

Исследуемые регуляторы роста повышают энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян, обработка протравителем, напротив, несколько снижает эти показатели. Наибольший эффект при этом наблюдается на варианте с применением пектина, по сравнению с контролем энергия прорастания увеличивается на 4,62 %, что практически сравнимо с действием гиббереллина. Лучший результат лабораторной всхожести (99%) наблюдается на варианте гуми.

Сила роста увеличивается при обработке пектином по сравнению с контрольным вариантом на 10,8%, гуми – на 9,4%. Учитывая морфологическую оценку проростков, наибольший эффект наблюдается на варианте с применением пектина, длина проростков здесь в среднем составляет 10,00 см, число зародышевых корешков – 3,9 шт., что выше контроля на 34,9% и

37,9% соответственно.

Полевая всхожесть на опытных вариантах в среднем по годам исследований превышает контроль на 5,08% на неудобренном фоне и на 4,65% на вариантах с внесением минеральных удобрений. Так же как и в лабораторных условиях, протравитель оказывает несколько угнетающее действие на полевую всхожесть, в среднем по годам она снижается на 0,09 – 0,94%.

Адаптация *Triticum aestivum* к неблагоприятным факторам среды осенне-зимне-весеннего периода при действии регуляторов роста

В природе не существует постоянных условий. Смена сезонов года, перепады температур, освещенности и влажности – все это создает нестабильную среду, в которой живут растительные организмы. Устойчивость растений к перезимовке обуславливается успешным закаливанием растений в осенний период (Туманов 1940, 1960). Оценку адаптации растений к неблагоприятным условиям осенне-зимне-весеннего периода мы проводили по способности их накапливать криозащитные осмолиты, такие как – редуцирующие сахара, свободные аминокислоты, пролин. Применение регуляторов роста способствует усилению накопления криопротекторов.

По мере снижения температуры в осенний период по годам исследований наблюдается увеличение в растениях количества редуцирующих сахаров (рис. 1.).

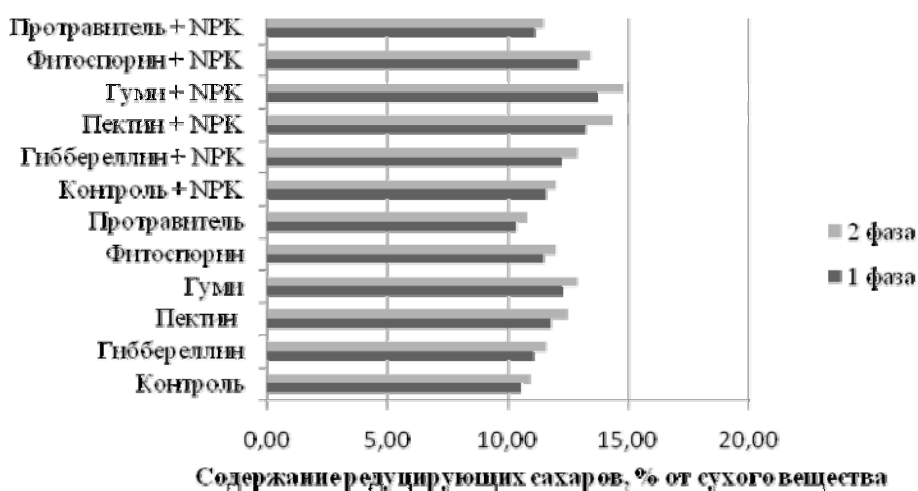


Рисунок 1. Содержание редуцирующих сахаров в растениях *Triticum aestivum* в зависимости от исследуемых факторов в период закаливания (среднее за 2007 – 2009 гг.)

В первую фазу закалки происходит увеличение содержания углеводов – с 13,20 до 17,73%, во вторую фазу - с 14,57 до 20,40%. Наиболее эффективными регуляторами роста, являются гуми и пектин, они вызывают положительные сдвиги в метаболизме растительного организма, что в итоге приводит к увеличению экологической пластичности *Triticum aestivum*. В первую фазу закалки, без внесения минеральных удобрений, на этих вариантах повышается содержание углеводов на 2,54 и 2,26%, с внесением удобрений – на 3,09 и 2,00%, во вторую фазу закалки - без внесения удобрений, гуми и пектин повышают содержание углеводов на 3,25 и 2,56%, с внесением удобрений - на 3,52 и 2,81%.

