

ЭКОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ. ЧАСТЬ 1

Н.В. Науменко¹, naumenko_natalya@mail.ru

И.Ю. Потороко¹, potorokoi@susu.ru

Н.В. Дежкунов², dnv@bsuir.by

Е.Е. Науменко¹, 9193122375@mail.ru

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Белоруссия

Аннотация. Актуальность применения экотехнологий на основе нетепловых методов воздействия, в частности холодного плазменного излучения (ХПИ) и низкочастотного ультразвука (НУЗВ), обусловлена обострившимися в настоящее время проблемами, связанными с нестабильностью качества продовольственного сырья, сокращения объемов поставки рядом стран пищевых ингредиентов. Дополнительная нагрузка для пищевой отрасли связана с отсутствием возможности экспорта зернового сырья в связи с утверждением Постановления Правительства РФ от 14 марта 2022 года № 362 «О введении временного запрета на вывоз зерновых культур за пределы территории Российской Федерации». Вышеперечисленные факторы диктуют необходимость поиска эффективных механизмов, применимых для реализации технологий ресурсосбережения продовольственного сырья. При этом должна быть обеспечена экологичность используемых методов, позволяющих максимально использовать природный потенциал сырья, что позволит не только минимизировать продовольственные потери, но и достигнуть сбалансированности рационального производства и потребления. Целью данного исследования являлось установление наиболее эффективных режимов воздействия холодного плазменного излучения для обеззараживания зерна пшеницы на этапах хранения и получения сырьевых ингредиентов с целью дальнейшего их использования в качестве структурообразующих ингредиентов в пищевых эмульсионных системах. В работе использовали различные режимы воздействия ХПИ и НУЗВ на соответствующем этапе эксперимента. На основе математической обработки полученных экспериментальных данных и рассчитанного обобщенного критерия оптимальности для ряда показателей были установлены оптимальные параметры нетепловых воздействий. Так, применительно к ХПИ с целью обеззараживания зернового сырья применяли: напряжение 10 кВ, частота 50 Гц, длительность воздействия 9 минут, плазмообразующее вещество – воздух при нормальных условиях. Низкочастотное ультразвуковое воздействие (мощность воздействия в диапазоне 30–100 % от паспортного значения) использовалось для обеспечения устойчивости эмульсий в присутствии биобезопасного сырьевого ингредиента. Полученные результаты комплексного исследования доказывают возможность комплексного использования экотехнологий, на основе сочетания ХПИ и НУЗВ, как эффективного инструмента, блокирующего развитие токсигенной микрофлоры и процесс накопления микротоксинов, при получении безопасных сырьевых ингредиентов, применимых для стабилизации функциональных эмульсий пищевых систем.

Ключевые слова: зерно пшеницы, холодное плазменное излучение, обеззараживание, токсигенная микрофлора.

Благодарности. Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) в рамках проекта 22-26-00079.

Для цитирования: Экотехнологии для эффективного использования продовольственных ресурсов в технологии пищевых систем. Часть 1 / Н.В. Науменко, И.Ю. Потороко, Н.В. Дежкунов, Е.Е. Науменко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2022. Т. 10, № 2. С. 50–58. DOI: 10.14529/food220206

