

## Влияние препарата Юнигель Плантум на физиологические параметры растений ячменя в условиях водного дефицита



Ф. К. Арипова<sup>1,2,\*</sup>, Е. Д. Данилова<sup>3</sup>, Е. В. Бойко<sup>3</sup>,  
М. Кадырбаев<sup>4</sup>, А. И. Ражабов<sup>5</sup>, Г. А. Душанова<sup>6</sup>,  
А. А. Дранников<sup>1,5,6</sup>, Е. А. Литвинова<sup>1,6</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

<sup>4</sup>Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия

<sup>5</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

<sup>6</sup>Самаркандский Государственный университет имени Шарофа Рашидова, Самарканд, Узбекистан

Поступила в редакцию: 26.11.2025

Принята после рецензирования: 29.12.2025

Принята к публикации: 13.01.2026

\*e-mail: [aripova@corp.nstu.ru](mailto:aripova@corp.nstu.ru)

© Ф. К. Арипова, Е. Д. Данилова, Е. В. Бойко, М. Кадырбаев,  
А. И. Ражабов, Г. А. Душанова, А. А. Дранников,  
Е. А. Литвинова, 2026



### Аннотация.

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) используется в качестве кормовой, продовольственной, технической и агротехнической культуры. Одним из стрессовых факторов в процессе роста и развития данной культуры является водный дефицит. Альтернативой уменьшения почвенной засухи, ограничивающей рост и продуктивность злаковых культур, выступают биопрепараты на основе хитозана. Цель исследования – оценка влияния биоорганического препарата Юнигель Плантум (на основе модифицированного хитозана) на устойчивость растений ячменя к последующему действию почвенной засухи при внесении в почву. Объект исследования – ячмень сорта Биом. В рамках работы проводили две серии опытов с применением удобрения Юнигель Плантум в 3 повторениях. Оценивали влияние биоудобрения Юнигель Плантум на энергию прорастания семян ячменя в оптимальных условиях выращивания, а также влияние препарата на повышение устойчивости растений ячменя к водному дефициту.

Применение биоудобрения способствовало улучшению водного статуса растений, снижению окислительного повреждения, регулированию накопления защитных метаболитов (антоцианов и пролина). Отмечено уменьшение негативного влияния водного стресса на фотосинтетическую систему за счет сохранения высокого уровня фотосинтетических пигментов. Использование гидрогелевых структур, которые входят в состав биоорганического препарата Юнигель Плантум, способствовало удерживанию воды в почве, повышая ее доступность для растений и снижая стрессовые воздействия. Совокупность положительных факторов повышает устойчивость ячменя к засухе и уменьшает повреждения, вызванные водным дефицитом.

Полученные результаты позволяют рекомендовать биопрепарат Юнигель Плантум для исследования в полевых условиях выращивания ячменя.

**Ключевые слова.** Ячмень, биоудобрение, водный дефицит, хитозан, метаболиты

**Финансирование.** Исследование выполнено в рамках Соглашения о предоставлении гранта в форме субсидий из областного бюджета Новосибирской области в соответствии с п. 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса РФ от 26.10.2023 № 0000005406995 99823 5121722/№ МЛ-3, заключенного между Министерством науки и инновационной политики Новосибирской области и НГТУ (проект Сиббионоц).

**Для цитирования:** Арипова Ф. К., Данилова Е. Д., Бойко Е. В., Кадырбаев М., Ражабов А. И., и др. Влияние препарата Юнигель Плантум на физиологические параметры растений ячменя в условиях водного дефицита. Техника и технология пищевых производств. 2026. Т. 56. № 1. С. 111–121. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-1-2629>

## Effect of Unigel Plantum on Barley under Water Deficit



Farida K. Aripova<sup>1,2,\*</sup>, Elena D. Danilova<sup>3</sup>, Ekaterina V. Boyko<sup>3</sup>,  
Maksat Kadyrbaev<sup>4</sup>, Asatillo I. Rajabov<sup>6</sup>, Gavhar A. Dushanova<sup>6</sup>,  
Aleksandr A. Drannikov<sup>1,5,6</sup>, Ekaterina A. Litvinova<sup>1,6</sup>

<sup>1</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Siberian State University of Engineering and Biotechnology, Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup> Tomsk State University, Tomsk, Russia

<sup>4</sup> Siberian State Medical University, Tomsk, Russia

<sup>5</sup> Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

<sup>6</sup> Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan

Received: 26.11.2025

Revised: 29.12.2025

Accepted: 13.01.2026

\*e-mail: [aripova@corp.nstu.ru](mailto:aripova@corp.nstu.ru)

© F.K. Aripova, E.D. Danilova, E.V. Boyko, M. Kadyrbaev,  
A.I. Rajabov, G.A. Dushanova, A.A. Drannikov, E.A. Litvinova, 2026



### Abstract.

Barley (*Hordeum vulgare* L.) is a versatile crop utilized for food, feed, and industrial purposes; however, it remains highly sensitive to water stress. Chitosan-based biofertilizers reduce soil drought, thus improving the growth rate and yield of cereal crops. The article describes the effect of the chitosan biofertilizer Yunigel Plantum on barley resistance to soil drought.

The study involved the Biom barley variety subjected to two triplicated series of experiments with Yunigel Plantum. The experiments featured the effect of Yunigel Plantum on seed germination energy under optimal conditions, as well on drought resistance.

Yunigel Plantum improved the water status, reduced the oxidative damage, and stabilized the accumulation of such protective metabolites as anthocyanins and proline. The high levels of photosynthetic pigments reduced the negative impact of water stress on the photosynthetic system. Yunigel Plantum contained hydrogel structures that promoted water retention in the soil, making it more available to plants and reducing the stress. The synergy of these positive factors increased the drought resistance and reduced the damage caused by water deficiency.

In this research, Yunigel Plantum showed good prospects for field trials in the sphere of barley farming.

**Keywords.** Barley (*Hordeum vulgare* L.), biofertilizer, water deficiency, chitosan, metabolites

**Funding.** The work was carried out within the framework of the Agreement on the provision of a grant in the form of a subsidy from the regional budget of the Novosibirsk region in accordance with paragraph 4 of Article 78.1 of the Budget Code of the Russian Federation dated October 26, 2023 No. 00000540699599823 5121722/No. ML-3, concluded between the Ministry of Science and Innovation Policy of the Novosibirsk Region and NSTU (Sibbionoc project).

