

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕТЕПЛОВЫХ ЭФФЕКТОВ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ И АНТИОКСИДАНТНУЮ АКТИВНОСТЬ *TRITICUM AESTIVUM* L.

И.Ю. Потороко, potorokoi@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3059-8061>

А.В. Малинин, malininav@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9270-5945>

А.А. Руськина, ruskinaaa@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2451-9339>

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. В работе исследовано влияние обработки атмосферной холодной плазмы (АХП) на активность α -амилазы и антиоксидантную активность в проросшем зерне мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Обработку осуществляли посредством отрицательного коронного разряда при напряжении 10 кВ и частоте 50 Гц, в качестве плазмообразующего вещества использовался воздух. Экспозиция составляла 30 секунд в периоде 3, 5 и 10 минут при сопоставлении с контрольным образцом без воздействия АХП. Активность α -амилазы определяли DNS-методом; антиоксидантную активность – спектрофотометрическим методом DPPH. Установлено, что обработка АХП во всех исследованных режимах повышала амилалитическую активность зерна по сравнению с контролем: прирост составил от 8,1 % (30 с) до 13,7 % (10 мин). Максимальная активность α -амилазы – 552,6 ед./г сырой массы – зафиксирована при 10-минутной экспозиции. Антиоксидантная активность проросшего зерна достигала наибольших значений при обработке в течение 5 минут, тогда как кратковременная экспозиция (30 с) вызывала незначительное её снижение. Параллельно отмечено улучшение показателей прорастания: всхожесть возросла с 98,1 до 99,0 %, энергия прорастания – с 96,9 до 97,6 %. Обсуждаются возможные механизмы стимулирующего действия АХП, включая сигнальную роль активных форм кислорода и оксидов азота, а также модификацию клеточных мембран. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения АХП как экологически безопасного физического метода повышения ферментативной и антиоксидантной активности зернового сырья в пищевой промышленности и биотехнологии.

Ключевые слова: зерно пшеницы, холодная плазма, α -амилаза, энергия прорастания, антиоксиданты

Благодарности. Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) в рамках проекта 24-16-20028.

Для цитирования: Потороко И.Ю., Малинин А.В., Руськина А.А. Влияние длительности воздействия нетепловых эффектов обеззараживания на ферментативную и антиоксидантную активность *Triticum Aestivum* L. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2026. Т. 14, № 2. С. 62–69. DOI: 10.14529/food260207

Original article
DOI: 10.14529/food260207

EFFECT OF THE DURATION OF NON-THERMAL DISINFECTANT EFFECTS ON THE ENZYMATIC AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF *TRITICUM AESTIVUM* L.

I.Yu. Potoroko, potorokoi@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3059-8061>

A.V. Malinin, malininav@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9270-5945>

A.A. Ruskina, ruskinaaa@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2451-9339>

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. The effect of atmospheric cold plasma (ACP) treatment on α -amylase activity and antioxidant activity in sprouted grain of soft spring wheat (*Triticum aestivum* L.) was investigated. Treatment was carried out by means of negative corona discharge at a voltage of 10 kV and a frequency of 50 Hz; air was used as a plasma-forming substance. The exposure was 30 seconds over periods of 3, 5, and 10 minutes in comparison with a control sample without exposure to ACP. α -amylase activity was determined by the DNS method; antioxidant activity was determined spectrophotometrically using the DPPH method. It was found that ACP treatment in all studied modes increased the amylolytic activity of grain compared to the control: the increase ranged from 8.1 % (30 sec) to 13.7 % (10 min). The maximum α -amylase activity – 552.6 units/g fresh weight – was recorded after a 10-minute exposure. The antioxidant activity of the sprouted grain reached its highest values after 5-minute treatment, while a short-term exposure (30 sec) caused an insignificant decrease. A parallel improvement in germination parameters was noted: germination increased from 98.1 to 99.0%, and germination energy from 96.9 to 97.6 %. Possible mechanisms of the stimulating effect of ACP, including the signaling role of reactive oxygen species and nitrogen oxides, as well as the modification of cell membranes, are discussed. The obtained results indicate the potential of using ACP as an environmentally friendly physical method for increasing the enzymatic and antioxidant activity of grain raw materials in the food industry and biotechnology.

