

Эффективность применения микроэлементных удобрений и регуляторов роста на озимой пшенице в лесостепном Поволжье

А. С. Щербаков✉, аспирант кафедры «Общее земледелие и землеустройство»

С. В. Богомазов, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой «Общее земледелие и землеустройство»

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет»,

440014 г. Пенза, ул. Ботаническая д. 30

✉shcherbakov.a.s@pgau.ru

Резюме. Озимая пшеница – стратегически значимая культура для России, определяющая устойчивость продовольственной системы и конкурентоспособность АПК. Её возделывание обеспечивает внутренние потребности в зерне и укрепляет позиции страны на мировом рынке, формируя существенную долю экспортного потенциала сельского хозяйства. Таким образом, актуальной задачей сегодня является изучение способов повышения продуктивности данной культуры. Целью исследований являлось изучение влияния комплексных микроэлементных удобрений и регуляторов роста ретардантного действия для оптимизации условий роста, развития и повышения урожайности озимой пшеницы. В 2022-2024 гг. был заложен двухфакторный полевой опыт в Пензенской области. Почвенный покров – чернозем выщелоченный среднесуглинистый слабокислый. Применение микроэлементных удобрений (Ультрамаг Комби, Аквамикс СТ, Го дрип Микро) достоверно увеличивало площадь листовой поверхности, фотосинтетический потенциал и урожайность озимой пшеницы по сравнению с контролем. Наибольшая эффективность была достигнута при использовании Аквамикс СТ, что подтверждается максимальными значениями площади листьев (56,11 тыс. м²/га), фотосинтетического потенциала (1604,37 тыс. м²/га×сутки) и урожайности (4,89 т/га). Регуляторы роста ретардантного действия (ХЭФК, Моддус, Констандо) также показали положительное влияние на изучаемые показатели. Наибольший эффект наблюдали при использовании ХЭФК, который способствовал увеличению площади листьев, фотосинтетического потенциала и урожайности на 0,16 т/га, по сравнению с контролем. Комбинированное применение Аквамикс СТ с ХЭФК обеспечило максимальные значения урожайности (4,94 т/га) озимой пшеницы, что свидетельствует о синергетическом эффекте от совместного использования данных препаратов.

Ключевые слова: озимая пшеница, микроэлементное удобрение, регулятор роста, фотосинтетическая продуктивность, урожайность.

Для цитирования: Щербакова А. С., Богомазова С. В. Эффективность применения микроэлементных удобрений и регуляторов роста на озимой пшенице в лесостепном Поволжье // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. №2 (70). С. 57-65. doi:10.18286/1816-4501-2025-2-57-65

Application efficiency of microelement fertilizers and growth regulators for winter wheat in the Forest-steppe Volga region

A. S. Shcherbakov✉, S. V. Bogomazov

Federal State Educational Institution of Higher Education "Penza State Agrarian University",
440014 Penza, Botanicheskaya St., 30

✉shcherbakov.a.s@pgau.ru

Abstract. Winter wheat is a strategically important crop for Russia, which determines the sustainability of the food system and the competitiveness of the agro-industrial complex. Its cultivation meets domestic needs for grain and strengthens the country position in the world market, forming a significant share of the export potential of agriculture. Thus, an urgent task today is to study ways to increase the productivity of this crop. The aim of the research was to study the effect of complex microelement fertilizers and growth regulators with retardant action to improve the conditions for growth, development and yield increase of winter wheat. A two-factor field experiment was laid out in Penza region in 2022-2024. The soil cover is leached medium loamy slightly acidic black soil. The application of microelement fertilizers (Ultramag Combi, Aquamix ST, Go drip Micro) significantly increased the leaf surface area, photosynthetic potential and yield of winter wheat compared to the control. The greatest efficiency was achieved when using Aquamix ST, which is confirmed by the maximum values of leaf area (56.11 thousand m² / ha), photosynthetic potential (1604.37 thousand m² / ha × day) and yield (4.89 t / ha). Growth regulators with retardant action (HeFK, Moddus, Constando) also showed a positive effect on the studied parameters. The greatest effect was observed when using HeFK, which contributed to an

increase in leaf area, photosynthetic potential and yield by 0.16 t / ha, compared to the control. The combined application of Aquamix ST with HeFK provided maximum yield values (4.94 t / ha) of winter wheat, which indicates a synergistic effect from the combined usage of these preparations.

Keywords: winter wheat, microelement fertilizer, growth regulator, photosynthetic productivity, yield.

For citation: Shcherbakov A. S., Bogomazov S. V. Application efficiency of microelement fertilizers and growth regulators for winter wheat in the Forest-steppe Volga region // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;2(70): 57-65 doi:10.18286/1816-4501-2025-2-57-65

Введение

Озимая пшеница – одна из ключевых сельскохозяйственных культур в РФ, играя важную роль в обеспечении продовольственной безопасности, экономики агропромышленного комплекса и экспортном потенциале страны [1-3].

Её высокая урожайность и адаптивность к различным климатическим условиям позволяют России занимать лидирующие позиции на мировом зерновом рынке. Кроме того, технологические инновации в агротехнике способствуют дальнейшему повышению эффективности производства этой стратегически важной культуры [4, 5].

Урожайность и качество зерна озимой пшеницы напрямую зависят от обеспеченности растений питательными веществами, включая макро- и микроэлементы [6-8].