**For citation:** Aripova FK, Danilova ED, Boyko EV, Kadyrbaev M, Rajabov AI, et al. Effect of Unigel Plantum on Barley under Water Deficit. Food Processing: Techniques and Technology. 2026;56(1):111–121. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-1-2629>

### Введение

Водный дефицит является одним из самых серьезных стрессовых факторов для растений, особенно для злаков, которые зависят от доступности влаги в почве для нормального физиологического функционирования. Недостаток воды приводит к снижению осмотического потенциала клеток – ключевого параметра, поддерживающего водный баланс и тургорное давление внутри растительных тканей. В результате осмотический потенциал становится отрицательным, что препятствует поступлению воды в клетки и вызывает обезвоживание, которое приводит к уменьшению размера клеток, снижению объема вакуолей и тургора.

Указанные процессы замедляют темпы роста растения и ухудшают развитие надземной части, что особенно критично в фазах активного формирования листьев, стеблей и колосьев у злаковых культур [1, 2].

Под воздействием водного дефицита в злаковых растениях значительно усиливается процесс перекисного окисления липидов клеточных мембран, что связано с активацией свободнорадикальных процессов, в ходе которых образуются реакционноспособные формы кислорода, повреждающие липидные компоненты мембран. Усиленное перекисное окисление приводит к потере структурной целостности клеточных мембран, ухудшая их барьерные и транспортные

функции. Повреждение мембран при водном дефиците сопровождается увеличением их проницаемости и оттоком  $K^+$  из клеток; одновременно нарушение ионного гомеостаза затрагивает  $Ca^{2+}$ -зависимые сигнальные пути стресс-ответа [3–5]. В итоге повреждение мембран усиливает стрессовое состояние растения, вызывает деградацию и гибель клеток, что снижает общую устойчивость злаков к неблагоприятным условиям водного дефицита, что напрямую влияет на рост и продуктивность растений [6].

В ответ на водный дефицит растения накапливают пролин – аминокислоту, играющую роль осмопротектора, и антоцианы – флавоноидные пигменты, обладающие антиоксидантной активностью. Они помогают растениям регулировать осмотический потенциал, защищать клетки от повреждений, вызванных ионами активных форм кислорода (АФК), и способствуют адаптации к стрессовым условиям [7, 8].

Избыточная генерация АФК запускает перекисное окисление липидов в мембранах хлоропластов. Разрушение мембран повреждает структуру и функции тилакоидов, в которых сосредоточены фотосинтетические пигменты: происходит деградация хлорофиллов и каротиноидов, снижается их синтез, что ведет к уменьшению общего содержания пигментов и снижению фотосинтетической активности [9]. Проблема чрезмерной выработки АФК и окислительного стресса внутри тканей растения решается посредством применения хитозана, т. к. он способствует значительному увеличению содержания хлорофиллов в листьях. В результате улучшается фотосинтетическая активность и уровень поглощения энергии светом, позволяя растениям поддерживать более высокий уровень ассимиляции даже в условиях дефицита воды.

Хитозан – биополимер, проявляющий значительную эффективность в улучшении устойчивости растений к водному дефициту. Исследования, проведенные на различных злаковых культурах, продемонстрировали, что обработка растений хитозаном оказывает комплексное положительное воздействие на их физиологическое состояние и биохимические процессы. Применение хитозана способствует стимулированию прорастания семян, ускоряет развитие корневой и вегетативной систем, улучшает рост и устойчивость растений в условиях дефицита влаги. За счет этого хитозан становится перспективным биопрепаратом в агротехнологиях, направленным на повышение стрессоустойчивости культур [10–12]. Согласно отечественным исследованиям, препараты и композиции на основе биополимера хитозана и биологических агентов способны индуцировать устойчивость растений к различным стрессовым воздействиям, включая неблагоприятные абиотические факторы, путем активации защитных физиолого-биохимических механизмов [13, 14]. К числу биопрепаратов, содержащих в себе комплекс хитозана и органоминеральных веществ, способствующих росту и развитию растений,

относится биоудобрение Юнигель Плантум (Новосибирск, Россия). Данная форма биоудобрения представляет собой многофункциональный продукт на основе биополимера – модифицированного хитозана, обеспечивающего постепенное высвобождение в субстрат содержащихся в нем компонентов за счет своих физико-химических и биодеградиционных свойств [15]. В структурную матрицу данного природного полимера были иммобилизованы бактерии рода *Bacillus*, гуминовые и фульвовые кислоты (препарат Берес-8), микроэлементы. Ранее изучена эффективность применения препарата при выращивании листового салата [16].

Для исследования устойчивости к водному дефициту в качестве модельного растения выбран ячмень – культура, имеющая важное агрономическое значение и используемая в кормовых, продовольственных и технических целях. Действие хитозансодержащих препаратов на рост, фотосинтетический аппарат и антиоксидантную систему злаковых культур изучалось преимущественно на пшенице [17]. Вместе с тем экспериментальные данные, посвященные действию хитозансодержащих биопрепаратов на физиологическое состояние ячменя в условиях водного дефицита, в отечественной литературе представлены фрагментарно.

Цель исследования – оценка влияния биоорганического препарата Юнигель Плантум на выносливость растений ячменя к действию почвенной засухи при внесении в почву.

#### Объекты и методы исследования

Объект исследования – ячмень (*Hordeum vulgare* L.) сорта Биом, широко используемый в Сибири (Россия). Культура относится к зернофуражному направлению. Сорт среднеранний, его вегетационный период составляет 70–81 день. Колос растения имеет цилиндрическую форму, зерна крупные. Высота растений – 47–73 см. Сорт отличается высокой устойчивостью к полеганию. Зерно ячменя – ценный кормовой компонент для крупного рогатого скота, свиней и птиц за счет высокого содержания белка и питательности.

Проведено две серии опытов с применением биопрепарата Юнигель Плантум (Новосибирск, Россия) в 3 повторениях.

Первая серия опытов выполнена с целью исследования влияния биоудобрения Юнигель Плантум на энергию прорастания семян ячменя в оптимальных условиях выращивания. Энергия прорастания выступает показателем посевных качеств семян – процентом нормально проросших семян за определенный срок. В первой серии экспериментов сухие нестерильные семена ячменя высаживали в сосуды с субстратом, который состоял из почвенного субстрата, смешанного с торфом и песком в соотношении 7:2:1. Растения выращивали с использованием линейных LED-модулей полного спектра на диодах Samsung LM281B+ (плата 500×30 мм, угол 120°, CRI ≈ 80, IP33), питание 24 V DC. На полке 120×50 см уста-

навливали 3 планки на высоте  $\approx 30$  см над растениями. Номинальная мощность одной планки – 25–30 Вт. Интенсивность освещения рассчитывали по паспортной фотонной эффективности ( $\approx 1,8$  мкмоль/Дж) и входной мощности: PPF  $\approx 45$ –54 мкмоль/с на планку, суммарно 135–162 мкмоль/с на полку. При площади полки 0,60 м<sup>2</sup> расчетное значение PPFD составляет  $\approx 225$ –270 мкмоль/(м<sup>2</sup>·с). При фотопериоде 16 ч DLI соответствует  $\approx 13$ –16 мкмоль/(м<sup>2</sup>·д). В каждом варианте было высажено 120 семян (12 сосудов по 10 семян ячменя). Контрольные варианты увлажняли дистиллированной водой. В почву опытных групп при посадке однократно вносили биоорганический препарат Юнигель Плантум в дозе 0,03 г на сосуд. Через неделю подсчитывали количество проросших семян, измеряли надземную массу проростков.