К криопротекторам относятся также аминокислоты, пролин. Вл.В. Кузнецов (2001) отмечает, что аминокислоты оказывают протекторный, осморегуляторный и антиоксидантный эффекты. Пролин является основной органической молекулой, накапливающейся при различных стрессах (Naidu, Paleg, Aspinall, Jennings, Jones, 1991; Demiral, Turkan, 2005; Джавадиан, Каримзаде, Мафузи, Ганати, 2010). Он защищает ферменты от денатурации, взаимодействует с мембранными системами, регулирует рН цитозоля, поддерживает скорость реакции НАД/НАД⁺ в качестве источника энергии и помогает растению обезвреживать АФК (Konstantinova, Parvanova, Atanassor, Djilianov, 2002). В наших исследованиях в первую фазу закалки происходит увеличение содержания свободных аминокислот с 10,58 до 13,72%, пролина с 0,038 до 0,089%; во вторую фазу закалки – свободных аминокислот с 10,93 до 14,79, пролина с 0,046 до 0,102%. Наибольшее содержание свободных аминокислот и пролина отмечено на вариантах гуми и пектин.

Наибольшее влияние при действии стрессового фактора оказывают цистин и другие соединения, содержащие сульфгидрильные группы. Накопление цистина оказывает стимулирующее действие на протеолитические ферменты (Mothes, 1933). По нашим данным содержание серосодержащих аминокислот увеличивается по фазам закаливания. Так, в среднем за годы исследований, содержание в сумме цистина и метионина при действии регуляторов роста увеличивается ко второй фазе закаливания на 0,08% (Рис. 2).

Более интенсивное накопление в 2007 – 2008 гг. криопротекторов растениями озимой пшеницы под воздействием исследуемых регуляторов роста, способствовало увеличению числа сохранившихся после перезимовки растений на 6,9 – 9,9%.

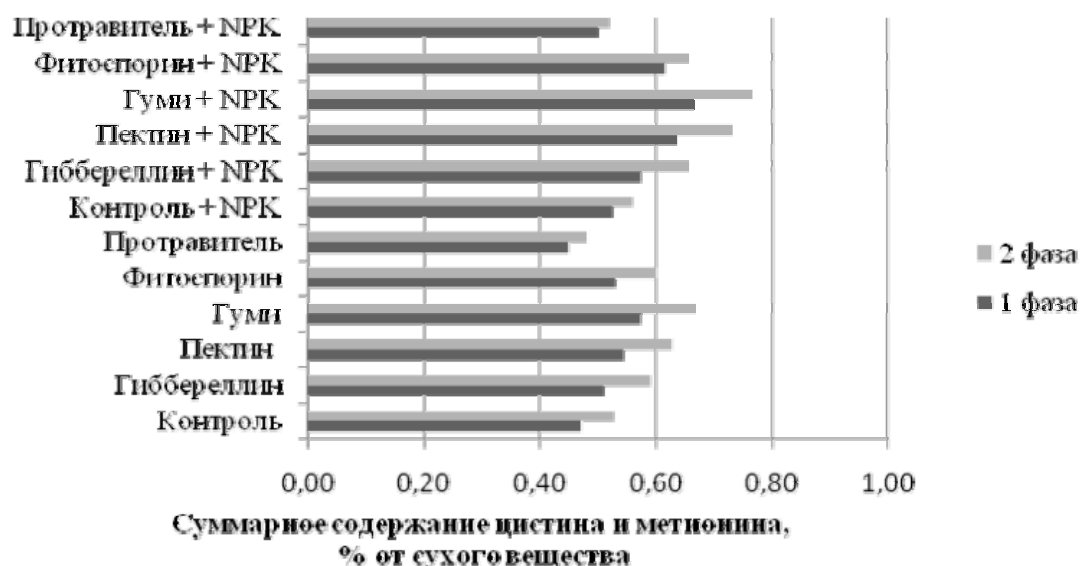


Рисунок 2. Суммарное содержание цистина и метионина в растениях *Triticum aestivum* в зависимости от исследуемых факторов в период закаливания (среднее за 2007 – 2009 гг.)