Микроэлементы, такие как цинк, медь, марганец, бор, молибден и железо играют важную роль в физиологических процессах растений, влияя на их рост, развитие и устойчивость к стрессовым факторам, а также являются катализаторами многих биохимических процессов в растениях [9-11].

Исследованиями, проведенными в научных и образовательных учреждениях РФ, установлено, что внесение микроэлементных удобрений может увеличить урожайность озимой пшеницы на 10–25% в зависимости от почвенно-климатических условий и доз внесения [12-14].

Для достижения максимального эффекта от внесения микроэлементных удобрений необходимо учитывать почвенно-климатические условия, фазы развития растений и рациональные дозы, и способы внесения удобрений [15]. Дальнейшие исследования в этой области помогут оптимизировать технологии применения микроэлементов в посевах озимой пшеницы.

Регуляторы роста ретардантного действия являются важным инструментом в современном сельском хозяйстве, позволяющим повысить урожайность и качество зерна озимой пшеницы. Их применение способствует укреплению стебля, улучшению кущения и устойчивости к полеганию, что особенно важно в условиях интенсивного земледелия [16, 17].

Применение ретардантов способствует повышению урожайности озимой пшеницы за счёт стимуляции кущения, что приводит к формированию большего количества продуктивных стеблей; снижения потерь от полегания; улучшения фотосинтеза за счет более равномерного распределения солнечной радиации и повышения эффективности фотосинтеза. Результаты научных экспериментов

показывают, что применение ретардантов может увеличить урожайность озимой пшеницы на 10-30% в зависимости от сроков и доз внесения. Дальнейшие исследования в этой области помогут совершенствовать технологию возделывания и повысить рентабельность производства озимой пшеницы [18-20].

Цель исследований – изучение влияния комплексных микроэлементных удобрений и регуляторов роста ретардантного действия для оптимизации условий роста, развития и повышения урожайности озимой пшеницы.

Материалы и методы

Для достижения цели в 2022-2024 гг был заложен двухфакторный полевой опыт на производственных посевах обособленного подразделения учебно-опытного хозяйства «Рамзай» ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ. Почвенный покров – чернозем выщелоченный среднесуглинистый слабокислый. Схема опыта включала следующие факторы и их градации:

Фактор А – некорневая обработка посевов озимой пшеницы комплексными микроэлементными удобрениями:

А₀ – обработка водой (контроль);

А₁ – обработка Ультрамаг Комби для зерновых (2 л/га) в фазу кущения;

А₂ – обработка Аквамикс СТ (1,2 кг/га) в фазу кущения;

А₃ – обработка Го дрип Микро (0,5 кг/га) в фазу кущения.

Фактор В – некорневая обработка посевов регуляторами роста ретардантного действия:

В₀ – обработка водой (контроль);

В₁ – обработка ХЭФК (1,0 л/га) в фазу выхода в трубку;

В₂ – обработка Моддус (0,4 л/га) в фазу выхода в трубку;

В₃ – обработка Констандо (0,4 л/га) в фазу выхода в трубку.

Повторность опыта четырехкратная. Расположение вариантов- методом расщепленных делянок. Предшественник – чистый пар. Сорт озимой пшеницы, возделываемый в опыте, – Безостая 100.

Система обработки почвы: осенне-зимняя включала дискование вслед за уборкой предшественника на 10...12 см и вспашку на 25...27 см; весенне-летняя обработка включала 3...4 послойных культивации с глубины 12...14 до 6...8 см. Посев был произведен в оптимальные сроки (первая декада сентября) с нормой высева 5,5 млн. всхожих семян на гектар. Фон – внесение удобрений в дозе

N₉₀P₆₀K₆₀, обработка пестицидами для борьбы с сорняками, вредителями и болезнями.

В качестве микроэлементных минеральных удобрений применяли:

- Ультрамаг Комби для зерновых – концентрированное комплексное жидкое удобрение для листовых подкормок зерновых культур. Состав препарата: Азот (N) общ. 195,0 г/л, Магний (MgO) 26,0 г/л, Сера (SO₃) 58,5 г/л, Железо (Fe) 10,4 г/л, Марганец (Mn) 14,3 г/л, Цинк (Zn) 13,0 г/л, Медь (Cu) 11,7 г/л, Молибден (Mo) 0,065 г/л, Титан (Ti) 0,26 г/л.

- Аквамикс СТ – высококонцентрированный водорастворимый комплекс микроэлементов в хелатной форме. Содержит макро- и микроэлементы Fe (диэтиленetriаминпентауксусная кислота (ДТПА) – 1,74 %, Fe (этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА) – 2,1 %; Mn(ЭДТА) – 2,57 %; Zn(ЭДТА) – 0,53 %; Cu(ЭДТА) – 0,53 %; Ca(ЭДТА) – 2,57 %; B – 0,52 %; Mo – 0,13 %.

- Го дрип Микро – комплекс микроэлементов в хелатной форме для листовых подкормок, обогащённый серой и магнием. В его состав входят: 22,5 % Сера SO₃, 9 % Магний MgO, 4 % Железо Fe (ЭДТА), 4 % Марганец Mn (ЭДТА), 1,5 % Цинк Zn (ЭДТА), 1,5 % Медь Cu (ЭДТА), 0,5 % Бор B, 0,1 % Молибден Mo.

В эксперименте использовали следующие регуляторы роста ретардантного действия:

ХЭФК – препарат, стимулирующий биосинтез этилена в тканях растений. Благодаря накоплению этилена активизируется рост корневой системы и подавляется рост стебля, что приводит к его укорочению и утолщению второго и третьего междоузлий, а также укреплению стенок соломины. Это способствует увеличению числа продуктивных стеблей. Действующее вещество – Этефон (480 г/л).