Во второй серии экспериментов изучали влияние препарата на повышение устойчивости растений ячменя к водному дефициту. Семена стерилизовали спиртовым раствором, 48 ч стратифицировали при температуре 4 °С для набухания семян и унифицирования их всхожести. Через 3 суток набухшие семена распределяли в сосуды с почвенным субстратом (смесь универсального грунта, перлита и песка в соотношении 7:2:1) согласно вариантам, отраженным на рисунке 1.

В каждом сосуде находилось по 30 семян с равным количеством субстрата. Высажено по пять сосудов на каждую группу. В группы «Юнигель Плантум» и «Юнигель Плантум + водный дефицит» в верхний слой субстрата вносили биоорганический препарат Юнигель Плантум в дозе 0,03 г на весь объем почвенного субстрата в каждом сосуде. В первые пять дней проростки во всех вариантах поливали дистиллированной водой одинаково. На 6 сутки полив водой в вариантах с водным дефицитом прекращали. Через 14 суток после переноса семян в сосуды с почвенным субстратом измерили биомассу надземной части растений. Растительный материал для проведения биохимических методов анализа зафиксировали жидким азотом и хранили при  $-70$  °С.

Гравиметрический анализ сырой и сухой биомассы растительного материала проводили с помощью ана-

литических весов Sartorius CP 622 (Германия). Сырую массу надземной части растений определяли после срезки образцов; сухую массу высушивали до достижения постоянной массы.

Величину перекисного окисления липидов измеряли спектрофотометрическим методом на мультипланшетном ридере (Feyond-A300, Allsheng, Китай) по концентрации соединений, активных в реакции с тиобарбитуровой кислотой при нагревании (ТБК-активных продуктов) по Y.A. Buege & S.D. Aust [18].

Содержание антоцианов определяли спектрофотометрическим методом [19]. Навеску растительного материала (0,3–0,5 г) измельчали и экстрагировали в 10 мл 1 % HCl при температуре 40–45 °С в течение 20 мин. После фильтрования измеряли оптическую плотность при 510 и 657 нм. Содержание антоцианов рассчитывали с учетом поправки на хлорофиллы и выражали в мкг/г сырого веса.

Определение содержания свободного пролина проводили по методу L.S. Bates *et al.* [20]. Для экстракции использовали 1,5 мл 3 % сульфосалициловой кислоты, реакцию с нингидриновым реактивом и уксусной кислотой проводили на водяной бане при 98 °С в течение 1 ч. Концентрацию пролина устанавливали по калибровочным растворам.

Клеточный сок получали растиранием материала с последующим центрифугированием (13000 g, 10 мин, 4 °С); надосадочную жидкость отбирали в микропробирки на льду. Осмотический потенциал, Мпа, экссудата измеряли на криоскопическом осмометре Osmomat 030 (Gonotec, Германия).

Концентрацию фотосинтетических пигментов в экстракте определяли по методу H. Lichtenthaler [21]: навеску листового материала массой 50 мг помещали в пробирку Эппендорфа, содержащую 1,5 мл 96 % этанола, затем перемешивали на вортексе и центрифугировали при 10000 g в течение 10 мин. Надосадочную жидкость переносили в отдельные стеклянные пробирки, повторяя экстракцию трижды, при этом все образцы хранили в темноте для предотвращения фотодеструкции пигментов. После этого объем спирта в каждой пробирке доводили до 5 мл, тщательно перемешивали

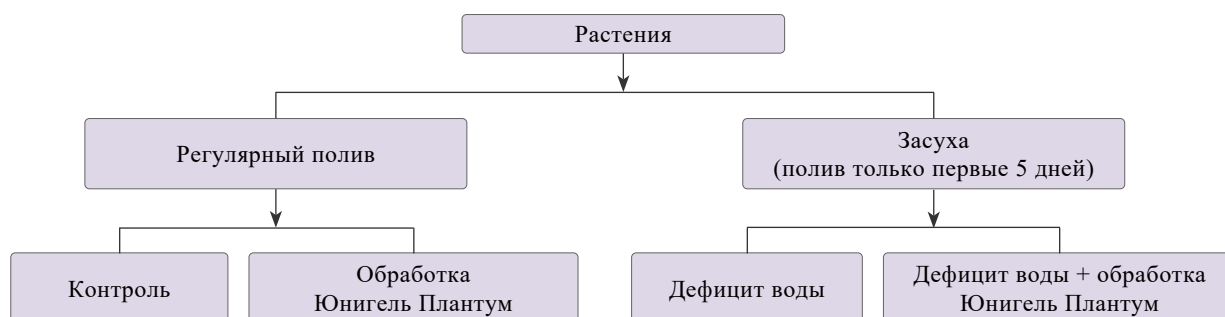


Рисунок 1. Схема второй серии экспериментов

Figure 1. Experiment series 2

и измеряли оптическую плотность полученных экстрактов спектрофотометрическим методом.

Результаты представлены как среднее и стандартная ошибка среднего. Статистическую обработку проводили в программе R версии 4.1.2 (R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия) в среде RStudio. Для выявления различий между вариантами применяли дисперсионный анализ (ANOVA), после которого выполняли критерий Тьюки (Tukey's HSD) для множественных сравнений. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ . Группы, имеющие достоверные отличия, обозначили символами \* и #.

### Результаты и их обсуждение

В первой серии экспериментов оценивали действие биоорганического препарата Юнигель Плантум на прорастание семян и рост проростков ячменя. Прорастание – важный этап в жизненном цикле культуры, от которого напрямую зависит полевая всхожесть. На ранних стадиях онтогенеза закладывается фундамент будущего урожая: формируются первичные корни и первые ассимилирующие органы, запускается метаболизм, обеспечивающий последующий рост и развитие. При недостатке влаги физиологические процессы замедляются, органы растения ингибируются.

