

Научная статья/Research Article

УДК 631.811:631.53.02.:82:552.5

DOI: 10.36718/1819-4036-2024-11-86-96

Алена Владимировна Сумина<sup>1✉</sup>, Вадим Игоревич Полонский<sup>2</sup>, Ольга Васильевна Комарова<sup>3</sup>, Елена Николаевна Петрова<sup>4</sup>, Регина Александровна Чудогашева<sup>5</sup>

<sup>1,3,4,5</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

<sup>4</sup>elennapetrova144@gmail.com

<sup>5</sup>uracheryu5885@mail.ru

### ВЛИЯНИЕ ПРЕПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР МОДИФИЦИРОВАННЫМ АМИНОКИСЛОТАМИ БЕНТОНИТОМ НА ИХ ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА

*Цель исследования – определение влияния предпосевной обработки семян яровых форм пшеницы, ячменя и овса на их качественные показатели. Изучали влияние замачивания зерна в водных суспензиях, активированного натрием бентонита, а также модифицированного глицином, аспарагиновой кислотой, лизином бентонита на содержание в проросшем зерне веществ, обладающих антиоксидантными свойствами, витамина С, его энергию прорастания и всхожесть. Анализировали корреляционную связь между содержанием антиоксидантов и посевными качествами прошедшего предпосевную обработку зерна. Режим обработки состоял в замачивании зерна в 0,5 % водной суспензии активированного или модифицированного бентонита в течение 5 мин. Зафиксирован стимулирующий эффект в содержании антиоксидантов в проросшем зерне как результат предпосевной обработки активированным натрием бентонитом на 30 % для овса. Использование модифицированного аминокислотами бентонита показало дополнительный рост содержания антиоксидантов в зерне ячменя и пшеницы по сравнению с одним бентонитом и отсутствие роста для овса. Максимальный уровень стимуляции в содержании антиоксидантов по отношению к контролю выразился величиной 35,4 % для ячменя и 6 % для пшеницы, обработанных модифицированным аспарагиновой кислотой бентонитом. Зарегистрировано существенное увеличение содержания витамина С в зерне, обработанном водной суспензией активированного бентонита, по сравнению с контролем, эффект составил для пшеницы и овса соответственно 69,2 и 33,3 %. Для всех зерновых культур влияние каждого варианта предпосевной обработки на показатели энергии прорастания и всхожести было положительным относительно контроля и статистически значимым. Максимальный прирост по энергии прорастания: для пшеницы – 28 % в варианте с обработкой активированным бентонитом; для ячменя – 28; а для овса – почти 17 % в варианте с обработкой модифицированным аспарагиновой кислотой бентонитом. Наибольшее увеличение показателя всхожести выразилось: у пшеницы – на 19 % в варианте с обработкой активированным бентонитом; у ячменя – на 18, а у овса – на 13 % в варианте с обработкой модифицированным аспарагиновой кислотой бентонитом.*

**Ключевые слова:** пшеница, ячмень, овес, содержание антиоксидантов, содержание витамина С, энергия прорастания, всхожесть, активированный бентонит, глицин, аспарагиновая кислота, лизин

**Для цитирования:** Влияние предпосевной обработки зерновых культур модифицированным аминокислотами бентонитом на их посевные качества / А.В. Сумина [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2024. № 11. С. 86–96. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-11-86-96.

© Сумина А.В., Полонский В.И., Комарова О.В., Петрова Е.Н., Чудогашева Р.А., 2024

Вестник КрасГАУ. 2024. № 11. С. 86–96.

Bulliten KrasSAU. 2024;(11):86–96.

**Благодарности:** исследование выполнено за счет гранта Министерства образования и науки Республики Хакасия (Соглашение № 104 от 10.10.2023).

**Alena Vladimirovna Sumina**<sup>1✉</sup>, **Vadim Igorevich Polonsky**<sup>2</sup>, **Olga Vasilievna Komarova**<sup>3</sup>,  
**Elena Nikolaevna Petrova**<sup>4</sup>, **Regina Alexandrovna Chudogasheva**<sup>5</sup>

