

На правах рукописи



ПОПОВА ВАЛЕНТИНА ВЛАДИМИРОВНА

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ
ХЕЛАТНЫХ ЦИНКОВЫХ И МЕДНЫХ УДОБРЕНИЙ
ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ
В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Специальность 06.01.04 – агрохимия

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук**

Омск – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина».

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук,
Бобренко Игорь Александрович

Официальные оппоненты: Серегина Инга Ивановна, доктор биологических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии

Плотников Алексей Михайлович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева», заведующий кафедрой землеустройства, земледелия, агрохимии и почвоведения

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий»

Защита состоится «21» октября 2021 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 999.091.03 на базе федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный аграрный университет» по адресу: 446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, д. 2. Тел.: 8 (846) 6346131.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аграрный университет» и на сайте www.ssaa.ru.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Троц Наталья Михайловна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Мягкая яровая пшеница выращивается практически по всему земному шару и входит в число наиболее ценных и высокоурожайных зерновых культур. Ее зерно содержит большое количество клейковинных белков и других ценных веществ, поэтому широко применяется для продовольственных целей; зерно и отруби – высококонцентрированный корм для использования в животноводстве (Сычев, 2008).

С ростом применения макроудобрений актуализируется проблема отрицательного баланса микроэлементов в агроценозах. В почвах часто ощущается недостаток их содержания для культурных растений. Доказано, что сельскохозяйственные культуры дают невысокие урожаи при недостатке в почве доступных форм элементов (Аристархов, 2012; Битюцкий, 2005; Орлова, 2006).

По результатам агрохимического мониторинга черноземных почв Омской области низкий уровень содержания подвижных форм цинка отмечен на 98,9% от обследованной площади, низкий и средний уровень меди – на 99,4%. Таким образом, в почвах региона цинк и медь являются остродефицитными элементами (Красницкий, А.Г. Шмидт, А.А. Цырк, 2014, 2019).

В растениях цинк содержится в ферментативных системах, участвует в синтезе хлорофилла и метаболических процессах, влияет на фотосинтез, углеводный и белковый обмен, плодоношение, формирование генеративных органов. Медь содержится в медьсодержащих белках и ферментах, влияет на азотный обмен, играет важную роль в фотосинтезе, в образовании хлорофилла, способствует устойчивости растений перед неблагоприятными условиями внешней среды: высокими и низкими температурами, засухой, поражением болезнями (Ильин, 2001).

В настоящее время микроудобрения в основном выпускаются и применяются в форме хелатов, которая имеет ряд преимуществ перед ранее распространёнными солями микроэлементов, в частности, сульфатами цинка и меди. Данная химическая форма удобрений более технологична при применении и лучше усваивается растениями (Вильдфлуш, Мишура, 2010; Гайсин, 2014).

Степень разработки темы. Яровая пшеница отзывчива на применение микроудобрений, в том числе в условиях лесостепи Западной Сибири (Аристархов, 2012; Бобренко, Гоман, Шувалова, 2012; Воронкова и др., 2019; Ламбин, 1949, 1959). Но удобрение данной культуры хелатами цинка и меди при их сравнительном применении способами обработки семян и некорневой подкормки в различные фазы роста в регионе не изучалось. Оптимизация применения хелатных микроудобрений хелатами цинка и меди яровой пшеницы на основе установленных наиболее эффективных доз и нормативных агрохимических параметров даст возможность оптимизировать питание с целью получения высокого и качественного урожая зерна.

Цель исследований – разработать технологию использования хелатных форм цинковых и медных удобрений, агрохимические нормативные параметры

для диагностирования и оптимизации минерального питания растений пшеницы яровой на лугово-черноземных почвах лесостепи Западной Сибири.

Задачи исследований:

– выявить действие хелатных форм цинковых и медных удобрений на величину урожая зерна пшеницы яровой;

– установить оптимальные дозы хелатов Zn и Cu при обработке семян и некорневой подкормке в различные фазы развития;

– изучить влияние хелатных форм цинковых и медных удобрений на качество зерна, посевные свойства семян, основные параметры формирования структуры урожая;

– установить оптимальные уровни и соотношения макро- и микроэлементов (N, P, K, Zn, Cu) в растениях по фазам развития для диагностирования обеспеченности элементами питания и потребности в удобрениях;

– установить нормативные количественные показатели выноса макро- и микроэлементов урожаем пшеницы яровой, коэффициенты использования питательных веществ из почвы, азота текущей нитрификации и минимального потребления элементов растениями для расчета доз удобрений для некорневой подкормки;

– дать оценку экономической эффективности применения микроудобрений под пшеницу яровую.

Объект и предмет исследований. Объектами исследований являлись: пшеница яровая (*Triticum L.*) сорта Памяти Азиева, почва лугово-черноземная, цинковые и медные удобрения (хелатные формы).

Предметом является исследование по разработке технологий использования хелатных форм цинковых и медных удобрений при возделывании пшеницы яровой.

Научная новизна исследований. Впервые в условиях южной лесостепи Западной Сибири выявлены закономерности влияния доз хелатных форм микроудобрений (Zn, Cu) на величину и качество урожая яровой пшеницы при их применении способами обработки семян и некорневой подкормке в различные фазы роста. Установлены зависимости действия микроудобрений на концентрацию и соотношение макро- и микроэлементов (N, P, K, Zn, Cu) в растении, на основе которых предложены нормативные агрохимические параметры, позволяющие диагностировать и оптимизировать минеральное питание яровой пшеницы. Определены коэффициенты использования элементов из почвы, затраты элементов для создания 1 т урожая, величина текущей нитрификации.

Теоретическая и практическая значимость. Выявленные закономерности в системе «микроудобрение – растение» предоставляют возможность оптимизировать поступление элементов в растения пшеницы яровой, создавая сбалансированное питание с помощью применения установленных агрохимических нормативных параметров, и таким образом управлять формированием величины и качества урожая.

Использование рекомендуемых доз хелатных форм цинковых и медных удобрений способами обработки семян и некорневой подкормки в различные фазы роста позволяет повысить их агрономическую и экономическую эффективность.

Результаты исследований прошли производственную проверку в ООО «Сосновское» и ООО «ЭйТи-Трейд» Омской области на площади 236 га, используются в учебном процессе.

Методология и методы исследований. Методология исследований основана на изучении научной литературы отечественных и зарубежных авторов.

Методы исследований: теоретические – обработка результатов исследований методами статистического, корреляционного и регрессионного анализов; эмпирические – полевые опыты, графическое и табличное представление результатов.

Основные положения, выносимые на защиту:

– применение хелатных форм микроудобрений при обработке семян и некорневой подкормке обеспечивает увеличение урожайности яровой пшеницы на 6,4-10,5 %;

– показатели оптимального содержания и соотношения элементов в растениях позволяют диагностировать состояние микроэлементного (Zn, Cu) питания пшеницы яровой и определять оптимальные дозы удобрений.

Достоверность результатов подтверждается современными методами проведения полевых опытов, необходимым количеством наблюдений и учетов, результатами статистической обработки экспериментальных данных.

Апробация исследований. По материалам диссертации опубликовано 9 печатных работ, в том числе 5 – в рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, 1 статья – в журнале из базы WoS.