В контрольном варианте для проростков ячменя средняя масса составила 0,168 г, что принято за 100 %. Применение препарата увеличило средний показатель на 14 % ( $t$ -критерий Стьюдента, где  $n = 148$ ;  $p = 0,02$ ). Кроме того, препарат Юнигель Плантум способствовал повышению лабораторной всхожести семян ячменя с 63 % (75 из 120) в контроле до 76 % (91 из 120) в опытном варианте (Хи-квадрат с поправкой Йейтса, где  $X^2 = 4,36$ ;  $p = 0,036$ ) (табл. 1). Таким образом, препарат обеспечил как прирост массы, так и возрастание всхожести ячменя.

Применение растворов хитозана – основного активного компонента, входящего в состав препарата Юнигель Плантум, – неоднократно изучалось в экспериментальных исследованиях. Ранее установлено, что хитозан стимулирует прорастание семян сельскохозяйственных культур. Этот эффект обусловлен стимулирующим действием хитозана на физиологические процессы прорастания семян, что запускает каскад биохимических реакций, способствующих более интенсивному развитию корневой системы и надземной массы. Эффективность хитозана была продемонстрирована на широком спектре культур, включая злаковые, пасленовые и бобовые, которые занимают ключевые позиции в сельскохозяйственном производстве [22, 23]. Применение биоорганического препарата с хитозаном представляет собой перспективный подход для устойчивого повышения продуктивности агрокультур и улучшения качества конечной продукции.

На следующем этапе выполнили комплексный анализ воздействия биоорганического препарата Юнигель Плантум на ключевые показатели роста и развития ячменя в норме и на фоне действия водного дефицита. Полученные данные свидетельствуют о негативном воздействии водного дефицита на рост ячменя, особенно выраженном в снижении сырой массы: с 0,864 г в контроле до 0,676 г при водном дефиците (табл. 2). Нехватка воды существенно тормозит общий рост растения через уменьшение клеточного тургора. Сырой массой является свежесобранный растительный материал, включающий воду и сухое вещество. Для ячменя этот показатель имеет разноплановое значение: от агрономического до экономического. С точки зрения агрономического значения показатель сырой массы ячменя является одним из индикаторов темпов роста, т. к. снижение сырой массы

Таблица 1. Влияние биоорганического препарата Юнигель Плантум на прорастание семян и рост ростков ячменя

Table 1. Effect of Unigel Planthum on barley seed germination and sprout growth

Вариант	Масса проростков, г	% от контроля	Количество проросших семян, шт	% от 120 семян
Контроль	0,168 ± 0,005	100	75	63
Юнигель Плантум	0,192 ± 0,009*	114	91*	76
* $p \leq 0,05$ Хи-квадрат			* $p \leq 0,05$ $t$ -критерий Стьюдента	

Таблица 2. Влияние биоорганического препарата Юнигель Плантум на накопление биомассы растений ячменя и их оводненность в условиях водного дефицита

Table 2. Effect of Unigel Planthum on barley biomass and hydration under water stress

Вариант	Сырая масса, г	Сухая масса, г	Содержание воды, %
Контроль	0,864 ± 0,013	0,092 ± 0,002	89,0 ± 1,0
Юнигель Плантум	0,924 ± 0,024	0,107 ± 0,002	89,0 ± 2,0
Водный дефицит	0,676 ± 0,022*	0,084 ± 0,003	86,0 ± 1,0
Юнигель Плантум + водный дефицит	0,721 ± 0,026	0,081 ± 0,003	87,0 ± 0,5
* $p \leq 0,05$ по сравнению с контрольной группой			

на ранних фазах роста и развития говорит об отсутствии активного нарастания вегетативной массы и хорошем потенциале фотосинтеза. У проростков и молодых растений сырая масса корней коррелирует с их способностью поглощать воду и питательные вещества. Снижение сырой массы – один из показателей, связанных с урожайностью: на ранних стадиях сырая масса коррелирует с будущей биомассой зерна, т. к. интенсивное нарастание вегетативной части предшествует высокому урожаю, слабое – низкому.

Показатели сухой массы и содержания воды изменились, но статистически значимых различий не выявлено. При этом наблюдалась тенденция к снижению содержания воды в условиях водного дефицита, что подтверждает стрессовое состояние растений. Применение биоорганического препарата Юнигель Плантум на фоне водного дефицита способствовало ослаблению снижения: сырая масса составила 0,721 г.

При обработке препаратом без воздействия стрессовых факторов наблюдалось незначительное снижение содержания всех пигментов: хлорофилла *a* – до 1,3 мг/г свежей массы ячменя, хлорофилла *b* – до 0,4 мг/г, каротиноидов – до 0,2 мг/г. Результат свидетельствует об отсутствии выраженного стимулирующего эффекта препарата на синтез фотосинтетических пигментов в оптимальных условиях (рис. 2).

В условиях водного дефицита содержание всех пигментов значительно снизилось, отражая типичную реакцию растений на водный стресс, свидетельствующую о снижении фотосинтетической активности.

Комбинация обработки препаратом и водного дефицита сохранила содержание хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов на уровне контрольных значений, что достоверно выше, чем в варианте с водным дефицитом без применения Юнигель Плантум.

В результате применение препарата в условиях водного дефицита способствовало поддержанию более высокого уровня фотосинтетических пигментов по сравнению с необработанными стрессовыми растениями, что свидетельствует о его потенциальной защитной роли в ослаблении повреждающего воздействия водного стресса на фотосинтетический аппарат. Аналогичные эффекты биопрепаратов и композиций, содержащих биологически активные компоненты, отмечены в отечественных исследованиях на злаковых культурах – преимущественно на примере пшеницы, где показано их влияние на состояние фотосинтетического аппарата и рост растений [17].

Водный стресс ограничивает рост за счет нарушения водообмена и клеточного тургора. Использование гидрогелевых структур, которые входят в состав биоорганического препарата Юнигель Плантум, помогает удерживать воду в почве, повышая ее доступность для растений и снижая стрессовые воздействия. Эти результаты подчеркивают перспективность применения биополимерных гелей в качестве агротехнического средства для повышения устойчивости ячменя к дефициту воды.

Для количественной оценки степени окислительного повреждения липидных мембран использовали метод определения количества тиобарбитуровой кислоты (ТБК-активные продукты) в реакции с пробами растений (рис. 3). ТБК-активными продуктами являются вещества, реагирующие с тиобарбитуровой кислотой. Их количественная оценка служит важным диагностическим инструментом в физиологии растений ячменя.