<sup>1,3,4,5</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

<sup>4</sup>elennapetrovva144@gmail.com

<sup>5</sup>uracheryy5885@mail.ru

## INFLUENCE OF PRE-SOWING GRAIN CROPS TREATMENT WITH AMINO ACIDS-MODIFIED BENTONITE ON THEIR SOWING QUALITIES

*The aim of the study is to determine the effect of pre-sowing treatment of spring wheat, barley and oat seeds on their quality indicators. The effect of grain soaking in aqueous suspensions of sodium-activated bentonite, as well as bentonite modified with glycine, aspartic acid, lysine on the content of substances with antioxidant properties, vitamin C, its germination energy and germination in sprouted grain was studied. The correlation between the antioxidant content and sowing qualities of pre-sowing treated grain was analyzed. The treatment mode consisted of soaking the grain in a 0.5 % aqueous suspension of activated or modified bentonite for 5 minutes. A stimulating effect on the antioxidant content in sprouted grain was recorded as a result of pre-sowing treatment with sodium-activated bentonite by 30 % for oats. The use of amino acid-modified bentonite showed an additional increase in the antioxidant content in barley and wheat grains compared to bentonite alone and no increase for oats. The maximum stimulation level in the antioxidant content relative to the control was 35.4 % for barley and 6% for wheat treated with aspartic acid-modified bentonite. A significant increase in the vitamin C content was recorded in grain treated with an aqueous suspension of activated bentonite compared to the control; the effect was 69.2 and 33.3 % for wheat and oats, respectively. For all grain crops, the effect of each pre-sowing treatment option on the germination energy and emergence indicators was positive relative to the control and statistically significant. The maximum increase in germination energy: for wheat – 28 % in the variant with treatment with activated bentonite; for barley – 28; and for oats – almost 17 % in the variant with treatment with bentonite modified with aspartic acid. The greatest increase in the germination rate was expressed: for wheat – by 19 % in the variant with treatment with activated bentonite; for barley – by 18, and for oats – by 13 % in the variant with treatment with bentonite modified with aspartic acid.*

**Keywords:** wheat, barley, oats, antioxidant content, vitamin C content, germination energy, germination, activated bentonite, glycine, aspartic acid, lysine

**For citation:** Influence of pre-sowing grain crops treatment with amino acids-modified bentonite on their sowing qualities / A.V. Sumina [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2024;(11): 86–96 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-11-86-96.

**Acknowledgments:** the study was supported by a grant from the Ministry of Education and Science of the Republic of Khakassia (Agreement № 104 dated 10.10.2023).

**Введение.** Важным ключевым этапом в получении высоких и стабильных урожаев является грамотное управление процессом прорастания семян, когда формируются системы регуляции на внутриклеточном и внутритканевом уровнях, вызывая различные ответные реакции растений в процессе их онтогенеза, что оказывает существенное влияние на прохождение всех последующих этапов развития растения.

Применение природных физиологически активных веществ – регуляторов роста и развития в растениеводстве является сравнительно новой и перспективной областью, особенно в современных условиях импортозамещения. К основным целям их использования можно отнести приобретение устойчивости к засухе и заморозкам [1], снижение кислотности почвы и улучшение ее структуры, связывание продуктов техно-

генного загрязнения [2, 3] и тем самым повышение качества (экологической чистоты) сельхозпродукции. Предпосевная обработка зерна – это применяемый на практике специфический целенаправленный метод, обеспечивающий повышение его качества, способствующий равномерной и энергичной всхожести, защите от неблагоприятных факторов среды. Различные варианты обработки семян (грунтовка, гранулирование, покрытие и т. д.) используются как на бытовом, так и коммерческом уровне как средство, способствующее улучшению качества зерна, повышению продуктивности в стрессовых условиях [4, 5].

Одними из таких физиологически активных веществ являются содержащие кремний глинистые материалы природного происхождения, в частности хакасских месторождений бентонитов. Известно, что бентонит – это природный гидратированный силикат алюминия с общей формулой  $Al_2O_3(SiO_2) \times nH_2O$  [6]. Практически все российские бентониты, в т. ч. хакасских месторождений, содержат преимущественно обменные катионы кальция и магния. Более высокими технологическими свойствами обладают бентониты, содержащие обменные катионы натрия. Изменить состав обменных катионов бентонита можно в ходе активации, которая заключается в процессе замещения катионов кальция и магния на натрий путем добавления 1–4 % соды.

Установлено, что внесение активированного бентонита в почву способствует улучшению ее свойств сохранению ее физических характеристик и значительному повышению удержания в ней влаги, которое обусловлено высокими когезионными свойствами этого природного материала [7]. Бентонитовые добавки увеличивают влажность почвы, насыщенную гидравлическую проводимость, особенно в относительно засушливые годы с небольшим количеством осадков [8]. Кроме того, показано, что обогащение почвы бентонитом значительно повышает выживаемость полезных микроорганизмов в ризосфере [9], изменяет структуру функциональных почвенных сообществ микроорганизмов [10], способствует улучшению обеспеченности почвы доступными формами азота, фосфора и калия в верхнем ее слое [11]. Экспериментально доказано, что применение бентонитовой глины осенью вызывает рост урожайности подсолнечника и пшеницы [11, 12], увеличение надземной биомассы и зерновой продуктивности проса [8].

Можно предположить, что бентониты способны быть не только активированными за счет включения в их состав катионов натрия, но и также модифицированными путем обработки их растворами различных органических молекул, в том числе аминокислот. Найдено, что использование растворов аминокислот для предпосевной обработки зерновых культур оказывает положительное влияние на всхожесть семян, увеличивает скорость роста проростков. Описано положительное влияние предпосевной обработки аминокислотами озимой пшеницы и кукурузы на рост растений, накопление фотосинтетических пигментов, активность ключевых ферментов метаболизма и в целом на продуктивность и качество зерна [13, 14]. Выявлен комплекс экзогенных аминокислот на основе метионина и лизина для защиты подсолнечника от бактериоза, заразики и сорных растений, предложен способ использования комплекса аминокислот в качестве ретарданта, установлена возможность его применения для повышения морозостойкости и засухоустойчивости зерновых колосовых культур [1, 15]. В последнее время появились биостимуляторы на основе аминокислот. Так, хорошо себя зарекомендовал препарат «Крокус» (на основе метионина и ароматических аминокислот) [16], а также препарат «Аминокат», в состав которого включен ряд аминокислот с доминированием глицина [14]. Информацию о влиянии активированного бентонита, модифицированного аминокислотами, на посевные качества зерновых культур и содержание в них физиологически активных химических соединений в литературе нам встретить не удалось.