Основные результаты исследований были представлены докладами и обсуждены на международных научно-практических конференциях: посвященной 100-летию кафедры растениеводства, кормопроизводства и агротехнологий (Воронеж, 2019), «Advances in Social Science, Education and Humanities Research. The Fifth Technological Order: Prospects for the Development and Modernization of the Russian Agro-Industrial Sector» (Омск, 2019), «Современное состояние и проблемы рационального использования почв Сибири» (Омск, 2020); национальной научно-практической конференции «Экологические чтения» (Омск, 2020).

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 170 страницах. Состоит из введения, семи глав, заключения, рекомендаций производству. Содержит 30 таблиц, 26 рисунков, 11 приложений. Список литературы включает 210 наименований, в том числе 19 – на иностранных языках.

Личный вклад. В основу данной работы положены собственные исследования автора, принимала непосредственное участие в составлении методики исследований, проведении опытов, наблюдениях в полевых и лабораторных условиях, обобщении и анализе экспериментальных данных, написании диссертационной работы.

Автор выражает искреннюю благодарность за научное руководство доктору сельскохозяйственных наук И.А. Бобренко, благодарит преподавателей, лаборантов, обучающихся ФГБОУ ВО Омский ГАУ и сотрудников ФГБУ «Омский аграрный научный центр», принимавшим непосредственное участие в проведении исследований.

1 МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

В главе приведен анализ научной литературы по вопросам: 1.1 Микроэлементы в почвах и растениях; 1.2 Влияние микроудобрений на продуктивность культурных растений, 1.3 Эффективность хелатных форм микроэлементов при возделывании сельскохозяйственных культур. Показано, что цинковые, медные удобрения в хелатной форме способствуют оптимизации минерального питания яровой пшеницы в различных почвенно-климатических зонах. Установлено, что микроудобрения эффективны на черноземных почвах при выращивании сельскохозяйственных культур.

2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Характеристика объектов исследований.

Сорт мягкой яровой пшеницы Памяти Азиева создан в Государственном научном учреждении Омском аграрном научном центре (Омский АНЦ). Сорт среднеспелый, вегетационный период 74-79 дней. Устойчивость к полеганию на уровне стандарта (4,6-4,9 балла). Устойчивость к засухе средняя.

Почва лугово-черноземная среднemocная среднегумусовая тяжелосуглинистая. Содержание гумуса – 5,70 %, плотность почвы в слое 0-40 см – 1,20-1,25 г/см³, плотность твердой фазы – 2,65 г/см³, ЕКО – 25,2-28,2 ммоль·экв/100 г, рН водной вытяжки – 6,5-7,1. Обеспеченность в слое почвы 0-40 см опытного участка нитратным азотом – высокая, в слое почвы 0-20 см подвижным фосфором и калием – очень высокая, подвижными цинком и медью – низкая.

Формы удобрений, применяемые в исследованиях – хелаты цинка (Zn – 80 г/л) и меди (Cu – 60 г/л) на основе оксиэтинидендифосфоновой кислоты (ОЭДФ).

2.2 Климат и метеорологические условия в годы проведения исследований.

Сумма активных температур составляла 2010-2345 °С, сумма осадков за вегетационный период 171-258 мм. Вегетационный период 2017 г. был более жарким и засушливым, а 2018 и 2019 гг. – более холодными и влажными.

2.3 Методика полевых и лабораторных исследований.

Для решения поставленных задач по оптимизации микроэлементного питания пшеницы яровой в работе использованы методы полевых, лабораторных исследований, а также математический анализ с использованием информационных технологий. Схема опыта (2017-2019 гг.): 1. Контроль (без удобрений); обработка семян (г/100 кг): 2. Zn₁₀, 3. Zn₂₀, 4. Zn₃₀, 5. Cu₁₀, 6. Cu₂₀, 6. Cu₃₀; подкормка в фазу кущения (г/га): 8. Zn₁₀, 9. Zn₂₀, 10. Zn₃₀, 11. Cu₁₀, 12. Cu₂₀, 13. Cu₃₀; подкормка в фазу выхода в трубку (г/га): 14. Zn₁₀, 15. Zn₂₀, 16. Zn₃₀, 17. Cu₁₀, 18. Cu₂₀, 19. Cu₃₀;

Проводимые опыты однофакторные. Расположение делянок на опытном участке систематическое. Площадь делянок – 16 м²; учётная – 15 м². Повторение вариантов в опыте трёхкратное, расположение повторений – в три яруса. Предшественник – пар, агротехника – общепринятая для зоны.

Химические анализы почв и растений проводили на кафедре агрохимии и почвоведения Омского ГАУ, в Омском аграрном научном центре, в Центре агрохимической службы «Омский» общепринятыми в агрохимии и почвоведении методами (Новицкий, 2009; Кидин и др., 2008; Самофалова, 2013).

В почвенных пробах определяли: гумус по Тюрину в модификации Симанкович, рН почвы потенциометрическим методом; ЕКО по Бобко и Аскинази в модификации Грабарова и Уваровой; плотность твердой фазы пикнометрическим методом; нитратный азот по Грандваль-Ляжу; подвижный фосфор, обменный калий по Чирикову (ГОСТ 26204-84). Определение содержания микроэлементов в растениях и почве проводили атомно-абсорбционным методом (ГОСТ CuP 50683-94, ГОСТ ZnP 50686-94) методом Крупского и Александровой.

Сжигание растительных навесок проводили методом мокрого озоления по Пиневиц; общий азот в полученном растворе определяли по Кьельдалю; фосфор – по Дениже; калий – на пламенном фотометре.

По общепринятым методикам проводили определение: содержания белка (ГОСТ 10846-91), стекловидности зерна (ГОСТ 10987-79), клейковины (ГОСТ 27839-88 ГОСТ 27839-2013), определение протеиногенных аминокислот (ГОСТ Р 55569-2013).

Оценка посевных качеств семян проводилась согласно соответствующих ГОСТов с определением влажности, в % (ГОСТ 12041-82); массы 1000 семян, в г (ГОСТ 12042-80); чистоты, в % (ГОСТ 12037-81); энергии прорастания и лабораторной всхожести, в % (ГОСТ 12038-84).

Результаты полевых и лабораторных исследований подвергнуты математической обработке (Доспехов, 1985; Пискунов, 2004). Экономическую эффективность применения удобрений рассчитывали согласно рекомендациям Ю.И. Ермохина и А.Ф. Неклюдова (1994).

3 ВЛИЯНИЕ ХЕЛАТНЫХ МИКРОУДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ

3.1 Урожайность пшеницы яровой при применении хелатных форм цинковых и медных удобрений

Результаты экспериментов (таблица 1) позволяют сделать вывод о высокой эффективности применения микроудобрений в хелатной форме при возделывании яровой пшеницы. Сопоставляя урожайные данные по годам исследований, следует отметить их значительные отличия: в 2017 г. и 2019 г. урожайность яровой пшеницы была в 1,4 раза выше, чем в 2018 г. (в контроле соответственно 2,45 и 1,73 т/га). Осадки выше среднемноголетних в два раза в начале вегетации 2018 г. (конец мая – июнь) и температуры ниже среднемноголетних негативно повлияли на развитие яровой пшеницы, что в дальнейшем отразилось на формировании зерна, и как следствие – на урожайности.