Original article
DOI: 10.14529/food220206

ECOTECHNOLOGIES FOR THE EFFICIENT USE OF FOOD RESOURCES IN FOOD SYSTEMS TECHNOLOGY. PART 1

N.V. Naumenko¹, *Naumenko_natalya@mail.ru*

I.Yu. Potoroko¹, *potorokoi@susu.ru*

N.V. Dezhkunov², *dnv@bsuir.by*

E.E. Naumenko¹, *9193122375@mail.ru*

¹ *South Ural State University, Chelyabinsk, Russia*

² *Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus*

Abstract. The relevance of the use of ecotechnologies on the basis of non-thermal influence methods, in particular cold plasma radiation (CPR) and low-frequency ultrasound (LFU), is caused by the currently aggravated problems related to the instability of the quality of food raw materials, reduction of food ingredients supply by several countries. An additional burden for the food industry is associated with the inability to export grain raw materials in connection with the approval of the Government Decree of March 14, 2022 № 362 “On introduction of a temporary ban on the export of grain crops outside the territory of the Russian Federation”. The above-mentioned factors dictate the need to find effective mechanisms applicable to the implementation of resource-saving technologies for food raw materials. At the same time, the environmental friendliness of the methods used should be ensured, which enables the maximum use of the natural potential of raw materials, which will not only minimize food losses, but also achieve a balance of rational production and consumption. The purpose of this study was to determine the most effective modes of exposure to cold plasma radiation for disinfection of wheat grain at the stages of storage and production of raw ingredients for their further use as structure-forming ingredients in food emulsion systems. In this work, we used different modes of exposure to CPR and LFU at the corresponding stage of the experiment. On the basis of mathematical processing of the experimental data and calculated generalized criterion of optimality for a number of indicators, the optimal parameters of non-thermal influences were established. So, with regard to CPR for disinfection of grain raw materials used: voltage 10 kV, frequency 50 Hz, the duration of exposure 9 minutes, plasma-forming substance – air under normal conditions. Low-frequency ultrasound (power exposure in the range of 30–100 % of the passport value) was used to ensure stability of emulsions in the presence of biosafe raw material ingredient. The obtained results of the comprehensive study prove the possibility of comprehensive use of eco-technologies based on the combination of CPR and LFU as an effective tool to block the development of toxigenic microflora and the process of microtoxins accumulation, while obtaining safe raw ingredients applicable for stabilization of functional emulsions of food systems.

Keywords: wheat grain, cold plasma radiation, decontamination, toxigenic microflora

Acknowledgements. This article has been supported by a grant the Russian Science Foundation (RSF) under project 22-26-00079.

For citation: Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Dezhkunov N.V., Naumenko E.E. Ecotechnologies for the efficient use of food resources in food systems technology. Part 1. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2022, vol. 10, no. 2, pp. 50–58. (In Russ.) DOI: 10.14529/food220206

Введение

Пищевая промышленность в текущий момент испытывает определенные проблемы, в частности обеспечение гарантированной стабильности производства, при этом продолжает ориентироваться прежде всего на сохранение качества продукции и наполняе-

мость потребительского рынка полноценными в пищевом отношении продуктами питания функционального назначения. В силу объективных причин (ограничения поставок пищевых добавок, компенсирующих отклонения технологической пригодности основного сырья; отсутствие полноценной альтернативы

для реализации быстрого «эффекта замещения» в производстве) реализуемая в ассортиментной линейке продукция не всегда сможет соответствовать в полном объеме заявленным потребительским характеристикам, а некоторые товарные позиции, привычные для потребителя, могут исчезнуть с рынка.

К сожалению, имеющиеся технологические и сырьевые ресурсы не смогут в условиях разрыва технологий обеспечить устойчивую стабильность заявленных свойств продуктов питания, в том числе здоровьесберегающие функции. Следует отметить, что обозначенные проблемы затрагивают практически все сегменты пищевой индустрии. Так, согласно Постановлению Правительства РФ от 14 марта 2022 года № 362 «О введении временного запрета на вывоз зерновых культур за пределы территории Российской Федерации» временно приостановлен экспорт пшеницы и меслина, ржи, ячменя и кукурузы. В этой связи вводимые ограничительные санкции определяют необходимость поиска новых решений для полного сохранения продовольственных ресурсов и реализации технологий безотходного производства [1, 2].

В данных условиях прослеживается острая необходимость поиска путей минимизации рисков возникновения продовольственных потерь путем создания и применения высокоэффективных технологий переработки сырья; а также получения новых биобезопасных сырьевых ингредиентов с заданным нутриентным составом.

Развитие пищевой отрасли в последние годы требует применения наукоемких решений, которые позволят минимизировать зависимость от экспорта продовольственного сырья и импорта сырьевых ингредиентов. В качестве таких технологий могут быть применены методы нетепловых воздействия, в числе которых низкочастотное ультразвуковое воздействие (НУЗВ) и холодное плазменное излучение (ХПИ). Данные методы могут эффективно встраиваться в технологический процесс как самостоятельно, так и комплексно, обеспечивая качество сырья и регулирование его свойств до конкретных показателей. Использование НУЗВ позволяет добиться эффекта микроструктурирования сырьевых ингредиентов, а ХПИ – гарантированную стерильность и биобезопасность без нарушения нативных свойств. В случае дуального воздействия возможно получить биобезопасный

сырьевой ингредиент с гарантированной функционально-технологической пригодностью. Однако главным условием является установление рациональных параметров каждого из методов воздействия при их комплексном использовании.