Keywords: wheat grain, cold plasma, α -amylase, germination energy, antioxidants

Acknowledgments. The research was carried out with the financial support of a grant from the Russian Science Foundation (RSF) within the framework of project 24-16-20028.

For citation: Potoroko I.Yu., Malinin A.V., Ruskina A.A. Effect of the duration of non-thermal disinfectant effects on the enzymatic and antioxidant activity of *Triticum Aestivum* L. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2026, vol. 14, no. 2, pp. 62–69. (In Russ.) DOI: 10.14529/food260207

Введение

Проращивание зерна пшеницы сопровождается активацией ферментативных систем, в том числе амилалитического комплекса, обеспечивающего гидролиз запасных полисахаридов до простых сахаров. Активность α -амилазы является ключевым показателем сахарифицирующей способности зерна, что имеет важное значение для пищевой промышленности при производстве солода и введении биотехнологических процессов [3]. Одновременно в ходе прорастания существенно возрастает антиоксидантный потенциал зерна: активируется синтез фенольных соединений, токоферолов и других редуцирующих ве-

ществ, способных нейтрализовать активные формы кислорода [12]. Антиоксидантная активность проросшего зерна непосредственно связана с его функциональной ценностью и технологическими характеристиками, что обуславливает интерес к разработке методов её регулирования.

Атмосферная холодная плазма (АХП) представляет собой частично ионизированный газ, содержащий электроны, ионы, фотоны ультрафиолетового диапазона, а также активные формы кислорода (АФК) и азота (АФА). Благодаря тому, что температура нейтральных частиц при атмосферном давлении остаётся близкой к комнатной, АХП не вызы-

вайт термического повреждения компонентов биологических объектов, чувствительных к воздействию высоких температур, что принципиально отличает её от традиционных плазменных технологий. За последнее десятилетие данная технология привлекла значительный исследовательский интерес в области агропромышленных наук ввиду сочетания высокой биологической активности зерновых ресурсов, а также при отсутствии остатков химических активаторов роста и минимального воздействия на экологическое состояние среды [1, 2].

Имеющиеся данные указывают на то, что в экстремальных условиях изменения климата предпосевная обработка зерновых АХП стимулирует прорастание, повышает энергию роста, снижает микробную нагрузку поверхности зерна и улучшает усвоение питательных веществ зерном [3, 8]. Механизмы этих эффектов связывают прежде всего с изменением физико-химических свойств семенной оболочки, таких как гидрофильность, микро-рельеф поверхности, кроме того, АФК-опосредованными сигнальными путями активируется экспрессия ферментов прорастания.

Вместе с тем влияние нетепловых эффектов холодной плазмы на ферментативный статус зерна при проращивании исследовано в значительно меньшей степени, чем её обеззараживающее или стимулирующее действие на посевные качества. Особый практический интерес представляет модуляция амилолитического комплекса, поскольку повышение активности α -амилазы непосредственно определяет выход сбраживаемых сахаров при производстве солода, спирта и функциональных продуктов питания на основе проросшего зерна [11].

Целью данного исследования являлось изучение влияния различных режимов обработки холодной плазмой на активность α -амилазы и антиоксидантной активности при проращивании зерна пшеницы.

Материалы и методы

Объект исследования: зерно мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) урожая 2025 года. Для достижения поставленной цели образцы зерновой массы подвергали воздействию атмосферной холодной плазмы (АХП). Поток холодной плазмы генерируется за счёт отрицательного коронного разряда между анодом и катодом при импульсном напряжении с параметрами: разность потенциа-

лов 10 кВ, частота 50 Гц, плазмообразующее вещество – воздух. При этом влажность зерна пшеницы находилась на уровне 12,2 %, что не превышает допустимую норму (не более 14 %) по ГОСТ 9353-2016 «Пшеница. Технические условия». Зерновую массу размещали толщиной слоя 5 мм на поверхности, являющейся анодом, и обрабатывали в следующих режимах: 30 секунд, 3, 5 и 10 минут. Контрольный образец не подвергался обработке [5].