Эффективность разных способов применения микроудобрений (обработка семян и некорневая подкормка в фазы кущения и выхода в трубку) при проведении экспериментов отличалась. Эксперименты выявили положительное действие хелата цинка при предпосевной обработке семян на урожайность зерна яровой пшеницы. Улучшение питания данной технологией использования хелатов цинка и меди обеспечило увеличение урожайности в среднем за годы исследований от 0,08 до 0,20 т/га зерна (2,3-9,1% к контролю).

Применение цинковых удобрений в дозе 20 г/100 кг позволило сформировать наибольшую прибавку урожая 0,20 т/га, а меди 0,14 т/га (в контроле урожайность 2,20 т/га). Лучшей дозой цинка и меди при предпосевной обработке таким образом является 20 г/100 кг семян.

В исследованиях применение некорневой подкормки яровой пшеницы в фазу кущения хелатами цинка и меди обеспечило увеличение урожайности от 0,10 до 0,23 т/га зерна (4,5-10,5% к контролю). Опыты выявили положительное действие некорневой подкормки в фазу кущения хелатом цинка на урожайность зерна. Лучшей дозой хелата цинка при некорневой подкормке в фазу кущения является 20 г/га.

Использование медных удобрений в дозе 10 и 30 г/га позволило создать прибавку урожая на одном уровне 0,20 т/га, наиболее эффективна подкормка Cu_{10} , как менее затратная по количеству вносимого элемента.

Оптимизация питания яровой пшеницы применением хелатов цинка и меди способом некорневой подкормки растений в фазу выхода в трубку обеспечила прибавки урожая в среднем от 0,03 до 0,16 т/га зерна (1,4-7,3 % к контролю). Эксперименты выявили положительное действие на урожайность хелата цинка в данную фазу развития. Его внесение в дозе 20 г/га позволило сформировать наибольшую прибавку урожая 0,14 т/га. Использование медных удобрений в этой же дозе сформировало увеличение урожайности 0,16 т/га.

Таблица 1 – Урожайность зерна пшеницы яровой в зависимости от доз и способа применения хелатных микроудобрений на лугово-черноземной почве (2017-2019 гг.)

Вариант	Урожайность зерна, т/га				Прибавка	
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Средняя	т/га	%
Контроль	2,45	1,73	2,41	2,20	-	-
Обработка семян, г/100 кг						
Zn ₁₀	2,53	1,75	2,57	2,28	0,08	3,6
Zn ₂₀	2,73	1,87	2,62	2,40	0,20	9,1
Zn ₃₀	2,54	1,81	2,69	2,35	0,15	6,8
Cu ₁₀	2,51	1,75	2,50	2,25	0,05	2,3
Cu ₂₀	2,62	1,86	2,54	2,34	0,14	6,4
Cu ₃₀	2,62	1,90	2,52	2,35	0,15	6,8
Опрыскивание в фазу кущения, г/га						
Zn ₁₀	2,59	1,86	2,46	2,30	0,10	4,5
Zn ₂₀	2,75	1,93	2,51	2,40	0,20	9,1
Zn ₃₀	2,80	1,97	2,52	2,43	0,23	10,5
Cu ₁₀	2,74	2,08	2,52	2,40	0,20	9,1
Cu ₂₀	2,82	2,00	2,50	2,37	0,17	7,7
Cu ₃₀	2,85	2,04	2,52	2,40	0,20	9,1
Опрыскивание в фазу трубкования, г/га						
Zn ₁₀	2,60	1,77	2,42	2,23	0,03	1,4
Zn ₂₀	2,79	1,91	2,52	2,34	0,14	6,4
Zn ₃₀	2,83	1,96	2,46	2,33	0,13	5,9
Cu ₁₀	2,58	1,84	2,50	2,31	0,11	5,0
Cu ₂₀	2,67	1,89	2,52	2,36	0,16	7,3
Cu ₃₀	2,69	1,89	2,52	2,34	0,14	6,4
НСП ₀₅ т/га	0,11	0,08	0,10			

Таким образом, применение микроудобрений при возделывании яровой пшеницы в условиях низкого содержания подвижных форм изучаемых элементов в лугово-черноземной почве является эффективным. Лучшей дозой хелатов цинка и меди при предпосевной обработке семян является 20 г/100 кг, при некорневой подкормке в фазу кущения – 20 и 10 г/га, соответственно, выхода в трубку – 20 г/га каждого элемента. При этом обработка семян и некорневая подкормка в фазу кущения хелата цинка имеет преимущество перед некорневой подкормкой в фазу выхода в трубку, так как при этом формируется большая прибавка урожая. При применении хелата меди наибольшая продуктивность наблюдалась при некорневой подкормке в фазу кущения.

Результаты исследований свидетельствуют, что использование хелатов цинка и меди при возделывании яровой пшеницы на лугово-черноземной почве является эффективным при всех трех вариантах технологий. Выбор способа и

фазы удобрения в конкретной агрономической ситуации может зависеть от производственной целесообразности.

3.2 Влияние микроудобрений на выживаемость растений, высоту и структуру урожая яровой пшеницы

В наших исследованиях наблюдался положительный эффект от действия хелатов на полевую всхожесть (рисунок 1) и выживаемость растений (рисунок 2) яровой пшеницы. Полевая всхожесть семян яровой пшеницы составила при использовании цинковых удобрений в вариантах обработки семян 75,4-91,5 %; медных – 81,0-87,1 % (контроль – 70,3). Некорневое применение не влияло на полевую всхожесть семян, поскольку она формируется до подкормки.

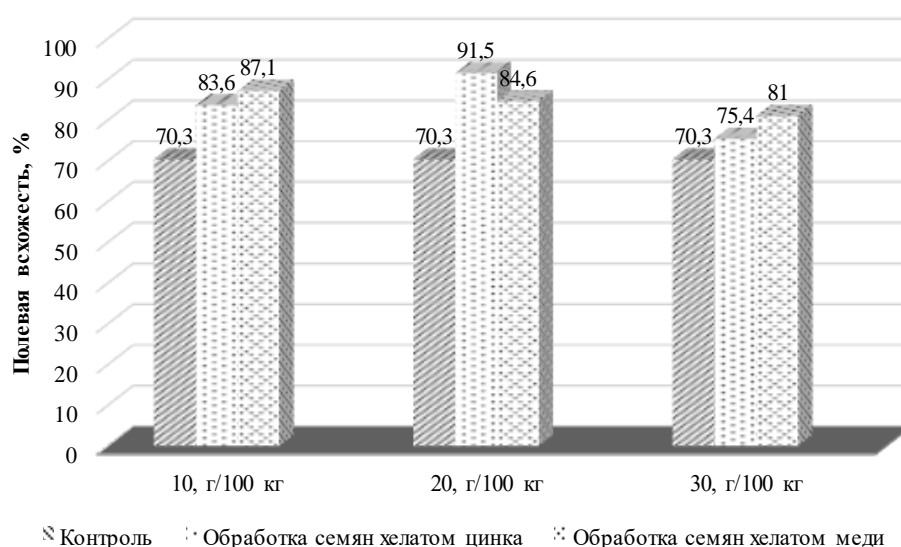


Рисунок 1 – Полевая всхожесть семян яровой пшеницы при обработке семян хелатами микроэлементов (среднее 2017-2019 гг.)

