

Алена Владимировна Сумина<sup>1✉</sup>, Вадим Игоревич Полонский<sup>2</sup>, Ольга Васильевна Комарова<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан, Республика Хакасия, Россия

<sup>2</sup>Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<sup>1</sup>alenasumina@list.ru

<sup>2</sup>vadim.polonskiy@mail.ru

<sup>3</sup>artemova\_ov@mail.ru

## БЕНТОНИТОВЫЕ РАСТВОРЫ В РЕГУЛЯЦИИ ЮВЕНИЛЬНОГО ЭТАПА ОНТОГЕНЕЗА ЯРОВОГО ОВСА

Цель исследования – анализ возможного положительного физиолого-биохимического влияния предпосевной обработки овса составами на основе  $\text{Na}^+$ -активированного бентонита на начальные этапы роста и накопление в зеленых проростках антиоксидантов. Яровой овес сорт Ровесник выращивали в 2024 г. в Алтайском районе Республики Хакасия. Семена замачивали в 0,5 % водной суспензии бентонита, модифицированного глицином, лизином, аспарагиновой кислотой или гуматами, и оценивали указанное воздействие на энергию их прорастания и всхожесть, а также развитие корневой системы, длину проростков и содержание в них веществ, обладающих антиоксидантными свойствами. Максимальный прирост энергии прорастания (+13,5 %) и всхожести (+12,5 %) был достигнут при обработке овса  $\text{Na}^+$ -бентонитом в сочетании с аспарагиновой кислотой. Наибольшая длина проростков зафиксирована для вариантов с добавлением глицина (7,3 см) и лизина (7,1 см). Дополнение  $\text{Na}^+$ -бентонита аспарагиновой кислотой обеспечило максимальную длину наиболее развитого корешка (6,4 см, +30,6 % к контролю) и количество последних (4,6 шт.). Содержание антиоксидантов в зеленых проростках была повышена на 43,2 и 40,0 % в вариантах обработки овса бентонитом в сочетании с лизином или аспарагиновой кислотой. Между значениями энергии прорастания и всхожести зерна с одной стороны и содержанием антиоксидантов в зеленых проростках с другой по вариантам обработки овса продемонстрирована сильная, положительная связь (коэффициенты корреляции – 0,792 и 0,779). Оптимальным составом для предпосевной обработки овса признана комбинация  $\text{Na}^+$ -бентонита с аспарагиновой кислотой, обеспечивающая комплексное улучшение всхожести, развития корневой системы и накопление антиоксидантов в проростках. Результаты исследования могут быть использованы при разработке технологий увеличения качества посевного материала и при производстве микрорзелени с повышенным содержанием в ней функциональных компонентов здорового питания.

**Ключевые слова:** энергия прорастания, всхожесть, содержание антиоксидантов, глицин, аспарагиновая кислота, лизин, гуматы

**Для цитирования:** Сумина А.В., Полонский В.И., Комарова О.В. Бентонитовые растворы в регуляции ювенильного этапа онтогенеза ярового овса // Вестник КрасГАУ. 2025. № 8. С. 93–106. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-93-106.

Alena Vladimirovna Sumina<sup>1✉</sup>, Vadim Igorevich Polonsky<sup>2</sup>, Olga Vasilievna Komarova<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Khakass State University named after. N.F. Katanov, Abakan, Republic of Khakassia, Russia

<sup>2</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>1</sup>alenasumina@list.ru

<sup>2</sup>vadim.polonskiy@mail.ru

<sup>3</sup>artemova\_ov@mail.ru

## BENTONITE SOLUTIONS IN REGULATION OF THE JUVENILE STAGE OF ONTOGENESIS OF SPRING OAT

The aim of the study is to analyze the possible positive physiological and biochemical effect of pre-sowing treatment of oats with compositions based on Na<sup>+</sup>-activated bentonite on the initial stages of growth and the accumulation of antioxidants in green seedlings. Spring oats of the Rovesnik variety were grown in 2024 in the Altai Region of the Republic of Khakassia. The seeds were soaked in a 0.5 % aqueous suspension of bentonite modified with glycine, lysine, aspartic acid or humates, and the specified effect on their germination energy and germination, as well as the development of the root system, the length of the seedlings and the content of substances with antioxidant properties in them were assessed. The maximum increase in germination energy (+13.5 %) and germination (+12.5 %) was achieved when oats were treated with Na<sup>+</sup>-bentonite in combination with aspartic acid. The longest sprouts were recorded for the variants with the addition of glycine (7.3 cm) and lysine (7.1 cm). Supplementation of Na<sup>+</sup>-bentonite with aspartic acid provided the maximum length of the most developed rootlet (6.4 cm, +30.6 % to the control) and the number of the latter (4.6 pcs.). The antioxidant content in green sprouts was increased by 43.2 and 40.0 % in the variants of oat treatment with bentonite in combination with lysine or aspartic acid. A strong, positive relationship was demonstrated between the values of germination energy and grain viability on the one hand and the content of antioxidants in green sprouts on the other hand for the oat treatment options (correlation coefficients are 0.792 and 0.779). The optimal composition for pre-sowing treatment of oats is recognized as a combination of Na<sup>+</sup>-bentonite with aspartic acid, which provides a comprehensive improvement in germination, root system development and accumulation of antioxidants in sprouts. The results of the study can be used in the development of technologies for increasing the quality of seed material and in the production of microgreens with an increased content of functional components of healthy nutrition.

**Keywords:** germination energy, germination, antioxidant content, glycine, aspartic acid, lysine, humates

**For citation:** Sumina AV, Polonsky VI, Komarova OV. Bentonite solutions in regulation of the juvenile stage of ontogenesis of spring oat. *Bulletin of KSAU*. 2025;(8):93-106. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-93-106.

**Введение.** Хорошо известно, что зерно овса и других злаковых культур содержит большое количество ценных питательных и биологически активных химических веществ. К последним в первую очередь относятся β-глюканы и антиоксиданты [1]. По содержанию указанных полисахаридов овес занимает второе место, а по уровню соединений с повышенной антиоксидантной активностью – третье (соответственно после ячменя или ячменя и проса) [2]. Среди особенностей овса следует отметить присутствие только в его зерне группы фенольных соединений, так называемых авенинтрамидов, которые обладают заметными антиоксидантными свойствами и оказывают профилактическое действие в отношении сахарного диабета, гипертонии и других серьезных заболеваний человека [3].

На ряде культур – пшенице, овсе, ячмене, рисе и других – установлено, что при проращивании зерна в нем значительно повышается содержание разнообразных ценных химических веществ: незаменимых аминокислот, витами-

нов, минералов [4, 5]. В литературе описан эффект существенного роста содержания антиоксидантов в пророщенном зерне овса, ячменя и пшеницы [6–8], включая повышение уровня в нем фенольных соединений [9, 10]. При этом, что очень важно, количество химических веществ, обладающих антипитательными свойствами, таких как танины, фитиновая кислота, ингибитор трипсина, в пророщенном зерне снижается [11, 12]. Последнее сопровождается улучшением его функциональных и вкусовых свойств [13]. Кроме того, во время проращивания зерна злаковых культур вторичные метаболические пути, связанные с обменом ряда фенольных соединений, активизируются, что приводит к еще более значительному увеличению антиоксидантной активности продукта за счет образовавшихся новых химических веществ [13, 14]. В итоге пророщенное зерно характеризуется многими полезными биологическими функциями, включая снижение рисков сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний [15].