Для выявления оптимальных режимов воздействия холодной плазмы у образцов зерна пшеницы оценивались такие показатели качества, как всхожесть (по ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести»), энергия прорастания (по ГОСТ 10968-88 «Зерно. Методы определения энергии прорастания и способности прорастания»), а также определялась активность α -амилазы: с использованием DNS-метода (метод динитросалициловой кислоты), основанного на восстановлении 3,5-динитросалициловой кислоты редуцирующими сахарами, образующимися при ферментативном гидролизе крахмала [7, 10]. Активность выражали в единицах на грамм сырой массы (ед./г). Антиоксидантную активность образцов определяли спектрофотометрически при 515 нм путем определения поглощающей способности свободного радикала 1,1-дифенил-2-пикрилгид-разила (DPPH).

Проращивание зерна осуществляли на увлажнённой фильтровальной бумаге при температуре 20 °С в течение 5 суток в соответствии с ГОСТ 10968-88. Все опыты проводили в трёхкратной повторности ($n = 3$). Статистическую обработку результатов проводили с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA).

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследования оценивалось влияние атмосферной холодной плазмы на прорастание зерна пшеницы мягкой яровой. Следует отметить, что активность α -амилазы в прорастающем зерне связана с показателями всхожести и энергии прорастания. α -амилаза является ключевым ферментом гидролиза крахмала при прорастании, и её активность влияет на процессы, связанные с мобилизацией крахмала и обеспечением энергии роста. Однако активность α -амилазы зависит от условий прорастания (температура, влажность и др.) и генетических особенностей

сорта. Результаты оценки показателей всхожести и энергии прорастания исследуемого зерна представлены в табл. 1.

Исходя из представленных выше результатов исследования, наилучший эффект АХП наблюдается при воздействии длительностью 10 мин для мягкой яровой пшеницы, всхожесть которой составила 99,0 % при энергии прорастания 97,6 %. Воздействие холодной плазмы изменяет поверхностные свойства зернового сырья, что способствует улучше-

нию водопоглощения и, как следствие, активации процессов прорастания [3, 8].

На втором этапе исследования определяли активность α -амилазы в проросшем зерне пшеницы. Результаты исследования представлены в табл. 2 и на рис. 1.

Обработка зерна пшеницы атмосферной холодной плазмой на этапе проращивания привела к повышению активности α -амилазы во всех опытных образцах по сравнению с контрольными [4]. Минимальное увеличение

Таблица 1
Результаты влияния атмосферной холодной плазмы на прорастание зерна пшеницы мягкой яровой

Наименование образца	Всхожесть, %	Энергия прорастания, %
Пшеница мягкая яровая, контроль	98,1	96,9
Пшеница мягкая яровая, АХП 30 с	98,0	97,0
Пшеница мягкая яровая, АХП 3 мин	98,5	97,3
Пшеница мягкая яровая, АХП 5 мин	98,6	97,3
Пшеница мягкая яровая, АХП 10 мин	99,0	97,6

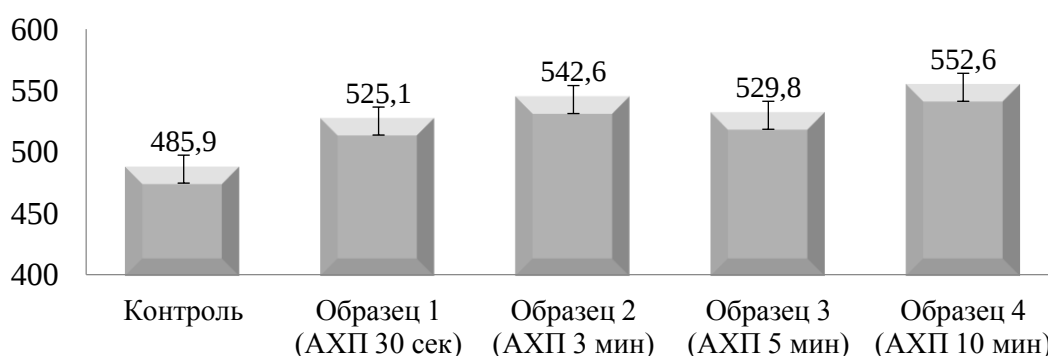


Рис. 1. Активность α -амилазы в проросшем зерне пшеницы мягкой яровой до и после обработки АХП