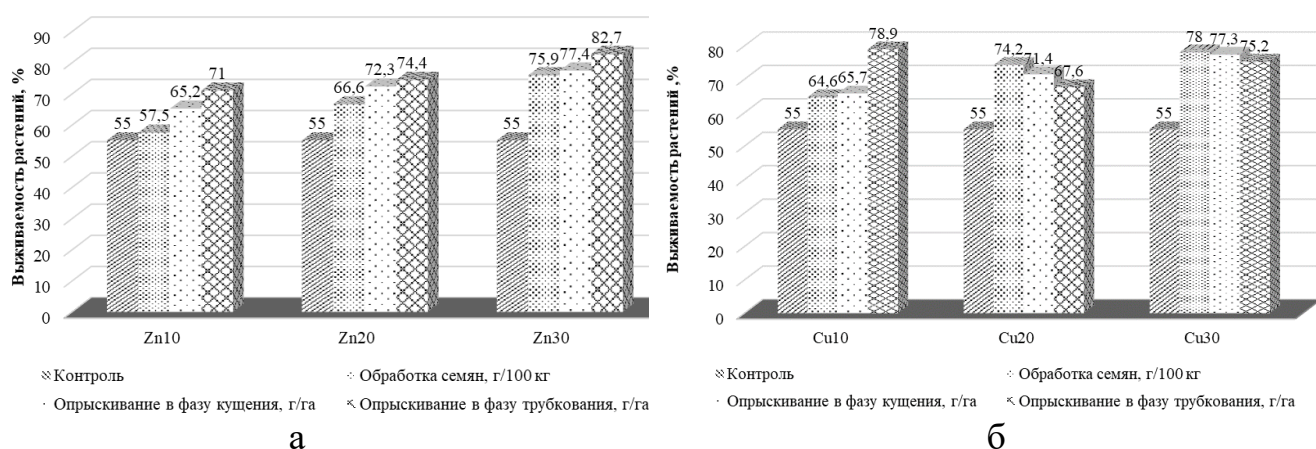


Рисунок 2 – Выживаемость растений яровой пшеницы в зависимости от доз и способов применения медных удобрений (а – цинковых, б – медных; среднее 2017-2019 гг.)

Выживаемость растений яровой пшеницы в зависимости от доз и способов применения цинковых удобрений составила 57,5-82,7 %; при применении медных удобрений – 64,6-78,9 % (контроль – 55,0).

Высота растений в среднем составила 105,2-111,3 см в зависимости от варианта, при этом в лучших из них по урожайности растения были несколько выше, чем в контроле. Так, при предпосевной обработке семян высота растений составила 101,0-117,5 см, а при некорневой подкормке хелатами цинка в фазу кущения и выхода в трубку – 105,0-112,5 и 105,0-112,0 см, соответственно.

Основными составляющими урожайности являются продуктивная кустистость, количество зерен в колосе, масса зерна колоса и масса 1000 зерен. Рассмотрение показателей структуры урожая при исследовании способов применения хелатов цинка и меди показало, что они положительно влияют на эти показатели.

Продуктивная кустистость при применении цинковых удобрений повысилась до 3,10-3,77 шт., медных удобрений – 2,90-3,35 шт. (контроль – 2,83). Наибольшее количество зерен в главном колосе при обработке хелатом цинка сформировалось в варианте опрыскивания в фазу выхода в трубку дозой 30 г/га – 45,42 шт., хелатом меди при обработке семян Cu_{20} – 44,08 шт. (контроль – 41,9). Масса зерна главного колоса в лучших вариантах по урожайности составила 1,32-1,47 г (в контроле – 1,28 г).

В целом, можно констатировать, что анализ показателей формирования урожайности (полевая всхожесть и выживаемость растений, структура урожая), полученных в экспериментах, свидетельствует о позитивном влиянии хелатов цинка и меди на характеристики, от которых зависит урожайность яровой пшеницы на лугово-черноземной почве Омского Прииртышья.

4. АГРОХИМИЧЕСКИЕ НОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ

Чтобы контролировать рост и развитие растений, своевременно удовлетворять их потребность в элементах питания, необходимо знать наличие данных факторов роста в почве и потребности растений в них по фазам развития (Аристархов, 2012; Бобренко, 2004; Болдырев, 1970; Ермохин, 1983, 1995; Журбицкий, 1963; Кочергин, 1974; Красницкий, 2002; Ринькис, 1972).

4.1 Содержание элементов питания в почве

Содержание элементов в почве составило: в фазу кущения нитратного азота в 16,4 -16,8, подвижного фосфора – 225-250, калия – 310-355 мг/кг; в фазу выхода в трубку нитратного азота – 9,3-12,2, подвижного фосфора – 170-230, калия – 270-450 мг/кг; в фазу колошения нитратного азота – 5,0-8,5, подвижного фосфора – 170-230, калия 270-350 мг/кг; в уборку нитратного азота 4,5-7,3, подвижного фосфора – 170-235, калия – 290-370 мг/кг.

Распределение микроэлементов по профилю лугово-черноземной почвы опытного участка (таблица 2) и в целом соответствует показателям для почв региона. Их концентрация не превышала ПДК (для Zn – 24, Cu – 3).

Таблица 2 – Динамика содержания подвижных микроэлементов в лугово-чернозёмной почве под яровой пшеницей, мг/кг

Слой почвы, см	Кущение		Уборка	
	Zn	Cu	Zn	Cu
0-20	0,58	0,06	0,70	0,08
20-40	0,42	0,09	0,41	0,10
40-60	0,39	0,13	0,76	0,13
60-80	0,67	0,22	0,88	0,25
80-100	0,76	0,34	0,86	0,27

Можно отметить, что содержание подвижных форм микроэлементов в лугово-черноземной почве с глубиной изменяются по-разному. Концентрация подвижного цинка в фазу кущения с глубиной сначала понижается от 0,58 в слое 0-20 см, до 0,39 в слое 40-60 см, а с горизонта 60-80 см наблюдается ее увеличение до 0,76 мг/кг. Данная закономерность наблюдалась и в период уборки яровой пшеницы.

Минимальное количество подвижных соединений меди в фазу кущения наблюдалось в слое 0-20 см (0,06 мг/кг), в низлежащих горизонтах ее количество увеличивается до 0,34 (80-100 см). При уборке минимальное количество подвижных соединений меди в 0,08 мг/кг наблюдалось также в слое 0-20 см, максимальное – в слое 80-100 см (0,27).

4.2 Нормативные показатели для определения потребности пшеницы яровой в элементах минерального питания

Определенные в исследованиях агрохимические нормативы можно использовать для управления питанием яровой пшеницы на основе расчета доз минеральных удобрений и для создания оптимального макроэлементного фона (таблица 3).

Таблица 3 – Нормативные агрохимические показатели минерального питания пшеницы яровой

Показатель	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu
КИП, %	87	8,0	6,0	7,0	3,5
Потребление для создания 1 т зерна, кг (NPK) или г (Zn, Cu)	35	23	22	50	3,0
Nт, кг/га	54				

Нормативные агрохимические показатели минерального питания пшеницы яровой могут использоваться для расчета доз удобрений на плановую прибавку урожая (П, формула 1):

$$D = \frac{K_d \cdot H \cdot П}{K_y}, \quad (1)$$

где D – доза удобрений, кг д.в./га;

K_d – коэффициент действия удобрений, указывающий на отклонение фактического содержания элемента питания в почве от оптимального;

H – норма расхода элемента питания на создание 1 т основной продукции с учетом побочной;

K_y – коэффициент использования элемента питания из удобрений.