Моддус – ретардант, который повышает урожайный потенциал культур за счёт улучшения условий перезимовки, укрепления корневой системы и стебля растений. Препарат подавляет синтез гиббереллина – гормона, отвечающего за рост стебля. Действующее вещество – тринексапак-этил (250 г/л).

Констандо – регулятор роста, применяемый для предотвращения полегания зерновых колосовых культур, повышения урожайности и улучшения качества зерна. Его действие основано на подавлении синтеза гиббереллиновой кислоты через ингибирование фермента 3β-гидроксилазы. Это замедляет рост клеток, уменьшает длину междоузлий и общую высоту растения, а также способствует развитию корневой системы и утолщению стенок соломины. Действующее вещество – тринексапак-этил (250 г/л).

Метеорологические условия в годы проведения эксперимента были благоприятными для

выращивания озимой пшеницы. В критический период влагообеспечения (фазы кущения и выхода в трубку) в 2022 г. количество осадков составило 75,8 мм, что на 22,2 мм ниже среднемноголетних значений. Средний гидротермический коэффициент (ГТК) за этот период составил 1,04. В 2023 г. условия увлажнения были иными: сумма осадков за период «кущение-выход в трубку» достигла 199,8 мм, что на 101,8 мм превышает среднемноголетние показатели. Однако осадки распределялись неравномерно, и большая их часть выпала в третьей декаде июня. Средний гидротермический коэффициент за этот период составил 2,10.

В мае 2024 г. количество осадков составило 26,4 мм, что ниже нормы (38,0 мм). Наибольшее количество осадков выпало в первой декаде (20,4 мм), а в третьей декаде осадков не было. В июне количество осадков также было ниже нормы: 23,9 мм при норме 60,0 мм. Осадки распределялись относительно равномерно по декадам, но их количество оставалось недостаточным. В мае ГТК составил 0,3, что указывает на засушливые условия. Это связано с низким количеством осадков и относительно низкими температурами. В июне ГТК увеличился до 0,4, но оставался ниже нормы, что также свидетельствует о недостаточной увлажнённости.

Статистическая обработка результатов эксперимента проводилась методом дисперсионного анализа по методике Доспехова Б. А. (*Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. 5-е изд., доп. и перераб.. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.*)

Результаты

Развитие растений начинается с формирования листовой поверхности. Биологическая продуктивность озимой пшеницы напрямую зависит от фотосинтетической активности, в процессе которой создаётся до 95 % органической массы.

В условиях 2022 г. площадь листьев варьировалась от 53,66 до 62,05 тыс. м²/га. Некорневая обработка микроэлементными удобрениями оказывала достоверное влияние на показатель. Так в вариантах с микроэлементными удобрениями наибольшее увеличение показателя отмечалось при обработке удобрением Аквамикс СТ, где значение показателя увеличилось на 4,7 тыс. м²/га по сравнению с контролем. При некорневой обработке препаратом Го дрип Микро площадь листьев возросла на 2,91, а Ультрамаг Комби для зерновых – на 3,25 тыс. м²/га.

Регуляторы роста ретардантного действия достоверно увеличивали площадь листьев и увеличивали ее значения на 2,02 при обработке ХЭФК, на 1,82 – при обработке Констандо и 1,48 тыс. м²/га – при обработке Моддус в фазу выхода в трубку.

Таблица 1. Площадь листьев озимой пшеницы, тыс. м²/га

Фактор А – некорневая обработка микроэлементными удобрениями	Фактор В – некорневая обработка регуляторами роста	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Средняя
А ₀ – обработка водой (контроль)	В ₀ – обработка водой (контроль)	53,66	48,61	48,70	50,32
	В ₁ – обработка ХЭФК	56,46	50,48	49,81	52,25
	В ₂ – обработка Моддус	55,23	50,03	49,49	51,59
	В ₃ – обработка Констандо	55,12	50,04	49,51	51,55
А ₁ – обработка Ультрамаг Комби для зерновых	В ₀ – обработка водой (контроль)	56,91	51,97	52,12	53,66
	В ₁ – обработка ХЭФК	59,15	53,41	53,79	55,45
	В ₂ – обработка Моддус	58,25	52,65	52,82	54,57
	В ₃ – обработка Констандо	57,80	52,55	52,97	54,45
А ₂ – обработка Аквамикс СТ	В ₀ – обработка водой (контроль)	58,36	52,52	52,20	54,36
	В ₁ – обработка ХЭФК	58,70	54,15	53,78	55,55
	В ₂ – обработка Моддус	60,15	53,93	53,90	55,99
	В ₃ – обработка Констандо	62,05	53,17	53,07	56,11
А ₃ – обработка Го дрип Микро	В ₀ – обработка водой (контроль)	56,57	52,31	51,90	53,59
	В ₁ – обработка ХЭФК	59,26	53,64	53,33	55,40
	В ₂ – обработка Моддус	57,80	53,36	52,40	54,52
	В ₃ – обработка Констандо	57,80	53,05	52,57	54,48
НСР ₀₅	для делянок I порядка	0,83	1,44	1,4	-
	для делянок II порядка	0,69	1,7	1,3	-
	для фактора А	0,42	0,72	0,7	-
	для фактора В	0,35	0,69	0,6	-

В 2023 г. площадь листовой поверхности варьировалась в пределах от 48,61 до 53,93 тыс. м²/га. Некорневая обработка микроэлементными удобрениями оказала статистически значимое влияние на этот показатель. Наибольшее увеличение площади листьев наблюдалось при применении удобрения Аквамикс СТ, где показатель вырос на 3,9 тыс. м²/га по сравнению с контролем. При использовании препаратов Го дрип Микро и Ультрамаг Комби для зерновых площадь листьев увеличилась на 3,7 и 3,36 тыс. м²/га соответственно.