**Цель исследования** – определение возможного положительного физиолого-биохимического влияния предпосевной обработки модифицированным аминокислотами бентонитом на прорастающие семена зерновых культур.

**Задачи:** изучить влияние предпосевной обработки модифицированным аминокислотами бентонитом на содержание в проросшем зерне пшеницы, ячменя и овса веществ, обладающих антиоксидантными свойствами; оценить влияние предпосевной обработки активированным бентонитом на содержание в проросшем зерне витамина С; установить влияние предпосевной обработки модифицированным аминокислотами бентонитом на энергию прорастания и всхожесть рассматриваемых зерновых культур; исследовать корреляционную связь между содер-

жанием антиоксидантов и посевными качествами прошедшего предпосевную обработку зерна.

**Объекты и методы.** В экспериментах использовали зерно пшеницы (сорт Алтайская 75), ячменя (сорт Биом) и овса (сорт Ровесник), выращенное на территории Алтайского района Республики Хакасия в 2023 г.

Для исследования влияния предпосевной обработки на прорастание зерна указанных культур использовали следующие модельные системы: водная суспензия активированной глины (натриевая форма бентонита); активированный бентонит, модифицированный глицином, модифицированный аспарагиновой кислотой и модифицированный лизином.

Приготовление рабочего состава бентонитовой суспензии для замачивания семян (на основе активированного натрием бентонита) выполняли следующим образом. Карьерная бентонитовая глина с влажностью не более 6,5 масс.% и средним размером частиц не более 1 мм последовательно обрабатывалась карбонатом натрия при комнатной температуре в следующем соотношении компонентов, масс. %: бентонит : карбонат натрия – 89 : 1,8, остальное – вода; полученный порошок глины после высушивания в течение 6 ч при температуре 110 °С смешивали с кристаллической аминокислотой в следующем соотношении компонентов, масс. %: бентонит : аминокислотная кислота – 45 : 4,5, остальное – вода; выдерживали при комнатной температуре 24 ч, высушивали 4 ч при температуре 70 °С. Полученный порошок глины смешивали с дистиллированной водой в следующем соотношении компонентов, масс. %: вода : бентонит – 99,5 : 0,5 (0,5 % состав).

Предпосевная обработка включала замачивание зерна в течение 5 мин в 0,5 % водных суспензиях активированного бентонита. Такая его концентрация существенно повышала всхо-

жесть семян [17]. После проведения предпосевной обработки все образцы высушивались до стандартной влажности зерна при хранении, а затем образцы размещались в растильню для проращивания. В качестве контроля были взяты образцы зерна без обработки.

Энергию прорастания и всхожесть рассчитывали в соответствии с ГОСТ 10968-88 «Зерно. Методы определения энергии прорастания и способности прорастания». Для проращивания семена раскладывали в растильнях между слоями увлажненной фильтровальной бумаги: два-три слоя на дне растильни, одним слоем прикрывали семена. Энергию прорастания подсчитывали на третьи сутки, всхожесть определяли на седьмые.

Содержание обладающих восстановительными свойствами водорастворимых биологически активных веществ (антиоксидантов) в пророщенном зерне пшеницы, ячменя и овса в пересчете на кверцетин определяли по способу определения антиокислительной активности [18]. Содержание витамина С находили с использованием метода Тильманса [19].

Исследования проведены на базе лабораторий кафедр химии и геоэкологии, биологии Института естественных наук и математики ФГБОУ ВО Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, а также филиала ФГБУ «Россельхозцентр» по Республике Хакасия.

**Результаты и их обсуждение.** В таблице 1 приведены результаты определения содержания обладающих восстановительными свойствами водорастворимых биологически активных веществ (антиоксидантов) в пророщенном зерне пшеницы, ячменя и овса в пересчете на кверцетин. Можно видеть, что по содержанию антиоксидантов зерно исследуемых видов существенно различалось, независимо от любой из выполненных предпосевных его обработок.