Экстремальные условия осени 2009 года, характеризующиеся осенней засухой, затянутой осенней вегетацией, долгим отсутствием снежного покрова и низкими температурами до -20°C в этот период, привели к низкому содержанию криозащитных соединений в растениях, практически отсутствию второй фазы закалки и, как следствие, всё это способствовало полной гибели *Triticum aestivum*. Следует отметить, что на делянках, с применением исследуемых факторов, мы наблюдали единичные выжившие растения *Triticum aestivum*.

Анализ линейной множественной корреляции показывает различную зависимость выживаемости растений *Triticum aestivum* от содержания сахара, свободных аминокислот и серосодержащих аминокислот – метионина и цистина:

Первая фаза закаливания:

$$1. 2007-2008 - Y = 25,78 + 2,76X_1 + 0,39X_2 + 10,81X_3; (R = 0,93; D = 85,83);$$

$$2. 2008-2009 - Y = 21,61 + 1,87X_1 + 1,06X_2 + 11,64X_3; (R = 0,93; D = 87,15);$$

Вторая фаза закаливания:

$$1. 2007-2008 - Y = 28,61 + 1,99X_1 + 1,19X_2 + 2,14X_3; (R = 0,91; D = 82,39);$$

$$2. 2008-2009 - Y = 31,59 + 0,86X_1 + 0,44X_2 + 27,69X_3; (R = 0,96; D = 91,91);$$

где Y – сохранность растений после перезимовки, %; X_1 – содержание редуцирующих сахаров, %; X_2 – содержание свободных аминокислот, %;

X₃ – содержание серосодержащих аминокислот – метионина и цистина, %;

Анализ полученных данных по годам исследований показывает различные результаты. Так, в более благоприятный период 2007 - 2008 гг., на процесс выживаемости растений *Triticum aestivum* в первую фазу закалки наибольшее влияние оказали редуцирующие сахара – 55,71%. В 2008 – 2009 году погодные условия были менее благоприятны и наблюдается возрастание влияния на выживаемость растений *Triticum aestivum* серосодержащих аминокислот, их влияние составило 44,04%, тогда как содержание редуцирующих сахаров повлияло на выживаемость на 37,2%.

Подводя итог, можно сделать вывод, что исследуемые факторы повышают терморезистентность и адаптационные свойства *Triticum aestivum*, но не способны повышать экологическую пластичность при действии экстремальных неблагоприятных факторов среды.

Оптимизация продукционного процесса обработанных регуляторами роста растений *Triticum aestivum*

Ведущая роль в получении высоких урожаев принадлежит продуктивности фотосинтеза. Поэтому продуктивность растений, прежде всего, определяется размерами листьев, их числом и интенсивностью работы фотосинтетического аппарата (Ничипорович, 1956, 1963, 1972; Устенко, 1963).

В среднем за годы исследований регуляторы роста оказывают положительное влияние на формирование ассимиляционного аппарата в течение всего онтогенеза. Максимальная площадь листьев формируется при использовании гуми и пектина. Без внесения минеральных удобрений в фазу колошения она составляет 27,1 (пектин) и 28,4 (гуми) тыс.м²/га, на фоне внесения минеральных удобрений 33,2 (пектин) и 34,3 (гуми) тыс.м²/га.

Одним из показателей продуктивности растений является накопление сухой массы растительным организмом, что является результатом генерирования энергии солнца в процессе фотосинтеза. Под влиянием используемых регуляторов роста прослеживается закономерность усиления накопления биомассы растений. Наиболее интенсивное накопление сухой массы наблюдается с фазы выхода в трубку, по всем фазам более интенсивный прирост отмечается на вариантах гуми и пектин, где составляет: в фазу кущение – 2,6 г на обоих вариантах, выход в трубку – 4,9 – 5,0 г, колошение – 38,1 и 37,7 г,

молочная спелость – 58,1 и 57,5 г без удобрений; с внесением удобрений – в фазу кущение –2,9 г на обоих вариантах, выход в трубку – 7,1 и 6,9 г, колошение – 53,7 и 50,9 г, молочная спелость –82,8 и 79,6 г. Применение протравителя не оказывает положительного влияния на прирост биомассы, значения данного показателя находятся на одном уровне с контрольным вариантом.