Регуляторы роста ретардантного действия также достоверно повышали площадь листовой поверхности. Наибольший прирост составил 1,57 тыс. м²/га при обработке ХЭФК, 1,14 тыс. м²/га при применении Моддус и 0,85 тыс. м²/га при использовании Констандо в фазу выхода в трубку.

В 2024 г. некорневая обработка микроэлементными удобрениями также оказала статистически значимое влияние на изучаемый показатель. Наибольший прирост площади листьев был зафиксирован при использовании удобрения Аквамикс СТ, где показатель увеличился на 3,5 тыс. м²/га по сравнению с контролем. Применение препаратов Ультрамаг Комби и Го дрип Микро для зерновых также способствовало увеличению площади листьев на 3,42 и 3,20 тыс. м²/га соответственно.

Регуляторы роста ретардантного действия также показали достоверное увеличение площади листовой поверхности. Максимальный прирост составил 1,45 тыс. м²/га при обработке ХЭФК, 0,92 тыс. м²/га при использовании Моддус и 0,80 тыс. м²/га при применении Констандо в фазу выхода в трубку.

В среднем за период исследований наибольшая площадь листьев отмечалась при некорневой обработке озимой пшеницы удобрением Аквамикс СТ в фазу кущения и регулятором роста ХЭФК в фазу выхода в трубку.

Фотосинтетический потенциал озимой пшеницы – это ключевой показатель, определяющий её продуктивность и урожайность. Он отражает способность растений поглощать солнечную энергию и преобразовывать её в органическое вещество.

В 2022 г. обработка микроэлементными удобрениями (Ультрамаг Комби, Аквамикс СТ, Го дрип Микро) достоверно увеличивала фотосинтетический потенциал (ФП) озимой пшеницы по сравнению с контролем (обработка водой). Наибольшее увеличение ФП наблюдалось при использовании Аквамикс СТ (среднее значение – 1714,75 тыс. м²/га × сутки), что свидетельствует о высокой эффективности этого препарата. Обработка Ультрамаг Комби и Го дрип Микро также показала положительные результаты, но их эффективность была несколько ниже, чем у Аквамикс СТ. В вариантах с данными удобрениями увеличение ФП по сравнению с контролем составило 85,57 и 76,72 тыс. м²/га × сутки соответственно. Применение регуляторов роста (ХЭФК, Моддус, Констандо) способствовало увеличению фотосинтетического потенциала. Наибольший эффект наблюдался при использовании ХЭФК (среднее значение – 1676,88 тыс. м²/га × сутки), что указывает на его высокую эффективность в стимулировании фотосинтетической активности.

В условиях 2023 г. сохранилась тенденция, отмеченная в предыдущий год. Наибольшее

увеличение ФП наблюдали при использовании Аквамикс СТ (среднее значение – 1495,32 тыс. м²/га × сутки). В вариантах с Ультрамаг Комби, Го дрип Микро также отмечено увеличение ФП, которое по сравнению с контролем составило 83,02 и 92,50 тыс. м²/га × сутки соответственно. Наибольший эффект применения регуляторов роста наблюдался при использовании ХЭФК (среднее значение ФП – 1676,88 тыс. м²/га × сутки), где отклонение от контроля составило 51,08 тыс. м²/га × сутки.

В условиях 2024 г. наибольшее увеличение ФП также отмечалось при использовании Аквамикс СТ (отклонение от контроля – 100,03 тыс. м²/га×сутки) и регулятора роста ХЭФК (отклонение от контроля – 54,49 тыс. м²/га×сутки).

В среднем за период исследований применение микроэлементных удобрений и регуляторов роста достоверно увеличивает фотосинтетический потенциал озимой пшеницы, что положительно сказывается на её урожайности. Наибольшая эффективность была достигнута при использовании Аквамикс СТ в сочетании с регулятором роста ХЭФК.

Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) отражает не сам процесс фотосинтеза, а разницу между количеством органического вещества, синтезированного за сутки в результате фотосинтеза, и количеством ассимилятов, затраченных растением на дыхание и другие процессы. Этот показатель рассчитывается на единицу площади листовой поверхности.