Расчет доз удобрений на плановый урожай (ПУ) возможен по формуле (2):

$$D = \frac{ПУ \cdot H - C \cdot K_p}{K_y}, \quad (2)$$

где C – содержание элемента питания в слое почвы 0-20, кг/га;

K_p – коэффициент использования элементов питания из почвы.

При определении дозы азотных удобрений используется формула (3):

$$D = \frac{ПУ \cdot H - (C + N_t) \cdot K_p}{K_y}, \quad (3)$$

где N_t – азот текущей нитрификации, кг/га.

Приведенные формулы апробированы при удобрении различных сельскохозяйственных культур в условиях Западной Сибири и Казахстана (Бобренко, 2004; Болдырев, 1972; Болдышева, 2018; Ермохин, 1995; Попова, 2018; Склярова, 2008).

5. УПРАВЛЕНИЕ ПИТАНИЕМ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Для характеристики условий минерального питания растений наряду с анализами почв целесообразно использовать анализы самих растений. Фактическое содержание питательных веществ в растениях часто является более точным критерием обеспеченности их элементами питания (Церлинг, 1962; Сабинин, 1971; Болдырев, 1970, 1972; Магницкий, 1972; Ермохин, 1995; Бобренко, 2004 и др.). Поэтому в течение вегетации необходимо использовать растительную диагностику для корректировки питания яровой пшеницы.

5.1 Содержание макро- и микроэлементов в растениях

В наших экспериментах использование микроудобрений при возделывании яровой пшеницы по-разному изменяло концентрацию элементов в растениях. Так, внесение хелатов не оказало существенного влияния на поступление калия в растения. В то же время концентрация фосфора в целом возрастала.

Использование возрастающих доз цинка от 0 до 20 г/га способствовало увеличению валового азота в зерне при всех изучаемых технологиях применения хелатных микроудобрений. Зависимость содержания азота в зерне (Y_1 – при обработке семян, Y_2 – при опрыскивании в фазу кущения, %) от доз цинка (x ; г/100 кг – при обработке семян, г/га – при опрыскивании) отражается уравнениями (4, 5):

$$Y_1 = 0,013x + 2,31, \quad r = 0,77 \quad (4)$$

$$Y_2 = 0,085x + 2,36. \quad r = 0,79 \quad (5)$$

Из этих уравнений следует, что 1 г цинка удобрений при обработке семян повышает содержание азота в зерне 0,013 %, и на 0,085 % при опрыскивании в фазу кущения. Содержание азота в зерне снижается от доз хелата цинка при обработке семян с 2,61 % (от 20 г/100 кг семян) до 2,36 % при применении 30 г/100 кг семян. Это можно объяснить эффектом «разбавления» за счет формирования большей массы урожайности. Медные удобрения также повышают в целом содержание азота в зерне, но в меньшей степени, чем цинковые (с 2,35 в контроле до 2,40-2,47 %).

Выявлены закономерности поступления микроэлементов в растения при применении хелатов цинка и меди. Так, при обработке семян хелатом цинка содержание цинка в растениях в основном увеличивается (кроме зерна); при этом в ранние фазы влияние сильнее, чем в поздние (таблица 4). При анализе содержания меди в растениях установлено, что хелат цинка в основном повышает этот показатель, а хелат меди повышает его только при низких дозах (Cu_{10}), дальнейшее увеличение доз меди преимущественно приводит к обратному эффекту. На содержание цинка медь хелата также максимально влияет при минимальной дозе в ранние фазы.

Количественная информация о концентрациях микроэлементов в растениях яровой пшеницы является основой как для определения их оптимальных содержания и соотношения в растениях, так и для управления минеральным питанием культуры на основе растительной диагностики.

Таблица 4 – Схема действия цинка и меди удобрений на их концентрацию в растениях яровой пшеницы в течение вегетации (обработка семян, г/100 кг, среднее 2017-2019 гг.)

Доза удобрения	Кущение	Выход в трубку	Колошение	Уборка (солома)	Уборка (зерно)
Цинк					
Zn ₁₀	↑	↑	↑	↑	↓
Zn ₂₀	↑	↑	→	↓	↑
Zn ₃₀	↑	→	→	→	↓
Cu ₁₀	↑	↑	↑	→	→
Cu ₂₀	↓	↓	→	→	↑
Cu ₃₀	→	↓	→	↑	↓
Медь					
Zn ₁₀	→	↓	↑	↑	→
Zn ₂₀	↑	↑	↓	→	↑
Zn ₃₀	↑	↑	↓	↑	↑
Cu ₁₀	↑	↑	↑	↑	↑
Cu ₂₀	→	↓	↓	↓	↑
Cu ₃₀	↑	↓	↓	↑	↓

Примечание. ↑ – увеличение концентрации, ↓ – уменьшение концентрации, → – концентрация находится на одном уровне.

5.2 Оптимальное содержание и соотношение элементов в растениях

Проанализировав связь между содержанием элементов в растениях и урожаем зерна, мы установили оптимальные уровни элементов в яровой пшенице по фазам развития (таблица 5).

Таблица 5 – Оптимальное содержание элементов в растениях яровой пшеницы в течение вегетации (сухая масса)

Фаза развития	N	P	K	Zn	Cu
	%			мг/кг	
Кущение	4,4 ± 0,4	0,40 ± 0,05	3,7 ± 0,4	52 ± 8	4,5 ± 0,3
Выход в трубку	4,0 ± 0,3	0,38 ± 0,04	2,9 ± 0,3	25 ± 5	3,6 ± 0,4
Колошение	2,8 ± 0,4	0,30 ± 0,04	2,3 ± 0,3	23 ± 3	2,2 ± 0,3
Уборка (солома)	0,52 ± 0,05	0,30 ± 0,04	0,72 ± 0,05	12 ± 2	1,4 ± 0,5
Уборка (зерно)	2,6 ± 0,2	0,40 ± 0,05	0,55 ± 0,04	30 ± 2	3,2 ± 0,4

При анализе данных нами также были установлены оптимальные соотношения элементов в растениях яровой пшеницы по фазам развития. В течение вегетации до уборки оптимальное соотношение между валовыми Zn и Cu (Zn : Cu) составляет 6,8-11,7, N и P (N : P) = 9,3-11, N и K (N : K) = 1,2-1,4 (таблица 6).

Таблица 6 – Оптимальное соотношение элементов в растениях яровой пшеницы в течение вегетации (сухая масса)

Фаза развития	Уравнение баланса
Макроэлементы	
Кущение	$N = 11 \cdot P = 1,2 \cdot K,$ (6)
Выход в трубку	$N = 10,5 \cdot P = 1,4 \cdot K,$ (7)
Колошение	$N = 9,3 \cdot P = 1,2 \cdot K,$ (8)
Уборка (солома)	$N = 1,7 \cdot P = 0,7 \cdot K,$ (9)
Уборка (зерно)	$N = 6,5 \cdot P = 4,7 \cdot K,$ (10)
Микроэлементы	
Кущение	$Zn = 11,5 \cdot Cu,$ (11)
Выход в трубку	$Zn = 6,8 \cdot Cu,$ (12)
Колошение	$Zn = 11,7 \cdot Cu,$ (13)
Уборка (солома)	$Zn = 6,5 \cdot Cu,$ (14)
Уборка (зерно)	$Zn = 20,2 \cdot Cu.$ (15)

Зная оптимальную концентрацию элементов питания в растении и их уравновешенное состояние, можно прогнозировать действие и очередность внесения удобрений. При этом используется коэффициент потребности (K_p), показывающий, на сколько отклоняется фактическое содержание или соотношение элемента в растении от оптимального (16):

$$K_p = \frac{N : P, N : K, Zn : Cu \text{ и т. д. (оптим)}}{N : P, N : K, Zn : Cu \text{ и т. д. (факт)}}, \quad (16)$$

и если $K_p > 1$, то растения нуждаются в данном элементе и тем сильнее, чем больше коэффициент. При $K_p < 1$ – потребность в этом элементе отсутствует. Наибольший K_p указывает на тот элемент, который находится в первом минимуме. С учетом коэффициента потребности предложена формула расчёта доз удобрений в подкормку (17):

$$D = K_p \cdot H, \quad (17)$$

где H – минимальная норма потребления элементов растением в определенную фазу развития, выявленная ранее для высоких урожаев.