Экспериментально показано, что дополнительное повышение содержания биологически ценных веществ и снижение активности антипитательных факторов в зерне возможно осуществить с помощью различных физико-химических его обработок [16]. Найдено, что в прорастающем зерне овса, пшеницы, ячменя, кукурузы и риса положительное влияние на накопление антиоксидантов оказало применение таких физических факторов, как ультразвуковая обработка [3, 17], использование высокого гидростатического давления, облучения, пульсирующего электрического поля, холодной плазмы, различных режимов высушивания [19], а также химических веществ: индолилуксусной, салициловой или гиббереллиновой кислот [11], абсцизовой и аскорбиновой кислот [19, 20], растворов NaCl [21], природной минеральной воды [22]. Предложен оригинальный способ значительного повышения содержания специфического антиоксиданта авенантрамида в зерне овса, включающий его сухое нагревание при температуре от 30 до 70 °С в течение нескольких суток для получения семян в состоянии вторичного покоя и дальнейшее анаэробное замачивание в воде, содержащей ионы кальция [23]. Найдено, что для наибольшего синтеза *de novo* и накопления антиоксидантов в процессе прорастания зерна овса необходима довольно высокая температура (20–25 °С и выше) [24], а также сравнительно длительная экспозиция, не менее двух-пяти суток [3, 9, 25, 26].

Кроме перечисленных лабораторных физико-химических подходов к повышению уровня антиоксидантов в проросшем зерне исследователями осуществлялся поиск более простого, дешевого и безопасного способа его предпосевной обработки. В итоге удалось обнаружить хороший эффект от применения для замачивания зерна водной суспензии природного, инертного и экологически приемлемого агента, так называемого иллита. Последний представляет собой глиноподобный минерал из группы гидрослюд класса силикаты. Название указанного вещества было дано по месту его находки в штате Иллинойс, США. Результаты выполненных экспериментов показали, что в пророщенном таким образом зерне риса происходило значительное и статистически доказанное увеличение содержания антиоксидантов (полифенолов, флавоноидов и фермента супероксиддисмутазы), аминокислот и минеральных элементов [27, 28]. В другой работе было найдено существенное

улучшение процесса всхожести семян сои после их обработки суспензией иллита и показателей качества проростков без каких-либо вредных последствий для химического состава последних. Авторы пришли к заключению, что природный иллит можно считать эффективным и экологически безопасным средством для предпосевной обработки семян.

Недавно нами на зерне овса, пшеницы и ячменя был показан положительный эффект от применения для предпосевной обработки другого природного минерала – активированной и модифицированной аминокислотами бентонитовой глины. Результат заключается в повышении энергии прорастания, всхожести, а также содержания в пророщенном зерне антиоксидантов и витамина С [29, 30]. Известно, что бентонит – это гидратированный силикат алюминия с общей формулой  $Al_2O_3 \cdot (SiO_2)_x \cdot nH_2O$  [4]. Вероятно, использование в биотехнологических процессах экологически безопасных материалов, таких как природные глины и натуральные биодобавки, позволяет минимизировать применение химических стимуляторов, снижая антропогенную нагрузку на агроэкосистемы.

Известно, что в качестве функционального компонента продуктов здорового питания населения практический интерес представляет использование в диете наряду с проросшим зерном образовавшихся в этом процессе нежных зеленых проростков. В ботаническом значении они, как правило, представляют собой семядоли у двудольных и колеоптили с зачатками первого листа у злаковых культур. В последнее время эта так называемая микрозелень весьма актуальна у исследователей и специалистов в области здорового питания. Причина такого пристального внимания состоит в ее ярко выраженном вкусе, привлекательных сенсорных качествах, функциональности, обилии в биомассе витаминов, минералов и других биологически активных соединений, таких как аскорбиновая кислота, токоферол, каротиноиды, фолат, токотриенолы, антоцианы [31, 32]. По мнению ряда авторов, микрозелень, благодаря перечисленным свойствам, является пищей будущего [33]. Проанализировано, что одним из главных факторов, влияющих на химический состав проростков (кроме генотипа и экологических условий выращивания материнского растения), является технологический режим проращивания семян [34]. Информации о влиянии предпосевной обработки природным бентонитом на со-

держание биологически активных веществ, в частности антиоксидантов, в зеленых проростках зерновых культур в литературе нам встретить не удалось.

**Цель исследования** – анализ возможного положительного физиолого-биохимического влияния предпосевной обработки составами на основе активированного и модифицированного бентонита на начальные этапы роста овса и накопление в зеленых проростках антиоксидантов.

**Задачи:** изучить влияние предпосевной обработки водными суспензиями бентонита, модифицированными глицином, лизином, аспарагиновой кислотой или гуматами, на содержание в колеоптилях овса веществ, обладающих антиоксидантными свойствами; оценить воздействие указанной предпосевной обработки овса на его энергию прорастания и всхожесть, а также длину колеоптиля и развитие корневой системы.

**Объекты и методы.** В качестве объекта исследования был использован посевной материал ярового ячменя сорта Ровесник, выращенный в Алтайском районе Республики Хакасия в 2024 г.

Для изучения воздействия предварительной обработки семян на их всхожесть и морфометрические характеристики были применены следующие экспериментальные системы 0,5 % концентрации: водный раствор с активированной глиной в натриевой форме бентонита; модифицированный бентонит с различными добавками (глицин, аспарагиновая кислота, лизин или гуматы). Методика приготовления рабочего раствора бентонитовой суспензии включала следующие этапы: использование карьерной бентонитовой глины с влажностью до 6,5 % и размером частиц не более 1 мм. Проведение обработки карбонатом натрия при комнатной температуре (соотношение: бентонит – 89 %, карбонат натрия – 1,8 %, вода – остальное). Сушка полученного глиняного порошка при 110 °С в течение 6 ч. При добавлении кристаллических аминокислот и гумата выдерживали следующее соотношение: бентонит – 55 %, аминокислота (гумат) – 1 %, вода – остальное. Выдержка при комнатной температуре составляла 24 ч, сушка при 70 °С продолжалась в течение 4 ч. Подготовка рабочего раствора: 0,5 % активированного и модифицированного бентонита и 99,5 % дистиллированной воды.

Предпосевная подготовка семян включала замачивание 100 семян (трехкратная повторность) в 0,5 % экспериментальном растворе на

протяжении 5 мин, просушивание до уровня стандартной влажности (14,2 %), размещение в растильни для проращивания. Контролем служили необработанные семена. Оценка энергии прорастания и всхожести проводилась по ГОСТ 10968-88 на базе лаборатории филиала ФГБУ «Россельхозцентр» по Республике Хакасия. Дополнительно измерялись линейные параметры проростков: длина колеоптиля и размер наиболее развитого корешка, а также количество корешков.

Анализ водорастворимых биологически активных веществ с восстановительными свойствами в колеоптилях овса выполнялся путем измерения антиокислительной активности [35] с пересчетом на кверцетин на базе лаборатории Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова (кафедры химии и геоэкологии, биологии ИЕНиМ).