Таблица 1

**Суммарное содержание антиоксидантов в пересчете на кверцетин в пророщенном зерне пшеницы, ячменя и овса в различных вариантах предпосевной обработки, мг/100 г**

Культура	Контроль	Na <sup>+</sup> -бентонит	Na <sup>+</sup> -бентонит + глицин	Na <sup>+</sup> -бентонит + аспарагиновая кислота	Na <sup>+</sup> -бентонит + лизин
Пшеница	139±0,5 а 1	140±0,2 а 1	143±1,1 а 2	148±0,5 а 3	143±0,7 а 2
Ячмень	144±0,6 б 1	150±0,6 б 2	189±0,9 б 3	195±0,8 б 4	170±1,3 б 5
Овес	132±0,5 в 1	172±1,0 в 2	108±0,6 в 3	123±0,5 в 4	135±0,2 в 5

Здесь и далее: значения в строках в пределах каждой колонки с разными буквами различаются существенно между собой; значения в колонках в пределах каждой строки с разными цифрами различаются существенно между собой при  $p \leq 0,05$ .

При рассмотрении влияния активированного бентонита и модифицированного аминокислотами подчеркнем существенные отличия в содержании антиоксидантов в пророщенном зерне между всеми вариантами обработки для ячменя и овса. В случае с пшеницей между контролем и вариантом с бентонитом, а также между вариантами с глицином и лизином значимых различий по содержанию антиоксидантов выявлено не было.

В таблице 2 приведены результаты определения содержания витамина С в пророщенном зерне пшеницы и овса после предпосевной обработки активированным натрием бентонитом. Можно видеть существенное увеличение содержания рассматриваемого химического соединения в обработанном зерне по сравнению с контролем. Стимулирующий эффект составил для пшеницы и овса соответственно 69,2 и 33,3 %.

Таблица 2

**Содержание витамина С в пророщенном зерне пшеницы и овса после его предпосевной обработки активированным натрием бентонитом, мг/100 г**

Культура	Контроль	Na <sup>+</sup> -бентонит
Пшеница	17,8±0,6 а 1	29,0±0,4 а 2
Овес	16,5±0,5 а 1	22,0±0,4 б 2

В таблице 3 представлены экспериментальные данные о значениях энергии прорастания и всхожести исследуемых зерновых культур при предпосевной обработке зерна в течение 5 мин в 0,5 % водных суспензиях активированного бентонита, модифицированных различными аминокислотами.

Можно видеть, что практически для всех вариантов различия между изучаемыми зерновыми культурами и по энергии прорастания, и по показателю всхожести были существенными.

Таблица 3

**Значения энергии прорастания и всхожести пшеницы, ячменя и овса в различных вариантах предпосевной обработки зерна, %**

Культура	Контроль	Na <sup>+</sup> -бентонит	Na <sup>+</sup> -бентонит + глицин	Na <sup>+</sup> -бентонит + аспарагиновая кислота	Na <sup>+</sup> -бентонит + лизин
Энергия прорастания					
Пшеница	75,1±0,2 а 1	96,4±0,3 а 2	94,9±0,2 а 3	84,0±0,7 а 4	90,3±0,2 а 5
Ячмень	71,1±0,4 б 1	88,9±0,1 б 2	85,2±0,6 б 3	91,3±0,2 б 4	86,9±0,6 б 5
Овес	77,9±0,4 в 1	80,7±0,2 в 2	82,4±0,3 в 3	90,9±0,3 в 4	88,2±0,4 в 5
Всхожесть					
Пшеница	82,4±0,2 а 1	98,1±0,5 а 2	96,0±0,1 а 3	85,9±0,1 а 4	93,1±0,4 а 5
Ячмень	78,4±0,5 б 1	89,2±0,5 б 2	86,3±0,3 б 3	92,5±0,6 б 4	88,1±0,4 б 5
Овес	83,3±0,6 в 1	86,8±0,5 в 2	87,9±0,1 в 3	94,5±0,3 в 4	90,5±0,4 в 5

В таблице 4 приведены результаты вычисления коэффициентов корреляции между значениями показателей посевных качеств зерна и суммарным содержанием обладающих восстановительными свойствами водорастворимых биологически активных веществ (антиок-

сидантов) в пророщенном зерне по вариантам его обработки. Можно видеть, что для пшеницы и овса корреляция была слабая, в основном отрицательная и несущественная. В случае с зерном ячменя она была положительная, средняя и статистически значимая.

**Корреляционная связь между значениями показателей посевных качеств зерна и содержанием антиоксидантов в пророщенном зерне по различным вариантам его предпосевной обработки для исследуемых культур**

Культура	Коэффициент корреляции для показателя	
	энергия прорастания	всхожесть
Пшеница	0,05	-0,13
Ячмень	0,62*	0,64*
Овес	-0,28	-0,26

\* Значения коэффициентов корреляции существенны при  $p \leq 0,05$ .

Стоит отметить стимулирующий эффект в содержании антиоксидантов от применения активированного натрием бентонита на 4 % для ячменя и на 30 % для овса. Результат использования модифицированного аминокислотами бентонита показал дополнительный рост содержания антиоксидантов в зерне ячменя по сравнению только с бентонитом и отсутствие роста для овса. Максимальный уровень стимуляции в содержании антиоксидантов от предпосевной обработки по отношению к контролю выразился величиной 35,4 % для ячменя при использовании модифицированного аспарагиновой кислотой бентонита. В случае с пшеницей существенно выделялся среди других этот же вариант с применением бентонита, модифицированного аспарагиновой кислотой. Прибавка содержания антиоксидантов в зерне пшеницы была гораздо скромнее, чем у ячменя, лишь на 6 %.