Основным показателем фотосинтетической деятельности растений является чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ). Максимальные показатели ЧПФ приходятся на период выход в трубку – колошение (рис. 3,4).

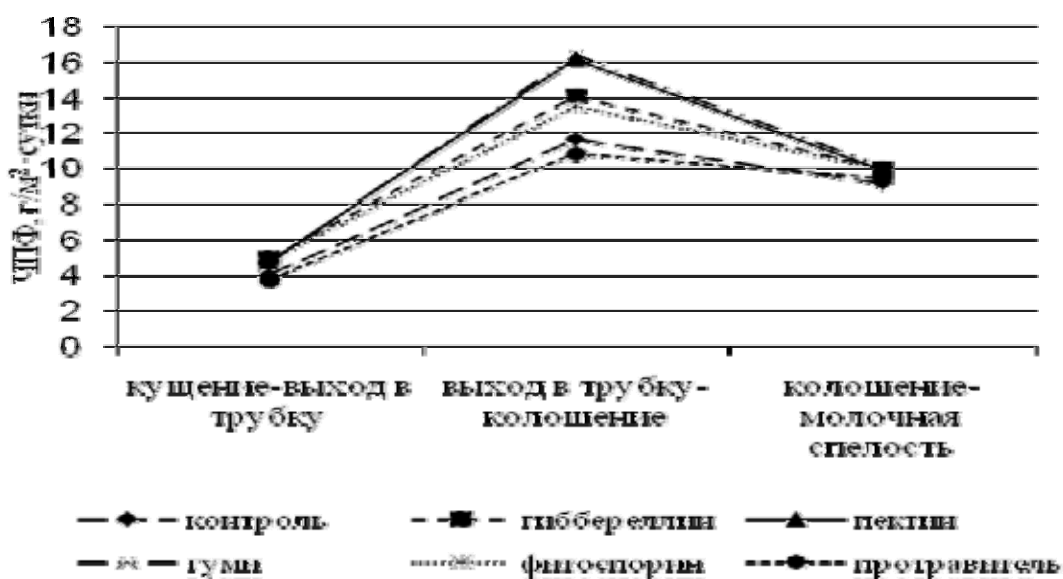


Рис. 3. Чистая продуктивность фотосинтеза озимой пшеницы на не-удобренном фоне (среднее за годы исследований)

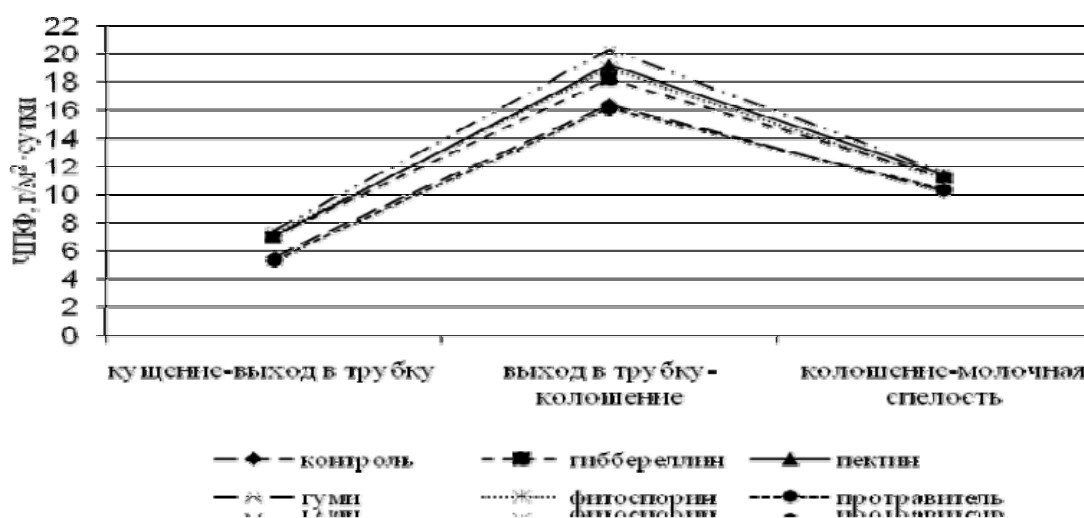


Рис. 4. Чистая продуктивность фотосинтеза озимой пшеницы на удобренном фоне (среднее за годы исследований)