Для анализа брали 1 г измельченного сырья исследуемых объектов, заливали 100 мл воды, доводили до кипения, настаивали 5 мин, затем фильтровали через бумажный складчатый фильтр и доводили объем до 100 мл. Полученным раствором титровали раствор, состоящий из 8 мл дистиллированной воды, 1 мл 20 %-го раствора серной кислоты и 1 мл 0,05 Н раствора перманганата калия до исчезновения розовой окраски.

Расчет показателя антиоксидантной активности, которому соответствует концентрация биологически активных веществ восстанавливающего характера в пересчете на кверцетин, (мг/г), проводили по формуле

$$B = \frac{C_k \cdot V_k \cdot V_o}{V_x \cdot m},$$

где  $B$  – концентрация биологически активных веществ восстанавливающего характера исследуемого объекта, израсходованного на титрование 1 мл 0,05 Н раствора перманганата калия, мг/г;  $C_k$  – концентрация кверцетина в растворе, израсходованном на титрование 1 мл 0,05 Н раствора перманганата калия (0,25 мг/мл);  $V_k$  – объем раствора кверцетина в растворе, израсходованном на титрование 1 мл 0,05 Н раствора перманганата калия (1 мл);  $V_o$  – объем исследуемого раствора, мл;  $V_x$  – объем раствора исследуемого объекта, израсходованный на титрование 1 мл 0,05 Н раствора перманганата калия, мл;  $M$  – масса навески исследуемого объекта, г.

Статистическая обработка данных, основанных на трех независимых определениях, проводилась в MS Excel. Для проверки значимости полученных результатов использовали t-тест Стьюдента при уровне вероятности  $p \leq 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** В таблице 1 приведены данные вычисления процессов прорастания зерна овса после различной предпосевной его обработки. Можно видеть, что, во-первых, все варианты показали существенно более высокие значения и энергии прорастания,

и всхожести по сравнению с контролем, во-вторых, согласно статистически доказанным различиям между вариантами последние по уровню стимуляции энергии прорастания овса разделились на две группы. Первый уровень был зафиксирован для вариантов бентонит+глицин или бентонит+гумат, а второй – для составов бентонит+аспарагиновая кислота либо бентонит+лизин. Аналогичные данные получены и для значений всхожести овса.

Таблица 1

**Значение энергии прорастания и всхожести ярового овса в различных вариантах предпосевной обработки зерна**  
**The value of germination energy and germination of spring oats in various variants of pre-sowing grain treatment**

Вариант обработки	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Контроль	76,3±0,5 а	81,2±0,6 а
Na <sup>+</sup> -бентонит + глицин	83,1±0,3 б	88,1±0,6 б
Na <sup>+</sup> -бентонит + аспарагиновая кислота	89,8±0,7 в	93,7±0,2 в
Na <sup>+</sup> -бентонит + лизин	88,9±0,2 в	91,2±0,3 г
Na <sup>+</sup> -бентонит + гуматы	83,2 ±0,3 б	87,6±0,5 б

*Примечание:* значения в строках в пределах одной колонки с разными буквами различаются существенно при  $p \leq 0,05$ .

Лучшие результаты продемонстрированы в варианте с использованием Na<sup>+</sup>-бентонита и аспарагиновой кислоты: энергия прорастания 89,8 % и всхожесть 93,7 % (прирост 13,5 и 12,5 % соответственно относительно контроля). Наименьший эффект был зафиксирован в варианте с модифицированным глицином Na<sup>+</sup>-бентонитом, хотя показатели при этом существенно превышали контрольные значения.

В ходе исследования также анализировали влияние рассматриваемой предпосевной обработки зерна овса с использованием Na<sup>+</sup>-бентонита на морфометрические показатели проростков. Результаты по длине проростков представлены на рисунке 1. Можно видеть, что в контрольном варианте были зарегистрированы самые низкие значения линейного роста на всех этапах за исключением варианта с добавлением лизина для 7- и 14-суточного возраста. Наибольшая стимуляция роста в возрасте овса 21 сут наблюдалась в варианте Na<sup>+</sup>-бентонит+глицин (7,3 см), при этом включение аспарагиновой кислоты выявило самый малый положительный эффект относительно контроля.

Рассчитанные коэффициенты корреляции между длиной проростков в возрасте 21 сут с одной стороны и показателями темпов прорастания овса с другой имели низкие значения: 0,337 (энергия) и 0,330 (всхожесть), – характерные, как известно, для слабой связи.

Исходя из представленных на рисунке 2 результатов, можно заключить, что наибольшая длина корешков была зафиксирована после обработки овса Na<sup>+</sup>-бентонитом с добавлением аспарагиновой кислоты (6,4 см на 21-е сут, превышение контроля на 30,6 %). Неоднозначные результаты продемонстрировало применение составов с включением глицина, при этом отмечался хороший стартовый рост (3,1 см на 7-й день), но его замедление к концу наблюдений. Напротив, добавление гуматов в состав для предпосевной обработки сопровождалось слабым стартом (1,3 см), но активным ростом на позднем возрастном этапе (5,1 см). В плане роста корней неэффективным оказался вариант с лизином, в котором были зафиксированы результаты ниже контрольного уровня.

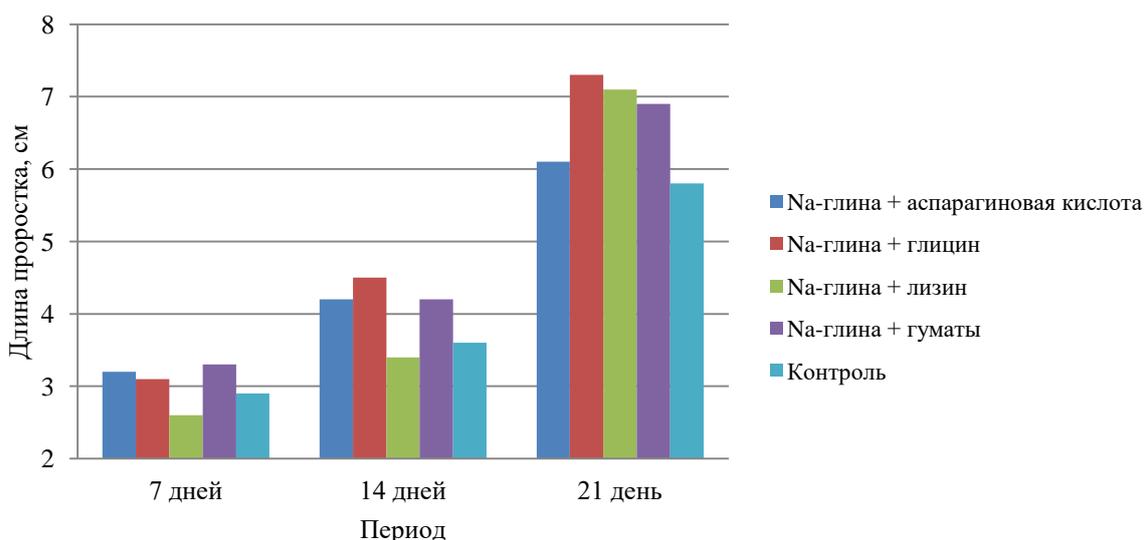


Рис. 1. Длина проростков ярового овса на начальных этапах прорастания при различных вариантах предпосевной обработки зерна, см  
 The length of spring oat sprouts at the initial stages of germination with different options of pre-sowing grain treatment, cm