С чем связаны такие видовые различия в стимулирующем влиянии модифицированного бентонита на содержание антиоксидантов в зерне между зерновыми культурами? Возможно, описываемый наиболее заметный эффект у ячменя обусловлен наличием прочно связанных с зерном пленок, которые могли в большей степени аккумулировать аминокислоты при его замачивании в отличие от пшеницы, зерно которой характеризуется значительно меньшей массовой долей пленок. Наличие более высокой доли пленок у овса по сравнению с ячменем не сопровождалось указанным положительным эффектом от присутствия аминокислот, вероятно, по причине отсутствия тесного контакта внешних пленок с ядром овсяного зерна. В результате в ядре зерна ячменя могло накопиться большее количество аминокислот, что, по видимому, положительно повлияло на образование в нем антиоксидантов (как за счет распада молекул, так и синтеза de novo).

В литературе описан эффект повышения содержания антиоксидантов в зерне при его проращивании у овса [20], пшеницы [21, 22], ячменя [23]. Процесс прорастания сопровождается повышением уровня свободных фенольных соединений в зерне [24], которые способны служить антиоксидантами [20]. Экспериментально доказано, что проращивание зерна пшеницы способствует значительному повышению его антиоксидантной активности [21].

В работе зафиксировано существенное увеличение содержания витамина С в пророщенном зерне, обработанном водной суспензией активированного бентонита, по сравнению с контролем. Стимулирующий эффект составил для пшеницы и овса соответственно 69,2 и 33,3 %. Вопрос, с чем связано такое значительное влияние бентонита на повышение содержания витамина С, требует специального исследования.

Установлено, что для всех зерновых культур влияние каждого варианта предпосевной обработки на величины энергии прорастания и всхожести значительно отличалось друг от друга. При этом во всех случаях наблюдалась четко выраженная стимуляция по сравнению с контролем. Максимальный прирост по энергии прорастания составил: для пшеницы 28 % в варианте с обработкой активированным натрием бентонитом, для ячменя 28 %, а для овса почти 17 % в одном и том же варианте с применением модифицированного аспарагиновой кислотой бентонита. Наибольшее увеличение показателя всхожести было зафиксировано у пшеницы (на 19 %) в варианте с использованием активированного натрием бентонита, а также у ячменя и овса (соответственно на 18 и 13 %) в варианте с обработкой модифицированным аспарагиновой кислотой бентонитом.

В литературе на примере яровой пшеницы найдено, что предпосевная обработка зерна водной суспензией, включающей натриевый бентонит, сопровождается ускорением его прорастания и темпов развития проростков [25]. При этом экспериментально показано, что экзогенные аминокислоты способны влиять на начальные этапы роста растений пшеницы и кукурузы, когда питание растений осуществляется по гетеротрофному типу. Характер их влияния зависит от типа аминокислоты и вида растений [13]. В лабораторных опытах выявлено, что на стартовый рост растений озимой пшеницы стимулирующее влияние оказывает предпосевная обработка семян метионином, аланином, лизином и глютаминовой кислотой, ингибирующее – фенилаланином и тирозином [26]. В вариантах с предпосевной обработкой озимой пшеницы растворами изолейцина, пролина, фенилаланина и метионина отмечено увеличение содержания белка и клейковины [27].

По вариантам предпосевной обработки для ячменя была продемонстрирована существенная, положительная, средняя корреляционная связь между содержанием антиоксидантов в зерне с одной стороны и его посевными качествами с другой. Возможно, описываемый эффект у ячменя связан с более высокими по массе и прочно связанными с ядром зерна пленками. Это могло сопровождаться большей аккумуляцией в нем аминокислот в течение процесса замачивания зерна в растворах и, соответственно, более эффективным прохождением стартовых синтетических реакций и, как результат, более высокими темпами прорастания зерна.

Экспериментальные данные, указанные в литературе, свидетельствуют, что предпосевная обработка семян аминокислотами влияет на реализацию генетической программы формирования продуктивности растений. Одним из биохимических механизмов регуляторного действия аминокислот может быть их участие в синтезе и регуляции активности ряда фитогормонов, интенсификации аминокислотного метаболизма и в установлении на самых ранних этапах развития определенного гормонального статуса растения, который определяет дальнейшее развитие растений [13, 28, 29].

**Заключение.** Зафиксирован стимулирующий эффект в содержании антиоксидантов в проросшем зерне ячменя на 4 % и овса на 30 % как

результат предпосевной обработки активированным натрием бентонитом. Использование модифицированного аминокислотами бентонита показало дополнительный рост содержания антиоксидантов в зерне ячменя и пшеницы по сравнению с одним бентонитом и отсутствие роста у овса. Максимальный уровень стимуляции в содержании антиоксидантов по отношению к контролю выразился величиной 35,4 % у ячменя и 6 % у пшеницы, обработанных модифицированным аспарагиновой кислотой бентонитом. Возможно, описываемый разный физиолого-биохимический эффект у исследуемых культур обусловлен отличием в строении их зерновок, а именно – присутствием или отсутствием у них пленок, а также прочностью связи последних с ядром зерна.