В среднем за годы исследований при применении регуляторов роста происходит увеличение ЧПФ. Так, по сравнению с контрольным вариантом, чистая продуктивность фотосинтеза на вариантах гуми и пектин без внесения удобрений в период кущение-трубкавание возрастает на 17%, выход в трубку-колошение – 39%, колошение – молочная спелость – 9%. Аналогичная закономерность прослеживается и при совместном использовании регуляторов роста и удобрений. Протравитель не способствует увеличению нетто ассимиляции.

Предпосевная обработка семян регуляторами роста обеспечивает повышение продуктивности *Triticum aestivum*. В среднем за годы исследований урожайность на опытных вариантах без внесения удобрений увеличивается на 0,12 – 0,41 т/га, и на 0,11 – 0,60 т/га на вариантах с их использованием. Наибольшую прибавку 27,07% обеспечивает применение гуми совместно с внесением минеральных удобрений. Протравитель, напротив, снижает урожайность на 3,62 – 6,77%.

В настоящее время качеству зерна пшеницы уделяют большое внимание. В наших исследованиях при воздействии регуляторов роста и минеральных удобрений улучшается качество зерна *Triticum aestivum*.

Регуляторы роста способствуют более интенсивному биосинтезу и накоплению белка в зерне. Так, по сравнению с контролем, на вариантах с регуляторами роста увеличивается содержания белка до 12,68% на варианте гуми и с совместным внесением удобрений, до 13,42% на варианте пектин, а под влиянием протравителя снижается на 0,13%.

Отмечается также изменение соотношения фракций в суммарном белке. Происходит увеличение доли содержания клейковиновых фракций – проламинов и глютелинов, гуми совместно с внесением удобрений увеличивает их содержание на 1,15 мг/г и 6,55 мг/г соответственно.

Биологическую ценность белка характеризует количественное содержание и качественный состав незаменимых аминокислот. Регуляторы роста увеличивают содержание незаменимых аминокислот. Наибольшее значение отмечено на варианте пектин с внесением удобрений, где составляет 36,9 мг/г, что на 2,9% выше контроля. Расчет аминокислотного сора (табл. 1), показывает, что природные регуляторы роста повышают содержание незаменимых аминокислот, а лимитирующей аминокислотой является лизин.

Предпосевная обработка семян регуляторами роста способствует увеличению массовой доли клейковины в зерне до 24,9 %. Улучшается и индекс деформации клейковины: на вариантах, с использованием регуляторов роста и внесением минеральных удобрений он лучше по сравнению с контролем, группа качества клейковины – первая. Содержание крахмала в среднем за годы исследований повышается до 53,6% без внесения удобрений, на удобренном фоне до 55,8% относительно контроля.

Таблица 1 – Аминокислотный скор, % (среднее за годы исследований)

	Вариант	Лизин	Метионин+цистин	Триптофан	Лейцин	Изолейцин	Треонин	Валин	Фенилаланин+тирозин
Без удобрений	Контроль	5,64	6,31	11,70	12,14	9,75	8,75	10,30	15,83
	Гиббереллин	5,85	6,66	12,30	12,46	10,06	9,05	10,53	16,23
	Пектин	6,27	7,26	14,00	13,00	10,63	9,50	11,10	17,08
	Гуми	6,27	7,36	14,25	12,93	10,55	9,41	11,05	16,46
	Фитоспорин	5,92	6,81	12,70	12,50	10,15	9,03	10,70	16,47
	Протравитель	5,55	6,14	11,50	12,00	9,50	8,63	10,10	16,17
С удобрениями	Контроль	5,91	6,86	13,00	12,57	10,13	9,00	10,70	16,42
	Гиббереллин	6,45	7,80	15,25	13,25	10,90	9,79	11,40	17,53
	Пектин	6,55	7,93	15,50	13,36	11,00	10,00	11,60	17,75
	Гуми	6,45	7,86	15,50	13,29	10,63	9,88	11,50	17,58
	Фитоспорин	6,39	7,74	15,05	13,21	10,75	9,75	11,33	17,38
	Протравитель	5,91	6,57	12,50	12,57	10,13	9,00	10,70	16,42