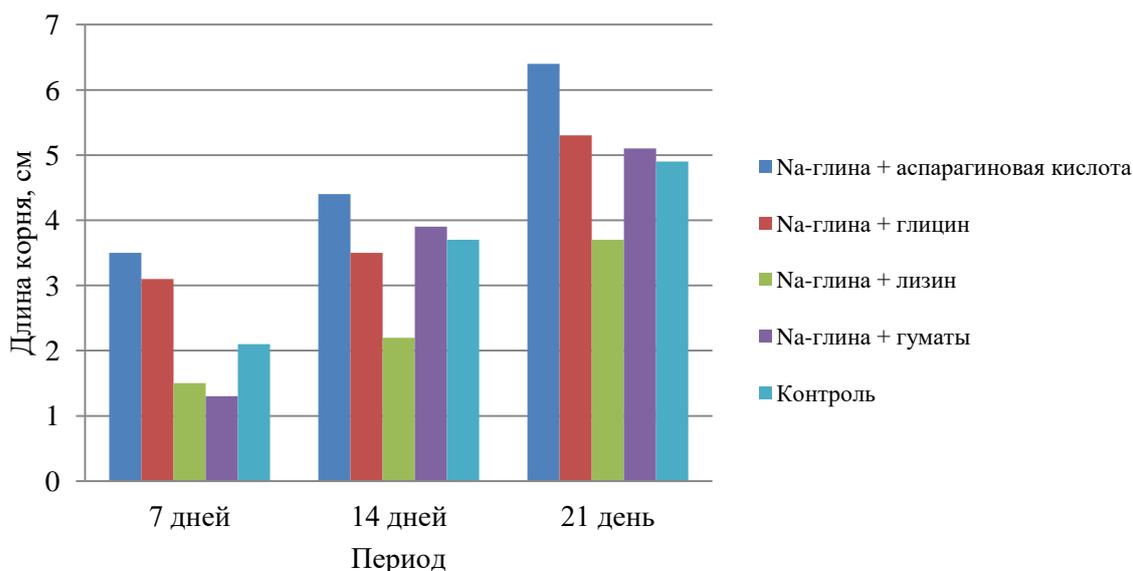


Рис. 2. Длина наиболее развитого корешка овса на начальных этапах онтогенеза при различных вариантах предпосевной обработки зерна, см  
 The length of the most developed oat root at the initial stages of ontogenesis with different options for pre-sowing grain treatment, cm

Рисунок 3 иллюстрирует количественную характеристику корешков овса после его предпосевной обработки исследуемыми составами на основе бентонита. Можно отметить, что наибольшее количество корешков в расчете на одно растение (21 сут) показал вариант, пригото-

вленный на основе бентонита и аспарагиновой кислоты (4,6 шт.) В этом же варианте был продемонстрирован максимальный эффект для длины корешков. Контрольная группа и вариант с глицином показали на конечном этапе одинаковые и самые низкие результаты.

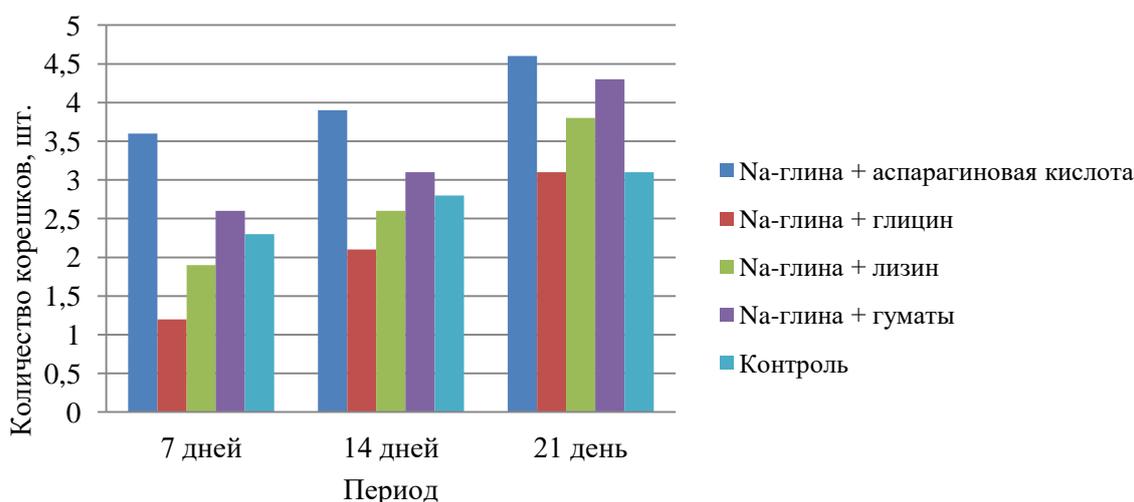


Рис. 3. Количество корешков ярового овса на начальных этапах прорастания при различных вариантах предпосевной обработки зерна  
 The number of spring oat rootlets at the initial stages of germination under different variants of pre-sowing grain treatment

На следующем этапе исследования было определено содержание антиоксидантов в зеленых проростках овса через 21 сут после начала его проращивания. На рисунке 4 представлены данные о количестве природных веществ с антиоксидантной активностью, способных растворяться в воде и восстанавливать окислительные процессы, приведенном к стандартно-

му значению кверцетина. Можно видеть, что лучшие результаты продемонстрировали варианты с добавлением лизина и аспарагиновой кислоты, увеличение уровня антиоксидантов к контролю составило соответственно 43,2 и 40,0 %. Отметим, что добавление к бентониту гуматов практически не сопровождалось ростом содержания антиоксидантов в проростках.

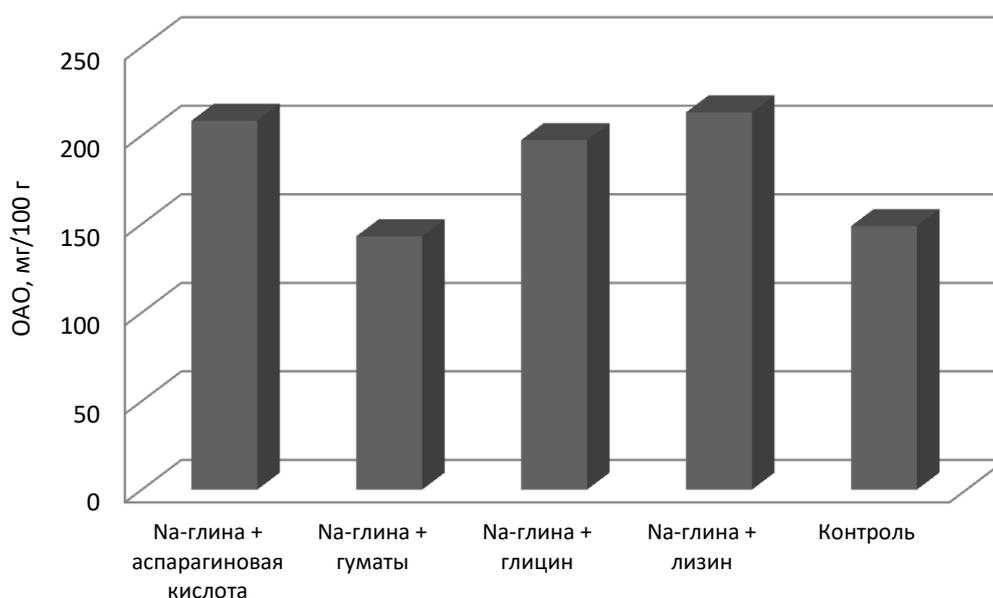


Рис. 4. Суммарное содержание антиоксидантов в пересчете на кверцетин в проростках овса в различных вариантах предпосевной обработки  
 Total antioxidant content in terms of quercetin in oat sprouts in different pre-sowing treatment options