В контрольных условиях уровень ТБК-активных продуктов в надземной части растений ячменя составлял 0,026 мкг/г сырой массы. Водный дефицит

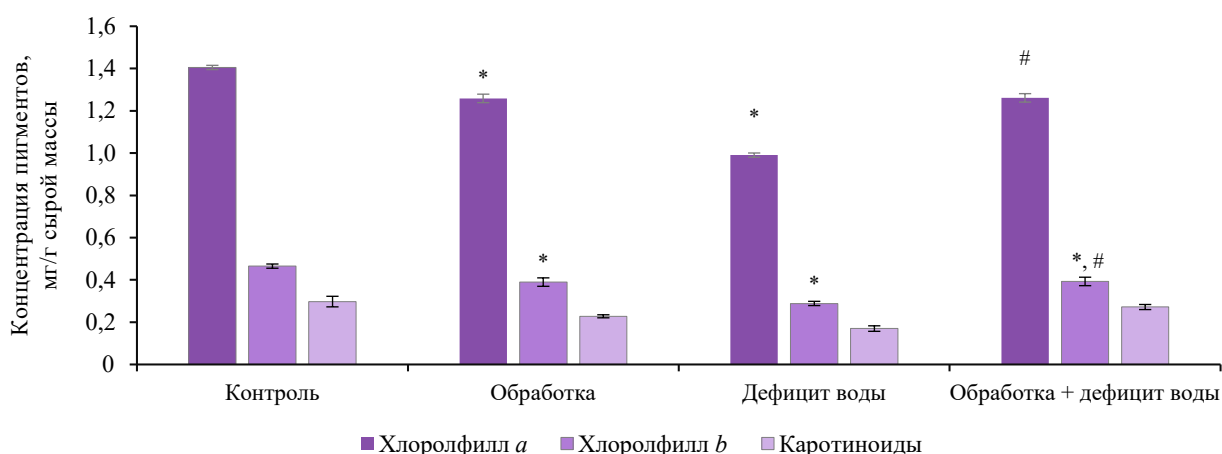


Рисунок 2. Влияние биоорганического препарата Юнигель Плантум на концентрацию фотосинтетических пигментов в листьях ячменя при водном дефиците (\* $p \leq 0,05$  по сравнению с контрольной группой; # $p \leq 0,05$  по сравнению с группой с дефицитом воды)

Figure 2. Effect of Unigel Planthum on photosynthetic pigments in barley leaves under water stress (\* $p < 0.05$  vs. control; # $p < 0.05$  vs. water-deficient group)

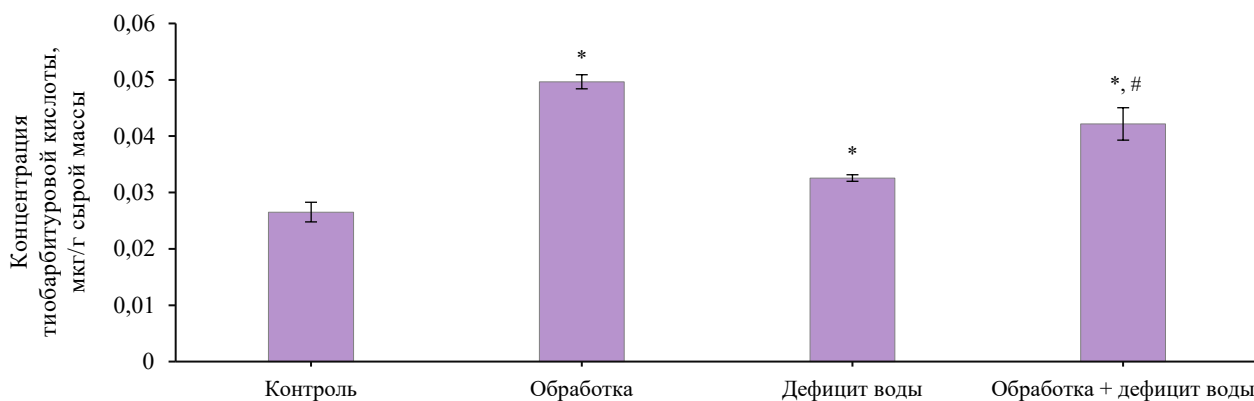


Рисунок 3. Влияние биоорганического препарата Юнигель Плантум на концентрацию тиобарбитуровой кислоты в растениях ячменя при водном дефиците (\* $p \leq 0,05$  по сравнению с контрольной группой; # $p \leq 0,05$  по сравнению с группой с дефицитом воды)

Figure 3. Effect of Unigel Planthum on thiobarbituric acid in barley under water stress (\* $p < 0.05$  vs. control; # $p < 0.05$  vs. water-deficient group)

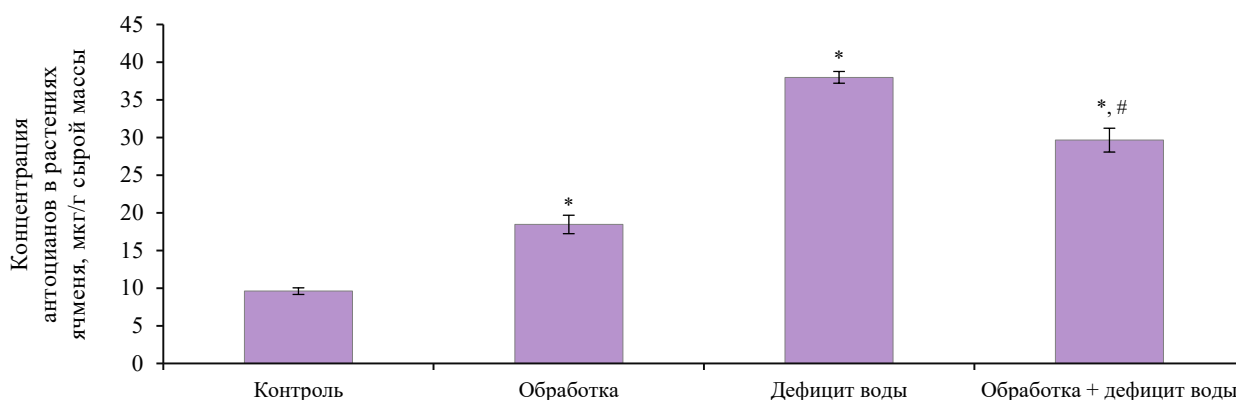


Рисунок 4. Влияние биоорганического препарата Юнигель Плантум на концентрацию антоцианов в растениях ячменя при водном дефиците (\* $p \leq 0,05$  по сравнению с контрольной группой; # $p \leq 0,05$  по сравнению с группой с дефицитом воды)

Figure 4. Effect of Unigel Planthum on anthocyanins in barley under water stress (\* $p < 0.05$  vs. control; # $p < 0.05$  vs. water-deficient group)

вызывал двукратное повышение содержания реактивных соединений тиобарбитуровой кислоты (TBARS) – группы соединений, образующихся в результате перекисного окисления липидов клеточных мембран относительно контрольных растений ячменя. Наличие в почвенном субстрате препарата Юнигель Плантум способствовало предотвращению развития окислительного стресса у ячменя в условиях водного дефицита (рис. 3).