Таким образом, предпосевная обработка семян *Triticum aestivum* регуляторами роста, в отличие от применения протравителя, активизирует ростовые процессы, что в конечном итоге приводит к повышению продуктивности и улучшению качества зерна.

Детоксикация тяжелых металлов в растениях *Triticum aestivum* при действии регуляторов роста

Избыточное влияние тяжелых металлов на живые организмы, как одного из многих загрязнителей, вызывает анатомические и морфологические изменения, нарушения физиологических и биохимических процессов. Именно проблемы загрязнения окружающей среды вызвали усиленный интерес к

изучению тяжелых металлов как стрессового фактора, выявлению механизмов защиты организмов от их токсического действия.

В вегетационном опыте нами установлено, что при выращивании озимой пшеницы на песчаной культуре с введенными растворами солей ТМ при предпосевной обработке семян регуляторами роста мобилизуются защитные реакции растительного организма к воздействию данного стрессора. На вариантах с исследуемыми регуляторами роста происходит увеличение сухой массы (до 1,65 г на варианте фитоспорин), снижение содержания ТМ (Pb до 62,5 %, Cr до 87,5 %, Cd до 63,2 %, Hg до 67,6 % по сравнению с введением ТМ) и увеличивается содержание белка в растениях (до 17,53% на варианте пектин). Отмечается закономерность увеличения аккумуляции тяжелых металлов на вариантах с протравителем и ТМ. Причем, при совместном использовании протравителя и исследуемых регуляторов роста снижается аккумуляция тяжелых металлов в растениях. Так на вариантах пектин+протравитель и гуми+протравитель в среднем снижается поступление свинца – на 20%, хрома – на 12%, кадмия – на 12% и ртути на 27%. Аналогичная картина возникает и при внесении тяжелых металлов – регуляторы роста гуми и пектин способствуют снижению поступления ТМ в растения.

Следует отметить, что самым результативным по негативному влиянию на растения оказался вариант с совместным использованием протравителя и тяжелых металлов, здесь отмечается не только самое высокое содержание ТМ (Pb 0,49 мг/кг, Cr 0,168 мг/кг, Cd 0,234 мг/кг, Hg 0,0038 мг/кг) в растениях *Triticum aestivum*, но и самые низкие показатели накопления белка (15,33%) и минимальная сухая масса растений (1,26 г).

Биологическая опасность тяжелых металлов основана на кумулятивном действии в трофических цепях. Поэтому важно сведение к минимуму поступления ТМ в сельскохозяйственную продукцию.

Содержание тяжелых металлов в зерне не превышает предельно допустимые концентрации, однако наблюдается закономерность к снижению содержания их под действием регуляторов роста (Zn на 12,8 – 27,5%, Cu на 25,0 – 28,9%, Pb на 51,1 – 63,0%, Cd на 46,6 – 77,1%) и увеличению при применении протравителя, где более интенсивное их накопление. Содержание кадмия увеличивается по сравнению с контрольным вариантом при внесении удобрений с 0,0450 до 0,0965 мг/кг, что близко к предельно допустимой концентрации. Регуляторы роста гуми и пектин без внесения удобрений дают воз-

возможность снизить поступление кадмия в зерно по сравнению с контролем на 33,3 и 53,3% соответственно. Аналогичная картина наблюдается и по другим элементам. В зерне озимой пшеницы под влиянием регуляторов роста происходит ингибирование процесса аккумуляции тяжелых металлов.

Интенсивность накопления тяжелых металлов растениями можно оценить используя коэффициенты биологического поглощения (КБП) (табл. 2).