В работе зафиксировано существенное увеличение содержания витамина С в зерне, обработанном водной суспензией активированного бентонита, по сравнению с контролем. Стимулирующий эффект составил для пшеницы и овса соответственно 69,2 и 33,3 %.

Установлено, что для всех зерновых культур влияние каждого варианта предпосевной обработки на показатели энергии прорастания и всхожести было положительным и статистически значимым по сравнению с контролем. Максимальный прирост по энергии прорастания составил: для пшеницы 28 % в варианте с обработкой активированным натрием бентонитом; для ячменя 28 %, а для овса почти 17 % в варианте с обработкой модифицированным аспарагиновой кислотой бентонитом. Наибольшее увеличение показателя всхожести выразилось: для пшеницы на 19 % в варианте с обработкой активированным натрием бентонитом; для ячменя на 18 %, а для овса на 13 % в варианте с обработкой модифицированным аспарагиновой кислотой бентонитом.

#### Список источников

1. Котляров Д.В. Физиолого-биохимическое обоснование применения экзогенных аминокислот для защиты растений от неблагоприятных факторов среды: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Кубан. гос. аграр. ун-т им. И.Т. Трубилина. Краснодар, 2018.
2. Qv M., et al. Bentonite addition enhances the biodegradation of petroleum pollutants and

- bacterial community succession during the aerobic co-composting of waste heavy oil with agricultural wastes // *Journal of Hazardous Materials*, 2024, Vol. 462, № 1, P. 132655. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.132655.
3. Khan W., et al. Investigating the role of bentonite clay with different soil amendments to minimize the bioaccumulation of heavy metals in *Solanum melongena* L. under the irrigation of tannery wastewater // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. P. 958978.
  4. Halmer P. Seed technology and seed enhancement // XXVII International Horticultural Congress-IHC2006: International Symposium on Seed Enhancement and Seedling Production. 2006. P. 17–26.
  5. Araújo S., Balestrazzi A. (ed.). *New Challenges in Seed Biology: Basic and Translational Research Driving Seed Technology*. BoD-Books on Demand, 2016.
  6. Геологический словарь: в 2 т. / под ред. К.Н. Паффенгольца. М.: Недра, 1978.
  7. Abulimiti M., et al. Bentonite could be an eco-friendly windbreak and sand-fixing material // *Environmental Technology and Innovation*, 2023, Vol. 29, P. 102981.
  8. Mi J., et al. Effect of bentonite amendment on soil hydraulic parameters and millet crop performance in a semi-arid region // *Field Crops Research*, 2017, Vol. 212, № 10, P. 107–114. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.07.009.
  9. Heijnen C.E., Hok-A-Hin C.H., Van J.D. Elsas Root colonization by *Pseudomonas fluorescens* introduced into soil amended with bentonite // *Soil Biology and Biochemistry*, 1993, Vol. 25, № 2, P. 239–246. DOI: 10.1016/0038-0717(93)90033-8.
  10. Zhang H., et al. Sandy soils amended with bentonite induced changes in soil microbiota and fungistasis in maize fields // *Applied Soil Ecology*, 2020, Vol. 146, № 2, P. 103378.
  11. Агафонов Е.В., Мажуга Г.Е., Горячев В.П. Применение бентонита и минеральных удобрений под подсолнечник на черноземе южном // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 1, ч. 1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17303> (дата обращения: 18.02.2024).
  12. Iqbal R., et al. Maximizing wheat yield through soil quality enhancement: A combined approach with *Azospirillum brasilense* and bentonite // *Plant Stress*, 2024, Vol. 11, № 3, P. 100321. DOI: 10.1016/j.stress.2023.100321.
  13. Лиценовский М.Ю. Развитие растений озимой пшеницы и кукурузы в зависимости от влияния экзогенных аминокислот // *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2019. № 12. С. 15–32.
  14. Котляров Д.В., Котляров В.В., Федулов Ю.П. Физиологически активные вещества в агротехнологиях: монография. Краснодар: КубГАУ, 2016. 224 с.
  15. Hammad A.R.S., Ali A.M.O. Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract // *Annals of Agricultural Science*, 2014. № 59 (1), P. 133–145.
  16. Котляров Д.В., Котляров В.В., Федулов Ю.П. Регуляция ростовых процессов растений пшеницы путем использования экзогенных аминокислот // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2017. № 69. С. 146–151.
  17. Кравец А.В., Винникова В.А. Влияние водных вытяжек из глинистых минералов на посевные качества семян овса // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. № 1. С. 149–152.
  18. Пат. .2170930 С1 Российская Федерация, МПК G01N 33/50, G01N 33/52. Способ определения антиокислительной активности / Максимова Т.В., Никулина И.Н., Пахомов В.П., Шкарина У.И., Чумакова З.В., Арзамасцев А.П.; заявитель Московская медицинская академия им. И.М. Сеченова. № 200011126/14; заявл. 05.05.2000; опубл. 20.07.2001.
  19. Наймушина Л.В., Зыкова И.Д. Современные методы исследований свойств продовольственного сырья, пищевых макро- и микроингредиентов, технологических добавок и пищевой продукции: учеб. пособие / Сиб. федер. ун-т. Красноярск, 2023. 116 с.
  20. 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, № 4, P. 1485–1490.
  21. Zilic S., et al. Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour? // *International Journal of*