Таблица 2
Активность α -амилазы в проросшем зерне пшеницы мягкой яровой после обработки атмосферной холодной плазмой

Наименование образца	Активность, ед./г	Изменение к контролю, %
Пшеница мягкая яровая, контроль	485,9	—
Пшеница мягкая яровая, АХП 30 с	525,1	+ 8,1
Пшеница мягкая яровая, АХП 3 мин	542,6	+ 11,7
Пшеница мягкая яровая, АХП 5 мин	529,8	+ 9,0
Пшеница мягкая яровая, АХП 10 мин	552,6	+ 13,7

активности (на 8,1 %) наблюдалось при кратковременной 30-секундной обработке, а максимальный эффект (повышение на 13,7 %) был достигнут при 10-минутной экспозиции (см. табл. 2).

Следует отметить нелинейный характер зависимости активности фермента от продолжительности обработки: образец, обработанный в течение 5 минут, показал несколько меньшую активность (529,8 ед./г) по сравнению с образцом, обработанным в течение 3 минут (542,6 ед./г), что может указывать на сложный характер биохимических процессов, индуцируемых плазменным воздействием. Нелинейный характер зависимости может быть связан с двухфазной динамикой накопления АФК и реактивных форм азота: при умеренных дозах они выступают сигнальными молекулами, а при более высоких – способны вызывать временное торможение ферментативной активности. Данный вопрос требует дальнейшего изучения.

Стимулирующее воздействие АХП на активность α -амилазы может быть обусловлено несколькими механизмами. Во-первых, активные формы кислорода и оксиды азота, образующиеся под действием плазмы, могут

выступать в качестве сигнальных молекул, активирующих экспрессию генов ферментов амилолитического комплекса. Во-вторых, умеренный окислительный стресс может стимулировать защитные механизмы растительных клеток, в том числе усиливать синтез ферментов. В-третьих, модификация структуры клеточных мембран под действием плазмы может способствовать более эффективному извлечению ферментов из зерна (рис. 2).

В процессе прорастания зерна пшеницы происходит естественная активация ферментов амилолитического комплекса, обеспечивающих превращение запасных полисахаридов в физиологически доступные соединения, необходимые для роста зародыша. Дополнительная стимуляция этого процесса с помощью обработки холодной плазмой открывает перспективы практического применения данной технологии [3, 6, 12].

На заключительном этапе исследования оценивалась антиоксидантная активность в проросшем зерне пшеницы мягкой яровой после обработки атмосферной холодной плазмой с применением метода DPPH. Результаты определения антиоксидантной активности представлены на рис. 3.