При дефиците влаги содержание антоцианов в листьях культурных и диких видов растений значительно возрастает. Антоцианы действуют как антиоксиданты, нейтрализуя активные формы кислорода (АФК) – высокорекреационные кислородсодержащие молекулы, образующиеся в клетках как побочные продукты метаболизма. Усиление биосинтеза антоцианов в условиях

дефицита воды является адаптивным ответом растений, направленным на повышение их выживаемости в неблагоприятных условиях окружающей среды.

В рамках эксперимента изучено влияние препарата Юнигель Плантум и водного дефицита на содержание антоцианов в надземной части растений ячменя. По результатам анализа, содержание антоцианов у контрольных растений составило 9,60 мг/г сырой массы; при обработке препаратом без стресса – 18,45 мг/г, прирост антоцианов составил более 90 % (рис. 4). При воздействии водного дефицита концентрация антоцианов выросла в 4,0 раза по сравнению с контролем, что соответствует литературным данным о реакции растений на водный стресс. В варианте «Юнигель Плантум + водный дефицит» уровень антоцианов был ниже, чем при одном водном дефиците. Внесение

препарата снижало острый стрессовый отклик ячменя по содержанию антоцианов при дефиците воды, что свидетельствует о частичном защитном действии препарата Юнигель Плантум.

Для поддержания водного баланса в тканях растений в условиях дефицита влаги критически важно снизить осмотический потенциал клеточного сока до уровня, восстанавливающего правильное направление градиента водного потенциала. Такое снижение обеспечивает возникновение отрицательного водного потенциала внутри клеток, что облегчает поступление воды из окружающей среды в клетки корня. Растения активируют внутренние адаптационные механизмы, направленные на увеличение концентрации растворенных веществ в апопластических и симпластических пространствах. Указанные изменения предотвращают дегидратацию клеток и поддерживают физиологические функции, обеспечивая устойчивость растений к засухе.

Согласно концепции индуцированной устойчивости, широко представленной в зарубежной и отечественной литературе, снижение избыточного накопления стресс-индикаторных метаболитов при применении биопрепаратов может свидетельствовать об ослаблении стрессового воздействия и более эффективной регуляции физиологического состояния растений [14].

В соответствии с полученными данными (рис. 5), осмотический потенциал клеточного экссудата листьев ячменя в контрольном варианте составил  $-0,82$  МПа. Препарат Юнигель Плантум без стрессового воздействия не вызывал достоверных изменений осмотического потенциала, тогда как дефицит воды снижал осмотический потенциал относительно контроля. Препарат Юнигель Плантум в почве при водном дефиците не изменял величину осмотического потенциала клеточного сока листьев ячменя, по сравнению с растениями в условиях стресса, но без препарата.

Типичным и хорошо изученным ответом растений на воздействие различных стрессовых факторов (засуха, солевой стресс, высокая или низкая температура) является значительное накопление пролина – заменимой аминокислоты. Проллин в первую очередь действует как мощный осмопротектор, поддерживая осмотический баланс клеток и предотвращая обезвоживание при неблагоприятных условиях окружающей среды [23].

В отсутствие стрессового воздействия препарат Юнигель Плантум вызывал накопление пролина, что свидетельствует о его регуляторном влиянии на метаболические процессы – аналогично эффекту, наблюдаемому в отношении антоцианов. В условиях водного дефицита наблюдался значительный рост показателя: происходила активация защитных механизмов растений ячменя (рис. 6). Совместное действие водного дефицита и препарата Юнигель Плантум приводило к уменьшению уровня эндогенного пролина, по сравнению с вариантом водного дефицита. Такие изменения свидетельствуют о смягчении стрессовой реакции за счет препарата.

В отношении накопления пролина действие биоорганического препарата Юнигель Плантум проявлялось в двойном эффекте: увеличение метаболита в нормальных условиях и ограничение его избыточного накопления при водном дефиците. Такая динамика указывает на уменьшение осмотического стресса у растений ячменя.

Таким образом, препарат Юнигель Плантум нивелировал негативное воздействие стресса, вызванного водным дефицитом, за счет физиологических механизмов, описанных ниже.

Улучшение гидратации и поддержание роста – препарат Юнигель Плантум повышает доступность воды в почве за счет гидрогелевой структуры, что способствует частичной компенсации снижения тургора

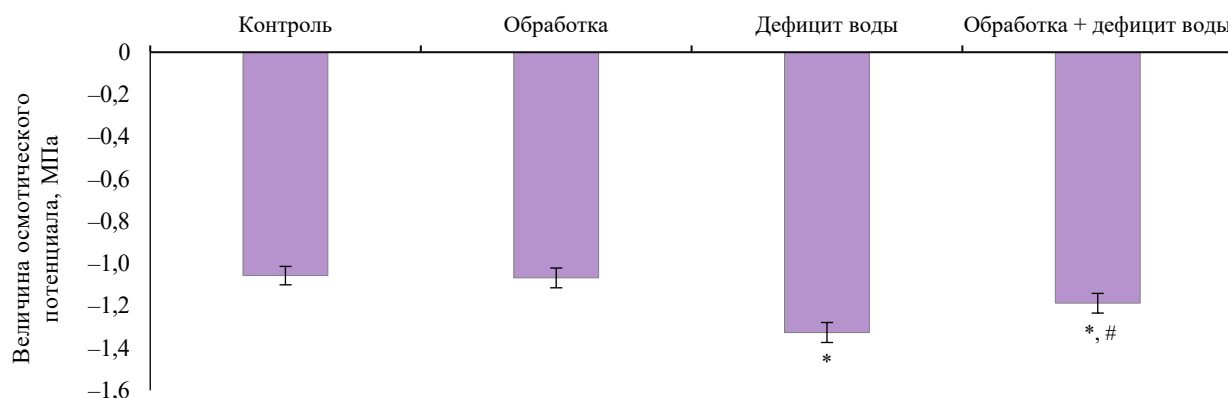


Рисунок 5. Влияние биоорганического препарата Юнигель Плантум на осмотический потенциал растений ячменя в условиях дефицита воды (\* $p \leq 0,05$  по сравнению с контрольной группой; # $p \leq 0,05$  по сравнению с группой с дефицитом воды)