- Food Science and Technology. 2014. Vol. 49. P. 1040–1047.
22. Alvarez-Jubete L., et al. Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking // Food Chemistry. 2010. Vol. 119. P. 770–778.
  23. Sharma P., Gujral H.S. Antioxidant and polyphenols oxidase activity of germinated barley and its milling fractions // Food Chemistry. 2010. Vol. 120. P. 673–678.
  24. 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. № 1. P. 305–328.
  25. Пат. РФ RU 2722727, МПК А01С1/06. Модифицированный натриевым бентонитом гумусовый препарат для предпосевной обработки семян яровой пшеницы / Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шоба С.А., Горелекин И.В. № 2019129712; заявл. 20.09.2019; опубл. 03.06.2020, Бюл. № 16.
  26. Лищениковский М.Ю. Влияние экзогенных аминокислот на растения озимой пшеницы и кукурузы в условиях западного Предкавказья: дис. ... канд. с.-х. наук / Кубан. гос. аграр. ун-т им. И.Т. Трубилина. Краснодар, 2019.
  27. Федулов Ю.П., Лищениковский М.Ю. Подушин Ю.В. Влияние аминокислот на растения озимой пшеницы // Тр. кубан. гос. аграр. ун-та. 2016. № 58. С. 171–179.
  28. Федулов Ю.П., Лищениковский М.Ю., Мальцева Д.А. Влияние экзогенных аминокислот на растения озимой пшеницы сорта Адель // Молодой ученый. 2015. № 9-2 (89). С. 80–81.
  29. Timoshchenko A.S. Intensification of the initial stage in amino acid metabolism in germinating cereal seeds with exogenous glutamine and proline // Applied Biochemistry and Microbiology. 2000. Vol. 36. № 3. P. 292–295.
  30. Kuban. gos. agrar. un-t im. I.T. Trubilina. Krasnodar, 2018.
  2. Qv M., et al. Bentonite addition enhances the biodegradation of petroleum pollutants and bacterial community succession during the aerobic co-composting of waste heavy oil with agricultural wastes // Journal of Hazardous Materials, 2024, Vol. 462, № 1, P. 132655. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.132655.
  3. Khan W., et al. Investigating the role of bentonite clay with different soil amendments to minimize the bioaccumulation of heavy metals in *Solanum melongena* L. under the irrigation of tannery wastewater // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. P. 958978.
  4. Halmer P. Seed technology and seed enhancement // XXVII International Horticultural Congress-IHC2006: International Symposium on Seed Enhancement and Seedling Production. 2006. P. 17–26.
  5. Araújo S., Balestrazzi A. (ed.). New Challenges in Seed Biology: Basic and Translational Research Driving Seed Technology. BoD-Books on Demand, 2016.
  6. Geologicheskij slovar': v 2 t. / pod red. K.N. Paffengol'ca. M.: Nedra, 1978.
  7. Abulimiti M., et al. Bentonite could be an eco-friendly windbreak and sand-fixing material // Environmental Technology and Innovation, 2023, Vol. 29, P. 102981.
  8. Mi J., et al. Effect of bentonite amendment on soil hydraulic parameters and millet crop performance in a semi-arid region // Field Crops Research, 2017, Vol. 212, № 10, P. 107–114. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.07.009.
  9. Heijnen C.E., Hok-A-Hin C.H., Van J.D. Elsas Root colonization by *Pseudomonas fluorescens* introduced into soil amended with bentonite // Soil Biology and Biochemistry, 1993, Vol. 25, № 2, P. 239–246. DOI: 10.1016/0038-0717(93)90033-8.
  10. Zhang H., et al. Sandy soils amended with bentonite induced changes in soil microbiota and fungistasis in maize fields // Applied Soil Ecology, 2020, Vol. 146, № 2, P. 103378.
  11. Agafonov E.V., Mazhuga G.E., Goryachev V.P. Primenenie bentonita i mineral'nyh udobrenij pod podsolnechnik na chernozeme yuzhnom // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. № 1, ch. 1. URL: <https://science-edu>

### References

1. Kotlyarov D.V. Fiziologo-biohimicheskoe obosnovanie primeneniya `ekzogennyh aminokislot dlya zaschity rastenij ot neblagopriyatnyh faktorov sredy: avtoref. dis. ... d-ra s.-h. nauk /