Таблица 2 – Коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов растениями озимой пшеницы (среднее за годы исследований)

Вариант		Цинк	Медь	Свинец	Кадмий	Никель	Хром
Без удобрений	Контроль	0,3856	0,2192	0,0042	0,0300	0,0017	0,0012
	Гиббереллин	0,3649	0,2094	0,0039	0,0277	0,0016	0,0011
	Гуми	0,3363	0,1700	0,0028	0,0140	0,0013	0,0008
	Пектин	0,3452	0,1773	0,0031	0,0200	0,0013	0,0009
	Фитоспорин	0,3728	0,1946	0,0035	0,0260	0,0015	0,0010
	Протравитель	0,4014	0,2291	0,0044	0,0353	0,0019	0,0014
С удобрениями	Контроль	0,4379	0,2833	0,0074	0,0510	0,0023	0,0019
	Гиббереллин	0,3984	0,2611	0,0060	0,0433	0,0021	0,0017
	Гуми	0,3432	0,2315	0,0045	0,0393	0,0019	0,0014
	Пектин	0,3600	0,2266	0,0048	0,0393	0,0019	0,0015
	Фитоспорин	0,3925	0,2438	0,0057	0,0440	0,0021	0,0016
	Протравитель	0,4517	0,3030	0,0083	0,0643	0,0029	0,0026

Уменьшение КБП под действием обработки семян регуляторами роста имеет чрезвычайно важное значение, как фактор, ограничивающий поступление тяжелых металлов в растительный организм.

Энергетическая и экономическая эффективность применения регуляторов роста в агрофитоценозах *Triticum aestivum*

Применение регуляторов роста способствовало увеличению количества энергии, накопленной в продукции, на неудобренном фоне в 1,09-1,31 раза по отношению к контролю, на фоне минеральных удобрений в 1,02-1,27 раза и снижению её при применении протравителя в среднем в 1,02 раза. Наибольший коэффициент энергетической эффективности в варианте гуми и пектин, где составляет на фоне естественного плодородия 1,84-1,74, на удоб-

ренном фоне 1,65-1,78, что является наиболее энергетически выгодным приемом.

Расчет экономической эффективности показывает, что применение предпосевной обработки семян озимой пшеницы регуляторами роста экономически выгодно. Данный прием способствует повышению уровня рентабельности без применения удобрений на 9,8-34,3%, с внесением минеральных удобрений на 4,5-25,6%. Наиболее рентабельной является обработка семян гуми и пектином, на обоих фонах выращивания.

Выводы

1. Предпосевная обработка семян *Triticum aestivum* природными регуляторами роста – гуми, пектином, фитоспорином повышает полевую всхожесть семян (на 5%) и усиливает ростовые процессы на начальных этапах онтогенеза.
2. Применение гуми и пектина обеспечивает более интенсивный синтез криозащитных соединений в период закаливания и увеличивает выживаемость растений (на 10%), что свидетельствует о лучшей адаптации растений к неблагоприятным факторам среды осенне-зимне-весеннего периода.
3. Обработка семян гуми и пектином повышает урожайность растений (изменяются показатели площади ассимиляционной поверхности, чистой продуктивности фотосинтеза). Наибольшая прибавка урожая – 27% отмечена для растений варианта гуми с внесением минеральных удобрений.
4. Изучаемые регуляторы роста способствуют улучшению качества получаемой продукции: в среднем увеличивается содержание белка в зерне на 0,6%, массовой доли клейковины на 3,3%; незаменимых аминокислот на 3,3%, проламиновой фракции белка на 7,3%; улучшается группа качества клейковины.
5. Выявлено, что регуляторы роста являются фактором, ограничивающим аккумуляцию тяжелых металлов в растениях. Под воздействием гуми и пектина происходит снижение содержания тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr) в зерне озимой пшеницы в пределах 20 – 50%. Уменьшаются коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов растениями.