Таблица 2. Фотосинтетический потенциал озимой пшеницы, тыс. м²/га × сутки

Фактор А – некорневая обработка микро-элементными удобрениями	Фактор В – некорневая обработка регуляторами роста	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Средняя
А ₀ – обработка водой (контроль)	В ₀ – обработка водой (контроль)	1539,96	1355,30	1426,80	1440,69
	В ₁ – обработка ХЭФК	1613,73	1400,53	1478,20	1497,49
	В ₂ – обработка Моддус	1581,27	1396,99	1462,22	1480,16
	В ₃ – обработка Констандо	1578,32	1404,38	1464,98	1482,56
А ₁ – обработка Ультрамаг Комби для зерновых	В ₀ – обработка водой (контроль)	1625,53	1438,32	1512,34	1525,40
	В ₁ – обработка ХЭФК	1684,55	1494,72	1569,32	1582,86
	В ₂ – обработка Моддус	1660,94	1454,36	1532,99	1549,43
	В ₃ – обработка Констандо	1649,14	1452,87	1537,03	1546,35
А ₂ – обработка Аквамикс СТ	В ₀ – обработка водой (контроль)	1663,89	1473,90	1526,83	1554,87
	В ₁ – обработка ХЭФК	1722,74	1510,12	1585,14	1606,00
	В ₂ – обработка Моддус	1711,10	1499,84	1550,08	1587,01
	В ₃ – обработка Констандо	1761,27	1497,40	1554,44	1604,37
А ₃ – обработка Го дрип Микро	В ₀ – обработка водой (контроль)	1616,68	1447,80	1519,31	1527,93
	В ₁ – обработка ХЭФК	1687,50	1494,27	1570,56	1584,11
	В ₂ – обработка Моддус	1649,14	1473,13	1545,63	1555,97
	В ₃ – обработка Констандо	1649,14	1474,55	1554,46	1559,38
НСП ₀₅	для делянок I порядка	31,58	38,75	32,7	-
	для делянок II порядка	32,79	37,97	39,4	-
	для фактора А	20,79	19,37	16,4	-
	для фактора В	21,40	18,98	19,7	-

Чистая продуктивность фотосинтеза является важным показателем, отражающим эффективность фотосинтетической деятельности растений. Анализ графика за 2022-2024 гг позволяет сделать вывод о том, что на ЧПФ влияют как агротехнические факторы (удобрения, регуляторы роста), так и метеорологические условия. Для повышения чистой продуктивности фотосинтеза и, как следствие, урожайности озимой пшеницы рекомендуется использование Аквамикс СТ в сочетании с регулятором роста ХЭФК.

Урожайность озимой пшеницы является ключевым показателем, который отражает эффективность применяемых агротехнических мероприятий.

Обработка микроэлементными удобрениями (Ультрамаг Комби, Аквамикс СТ, Го дрип Микро)

достоверно увеличивала урожайность озимой пшеницы по сравнению с контролем (обработка водой). Наибольшая урожайность была достигнута при использовании Аквамикс СТ (среднее значение за три года – 4,89 т/га), что свидетельствует о высокой эффективности этого препарата. Обработка Ультрамаг Комби и Го дрип Микро также показала положительные результаты, но их эффективность была несколько ниже, чем у Аквамикс СТ.

Применение регуляторов роста (ХЭФК, Моддус, Констандо) способствовало увеличению урожайности. Наибольший эффект наблюдался при использовании ХЭФК (среднее значение – 4,83 т/га), что указывает на его высокую эффективность в повышении продуктивности озимой пшеницы.

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)

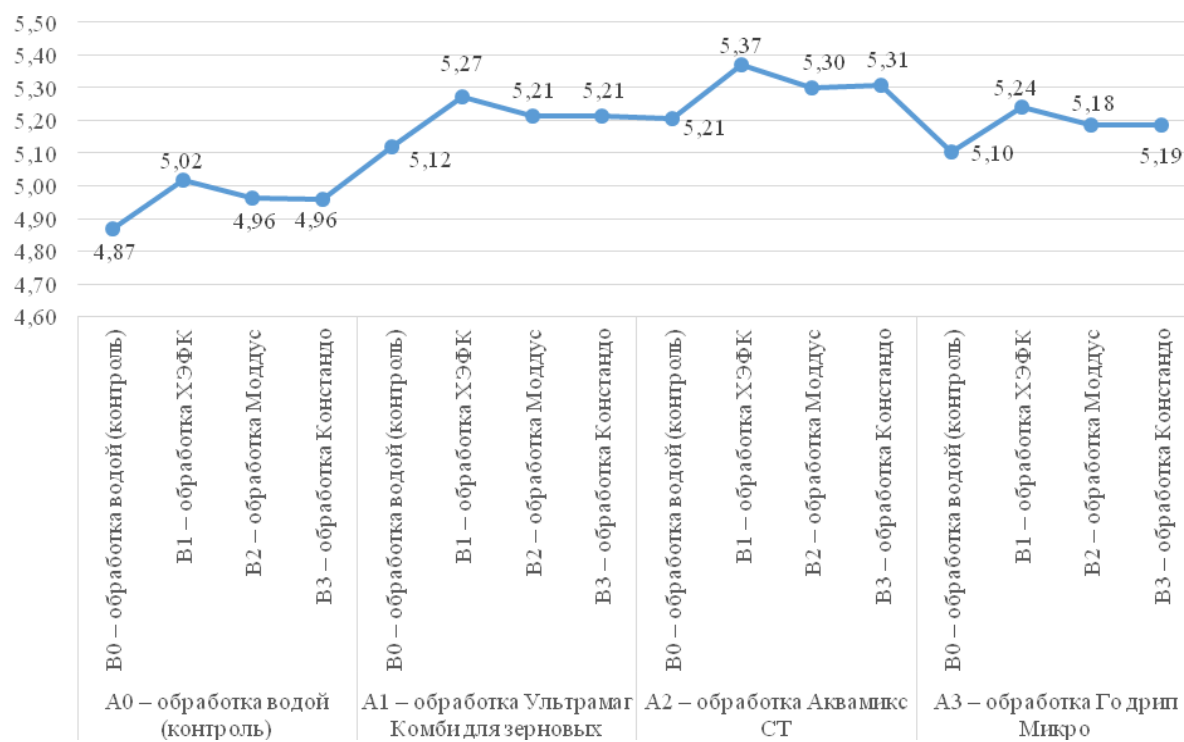


Рис. 1. Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м² × сутки (2022-2024 гг.)