В результате данных исследований установлены уровни минимального потребления (H) микроэлементов для яровой пшеницы в различные фазы развития (таблица 7).

Таблица 7 – Минимальная норма потребления элементов питания растениями пшеницы яровой в ранние фазы развития, г/га

Фаза развития	Zn	Cu
Кущение	9	2
Выход в трубку	20	4

В 2020 году была проведена производственная проверка разработанных нормативов для расчета доз удобрений в подкормку пшеницы яровой. Использование с помощью некорневой подкормки расчетной дозы цинка в форме хелата 18 г/га (в растворе 250 л/га) в фазу кущения позволило получить урожайность зерна яровой пшеницы 2,25 т/га, меди 10 г/га в форме хелата в фазу выхода в трубку позволило получить урожайность зерна яровой пшеницы 2,18 т/га (в контроле – 2,02 т/га).

6. КАЧЕСТВО УРОЖАЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИКРОУДОБРЕНИЙ

6.1 Влияние микроудобрений на качество зерна

Применение хелатов цинка и меди различными способами положительно повлияли на содержание белка и клейковины в зерне. Максимальные показатели содержания белка получены при некорневой подкормке в фазу кущения Zn₂₀ (14,35 %), клейковины – при предпосевной обработке семян Zn₂₀ (27,9 %). Выявлены зависимости между дозами цинковых и медных удобрений и содержанием цинка (таблица 8).

Таблица 8 – Показатели качества зерна яровой пшеницы в зависимости от применяемых микроудобрений (среднее 2017-2019 гг.)

Вариант	Обработка семян, г/100 кг		Опрыскивание в фазу кущения, г/га		Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га	
	Белок, %	Клейковина, %	Белок, %	Клейковина, %	Белок, %	Клейковина, %
Контроль	13,39	26,50	13,39	26,50	13,39	26,50
Zn ₁₀	13,48	27,17	13,99	27,40	13,47	26,8
Zn ₂₀	13,95	27,90	14,35	27,66	13,56	26,9
Zn ₃₀	13,48	26,93	13,68	27,03	13,30	26,4
Cu ₁₀	14,06	27,88	13,79	27,60	13,85	27,4
Cu ₂₀	13,76	27,67	13,67	27,30	13,34	27,0
Cu ₃₀	13,67	27,53	13,95	28,03	13,65	27,2
НСР ₀₅	0,52	0,55	0,52	0,55	0,52	0,55

В наших опытах, после исследования связи между дозой используемого удобрения и содержанием белка в зерне (У₁ – при обработке семян, У₂ – при опрыскивании в фазу кущения, У₃ – при опрыскивании в фазу выхода в трубку %) от доз цинка и меди (У₄ – при обработке семян, У₅ – при опрыскивании в

фазу кущения, Y_6 – при опрыскивании в фазу в фазу выхода в трубку %) (x ; г/100 кг – при обработке семян, г/га – при опрыскивании) установлена тесная корреляционная зависимость до определенного установленного уровня дозы, превышение которой не ведет к увеличению показателя:

$$Y_1 = 0,028x + 13,33; \quad r = 0,87 \quad (18)$$

$$Y_2 = 0,048x + 13,43; \quad r = 0,88 \quad (19)$$

$$Y_3 = 0,0085x + 13,39; \quad r = 0,79 \quad (20)$$

$$Y_4 = 0,067x + 13,39; \quad r = 0,84 \quad (21)$$

$$Y_5 = 0,04x + 13,39; \quad r = 0,81 \quad (22)$$

$$Y_6 = 0,046x + 13,39. \quad r = 0,71 \quad (23)$$

Большое значение при оценке качества зерна придается стекловидности. Стекловидное зерно оказывает большее сопротивление раздавливанию и скалыванию, поэтому при разломе требуется больше энергии, чем для мучнистого зерна. Стекловидность в эксперименте находилась в пределах 49,0-51,7 %.

Наряду с общим определением содержания белка в зерне определяли его аминокислотный состав в зависимости от условий микроэлементного питания. Так, при исследовании действия микроудобрений при обработке семян хелатными формами цинка на качественные характеристики белка выявлено, что сумма аминокислот повышается с 7,40 % без удобрений до наибольшей 7,53 % при Zn_{30} и 7,30 % – при Cu_{10} . В зерне яровой пшеницы имеется полный набор незаменимых аминокислот. При внесении микроудобрений наблюдалось наибольшее накопление незаменимых аминокислот. В целом влияние хелатных форм микроэлементов носит разнонаправленный характер.

При изучении действия некорневой подкормке в фазу кущения выявлено, что сумма аминокислот повышается с 7,40 % без удобрений до наибольшей 7,71 % от Zn_{10} и 8,10 % – от Cu_{20} . В целом влияние микроэлементов положительно. При некорневой подкормке микроудобрениями в фазу выхода в трубку выявлено сумма аминокислот повышается с 7,40 % без удобрений до наибольшей 7,93 % от применения Zn_{20} и 7,77 % – Cu_{10} . Положительное влияние хелатных форм микроэлементов при некорневой подкормке в фазу выхода в трубку носит устойчивый характер и повышает сумму аминокислот во всех вариантах. Положительное влияние хелатных форм микроэлементов на сумму аминокислот в белке тем существеннее, чем позже их применение.

Содержание цинка в зерне яровой пшеницы при использовании удобрений находилось в диапазоне от 21,8 до 35,3 мг/кг, меди – 1,02-4,76 (таблица 9) и не превышало ПДК в продуктах питания (цинка – 50 мг/кг, меди – 10 мг/кг). Между дозами цинка и меди при опрыскивании в фазу выхода в трубку и их содержанием в зерне существует корреляционная зависимость (уравнения 27 и 28) при уровне доз до оптимального. Применение в более ранние периоды удобрений цинка практически не влияло на содержание цинка в зерне, а меди – положительно влияло на содержание меди в зерне, при этом максимум наблюдался при Cu_{20} .