6. Протравливание семян перед посевом пестицидом Раксон не оказывает положительного влияния на растения, а по некоторым показателям наблюдается ингибирующее его действие на важнейшие физиолого-биохимические процессы, увеличивается вероятность накопления ТМ в растениях.
7. Показано, что предпосевная обработка семян гуми и пектином по сравнению с протравливанием Раксоном является энергетически и экономически более выгодной (коэффициент энергетической эффективности – 1,65 – 1,84), а также может быть использована в качестве приёма, способствующего снижению доз вносимых минеральных удобрений.

Предложения производству

1. С целью повышения адаптационных свойств, продуктивности и улучшения качества продукции, снижения поступления поллютантов в растения *Triticum aestivum* рекомендуется обрабатывать семена озимой пшеницы перед посевом препаратами гуми с концентрацией 4% и пектином – 0,05% из расчета 1 – 1,5 л рабочего раствора на 1 ц семян;
2. Для снятия пестицидной нагрузки совмещать обработку протравителем и препаратами гуми или пектин из расчета 1:1, либо исключить процедуру протравливания.

Статьи в изданиях, включенных в «Перечень научных изданий и журналов, рекомендуемых ВАК РФ»:

1. Костин В.И. Адаптация популяции озимой пшеницы к абиотическим факторам среды в осенне-зимне-весенний период под действием природных регуляторов роста / В.И. Костин, **Е.Н. Ерофеева** // Вестник Алтайского государственного аграрного университета № 6 (68), 2010. – С. 9 – 13.
2. Костин В.И. Экологическая эффективность применения регуляторов роста в популяции озимой пшеницы / В.И. Костин, **Е.Н. Ерофеева** // Вестник Казанского государственного аграрного университета № 2 (16), 2010. – С. 127 – 130.

Другие публикации:

3. Костин В.И. Перспективы использования регуляторов роста в технологии возделывания озимой пшеницы / В.И. Костин, **Е.Н. Ерофеева** // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Пенза – 2008. – С. 130 – 132.
4. **Ерофеева Е.Н.** Качество зерна в агрофитоценозе озимой пшеницы в зависимости от применения природных росторегуляторов / Е.Н. Ерофеева // Материалы международной научно-практической конференции «Использование инновационных технологий для решения проблем АПК в современных условиях», Волгоград – 2009. – С. 28 – 31.
5. **Ерофеева Е.Н.** Влияние предпосевной обработки семян регуляторами роста на показатели их прорастания / Е.Н. Ерофеева // Материалы международной научно-практической конференции «Инновации сегодня: образование, наука, производство», Ульяновск – 2009. – С. 51 – 53.
6. **Ерофеева Е.Н.** Повышение экологической пластичности популяции озимой пшеницы под действием регуляторов роста / Е.Н. Ерофеева, В.И. Костин // Сборник тезисов III Всероссийского с международным участием конгресса студентов и аспирантов-биологов «Симбиоз – Россия 2010». – Н.Новгород, 2010. С. – 14 – 15.
7. **Ерофеева Е.Н.** Снижение трансформации ТМ в зерно озимой пшеницы под действием регуляторов роста / Е.Н. Ерофеева, Н.А. Кармайкина // Инновационные процессы в АПК: сборник статей II международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященный 50-летию РУДН / под ред. В.Г. Плющикова. – М.:РУДН, 2010. – С. 374-377.
8. Костин В.И. Содержание белка в зерне озимой пшеницы в зависимости от применения регуляторов роста / В.И. Костин, **Е.Н. Ерофеева** // Научное обеспечение агропромышленного производства (материалы международной научно-практической конференции, 20-22 января 2010 г., г. Курск, ч.3). – Курск: Издательство Курской гос. с.-х. ак., 2010. – С. 179 – 181.
9. **Ерофеева Е.Н.** Экологические основы применения регуляторов роста в АПК / Е.Н. Ерофеева, В.И. Костин // Проблемы безопасности жизнедеятельности и промышленной экологии: Материалы 3-й Междуна-

родной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – С. 51 – 54.

10. **Ерофеева Е.Н.** Зимостойкость озимой пшеницы при применении природных регуляторов роста / Е.Н. Ерофеева // Материалы Всероссийской школы молодых учёных и специалистов «Перспективные технологии для современного сельскохозяйственного производства». Ульяновск. – 2010. – С. 84 – 87.