В таблице 2 приведены результаты вычисления коэффициентов корреляции между значениями ростовых показателей проросшего зерна и суммарным содержанием веществ, обладающих восстановительными свойствами (антиоксидантов) в зеленых проростках по ва-

риантам обработки овса. Можно видеть, что рассматриваемая связь с посевными качествами зерна была сильная, положительная и несущественная. Что касается корреляции уровня антиоксидантов с длиной проростков, то здесь связь была слабой.

Таблица 2

**Корреляционная связь между содержанием антиоксидантов в зеленых проростках овса и значениями показателей проросшего зерна**  
**Correlation between antioxidant content in green oat sprouts and the values of sprouted grain parameters**

Показатель	Коэффициент корреляции
Энергия прорастания	0,792
Всхожесть	0,779
Длина проростков	0,319

Как было сказано выше, лучшие показатели энергии прорастания и всхожести овса продемонстрировал вариант с добавлением Na<sup>+</sup>-бентонита и аспарагиновой кислоты (прирост составил 13,5 и 12,5 % относительно контроля соответственно). Зарегистрированный эффект такого сочетания компонентов предпосевной обработки, по всей вероятности, может указывать на его комплексное, синергетическое воздействие.

Показано, что длина проростка зависела от использованных режимов предпосевной обработки неоднозначно. Так, в 21-суточном возрасте эффект стимуляции в варианте с добавлением к бентониту аспарагиновой кислоты снизился, а в случае применения состава с включением лизина, наоборот, возрос. Это, по-видимому, свидетельствует: 1) о разном механизме влияния различных аминокислот в сочетании с бентонитом на процесс роста зеленого проростка в длину; 2) триггерном эффекте стимуляции его линейного роста в результате кратковременной предпосевной обработки овса данными составами. Найдено, что коэффициенты корреляции между длиной проростка на этом возрастном этапе, с одной стороны, и показателями темпов прорастания овса, с другой, имели низкие значения: 0,337 (энергия) и 0,330 (всхожесть), указывая на слабую связь между ними. Такой результат, вероятно, предполагает наличие разных механизмов стимуляции предпосевной обработки на прорастание семян и линейное увеличение проростка. В пользу этого предположения могут говорить также диаметрально противоположные по составу варианты обра-

ботки, различно влияющие на два указанных физиологических процесса: эффект максимальной стимуляции (+ аспарагиновая кислота в первом процессе и + глицин во втором) и эффект минимальной стимуляции (+ глицин в первом и +аспарагиновая кислота во втором).

Зафиксированное различие в росте корешков в длину и их количестве может быть связано с неодинаковым влиянием предпосевной обработки на корнеобразование, питание растений и физико-химические свойства среды. Как известно, аспарагиновая кислота, показавшая лучший результат, более активно связана с синтезом гормонов роста, участвует в образовании других аминокислот и белков, необходимых для роста корней, стимулирует выработку фитогормонов (в частности ауксинов), которые также ускоряют процесс корнеобразования и, наконец, она может действовать как хелат, улучшая биодоступность микроэлементов (Fe, Zn, Mn) для прорастающих семян. Кроме того, Na<sup>+</sup>-бентонит сам по себе может содержать избыток натрия (Na<sup>+</sup>), который вреден для растений, а аспарагиновая кислота способна частично нейтрализовать этот негативный эффект.

В работе получен положительный эффект от предпосевной обработки овса на содержание антиоксидантов в зеленых проростках. Лучшие результаты продемонстрировало использование составов с добавлением к бентониту лизина или аспарагиновой кислоты, при этом увеличение к контролю составило 43,2 и 40,0 % соответственно. Полученные экспериментальные данные можно объяснить тем, что лизин и аспарагиновая кислота выступают предшественни-

ками в синтезе главного клеточного антиоксиданта глутатиона, стимулируют образование фенольных соединений, которые являются природными антиоксидантами, а также участвуют в цикле Кребса, усиливая энергетический метаболизм растений.

В проведенных экспериментах была найдена сильная и положительная связь между значениями показателей посевных качеств зерна и содержанием антиоксидантов в зеленых проростках. Что касается корреляции последнего с длиной проростка, то здесь связь была слабой. Полученные результаты могут свидетельствовать о следующем. Во-первых, имеется тенденция однонаправленного механизма стимуляции (по крайней мере, двух физиолого-биохимических процессов на начальных этапах онтогенеза: деления клеток в зародыше и синтеза антиоксидантов в зеленых проростках) под действием на замоченное зерно различных составов модифицированного бентонита. Во-вторых, практически отсутствует связь между накоплением антиоксидантов в зеленых проростках и ростом их в длину, поскольку последнее идет, по-видимому, в основном за счет фазы растяжения в них клеток.

В литературе сообщалось об успешной попытке управления нутриентным составом микрозелени как источника пищевых функциональных ингредиентов для здорового питания путем оптимизации процесса проращивания семян салата с использованием для их замачивания неорганических препаратов на основе германия и кремния. В результате антиоксидантная активность проростков увеличилась по сравнению с контрольным образцом, в котором использовали дистиллированную воду, на 40 % [36]. В других исследованиях описаны эффекты повышения содержания в надземной части растений тимьяна биологически активных компонентов, включая антиоксиданты, под действием биопрепаратов [37] и спектрального состава искусственного освещения в контролируемых условиях [37].

Проведенные исследования подтвердили эффективность предпосевной обработки зерна овса составами на основе  $\text{Na}^+$ -активированного бентонита в сочетании с натуральными органическими добавками и продемонстрировали перспективность их использования, особенно в комбинации с аспарагиновой кислотой, что может существенно повысить качество посевного

материала. Зарегистрированные данные позволяют в перспективе обосновать возможные биотехнологические подходы к дальнейшему совершенствованию применения природных экологически безопасных стимуляторов ростовых процессов на основе активированного бентонита и аминокислот. Они могут быть использованы не только для получения качественного посевного материала, но и производства микрозелени овса и, по-видимому, других культур с повышенным содержанием в них функциональных компонентов здорового питания населения.