Таблица 9 – Содержание цинка и меди в зерне яровой пшеницы (мг/кг) в зависимости от доз микроудобрений

Вариант	Обработка семян, г/100 кг		Опрыскивание в фазу кущения, г/га		Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га	
	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu
Контроль	28,1	1,21	28,6	1,21	28,1	1,21
Zn ₁₀	21,8	1,02	28,0	2,69	31,5	1,44
Zn ₂₀	28,5	2,49	29,9	2,85	33,8	3,37
Zn ₃₀	24,1	2,87	31,7	2,53	35,3	3,10
Cu ₁₀	27,6	2,21	28,0	2,90	30,5	3,11
Cu ₂₀	37,1	2,76	27,7	4,76	30,7	3,65
Cu ₃₀	28,3	1,86	31,7	3,02	26,4	2,42

$$Y_1 = 0,24x + 28,59, \quad r = 0,87 \quad (24)$$

$$Y_2 = 0,122x + 1,44. \quad r = 0,91 \quad (25)$$

Таким образом, благодаря микроудобрениям, происходит повышение содержания цинка и меди в зерне яровой пшеницы до определенного уровня. Используя полученные уравнения можно прогнозировать качественные показатели урожая.

6.2 Влияние микроудобрений на качество семян

Средняя энергия прорастания семян при предпосевной обработке семян достоверно увеличивалась при удобрении с 93,3% в контроле до 94,3-97,0% при обработке семян (таблица 10).

Таблица 10 – Посевные качества семян пшеницы яровой при применении хелатных микроудобрений на лугово-черноземной почве (2017-2019 гг.)

Вариант	Обработка семян, г/100 кг		Опрыскивание в фазу кущения, г/га		Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га	
	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %
Контроль	93,3	97,3	93,3	97,3	93,3	97,3
Zn ₁₀	94,8	97,7	95,8	98,8	95,0	97,7
Zn ₂₀	96,3	97,5	96,5	98,2	94,8	97,3
Zn ₃₀	94,3	97,7	96,8	98,7	95,2	98,2
Cu ₁₀	97,0	98,7	96,8	98,7	97,2	98,2
Cu ₂₀	96,5	98,5	98,0	98,7	93,0	97,3
Cu ₃₀	94,5	98,0	94,8	97,2	94,2	97,2
НСР ₀₅	4,60	4,00	4,60	4,00	4,60	4,00

Лабораторная всхожесть семян при предпосевной обработке семян также увеличилась и составила 97,5-98,5%. Наибольший показатель показали варианты обработки хелатами меди. Энергия прорастания достоверно увеличивалась при некорневой подкормке в фазу кущения с 93,3 в контроле до 94,8-98,0 % при применении хелатов микроэлементов.

При лабораторных исследованиях всхожесть полученных семян достоверно увеличилась от некорневой подкормки в фазу кущения с 97,3 в контроле до 98,2-98,8 % при применении хелатов микроэлементов. При некорневой подкормке в фазу выхода в трубку средняя энергия прорастания семян достоверно увеличивалась при удобрении – с 93,3 в контроле до 94,2-97,0 %. Всхожесть семян также увеличилась и составила 97,2-98,2 %.

При предпосевной обработке семян хелатом меди оценка семян пшеницы яровой показала, что лучшим по натуре зерна (715 г/л) был вариант Cu_{20} , при показателях в контроле 693 г/л. От применения хелата цинка наибольшая натура зерна сформировалась в варианте Zn_{20} (706 г/л). В целом на натуру зерна медные удобрения оказали большее влияние, чем цинковые. Применение хелатных микроудобрений методом некорневой подкормки в фазу кущения показали более высокие результаты, лучшим по натуре зерна (717 г/л) характеризовался вариант Cu_{10} , а при применении хелата цинка наибольшая натура зерна (709 г/л) сформировались в варианте Zn_{20} . От хелата меди лучшим по натуре зерна был вариант Cu_{10} (709 г/л). При некорневой подкормке в фазу выхода в трубку лучшими были варианты Zn_{20} и Cu_{10} , 694 и 699 г/л соответственно.

Таким образом, лучшими посевными качествами семян характеризовались варианты применения хелатов при опрыскивании яровой пшеницы в фазу выхода в трубку, несколько более низкие значения изучаемых показателей отмечались при обработке семян. Более высокая энергия прорастания семян – в вариантах обработки хелатами цинка, лабораторная всхожесть была выше при использовании хелата меди. На массу 1000 зерен и натуру медные удобрения оказали большее влияние, чем цинковые, при этом более высокие показатели сформировались при обработке семян и опрыскивании в фазу кущения.

7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОУДОБРЕНИЙ ПОД ПШЕНИЦУ ЯРОВУЮ

Применение микроудобрений экономически эффективно. Так, чистый доход, полученный от микроудобрений составил 4,5-1481,3 руб./га в зависимости от варианта. Уровень рентабельности лучших вариантов по урожайности составил 66,5-179,7%. При этом можно отметить, что внекорневая подкормка в фазу выхода в трубку менее рентабельна, чем обработка семян и подкормка в фазу кущения. В лучших вариантах по урожайности при применении хелата цинка при обработке семян и подкормке в фазу кущения этот показатель составил соответственно 179,7 и 141,3 %, при использовании хелата меди – 119,1, 96,1 %, соответственно. %. В фазу выхода в трубку уровень рентабельности суще-

ственно ниже, в лучших вариантах по урожайности составил при применении цинка 66,5%, меди – 85,6%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В 2017-2019 гг. при возделывании яровой пшеницы сорта Памяти Азии на лугово-черноземной почве лесостепи Западной Сибири установлено, что применение хелатных форм цинковых и медных удобрений различными способами является эффективным. Наиболее эффективной дозой хелатов цинка и меди при предпосевной обработке семян является 20 г/100 кг (получена прибавка урожайности зерна 0,20 т/га или 9,1 % к контролю и 0,14 т/га или 6,4 %, соответственно, при некорневой подкормке в фазу кущения – 20 и 10 г/га, соответственно, (0,20 т/га или 9,1 %), при некорневой подкормке в фазу выхода в трубку – 20 г/га (0,14 т/га или 6,4 %; 0,16 т/га или 7,3 %). Лучший результат от применения хелата цинка получен при обработке семян и некорневой подкормке в фазу кущения, а хелата меди – некорневой подкормке в фазу кущения.

2. Полевая всхожесть семян яровой пшеницы увеличилась при применении цинковых удобрений способом обработки семян до 75,4-91,5 %; медных удобрений – 81,0-87,1 % (контроль – 70,3). Выживаемость растений в зависимости от доз и способов применения цинковых удобрений повысилась до 57,5-82,7 %, медных удобрений – 64,6-78,9 % (контроль – 55,0).

3. Применение хелатов цинка и меди позитивно влияли на характеристики структуры урожая. Продуктивная кустистость при применении цинковых удобрений повысилась до 3,10-3,77 шт., медных удобрений – 2,90-3,35 шт. (контроль – 2,83). Наибольшее количество зерен в главном колосе при обработке хелатом цинка сформировалось в варианте опрыскивания в фазу выхода в трубку дозой 30 г/га – 45,42 шт., хелатом меди при обработке семян Cu_{20} – 44,08 шт. (контроль – 41,9). Масса зерна главного колоса в лучших вариантах по урожайности составила 1,32-1,47 г (в контроле – 1,28 г).

4. Выявлена зависимость коэффициентов использования (%) элементов из почвы (КИП) от доз микроудобрений. Определены агрохимические нормативы при возделывании яровой пшеницы: КИП, % (N – 87; P_2O_5 – 8, K_2O – 6, Zn – 7, Cu – 3,5); затраты макроэлементов для создания 1 тонны зерна (кг) N – 35, P_2O_5 – 23, K_2O – 22 и микроэлементов (г) – Zn – 50, Cu – 3; азот текущей нитрификации – 54 кг/га.