Таблица 3. Урожайность озимой пшеницы, т/га

Фактор А – некорневая обработка микроэлементными удобрениями	Фактор В – некорневая обработка регуляторами роста	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Средняя
А ₀ – обработка водой (контроль)	В ₀ – обработка водой (контроль)	4,95	4,01	4,28	4,41
	В ₁ – обработка ХЭФК	5,20	4,1	4,42	4,57
	В ₂ – обработка Моддус	5,09	4,08	4,38	4,52
	В ₃ – обработка Констандо	5,08	4,09	4,38	4,52
А ₁ – обработка Ультрамаг Комби для зерновых	В ₀ – обработка водой (контроль)	5,24	4,26	4,48	4,66
	В ₁ – обработка ХЭФК	5,44	4,41	4,64	4,83
	В ₂ – обработка Моддус	5,36	4,34	4,58	4,76
	В ₃ – обработка Констандо	5,32	4,39	4,58	4,76
А ₂ – обработка Аквамикс СТ	В ₀ – обработка водой (контроль)	5,37	4,33	4,53	4,74
	В ₁ – обработка ХЭФК	5,63	4,47	4,72	4,94
	В ₂ – обработка Моддус	5,53	4,39	4,64	4,85
	В ₃ – обработка Констандо	5,55	4,46	4,65	4,89
А ₃ – обработка Го дрип Микро	В ₀ – обработка водой (контроль)	5,21	4,32	4,51	4,68
	В ₁ – обработка ХЭФК	5,45	4,42	4,66	4,84
	В ₂ – обработка Моддус	5,32	4,39	4,62	4,78
	В ₃ – обработка Констандо	5,32	4,38	4,62	4,77
НСР ₀₅	для делянок I порядка	0,14	0,06	0,21	-
	для делянок II порядка	0,16	0,06	0,20	-
	для фактора А	0,07	0,12	0,11	-
	для фактора В	0,08	0,11	0,10	-

Обсуждение

Результаты проведённых исследований показывают влияние микроэлементных удобрений и регуляторов роста ретардантного действия на продуктивность озимой пшеницы, что согласуется с данными, представленными в современной научной литературе. Так, исследования Амирова М.Ф. подтверждают, что применение микроэлементов способствует увеличению урожайности и улучшению качества зерна злаковых культур, что особенно важно для стратегически значимых культур, таких как озимая пшеница [12]. Аналогичные выводы были сделаны Лазаревым В.И. и Вартановой А.Б., которые отмечали положительное влияние комплексных удобрений с микроэлементами на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в условиях Курской области [11].

Особый интерес представляет высокая эффективность удобрения Аквамикс СТ, которое обеспечило максимальные значения площади листовой поверхности, фотосинтетического потенциала и урожайности. Эти результаты коррелируют с данными Карповой Л.В. и соавторов, которые подчёркивали преимущества хелатных форм микроэлементов для повышения фотосинтетической активности и продуктивности растений [10]. Кроме того, исследования Казниной Н.М. и Титова А.Ф. показали, что дефицит микроэлементов, таких как цинк негативно влияет на физиологические процессы и продуктивность злаковых культур, что подчёркивает важность их восполнения [9].

Регуляторы роста ретардантного действия, такие как ХЭФК, Моддус и Констандо, также продемонстрировали значительное положительное влияние на изучаемые показатели. Наибольшая эффективность была достигнута при использовании ХЭФК, что согласуется с выводами Лисицына С.В. и Шашкарова Л.Г., которые отмечали способность ретардантов улучшать кущение, укреплять стебель и повышать устойчивость растений к полеганию [20]. Синергетический эффект от комбинированного применения Аквамикс СТ и ХЭФК, выразившийся в максимальной урожайности (4,94 т/га), подтверждает важность комплексного подхода к агротехнике, что также отмечалось в работах Сороки Т.А. и Тереховой С.С. [7, 8, 21].

Литература

1. Ванина К. М. Народно-хозяйственное значение озимой пшеницы и ее роль в продовольственной безопасности страны // Студенческий. 2024. № 20-6(274). С. 48-50.
2. Иванисов М. М., Марченко Д. М., Некрасов Е. И. Оценка сортов озимой мягкой пшеницы в межстанционном испытании по хозяйственно-ценным признакам // Зерновое хозяйство России. 2022. № 1(79). С. 11-16. doi: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-11-16
3. Сорока Т. А. Влияние регуляторов роста и микроэлементов на урожайность и качество зерна озимой пшеницы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 1(33). С. 42-44.
4. Хозяйственно-ценные признаки коллекционных образцов озимой пшеницы в условиях орошения Астраханской области / Е. Г. Кипаева, Д. С. Кадралиев, А. В. Гулин и др. // Проблемы развития АПК региона. 2020. № 1(41). – С. 49-54. doi: 10.15217/issn2079-0996.2020.1.49

В наших исследованиях применение микроэлементных удобрений, особенно Аквамикс СТ, повышает площадь листовой поверхности, фотосинтетический потенциал и урожайность озимой пшеницы.

Регуляторы роста ретардантного действия, в частности ХЭФК, оказывают положительное влияние на продуктивность культуры, способствуя увеличению урожайности и улучшению физиологических показателей.