Figure 5. Effect of Unigel Planthum on osmotic potential of barley under water stress (\* $p < 0.05$  vs. control; # $p < 0.05$  vs. water-deficient group)

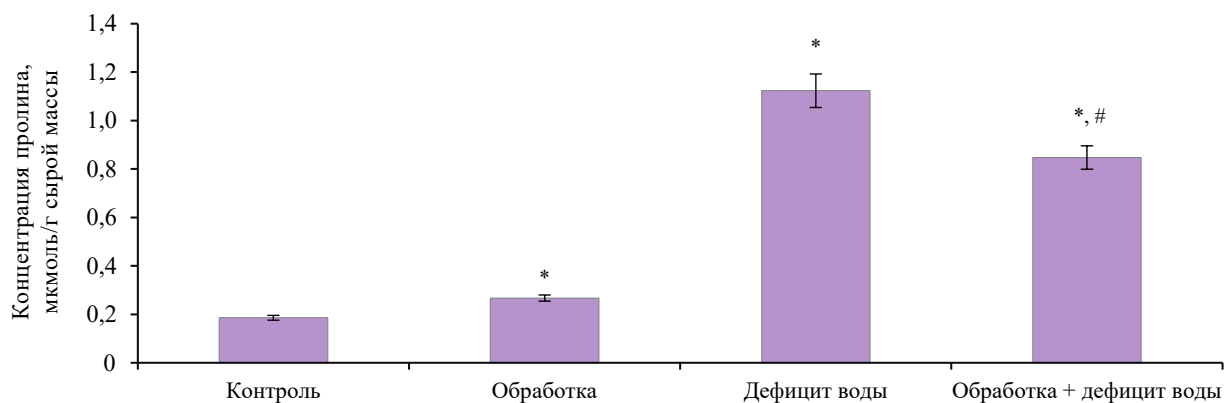


Рисунок 6. Влияние биоорганического препарата Юнигель Плантум на концентрацию пролина в растениях ячменя при водном дефиците (\* $p \leq 0,05$  по сравнению с контрольной группой; # $p \leq 0,05$  по сравнению с группой с дефицитом воды)

Figure 6. Effect of Unigel Planthum on prolines in barley under water stress (\* $p < 0.05$  vs. control; # $p < 0.05$  vs. water-deficient group)

и уменьшению негативного влияния водного дефицита на общий рост растений (увеличение сырой массы при стрессе).

Уменьшение окислительного стресса – хотя препарат не полностью снижает уровень перекисного окисления липидов, он косвенно уменьшает активность антиоксидантных веществ и окислительные повреждения, что улучшает целостность мембран и клеточную физиологию.

Регуляция антиоксидантной защиты через антоцианы – препарат Юнигель Плантум сокращает чрезмерное накопление антоцианов при водном стрессе, что говорит о снижении остроты стрессовой реакции и более сбалансированной антиоксидантной защите.

Поддержание осмотического потенциала – препарат способствует стабилизации осмотического потенциала клеточного сока листьев, предотвращая слишком сильное снижение, что важно для сохранения водного потенциала и обеспечения нормального водообмена.

Регулирование накопления пролина – препарат Юнигель Плантум повышает накопление пролина в нормальных условиях и ограничивает его чрезмерный рост при водном дефиците, снижая осмотический стресс и активируя метаболическую регуляцию, за счет этого уменьшая интенсивность защитных реакций, вызванных дефицитом воды.

Поддержание уровня фотосинтетических пигментов – использование препарата при водном дефиците способствовало сохранению более высокого уровня фотосинтетических пигментов, по сравнению с необработанными растениями, находящимися в стрессовых условиях, что указывает на его защитную функцию в уменьшении негативного влияния водного стресса на фотосинтетическую систему.

Стрессоустойчивость ячменя к водному дефициту с применением препарата Юнигель Плантум связана

с хорошо сформированной корневой системой. Ранее на листовом салате и редисе показано, что Юнигель Плантум благоприятно влияет на развитие корневой системы и повышает содержание отдельных незаменимых аминокислот и сухую массу растения [16].

### Выводы

Использование биоорганического препарата Юнигель Плантум (Новосибирск, Россия) в обработке предварительно стратифицированных семян благоприятно влияет на развитие корневой системы ячменя, увеличение и сохранение фотосинтетических пигментов, активизацию и накопление защитных метаболитов (антоцианов и пролина). Указанные эффекты способствуют повышению солеустойчивости растений и стабилизации их биологической продуктивности. Полученные результаты позволяют рекомендовать биопрепарат Юнигель Плантум для исследования в полевых условиях на культуре ячменя в соответствии с методами полевого опыта.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов в связи с публикацией данной статьи.

### Критерии авторства

Все авторы внесли эквивалентный вклад в исследование и подготовку рукописи статьи.

### Contribution

All authors made equivalent contributions to the research.

### Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest regarding the publication of this article.