**Заключение.** Все варианты обработки превзошли контрольные показатели, демонстрируя целесообразность применения модифицированного бентонита для предпосевной обработки зерна овса. Максимальный прирост энергии прорастания (на 13,5 %) и всхожести (на 12,5 %) достигнут при комбинации  $\text{Na}^+$ -бентонита с аспарагиновой кислотой, что, по-видимому, обусловлено синергией компонентов: аспарагиновая кислота усиливает синтез гормонов роста, улучшает доступность микроэлементов за счет их хелатирования и нейтрализует потенциально негативное влияние избытка иона  $\text{Na}^+$ .

Морфометрические показатели у обработанного экспериментальными смесями зерна превышали контрольные значения. Длина зеленых проростков была максимальна при использовании  $\text{Na}^+$ -бентонита в сочетании с глицином (7,3 см) и лизином (7,1 см), что связано со стартовой стимуляцией метаболизма прорастающих семян. Рост корневой системы по сравнению с контролем был наиболее выражен при добавлении аспарагиновой кислоты (количество корешков 4,6 шт., длина 6,4 см), что объясняется ролью этого химического соединения в синтезе ауксинов и белков, критичных для корнеобразования, и подтверждает ее преимущество в долгосрочном развитии корневой системы.

Наибольшее содержание антиоксидантов в зеленых проростках было зафиксировано при обработке овса суспензией  $\text{Na}^+$ -бентонита с лизином или аспарагиновой кислотой (прибавка составила соответственно 43,2 и 40,0 %). Эффект, вероятно, связан с их участием в синтезе глутатиона и фенольных соединений, ключевых для образования химических соединений с антиоксидантной активностью.

Найдена сильная и положительная связь между значениями показателей посевных качеств зерна и содержанием антиоксидантов в

зеленых проростках. Это может свидетельствовать о наличии однонаправленного механизма стимуляции двух физиолого-биохимических процессов на начальных этапах онтогенеза – деления клеток в зародыше и синтеза антиоксидантов в зеленых проростках – под действием на замоченное зерно овса различных составов модифицированного бентонита.

Различия в эффективности добавок на разных этапах начального онтогенеза (глицин – быстрый стартовый рост, гуматы – поздняя активация) указывают на необходимость учета временного фактора при подборе составов для предпосевной обработки овса.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Polonskiy V.I., Loskutov I.G., Sumina A.V. Evaluation of oat genotypes for the content of  $\beta$ -glucans in grain on the basis of its physical characteristics // *Agricultural biology*. 2020. Vol. 55, N 1. P. 45–52. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.1.45eng.
2. Halvorsen B.L., Holte K., Myhrstad M.C.W., et al. A Systematic Screening of Total Antioxidants in Dietary Plants // *Journal of Nutrition*. 2002. Vol. 132. P. 461–471.
3. Jágr M., Hofinger-Horvath A., Ergang P., et al. Comprehensive study of the effect of oat grain germination on the content of avenanthramides // *Food Chemistry*. 2024. Vol. 437, part 1. P. 137807. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.137807.
4. Skoglund M., Peterson D.M., Andersson R., et al. Avenanthramide content and related enzyme activities in oats as affected by steeping and germination // *Journal of Cereal Science*. 2008. Vol. 48, N 2. P. 294–303. DOI: 10.1016/j.jcs.2007.09.010.
5. Majzoobi M., Wang Z., Teimouri S., et al. Unlocking the Potential of Sprouted Cereals, Pseudocereals, and Pulses in Combating Malnutrition // *Foods*. 2023. Vol. 12, N 21. P. 3901. DOI: 10.3390/foods12213901.
6. Cevallos-Casals B.A., Cisneros-Zevallos L. Impact of germination on phenolic content and antioxidant activity of 13 edible seed species // *Food Chemistry*. 2010. Vol. 119, N 4. P. 1485–1490.
7. Сумина А.В., Полонский В.И., Шалдаева Т.М. Содержание антиоксидантов в овсяном талгане, изготовленном из пророщенного зерна // *Пищевая промышленность*. 2021. № 10. С. 96–99.
8. Сумина А.В., Полонский В.И., Шалдаева Т.М. Функциональная ценность талгана, изготовленного из пророщенного зерна пшеницы и ячменя // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2021. Т. 83, № 1. С. 163–168. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-163-168.
9. Lemmens E., Moroni A.V., Pagand J., et al. Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: a critical review // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019. Vol. 18, N 1. P. 305–328. DOI: 10.1111/1541-4337.12414.
10. Ma Y., Wang J., Cheng Y., et al. Effects of germination on phenolics and antioxidant capacity of wheat seedlings // *Food and Fermentation Industries*. 2023. Vol. 49, N 18. P. 178–185. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.033123.
11. Yadav A., Singh S. Effect of exogenous phytohormone treatment on antioxidant activity, enzyme activity and phenolic content in wheat sprouts and identification of metabolites of control and treated samples by UHPLC-MS analysis // *Food Research International*. 2023. Vol. 169. P. 112811.
12. Ikram A., Saeed F., Afzaal M., et al. Nutritional and end-use perspectives of sprouted grains: A comprehensive review // *Food Science Nutrition*. 2021. Vol. 9, N 8. P. 4617–4628. DOI: 10.1002/fsn3.2408.
13. Ge X., Saleh A.S.M., Jing L., et al. Germination and drying induced changes in the composition and content of phenolic compounds in naked barley // *Journal of Food Composition and Analysis*. 2021. Vol. 95. P. 103594. DOI: 10.1016/j.jfca.2020.103594.
14. Moreno E.J.M., Palma-Rodríguez H.M., Hernández-Uribe J.P., et al. Effect of wheat grain germination time on physicochemical and texture properties, starch digestion, and protein hydrolysis rate in bread making // *Journal of Cereal Science*. 2025. Vol. 121. P. 104091. DOI: 10.1016/j.jcs.2024.104091.