Комбинированное использование микроэлементных удобрений и регуляторов роста демонстрирует синергетический эффект, что подтверждает целесообразность их совместного применения в агротехнике озимой пшеницы.

Заключение

Проведённые исследования в рамках двухфакторного полевого опыта на производственных посевах озимой пшеницы в условиях учебно-опытного хозяйства «Рамзай» Пензенского ГАУ позволили сделать следующие выводы:

1. Применение микроэлементных удобрений (Ультрамаг Комби, Аквамикс СТ, Го дрип Микро) достоверно увеличивало площадь листовой поверхности, фотосинтетический потенциал и урожайность озимой пшеницы по сравнению с контролем (обработка водой). Наибольшая эффективность была достигнута при использовании Аквамикс СТ, что подтверждается максимальными значениями площади листьев (56,11 тыс. м²/га), фотосинтетического потенциала (1604,37 тыс. м²/га × сутки) и урожайности (4,89 т/га).
2. Регуляторы роста ретардантного действия (ХЭФК, Моддус, Констандо) также показали положительное влияние на изучаемые показатели. Наибольший эффект наблюдали при использовании ХЭФК, который способствовал увеличению площади листьев на 1,57 тыс. м²/га, фотосинтетического потенциала на 51,08 тыс. м²/га × сутки и урожайности на 0,17 т/га.
3. Наибольшая эффективность была достигнута при комбинированном применении Аквамикс СТ с ХЭФК, что обеспечило максимальные значения урожайности (4,94 т/га) и свидетельствует о синергетическом эффекте от совместного использования этих препаратов.

5. Хоконова М. Б., Цагоева О. К. Урожайность и качество зерна ячменя при обработке посевов ретардантами // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 6(176). С. 26-30.
6. Новак С. О., Бояркин Е. В., Большедворская В. К. Урожайность зерновых культур по разному фону минерального питания и внекорневой подкормки // Вестник ИРГСХА. 2020. № 97. С. 41-50.
7. Терехова С. С., Скородинский Р. Н. Влияние минеральных удобрений и регуляторов роста на площадь листьев и продуктивность озимой пшеницы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 195. С. 199-209. doi:10.21515/1990-4665-195-021
8. Фадеева И. Д., Курмакаев Ф. Ф., Саубанова Г. Р. Формирование качества зерна сортами озимой пшеницы // Зернобобовые и крупяные культуры. 2024. № 3(51). С. 41-47. doi: 10.24412/2309-348X-2024-3-41-47
9. Казнина Н. М., Титов А. Ф. Влияние дефицита цинка на физиологические процессы и продуктивность культурных злаков // Успехи современной биологии. 2019. Т. 139 № 3. С. 280-291. doi: 10.1134/S0042132419030037
10. Карпова Л. В., Карпова Г. А., Строгонова А. В. Эффективность применения комплексных жидких удобрений в хелатной форме на фоне естественного и минерального питания растений яровой пшеницы // Нива Поволжья. 2020. № 4(57). С. 51-57. doi:10.36461/NP.2020.57.4.015
11. Лазарев В. И., Вартанова А. Б. Влияние комплексных удобрений с микроэлементами на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в условиях Курской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 6. С. 45-48.
12. Амиров М. Ф. Влияние предпосевной обработки семян микроэлементами на урожайность и качество зерна яровой твердой пшеницы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2012. Т. 7. № 2(24). С. 85-87.
13. Барчукова А. Я., Тосунов Я. К., Чернышева Н. В. Влияние применения регуляторов роста и микроэлементов в технологии выращивания картофеля на рост растений, формирование клубней, их урожайность и качество // Рисоводство. 2023. № 2(59). С. 61-66. doi:10.33775/1684-2464-2023-59-2-61-66
14. Влияние дефицита цинка на фотосинтетический аппарат проростков озимой пшеницы / Н. М. Казнина, Ю. В. Батова, Г. Ф. Лайдинен и др. // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2020. № 11. С. 132-138. doi: 10.17076/eb1303
15. Грушевич О. С., Мееровский А. С. Влияние биостимуляторов роста и микроэлементов на фотосинтетическую деятельность посевов и семенную продуктивность клевера гибридного // Мелиорация. 2019. № 4(90). С. 52-57.
16. Силяева Е. С. Народнохозяйственное значение озимой пшеницы и ее роль в продовольственной безопасности страны // Научный журнал молодых ученых. 2019. № 4(17). С. 39-43.
17. Шумков Д. В., Иванова М. С. Регуляторы роста - ретарданты // Молодежь и наука. 2022. № 4. С. URL: <https://min.urgau.ru/images/2022/4-2022/10-4-2022.pdf> (дата обращения: 20.02.2025)
18. Бедуленко М. А., Агеев В. Ю. Содержание макроэлементов в надземной фитомассе растений монарды дудчатой в онтогенезе при применении макро-, микроудобрений и ретардантов // Земледелие и защита растений. 2020. № 1(128). С. 22-27.
19. Зеленская Г. М., Лесных О. С., Миронова О. А. Реакция сорта ячменя двуручки на применение минеральных удобрений и ретарданта Моддус при осеннем посеве // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2023. № 3(49). С. 5-12.
20. Лисицын С. В., Шашкаров Л. Г. Продуктивность озимой пшеницы Московская 56 в зависимости от применения ретардантов на разных фонах минерального питания // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. 2023. № 4(27). С. 31-34. doi: 10.48612/vchzz9e-u7mu-16k2
21. Особенности влияния некорневой подкормки жидкими удобрениями на минеральное питание, урожайность и качество семян озимой пшеницы / И. Х. Вафин, Р. И. Сафин, Р. В. Миникаев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18, № 2(70). С. 13-18. doi:10.12737/2073-0462-2023-13-18.