### Список литературы / References

1. Zarei T. Balancing water deficit stress with plant growth-promoting rhizobacteria: A case study in maize. *Rhizosphere*. 2022;24:100621. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100621>
2. Sergeeva MN, Danilova ED, Efimova MV. Exogenous melatonin increases the drought tolerance of barley plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2025;72(6):1–9. <https://doi.org/10.1134/S1021443725604847>
3. Simova-Stoilova L, Demirevska K, Petrova T, Tsenov N, Feller U. Antioxidative protection in wheat varieties under severe recoverable drought at seedling stage. *Plant, Soil and Environment*. 2008;54(12):529–536. <https://doi.org/10.17221/427-PSE>
4. Demidchik V, Straltsova D, Medvedev SS, Pozhvanov GA, Sokolik A, et al. Stress-induced electrolyte leakage: the role of K<sup>+</sup>-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment. *Journal of Experimental Botany*. 2014;65(5):1259–1270. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru004>
5. Mahmood T, Khalid S, Abdullah M, Ahmed Z, Shah MKN, et al. Insights into drought stress signaling in plants and the molecular genetic basis of cotton drought tolerance. *Cells*. 2020;9(1):105. <https://doi.org/10.3390/cells9010105>
6. Khaleghi A, Naderi R, Brunetti C, Maserti BE, Salami SA, et al. Morphological, physiochemical and antioxidant responses of *Maclura pomifera* to drought stress. *Scientific Reports*. 2019;9:19250. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55889-y>
7. Shao H-B, Chu L-Y, Jaleel CA, Manivannan P, Panneerselvam R, et al. Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants – biotechnologically and sustainably improving agriculture and the ecoenvironment in arid regions of the globe. *Critical Reviews in Biotechnology*. 2009;29(2):131–151. <https://doi.org/10.1080/07388550902869792>
8. Huang C, Sun M, Ma S, Liu Z, Zhang K, et al. Effects of water deficit at different stages on growth and ear quality of waxy maize. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1069551. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1069551>
9. Hu F, Zhang Y, Guo J. Effects of drought stress on photosynthetic physiological characteristics, leaf microstructure, and related gene expression of yellow horn. *Plant Signaling & Behavior*. 2023;18(1):2215025. <https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2215025>
10. Kadir A, Setu A, Sharmin S, Hossain MA, Tahjib-Ul-Arif M, et al. Chitosan enhances drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) by promoting growth and chlorophyll content while reducing hydrogen peroxide levels. *Fundamental and Applied Agriculture*. 2024;9(3):195–203. <https://doi.org/10.5455/faa.216212>
11. Aranaz I, Alcántara AR, Civera MC, Arias C, Elorza B, et al. Chitosan: An overview of its properties and applications. *Polymers*. 2021;13(19):3256. <https://doi.org/10.3390/polym13193256>
12. Malerba M, Cerana R. Recent advances of chitosan applications in plants. *Polymers*. 2018;10(2):118. <https://doi.org/10.3390/polym10020118>
13. Попова Э. В., Тютерев С. Л., Юнчиц Л. Ф. Биологическая активность композиции на основе хитозанового препарата и микроэлементов. *Вестник защиты растений*. 2009. № 1. С. 52–55. [Popova EV, Tyuterev SL, Yunchits LF. Biological activity of a composition based on a chitosan preparation and microelements. *Plant Protection News*. 2023;(1):52–55. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/KAUMUH>
14. Тютерев С. Л. Экологически безопасные индукторы устойчивости растений к болезням и физиологическим стрессам. *Вестник защиты растений*. 2015. № 1. С. 3–13. [Tyuterev SL. Ecologically safe inducers of plant resistance to diseases and physiological stresses. *Plant Protection News*. 2015;(1):3–13. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/TRZQQL>
15. Dubovskaia PI, Saeidi A, Pronchenko AA, Drannikova AI, Lukoyanov IA, et al. Gel-Phase synthesis and pH-sensitive swelling-structure relationships of N-Carboxyethylchitosan. *Eurasian Journal Of Chemistry*. 2025;30(2):19–33. <https://doi.org/10.31489/2959-0663/2-25-6>
16. Арипова Ф. К., Гончарова Е. П., Рябинина В. А., Коркина В. И., Плотников К. О. и др. Влияние препарата Юнигель Плантум на качество урожая листового салата. *Техника и технология пищевых производств*. 2025. Т. 55. № 2. С. 429–438. [Aripova FK, Goncharova EP, Ryabinina VA, Korkina VI, Plotnikov KO, et al. The effect of the Unihel Plantum preparation on the quality of lettuce crops. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2025;55(2):429–438. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2583>
17. Новикова И. И., Попова Э. В., Колесников Л. Е., Колесникова Ю. Р., Чекурова С. С. Устойчивость к болезням, продуктивность и содержание фотосинтетических пигментов в листьях яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) под влиянием полифункциональных биопрепаратов и комплексов на основе микроорганизмов и хитозана. *Сельскохозяйственная биология*. 2023. Т. 58. № 1. С. 158–183. [Novikova II, Popova EV, Kolesnikov LE, Kolesnikova YuR, Chekurova SS. Multifunctional biopreparations and complexes based on microorganisms and chitosan increase diseases resistance, productivity and leaf photosynthetic pigment contents in spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agricultural Biology*. 2023;58(1):158–183. (In Russ.)] <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2023.1.158rus>
18. Buege JA, Aust SD. Microsomal lipid peroxidation. *Methods in Enzymology*. 1978;52:302–310. [https://doi.org/10.1016/s0076-6879\(78\)52032-6](https://doi.org/10.1016/s0076-6879(78)52032-6)
19. Муравьева Д. А., Бубенчикова В. Н., Беликов В. В. Спектрофотометрическое определение суммы антоцианов в цветках василька синего. *Фармация*. 1987. № 5. С. 28–29. [Muravyova DA, Bubenchikova V. N, Belikov VV. Spectrophotometric tests of total anthocyanin in cornflower flowers (*Centaurea cyanus*). *Pharmacy*. 1987;(5):28–29.

20. Bates LS, Waldren RP, Teare ID. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 1973;39:205–207.
21. Lichtenthaler HK. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. 1987;148:350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
22. Хамидуллина Л. А., Тобышева П. Д., Черепанова О. Е., Пузырев И. С., Пестов А. В. Карбоксиалкильные производные хитозана как перспективные регуляторы роста и развития лекарственных растений. *Вестник Российской Академии наук*. 2023. Т. 93. № 7. С. 684–691. [Khamidullina LA, Tobysheva PD, Cherepanova OE, Puzyrev IS, Pestov AV. Carboxyalkyl derivatives of chitosan as promising growth and development regulators of medical plant. *Vestnik RAN*. 2023; 93(7):684–691. (In Russ.)] <https://doi.org/10.31857/S0869587323070046>
23. Mushtaq NU, Saleem S, Rasool A, Shah WH, Tahir I, *et al.* Proline Tagging for Stress Tolerance in Plants. *International Journal of Genomics*. 2025;2025:9348557. <https://doi.org/10.1155/ijog/9348557>

#### **Дополнительная информация об авторах / Additional information about the authors**

Арипова Фарида Казбековна / Farida K. Aripova ORCID 0009-0006-4541-1112; eLIBRARY SPIN 3623-2477  
Данилова Елена Дмитриевна / Elena D. Danilova ORCID 0000-0002-4752-3728; eLIBRARY SPIN 2989-0073  
Бойко Екатерина Владимировна / Ekaterina V. Boyko ORCID 0000-0003-3815-872X; eLIBRARY SPIN 7883-4521  
Кадырбаев Максат / Maksat Kadyrbaev ORCID 0000-0002-7795-7308; eLIBRARY SPIN 4842-9137  
Ражабов Асатилло Иргашевич / Asatillo I. Rajabov ORCID 0000-0001-9738-0115  
Душанова Гавхар Абдукаримовна / Gavhar A. Dushanova ORCID 0000-0003-0971-5160  
Дранников Александр Алексеевич / Aleksandr A. Drannikov ORCID 0000-0002-4839-1667; eLIBRARY SPIN 4467-5468  
Литвинова Екатерина Анатольевна / Ekaterina A. Litvinova ORCID 0000-0001-6398-7154; eLIBRARY SPIN 2995-8611