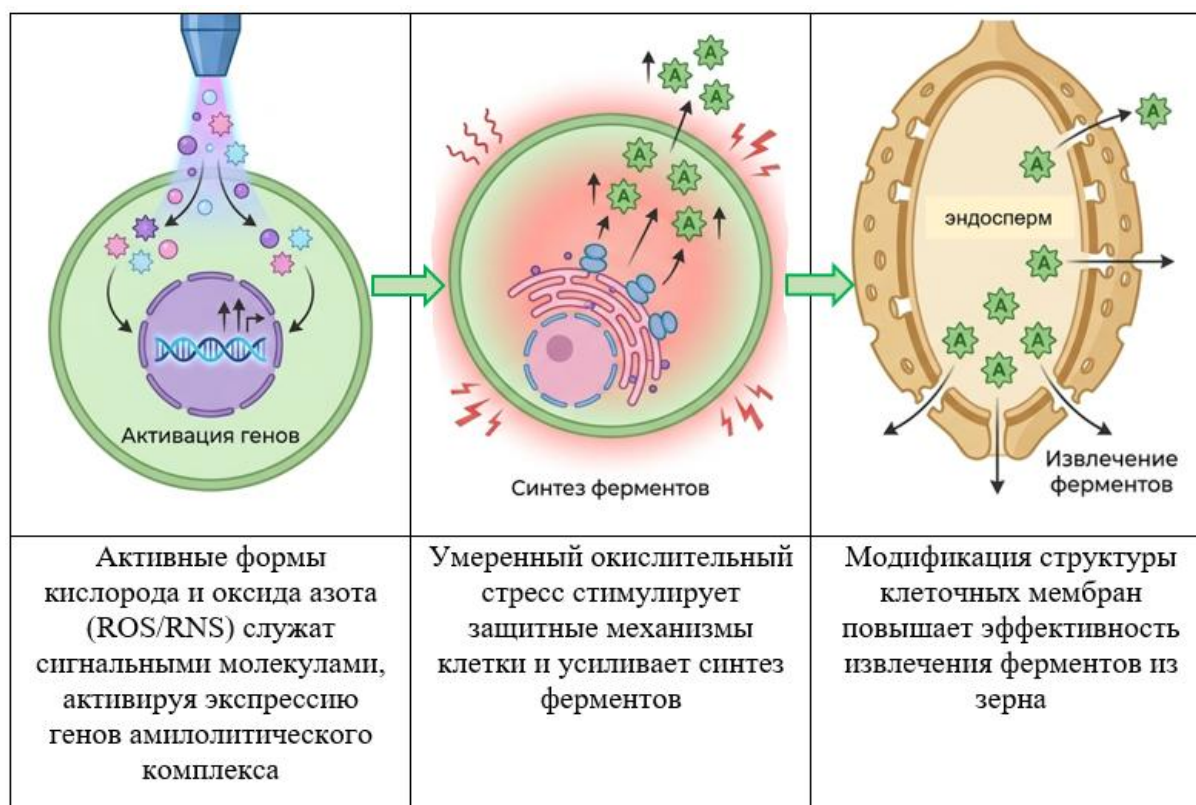


Рис. 2. Схема воздействия АХП на активность α -амилазы

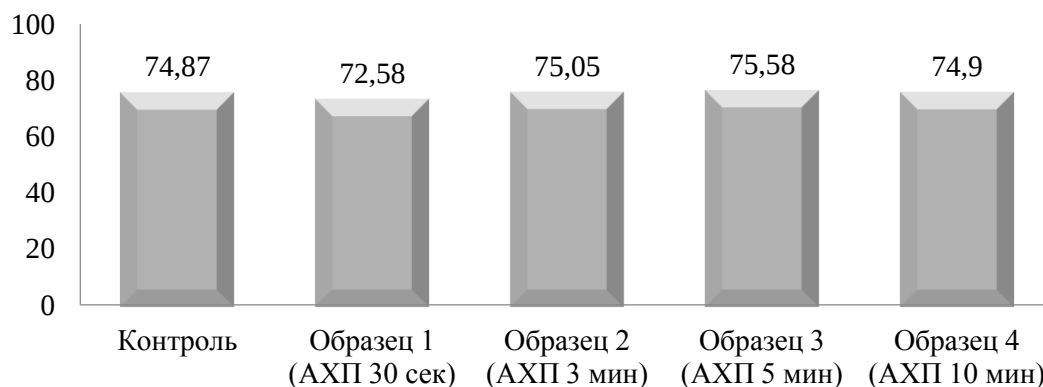


Рис. 3. Антиоксидантная активность в проросшем зерне пшеницы мягкой яровой до и после обработки АХП (метод DPPH)

Полученные результаты позволяют говорить о том, что кратковременная обработка АХП длительностью 30 секунд приводит к снижению антиоксидантной активности на 2,29 %. Это может быть связано с начальным окислительным стрессом и расходом антиоксидантов на нейтрализацию активных форм кислорода (АФК), генерируемых плазмой. Обработка в течение 35 минут, возможно, активирует защитные механизмы зерна. Длительная обработка АХП в течение 10 минут вызывает возврат показателя к уровню контроля. Возможно, данный эффект мог быть связан с исчерпанием защитных резервов, деградацией антиоксидантных соединений из-за избыточного окислительного стресса. Наибольшая антиоксидантная активность зерна наблюдается при обработке АХП длительностью 5 мин [9, 12].