References

1. Vanina K. M. National economic importance of winter wheat and its role in food security of the country // Stundcheskiy. 2024. No. 20-6 (274). P. 48-50.
2. Ivanisov M. M., Marchenko D. M., Nekrasov E. I. Evaluation of winter soft wheat varieties in an inter-station test for economically valuable traits // Grain Economy of Russia. 2022. No. 1 (79). P. 11-16. doi: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-11-16
3. Soroka T. A. Influence of growth regulators and microelements on yield and quality of winter wheat grain // Vestnik of Orenburg State Agrarian University. 2012. No. 1 (33). P. 42-44.
4. Economically valuable traits of collection samples of winter wheat under irrigation conditions of Astrakhan region / E. G. Kipaeva, D. S. Kadraliev, A. V. Gulín et al. // Problems of development of the regional agro-industrial complex. 2020. No. 1 (41). P. 49-54. doi: 10.15217 / issn2079-0996.2020.1.49
5. Khokonova M. B., Tsagoeva O. K. Yield and quality of barley grain when treating crops with retardants // Vestnik of the Altai State Agrarian University. 2019. No. 6 (176). P. 26-30.

6. Novak S. O., Boyarkin E. V., Bolshedvorskaya V. K. Yield of grain crops with different backgrounds of mineral nutrition and foliar feeding // Vestnik of IrSAA. 2020. No. 97. P. 41-50.
7. Terekhova S. S., Skorodinsky R. N. Effect of mineral fertilizers and growth regulators on leaf area and productivity of winter wheat // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2024. No. 195. P. 199-209. doi:10.21515/1990-4665-195-021
8. Fadeeva I. D., Kurmakaev F. F., Saubanova G. R. Formation of grain quality by winter wheat varieties // Grain legumes and cereal crops. 2024. No. 3(51). P. 41-47. doi: 10.24412/2309-348X-2024-3-41-47
9. Kaznina N. M., Titov A. F. Effect of zinc deficiency on physiological processes and productivity of cultivated cereals // Advances in modern biology. 2019. Vol. 139 No. 3. P. 280-291. doi: 10.1134/S0042132419030037
10. Karpova L. V., Karpova G. A., Strogonova A. V. Efficiency of using complex liquid fertilizers in chelated form against the background of natural and mineral nutrition of spring wheat plants // Niva Povolzhya. 2020. No. 4 (57). P. 51-57. doi: 10.36461 / NP.2020.57.4.015
11. Lazarev V. I., Vartanova A. B. Influence of complex fertilizers with microelements on yield and grain quality of winter wheat in Kursk region // Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2014. No. 6. P. 45-48.
12. Amirov M. F. Effect of pre-sowing seed treatment with microelements on yield and grain quality of spring hard wheat // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2012. Vol. 7. No. 2(24). P. 85-87.
13. Barchukova A. Ya., Tosunov Ya. K., Chernysheva N. V. Changes in growth regulators and microelements in potato cultivation technology on plant growth, tuber formation, their yield and quality // Rice growing. 2023. No. 2 (59). P. 61-66. doi: 10.33775 / 1684-2464-2023-59-2-61-66
14. The effect of zinc deficiency on the photosynthetic apparatus of winter wheat seedlings / N. M. Kaznina, Yu. V. Batova, G. F. Laidinen et al. // Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2020. No. 11. P. 132-138. doi: 10.17076/eb1303
15. Grushevich O. S., Meerovsky A. S. Influence of growth biostimulants and microelements on photosynthetic activity of crops and seed productivity of hybrid clover // Melioration. 2019. No. 4 (90). P. 52-57.
16. Silyaeva E. S. National economic importance of winter wheat and its role in the country food security // Scientific journal of young scientists. 2019. No. 4 (17). P. 39-43.
17. Shumkov D. V., Ivanova M. S. Growth regulators - retardants // Youth and Science. 2022. No. 4. P. URL: <https://min.urgau.ru/images/2022/4-2022/10-4-2022.pdf> (date of access: 20.02.2025)
18. Bedulenko M. A., Ageets V. Yu. Content of macroelements in the aboveground phytomass of *Monarda fistulosa* plants in ontogenesis with the use of macro-, microfertilizers and retardants // Agriculture and plant protection. 2020. No. 1 (128). P. 22-27.
19. Zelenskaya G. M., Lesnykh O. S., Mironova O. A. Response of the facultative barley variety to application of mineral fertilizers and Moddus retardant during autumn sowing // Vestnik of the Don State Agrarian University. 2023. No. 3 (49). P. 5-12.
20. Lisitsyn S. V., Shashkarov L. G. Productivity of winter wheat Moskovskaya 56 depending on the usage of retardants on different backgrounds of mineral nutrition // Vestnik of the Chuvash State Agrarian University. 2023. No. 4 (27). P. 31-34. doi: 10.48612/vchzz9e-u7mu-16k2
21. Features of the influence of leaf feeding with liquid fertilizers on mineral nutrition, productivity and quality of winter wheat seeds / I. Ch. Vafin, R. I. Safin, R. V. Minikaev et al. // Vestnik of Kazan state agrarian university. 2023. Vol. 18. No. 2(70). P. 13-18. doi:10.12737/2073-0462-2023-13-18.