15. Maqbool Z., Khalid W., Khan A., et al. Cereal sprout-based food products: Industrial application, novel extraction, consumer acceptance, antioxidant potential, sensory evaluation, and health perspective // *Food Science and Nutrition*. 2023. Vol. 12, N 2. P. 707–721. DOI: 10.1002/fsn3.3830.
16. Beaulieu J.C., Boue S.M., Goufo P. Health-promoting germinated rice and value-added foods: a comprehensive and systematic review of germination effects on brown rice // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. Vol. 63, N 33. P. 11570–11603. DOI: 10.1080/10408398.2022.2094887.
17. Ding J., Johnson J., Chu Y.F., et al. Enhancement of  $\gamma$ -aminobutyric acid, avenanthramides, and other health-promoting metabolites in germinating oats (*Avena sativa* L.) treated with and without power ultrasound // *Food Chemistry*. 2019. Vol. 283. P. 239–247. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.12.136.
18. Tyagi A., Chen X., Shabbir U. Effect of slightly acidic electrolyzed water on amino acid and phenolic profiling of germinated brown rice sprouts and their antioxidant potential // *LWT*. 2022. Vol. 157. P. 113119. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113119.
19. Wu D., Shi Y., Zhang T. The synergistic effect of ascorbic and abscisic acids on enriching AVC-dominated avenanthramides in oat germination process // *Food Bioscience*. 2023. Vol. 54. P. 102850. DOI: 10.1016/j.fbio.2023.102850.
20. Wei Q., Guo Y., Tu K., et al. Eating Quality and In Vitro Digestibility of Brown Rice Improved by Ascorbic Acid Treatments // *Foods*. 2023. Vol. 12. P. 1043. DOI: 10.3390/foods12051043.
21. Wang M., Ding Y., Wang Q., et al. NaCl treatment on physio-biochemical metabolism and phenolics accumulation in barley seedlings // *Food Chemistry*. 2020. Vol. 331. P. 127282. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127282.
22. Pongrac P., Potisek M., Fraš A., et al. Composition of mineral elements and bioactive compounds in tartary buckwheat and wheat sprouts as affected by natural mineral-rich water // *Journal of Cereal Science*. 2016. Vol. 69. P. 9–16. DOI: 10.1016/j.jcs.2016.02.002.
23. Collins F.W., Burrows V.D. Method for increasing concentration of avenanthramides in oats // Patent US N 10 334869 B2, Date of Patent: July 2, 2019.
24. Nemzer B., Al-Taher F. Analysis of Fatty Acid Composition in Sprouted Grains // *Foods*. 2023. Vol. 12, N 9. P. 1853. DOI: 10.3390/foods12091853.
25. Aparicio-García N., Martínez-Villaluenga C., Frias J., et al. Sprouted oat as a potential gluten-free ingredient with enhanced nutritional and bioactive properties // *Food Chemistry*. 2021. Vol. 338. P. 127972.
26. Feng Y., Suo D., Guan X., et al. Effect of Germination on the Avenanthramide Content of Oats and Their in Vitro Antisensitivity Activities // *Molecules*. 2022. Vol. 27. P. 6167. DOI: 10.3390/molecules27196167.
27. Han D-H., Kim H-J., Kim S-H., et al. Effect of illite pretreatment on germinated Brown rice with Special Reference to amino acids, antioxidants, texture, and mineral elements // *Heliyon*. 2024. Vol. 10. P. e28843. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e28843R.
28. Ha M-C., Im D-Y., Park H-S., et al. Seed Treatment with Illite Enhanced Yield and Nutritional Value of Soybean Sprouts // *Molecules*. 2022. Vol. 27, N 4. P. 1152. DOI: 10.3390/molecules27041152.
29. Сумина А.В., Полонский В.И., Комарова О.В., и др. Влияние предпосевной обработки зерновых культур модифицированным аминокислотами бентонитом на их посевные качества // *Вестник КрасГАУ*. 2024. № 11. С. 86–96.
30. Сумина А.В., Полонский В.И., Комарова О.В., и др. Влияние растворов на основе модифицированного бентонита на энергию прорастания зерна // *Экологический Вестник Северного Кавказа*. 2024. Т. 20, № 3. С. 23–29.
31. Bhaswant M., Shanmugam D.K., Miyazawa T., et al. Microgreens – A Comprehensive Review of Bioactive Molecules and Health Benefits // *Molecules*. 2023. Vol. 28, N 2. P. 867. DOI: 10.3390/molecules28020867.
32. Aloo S.O., Ofosu F.K., Kilonzi S.M., et al. Edible Plant Sprouts: Health Benefits, Trends, and Opportunities for Novel Exploration // *Nutrients*. 2021. Vol. 13, N 8. P. 2882. DOI: 10.3390/nu13082882.
33. Ebert A. Sprouts and Microgreens – Novel Food Sources for Healthy Diets // *Plants*. 2022. Vol. 11, N 4. P. 571. DOI: 10.3390/plants11040571.

34. Benincasa P., Falcinelli B., Lutts S., et al. Sprouted Grains: A Comprehensive Review // *Nutrients*. 2019. Vol. 11, N 2. P. 421. DOI: 10.3390/nu11020421.
35. Максимова Т.В., Никулина И.Н., Пахомов В.П., и др. Способ определения антиокислительной активности. Патент № 2170930 С1 Российская Федерация, МПК G01N 33/50, G01N 33/52. 20.07.2001.
36. Елисеева Л.Г., Сими́на Д.В., Токарев П.И., и др. Изучение эффективности применения инновационных видов биокорректоров для управления качеством и нутриентным составом микрозелени как источника пищевых функциональных ингредиентов // *Вестник КрасГАУ*. 2025. № 1. С. 153–161. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-1-153-161.
37. He A., Tong Y. Volatile oil concentration and growth of thyme (*Thymus vulgaris* L.) plants responded to red to blue light ratios // *Technology in Horticulture*. 2023. Vol. 3. P. 2. DOI: 10.48130/ТИН-2023-0002.

### References

1. Polonskiy VI, Loskutov IG, Sumina AV. Evaluation of oat genotypes for the content of  $\beta$ -glucans in grain on the basis of its physical characteristics. *Agricultural biology*. 2020;55(1):45-52. DOI: 10.15389/agrobiol.2020.1.45eng.
2. Halvorsen BL, Holte K, Myhrstad MCW, et al. A Systematic Screening of Total Antioxidants in Dietary Plants. *Journal of Nutrition*. 2002;132:461-471.
3. Jágr M, Hofinger-Horvath A, Ergang P, et al. Comprehensive study of the effect of oat grain germination on the content of avenanthramides. *Food Chemistry*. 2024;437(Part 1):137807. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.137807.
4. Skoglund M, Peterson DM, Andersson R, et al. Avenanthramide content and related enzyme activities in oats as affected by steeping and germination. *Journal of Cereal Science*. 2008;48(2):294-303. DOI: 10.1016/j.jcs.2007.09.010.
5. Majzoobi M, Wang Z, Teimouri S, et al. Unlocking the Potential of Sprouted Cereals, Pseudocereals, and Pulses in Combating Malnutrition. *Foods*. 2023;12(21):3901. DOI: 10.3390/foods12213901.
6. Cevallos-Casals BA, Cisneros-Zevallos L. Impact of germination on phenolic content and antioxidant activity of 13 edible seed species. *Food Chemistry*. 2010;119(4):1485-1490.
7. Sumina AV, Polonskiy VI, Shaldaeva TM. Soderzhanie antioksidantov v ovsyanom talgane, izgotovlennom iz proroshennogo zerna. *Pishhevaya promy`shlennost`*. 2021;10:96-99.
8. Sumina AV, Polonskiy VI, Shaldaeva TM. Funkcional'naya cennost' talgana, izgotovlennogo iz proroshennogo zerna pshenicy i yachmenya. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenerny`x tekhnologij*. 2021;83(1):163-168. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-163-168.
9. Lemmens E, Moroni AV, Pagand J, et al. Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: a critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019;18(1):305-328. DOI: 10.1111/1541-4337.12414.
10. Ma Y, Wang J, Cheng Y, et al. Effects of germination on phenolics and antioxidant capacity of wheat seedlings. *Food and Fermentation Industries*. 2023;49(18):178-185. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.033123.
11. Yadav A, Singh S. Effect of exogenous phytohormone treatment on antioxidant activity, enzyme activity and phenolic content in wheat sprouts and identification of metabolites of control and treated samples by UHPLC-MS analysis. *Food Research International*. 2023;169:112811.
12. Ikram A, Saeed F, Afzaal M, et al. Nutritional and end-use perspectives of sprouted grains: A comprehensive review. *Food Science Nutrition*. 2021;9(8):4617-4628. DOI: 10.1002/fsn3.2408.
13. Ge X, Saleh ASM, Jing L, et al. Germination and drying induced changes in the composition and content of phenolic compounds in naked barley. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2021;95:103594. DOI: 10.1016/j.jfca.2020.103594.
14. Moreno EJM, Palma-Rodríguez HM, Hernández-Urbe JP, et al. Effect of wheat grain germination time on physicochemical and texture properties, starch digestion, and protein hydrolysis rate in bread making. *Journal of Cereal Science*. 2025;121:104091. DOI: 10.1016/j.jcs.2024.104091.