Выводы по результатам работы

Таким образом, обработка атмосферной холодной плазмой зерна пшеницы на этапе проращивания приводит к повышению активности α -амилазы во всех исследованных режимах воздействия. Максимальный стиму-

лирующий эффект наблюдается при 10-минутной обработке атмосферной холодной плазмой, обеспечивающей увеличение активности фермента до 552,6 ед./г сырой массы. Увеличение амилалитической активности зерна пшеницы улучшает его сахарифицирующую способность, что имеет важное значение для пищевой промышленности, производства солода и биотехнологических процессов, связанных с получением сбраживаемых сахаров. Антиоксидантная активность проросшего зерна пшеницы наиболее выражена при обработке АХП в течение 5 минут, тогда как более длительная экспозиция не обеспечивает дополнительного прироста данного показателя, что указывает на необходимость оптимизации режимов воздействия с учётом как ферментативной, так и антиоксидантной активности. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения атмосферной холодной плазмы в качестве экологически безопасного физического метода модуляции ферментативной и антиоксидантной активности зерна злаковых культур.

Список литературы

1. Оловянникова Р.Я., Макаренко Т.А., Лычковская Е.В. и др. Химические механизмы действия холодной плазмы на клетки // *Фундаментальная и клиническая медицина*. 2020. Т. 5(4). С. 104–115. DOI: 10.23946/2500-0764-2020-5-4-104-115. EDN: AWOOP
2. Потороко И.Ю., Малинин А.В., Кади А.М.Я. и др. Стратегические ориентиры обеспечения биобезопасности зерновых в экстремальных условиях изменения климата // *Аграрный вестник Урала*. 2024. Т. 24, № 10. С. 1334–1344. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-10-1334-1344. EDN: SEPCKK

3. Потороко И.Ю., Ал-Джумайли Д.А. Возможности применения нетепловых методов воздействия для регулирования посевных свойств мягкой яровой пшеницы (*Triticum Aestivum* L.) // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2025. Т. 13, № 1. С. 44–52. DOI: 10.14529/food250106. EDN: RQATZD
4. Потороко И.Ю., Руськина А.А., Малинин А.В. и др. Регулирование физиологических и технологических свойств зерна пшеницы с применением нетепловых воздействий дуального типа // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 04. С. 733–744. DOI: 10.32417/1997-4868-2026-26-04-733-744.
5. Патент № 2707944, Российская Федерация, A21D 8/02(2006.01). Способ обеззараживания зерна / Потороко И.Ю., Науменко Н.В., Лейви А.Я., Калинина И.В. № 2019124649; заявл. 31.07.2019; опубл. 02.12.2019. 10 с.
6. He Li, Haochun Zhou, Jian Zhang et al. Proteinaceous α -amylase inhibitors: purification, detection methods, types and mechanisms // International journal of food properties. 2021. Vol. 24, no. 1. P. 277–290. DOI: 10.1080/10942912.2021.1876087 EDN: XGHDUW
7. Keharom S., Mahachai R., Chanthai S. The optimization study of α -amylase activity based on central composite design-response surface methodology by dinitrosalicylic acid method // International Food Research Journal. 2016. Vol. 23(1). P. 10–17.
8. Ling L., Jiafeng J., Jiangang L. et al. Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean // Sci Rep. 2014. Vol. 4(1). Art. no. 5859. DOI: 10.1038/srep05859
9. Miao Li, Chengcheng Ren, Caihong Li et al. Effect of Glow Discharge Cold Plasma Treatment on the Physicochemical Properties and Antioxidant Capacity of Maize // Foods. 2025. Vol. 14(8). Art. no. 1312. DOI: 10.3390/foods14081312
10. Miller G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar // Analytical Chemistry. 1959. Vol. 31(3). P. 426–428. DOI: 10.1021/ac60147a030
11. Shaik S.S. et al. Starch bioengineering affects cereal grain germination and seedling establishment // Journal of Experimental Botany. 2014. Vol. 65(9). P. 2257–2270. DOI: 10.1093/jxb/eru107. EDN: SQPPXR
12. Yang F., Basu T.K., Oraikul B. Studies on germination conditions and antioxidant contents of wheat grain // International Journal of Food Sciences and Nutrition. 2001. Vol. 52(4). P. 319–330. DOI: /10.1080/09637480120057567