- cation.ru/ru/article/view?id=17303 (data obrasheniya: 18.02.2024).
12. *Iqbal R.*, et al. Maximizing wheat yield through soil quality enhancement: A combined approach with *Azospirillum brasilense* and bentonite // *Plant Stress*, 2024, Vol. 11, № 3, P. 100321. DOI: 10.1016/j.stress.2023.100321.
  13. *Lischenovskij M.Yu.* Razvitie rastenij ozimoy pshenicy i kukuruzy v zavisimosti ot vliyaniya `ekzogennykh aminokislot // *Kormlenie sel'skohozyajstvennykh zivotnykh i kormoproizvodstvo*. 2019. № 12. С. 15–32.
  14. *Kotlyarov D.V.*, *Kotlyarov V.V.*, *Fedulov Yu.P.* Fiziologicheski aktivnye veschestva v agrotehnologiyah: monografiya. Krasnodar: KubGAU, 2016. 224 s.
  15. *Hammad A.R.S.*, *Ali A.M.O.* Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract // *Annals of Agricultural Science*, 2014. № 59 (1), P. 133–145.
  16. *Kotlyarov D.V.*, *Kotlyarov V.V.*, *Fedulov Yu.P.* Regulyaciya rostovykh processov rastenij pshe-nicy putem ispol'zovaniya `ekzogennykh amino-kislot // *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. № 69. S. 146–151.
  17. *Kravec A.V.*, *Vinnikova V.A.* Vliyanie vodnykh vytyazhek iz glinistykh mineralov na posevnye kachestva semyan ovsy // *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2018. № 1. S. 149–152.
  18. Pat. .2170930 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK G01N 33/50, G01N 33/52. Sposob opredeleniya antiokislitel'noj aktivnosti / *Maksimova T.V.*, *Nikulina I.N.*, *Pahomov V.P.*, *Shkarina U.I.*, *Chumakova Z.V.*, *Arzamascev A.P.*; zayavitel' Moskovskaya medicinskaya akademiya im. I.M. Sechenova. № 2000111126/14; zayavl. 05.05.2000; opubl. 20.07.2001.
  19. *Najmushina L.V.*, *Zykova I.D.* Sovremennye metody issledovaniy svoystv prodovol'stvennogo syr'ya, pischevykh makro- i mikroingredientov, tehnologicheskikh dobavok i pischevoj produkcii: ucheb. posobie / Sib. feder. un-t. Krasnoyarsk, 2023. 116 s.
  20. *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, № 4, P. 1485–1490.
  21. *Zilic S.*, et al. Can the sprouting process applied to wheat improve the contents of vitamins and phenolic compounds and antioxidant capacity of the flour? // *International Journal of Food Science and Technology*. 2014. Vol. 49. P. 1040–1047.
  22. *Alvarez-Jubete L.*, et al. Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking // *Food Chemistry*. 2010. Vol. 119. P. 770–778.
  23. *Sharma P.*, *Gujral H.S.* Antioxidant and polyphenols oxidase activity of germinated barley and its milling fractions // *Food Chemistry*. 2010. Vol. 120. P. 673–678.
  24. *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. № 1. P. 305–328.
  25. Pat. RF RU 2722727, MPK A01C1/06. Modificirovannyj natrievym bentonitom gumusovyy preparat dlya predposevnoj obrabotki semyan yarovoj pshenicy / *Fedotov G.N.*, *Fedotova M.F.*, *Shoba S.A.*, *Gorepekin I.V.* № 2019129712; zayavl. 20.09.2019; opubl. 03.06.2020, Byul. № 16.
  26. *Lischenovskij M.Yu.* Vliyanie `ekzogennykh aminokislot na rasteniya ozimoy pshenicy i kukuruzy v usloviyah zapadnogo Predkavkaz'ya: dis. ... kand. s.-h. nauk / Kuban. gos. agrar. un-t im. I.T. Trubilina. Krasnodar, 2019.
  27. *Fedulov Yu.P.*, *Lischenovskij M.Yu.* *Podushin Yu.V.* Vliyanie aminokislot na rasteniya ozimoy pshenicy // *Tr. kuban. gos. agrar. un-ta*. 2016. № 58. S. 171–179.
  28. *Fedulov Yu.P.*, *Lischenovskij M.Yu.*, *Mal'ceva D.A.* Vliyanie `ekzogennykh aminokislot na rasteniya ozimoy pshenicy sorta Adel' // *Molodoy uchenyj*. 2015. № 9-2 (89). S. 80–81.
  29. *Timoshchenko A.S.* Intensification of the initial stage in amino acid metabolism in germinating cereal seeds with exogenous glutamine and proline // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2000. Vol. 36. № 3. P. 292–295.

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 кафедры ландшафтной архитектуры и ботаники, доктор биологических наук, профессор

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

**Елена Николаевна Петрова**<sup>4</sup>, студентка 2-го курса

**Регина Александровна Чудогашева**<sup>5</sup>, студентка 2-го курса

Data on authors:

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

**Vadim Igorevich Polonsky**<sup>2</sup>, 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, PhD in Chemistry, Docent

**Elena Nikolaevna Petrova**<sup>4</sup>, 2nd year student

**Regina Alexandrovna Chudogasheva**<sup>5</sup>, 2nd year student