15. Maqbool Z, Khalid W, Khan A, et al. Cereal sprout-based food products: Industrial application, novel extraction, consumer acceptance, antioxidant potential, sensory evaluation, and health perspective. *Food Science and Nutrition*. 2023;12(2):707-721. DOI: 10.1002/fsn3.3830.
16. Beaulieu JC, Boue SM, Goufo P. Health-promoting germinated rice and value-added foods: a comprehensive and systematic review of germination effects on brown rice. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023;63(33):11570-11603. DOI: 10.1080/10408398.2022.2094887.
17. Ding J, Johnson J, Chu YF, et al. Enhancement of  $\gamma$ -aminobutyric acid, avenanthramides, and other health-promoting metabolites in germinating oats (*Avena sativa* L.) treated with and without power ultrasound. *Food Chemistry*. 2019;283:239-247. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.12.136.
18. Tyagi A, Chen X, Shabbir U. Effect of slightly acidic electrolyzed water on amino acid and phenolic profiling of germinated brown rice sprouts and their antioxidant potential. *LWT*. 2022;157:113119. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113119.
19. Wu D, Shi Y, Zhang T. The synergistic effect of ascorbic and abscisic acids on enriching AVC-dominated avenanthramides in oat germination process. *Food Bioscience*. 2023;54:102850. DOI: 10.1016/j.fbio.2023.102850.
20. Wei Q, Guo Y, Tu K, et al. Eating Quality and In Vitro Digestibility of Brown Rice Improved by Ascorbic Acid Treatments. *Foods*. 2023;12:1043. DOI: 10.3390/foods12051043.
21. Wang M, Ding Y, Wang Q, et al. NaCl treatment on physio-biochemical metabolism and phenolics accumulation in barley seedlings. *Food Chemistry*. 2020;331:127282. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127282.
22. Pongrac P, Potisek M, Fraš A, et al. Composition of mineral elements and bioactive compounds in tartary buckwheat and wheat sprouts as affected by natural mineral-rich water. *Journal of Cereal Science*. 2016;69:9-16. DOI: 10.1016/j.jcs.2016.02.002.
23. Collins FW, Burrows VD. *Method for increasing concentration of avenanthramides in oats*. Patent US N 10 334869 B2, Date of Patent: July 2, 2019.
24. Nemzer B, Al-Taher F. Analysis of Fatty Acid Composition in Sprouted Grains. *Foods*. 2023;12(9):1853. DOI: 10.3390/foods12091853.
25. Aparicio-García N, Martínez-Villaluenga C, Frias J, et al. Sprouted oat as a potential gluten-free ingredient with enhanced nutritional and bioactive properties. *Food Chemistry*. 2021;338:127972.
26. Feng Y, Suo D, Guan X, et al. Effect of Germination on the Avenanthramide Content of Oats and Their in Vitro Antisensitivity Activities. *Molecules*. 2022;27:6167. DOI: 10.3390/molecules27196167.
27. Han D-H, Kim H-J, Kim S-H, et al. Effect of illite pretreatment on germinated Brown rice with Special Reference to amino acids, antioxidants, texture, and mineral elements. *Heliyon*. 2024;10:e28843. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e28843R.
28. Ha M-C, Im D-Y, Park H-S, et al. Seed Treatment with Illite Enhanced Yield and Nutritional Value of Soybean Sprouts. *Molecules*. 2022;27(4):1152. DOI: 10.3390/molecules27041152.
29. Sumina AV, Polonskij VI, Komarova OV, et al. Vliyanie predposevnoj obrabotki zernovy'x kul'tur modifitsirovanny'm aminokislotami bentonitom na ix posevny'e kachestva. *Bulletin of KSAU*. 2024;11:86-96.
30. Sumina AV, Polonskij VI, Komarova OV, et al. Vliyanie rastvorov na osnove modifitsirovannogo bentonita na e'nergiyu pro rastaniya zerna. *E'kologicheskij Vestnik Severnogo Kavkaza*. 2024;20(3):23-29.
31. Bhaswant M, Shanmugam DK, Miyazawa T, et al. Microgreens – A Comprehensive Review of Bioactive Molecules and Health Benefits. *Molecules*. 2023;28(2):867. DOI: 10.3390/molecules28020867.
32. Aloo SO, Ofosu FK, Kilonzi SM, et al. Edible Plant Sprouts: Health Benefits, Trends, and Opportunities for Novel Exploration. *Nutrients*. 2021;13(8):2882. DOI: 10.3390/nu13082882.
33. Ebert A. Sprouts and Microgreens – Novel Food Sources for Healthy Diets. *Plants*. 2022;11(4):571. DOI: 10.3390/plants11040571.
34. Benincasa P, Falcinelli B, Lutts S, et al. Sprouted Grains: A Comprehensive Review. *Nutrients*. 2019;11(2):421. DOI: 10.3390/nu11020421.
35. Maksimova TV, Nikulina IN, Paxomov VP, et al. *Sposob opredeleniya antiokislitel'noj aktivnosti*. Patent N 2170930 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK G01N 33/50, G01N 33/52. 20.07.2001.

36. Eliseeva LG, Simina DV, Tokarev PI, et al. Izuchenie e`ffektivnosti primeneniya innovacionny`x vidov biokorrektorov dlya upravleniya kachestvom i nutrientny`m sostavom mikrozeleni kak istochnika pishhevy`x funkcional`ny`x ingredientov. *Bulletin of KSAU*. 2025;1:153-161. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-1-153-161.
37. He A, Tong Y. Volatile oil concentration and growth of thyme (*Thymus vulgaris* L.) plants responded to red to blue light ratios. *Technology in Horticulture*. 2023;3:2. DOI: 10.48130/ТИН-2023-0002.

Статья принята к публикации 18.06.2025 / The article accepted for publication 18.06.2025.

Информация об авторах:

**Алена Владимировна Сумина**<sup>1</sup>, доцент кафедры химии и геоэкологии, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

**Вадим Игоревич Полонский**<sup>2</sup>, профессор-консультант кафедры ландшафтной архитектуры и ботаники, доктор биологических наук, профессор

**Ольга Васильевна Комарова**<sup>3</sup>, доцент кафедры химии и геоэкологии, кандидат химических наук, доцент

Information about the authors:

**Alena Vladimirovna Sumina**<sup>1</sup>, Associate Professor at the Department of Chemistry and Geoecology, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

**Vadim Igorevich Polonsky**<sup>2</sup>, Consulting Professor at the Department of Landscape Architecture and Botany, Doctor of Biological Sciences, Professor

**Olga Vasilievna Komarova**<sup>3</sup>, Associate Professor at the Department of Chemistry and Geoecology, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