References

1. Olovyannikova R.Ya., Makarenko T.A., Lychkovskaya E.V., Gudkova E.S., Muradyan G.A., Medvedeva N.N., Chekischeva T.N., Berdnikov S.I., Semichev E.V., Malinovskaya N.A., Salmina A.B., Salmin V.V. Chemical mechanisms of action of cold plasma on cells. *Fundamental and Clinical Medicine*, 2020, vol. 5(4), pp. 104–115. (In Russ.) DOI: 10.23946/2500-0764-2020-5-4-104-115
2. Potoroiko I.Yu., Malinin A.V., Kadi A.M.Y., Anjum V., Neverova O.P. Strategic guidelines for ensuring biosafety of grain in extreme conditions of climate change. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 2024, vol. 24, no. 10, pp. 1334–1344. (In Russ.) DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-10-1334-1344
3. Potoroiko I.Yu., Al-Jumaily D.A. The possibilities of using non-thermal exposure methods to regulate the sowing properties of soft spring wheat (*Triticum Aestivum* L.). *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2025, vol. 13, no. 1, pp. 44–52. (In Russ.) DOI: 10.14529/food250106
4. Potoroiko I.Yu., Ruskina A.A., Malinin A.V., Leivi A.Ya., Neverova O.P. Regulation of the Physiological and Technological Properties of Wheat Grain Using Non-Thermal Dual-Type Effects. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 2026, vol. 26, no. 04, pp. 733–744. (In Russ.) DOI: 10.32417/1997-4868-2026-26-04-733-744
5. Potoroiko I.Yu., Naumenko N.V., Leivi A.Ya., Kalinina I.V. *Patent № 2707944, Rossiyskaya Federatsiya, A21D 8/02(2006.01). Sposob obezzarazhivaniya zerna* [Patent No. 2707944, Russian Federation. A21D 8/02(2006.01). Method of disinfection of grain]. No. 2019124649; application 07/31/2019; published 12/22/2019. 10 p.

6. He Li, Haochun Zhou, Jian Zhang, Xiaohang Fu, Zhiwei Ying & Xinqi Liu. Proteinaceous α -amylase inhibitors: purification, detection methods, types and mechanisms. *International journal of food properties*, 2021, vol. 24, no. 1, pp. 277–290. DOI: 10.1080/10942912.2021.1876087
7. Keharom S., Mahachai R., Chanthai S. (2016). The optimization study of α -amylase activity based on central composite design-response surface methodology by dinitrosalicylic acid method. *International Food Research Journal*, vol. 23(1), pp. 10–17.
8. Ling L, Jiafeng J, Jiangang L, Minchong S, Xin H, Hanliang S, Yuanhua D. Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean. *Sci Rep.*, 2014, vol. 4(1), art. no. 5859. DOI: 10.1038/srep05859
9. Miao Li, Chengcheng Ren, Caihong Li, Zengxuan Fan, Jiayin Zhu, Chenling Qu. Effect of Glow Discharge Cold Plasma Treatment on the Physicochemical Properties and Antioxidant Capacity of Maize. *Foods*, 2025, vol. 14(8), art. no. 1312. DOI: 10.3390/foods14081312
10. Miller G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 1959, vol. 31(3), pp. 426–428. DOI: 10.1021/ac60147a030
11. Shaik S.S. et al. Starch bioengineering affects cereal grain germination and seedling establishment. *Journal of Experimental Botany*, 2014, vol. 65(9), pp. 2257–2270. DOI: 10.1093/jxb/eru107
12. Yang F., Basu T.K., Ooraikul B. Studies on germination conditions and antioxidant contents of wheat grain. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2001, vol. 52(4), pp. 319–330. DOI: 10.1080/09637480120057567

Информация об авторах

Потороко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; potorokoi@susu.ru

Малинин Артем Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; malininav@susu.ru

Руськина Алена Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; ruskinaaa@susu.ru

Information about the authors

Irina Yu. Potoroko, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food and Biotechnologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; potorokoi@susu.ru

Artem V. Malinin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; malininav@susu.ru

Alena A. Ruskina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; ruskinaaa@susu.ru

Статья поступила в редакцию 15.04.2026

The article was submitted 15.04.2026