5. Определены оптимальные уровни содержания азота, фосфора, калия цинка, меди в растениях по фазам развития как физиологические характеристики сбалансированного, оптимального питания растений. Получены нормативные параметры расчета доз удобрений (минимальная норма потребления цинка и меди растением, г/га: фаза кущения – Zn – 9, Cu – 2; фаза выхода в трубку – Zn – 20, Cu – 4) для применения в период вегетации по формуле $D = Kп \cdot H$.

6. Применение хелатов цинка и меди различными способами положительно повлияли на содержание белка и клейковины в зерне. Максимальные показатели содержания белка получены при некорневой подкормке в фазу кущения

Zn₂₀ (14,35 %), клейковины – при предпосевной обработке семян Zn₂₀ (27,9 %). Выявленные зависимости между дозами цинковых и медных удобрений и содержанием цинка, меди и белка в зерне позволяют прогнозировать качество урожая.

7. Применение цинковых и медных удобрений влияет на качественные характеристики белка, сумма аминокислот повышается с 7,4 % без удобрений до 8,1 % при некорневой подкормке в фазу кущения Cu₂₀ и 7,71 % – Zn₁₀. При некорневой подкормке в фазу выхода в трубку – до 7,93% (Zn₂₀) и 7,77 % (Cu₁₀). Обработка семян не повлияла на сумму аминокислот.

8. Применение микроудобрений улучшает качество посевного материала, существенно повышая массу 1000 семян (с 29,92 г в контроле до 32,45 г), лабораторную всхожесть (с 97,3 % до 98,8%) и энергию прорастания (с 93,3% до 98 %). Натура зерна в лучших вариантах по урожайности составила 706-717 г/л (в контроле 693 г/л). Применение хелатов некорневой подкормкой в фазу кущения показало более высокие результаты по всем показателям качества посевного материала.

9. Применение хелатных форм цинковых и медных удобрений под яровую пшеницу является экономически эффективным. Условный чистый доход составил в лучших вариантах: при обработке семян хелатами цинка – 1413,4 руб./га (рентабельность 179,7 %) и меди – 837,1 руб./га (119,1 %); при некорневой подкормке в фазу кущения, соответственно, 1481,3 руб./га (141,3 %) и 1149,5 руб./га (109,4 %); фазу выхода в трубку – 614,9 руб./га (66,5 %) и 811,8 руб./га (85,6 %).

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Для получения максимального урожая высокого качества зерна пшеницы яровой при низком содержании подвижных цинка и меди в лугово-черноземной почве необходимо применять дозы хелатов цинка и меди (в одну из фаз, учитывая производственную целесообразность):

- при обработке семян, г на 100 кг семян: Zn – 20, Cu – 20;
- при некорневой подкормке в фазу кущения, г/га: Zn – 20, Cu – 10;
- при некорневой подкормке в фазу выхода в трубку, г/га: Zn – 20, Cu – 20.

Для оптимизации минерального питания следует применять агрохимические нормативы:

- коэффициенты использования элементов питания из почвы (КИП, %):

N – 87; P₂O₅ – 8, K₂O – 6, Zn – 7; Cu – 3,5;

- затраты макроэлементов для создания 1 тонны зерна, кг:

N – 35; P₂O₅ – 23; K₂O – 22;

- затраты микроэлементов для создания 1 тонны зерна, г:

Zn – 50, Cu – 3;

– оптимальные уровни содержания и соотношения элементов питания в растениях;

- минимальная норма потребления цинка и меди растением, г/га:

фаза кущения – Zn – 9, Cu – 2;
фаза выхода в трубку – Zn – 20, Cu – 4;
– формулы расчета доз цинковых и медных удобрений для дополнительного внесения в период вегетации: $D = K_p \cdot H$, г/га.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых изданиях

1. **Попова В.В.** Эффективность предпосевной обработки семян хелатами цинка и меди при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири / Н.В. Гоман, **В.В. Попова**, И.А. Бобренко, А.А. Гайдар // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2019. – № 4 (36). – С. 6-12.
2. **Попова В.В.** Эффективность некорневой подкормки хелатами микроэлементов при возделывании яровой пшеницы на лугово-черноземной почве / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, **В.В. Попова**, Ю.В. Аксенова // Земледелие. – 2020. – № 5. – С. 31-34.
3. **Попова В.В.** Влияние некорневой подкормки хелатами микроэлементов на урожайность яровой пшеницы при возделывании на лугово-черноземной почве / **В.В. Попова**, Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, А.А. Гайдар // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2020. – № 8 (160). – С. 2-12.
4. **Попова В.В.** Гоман Н.В. Влияние предпосевной обработки семян хелатами микроэлементов на урожайность яровой пшеницы / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, **В.В. Попова** // Агротехнический вестник. – 2020. – № 6 (40). – С. 38-42.
5. **Попова В.В.** Влияние предпосевной обработки семян хелатами микроэлементов на продуктивность яровой пшеницы / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, В.М. Красницкий, **В.В. Попова** // Плодородие. – 2020. – № 6 (117). – С. 24-26.

Публикации, входящие в международную базу цитирования Web of Science

6. **Popova V.V.** Efficiency of foliar feeding with zinc and copper chelates of spring soft wheat in the conditions of the southern forest-steppe of the Omsk Irtysk region / I.A. Bobrenko, **V.V. Popova**, N.V. Goman, A.A. Gaidar // Advances in Social Science, Education and Humanities Research. The Fifth Technological Order: Prospects for the Development and Modernization of the Russian Agro-Industrial Sector. – 2019. – V. 393. – P. 232-235.

Публикации в других научных изданиях

7. **Попова В.В.** Эффективность предпосевной обработки семян хелатами цинка и меди при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Омской области / **В.В. Попова**, Н.В. Гоман, И.А. Бобренко // Международная научно-практическая конференция, посвященной 100-летию кафедры растениеводства, кормопроизводства и агротехнологий факультета агрономии, агрохимии и экологии (Воронеж, 24 сентября 2019). – Воронеж: Изд-во ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 104-107.

8. **Попова В.В.** Влияние некорневой подкормки хелатами цинка и меди на качество зерна яровой пшеницы при возделывании на лугово-черноземной почве/ **В.В. Попова**, Н.В. Гоман, М.А. Киреева // «ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2020» XI Национальная научно-практическая конференция (с международным участием) (Омск, 5 июня 2020). – Омск: ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2020. – С. 458-463.

9. **Попова В.В.** Влияние предпосевной обработки семян хелатами цинка и меди на структуру урожая яровой пшеницы /Н.В. Гоман, **В.В. Попова**, И.А. Бобренко // Международная научно-практическая конференция «Современное состояние и проблемы рационального использования почв Сибири» (к 100-летию образования кафедры почвоведения). – Омск: ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2020. – С. 191-195.

Подписано в печать 17.08.2021
Формат 60x90 1/16 Бумага ColorCopy.
Оперативный способ печати.
Усл. печ. л. 1.5. Тираж 100 экз.
Заказ № 304

ООО «Издательский центр КАН»
644122, г. Омск, ул. Красный Путь, 30
Тел.: (3812)24-70-79; 8-904-585-98-84
ps_kan@mail.ru, vk.com/ic_kan, <http://kan55.ru/>
Лицензия ПЛД № 58-47 от 21.04.97