Целью данного исследования являлось установление наиболее эффективных режимов воздействия ХПИ для обеззараживания зерна пшеницы на этапах хранения и получения сырьевых ингредиентов с целью дальнейшего их использования в качестве структурообразующих ингредиентов в пищевых эмульсионных системах.

Для достижения цели будут решаться следующие задачи:

– определение рациональных режимов ХПИ для обеспечения биобезопасности зернового сырья, используемого для получения сырьевого ингредиента (с использованием программы Statistica 13);

– исследование применимости сырьевого ингредиента в качестве стабилизирующего ингредиента в технологии эмульсионных пищевых систем (с использованием НУЗВ).

Для решения **первой задачи** были определены этапы работ, объекты, методы исследований.

Объекты и методы

В качестве объекта исследования была использована пшеница мягкая яровая (*Triticum aestivum L.*) сорта Любава.

На **первом этапе исследований** путем вариации параметров (напряжения (U), частоты воздействия (v) и длительности обработки (t)) осуществляли поиск оптимальных параметров холодного плазменного излучения.

В качестве контролируемых параметров были определены: количество КМАФАнМ (К), дрожжей (Д) и плесеней (П). Для расчетов были использованы десятичные логарифмы вышеуказанных показателей (lgK, lgД и lgП). Методика определения КМАФАнМ соответствовала ГОСТ 10444.1594, БГКП – ГОСТ 31747-2012, дрожжей и плесневых грибов – ГОСТ 10444.12-2013.

Для выявления наиболее результативных режимов обеззараживания зерна пшеницы рассчитывали с использованием программы Statistica 13 обобщенный критерий оптимальности, адекватность полученных моделей оценивалась по критерию Фишера.

В рамках **второго этапа исследований** проводилась видовая идентификация плесне-

вой токсигенной микрофлоры методом MALDI TOF MS. Идентификация выполнялась после 3-х и 10-и суток.

Результаты и их обсуждение

На начальном этапе исследований было оценено влияние используемого напряжения (U) и длительности воздействия ХПИ (t) на изменения микробиологических показателей безопасности (табл. 1).

Анализ уравнений множественной регрессии позволяет сказать, что длительность обработки выступает в качестве второго значимого фактора наряду с напряжением для показателей, характеризующих эффективность обеззараживания.

Полученные экспериментальные данные и анализ корреляций воздействующих факторов, а также их откликов на микробиологические показатели безопасности зерна пшеницы показали, что все отклики в той или иной степени зависят от используемого напряжения и длительности воздействия. Причем длительность холодного плазменного воздействия напрямую определяет эффективность обеззараживания. С целью установления оптимальных режимов воздействия ХПИ определялась зависимость обобщенного критерия оптимальности от времени воздействия и используемого напряжения/частоты (табл. 2).

Полученные результаты позволяют установить, что наиболее оптимальным и достаточным с точки зрения обеззараживания зернового сырья являются параметры воздействия: напряжение 10 кВ, частота 50 Гц, длительность воздействия 9 минут, плазмообразующее вещество – воздух при нормальных условиях.

Полученный обеззараживающий эффект обусловлен образованием в воздухе активных форм кислорода (ROS) и азота (RNS), таких как атомарный кислород (O), озон (O₃), гидроксильные ионы (OH), NO, NO₂. Действие вышеперечисленных компонентов ХПИ заключается в нарушении целостности клеточных оболочек микроорганизмов путем разрушения липидного слоя, что обеспечивает выраженный обеззараживающий эффект [3–7].

Температура воздействия ХПИ максимально приближена к параметрам окружающей среды, что значительно расширяет ее диапазон применения в пищевой промышленности. Данный способ обеззараживания зерна пшеницы чрезвычайно важен и может использоваться как в технологии сохранения

зерновых культур, так и при их переработке. Наибольшую актуальность он приобретает в технологиях проращивания, где значительное увеличение влажности может определять риски развития токсигенных плесеней в составе эпифитной микрофлоры зерна пшеницы и последующее накопление микотоксинов. Так, согласно данным ряда авторов [3–6, 9–13] выдержка сырья в гидромодуле 1:1 при комнатной температуре 20–25 °С в течение 24 часов приводит к увеличению количества плесневых грибов в 3–5 раз, дрожжей в 1,5–2 раза и количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в 1–1,5 раза [1].

В рамках второго этапа исследований была проведена видовая идентификация токсигенных плесеней (рис. 1).

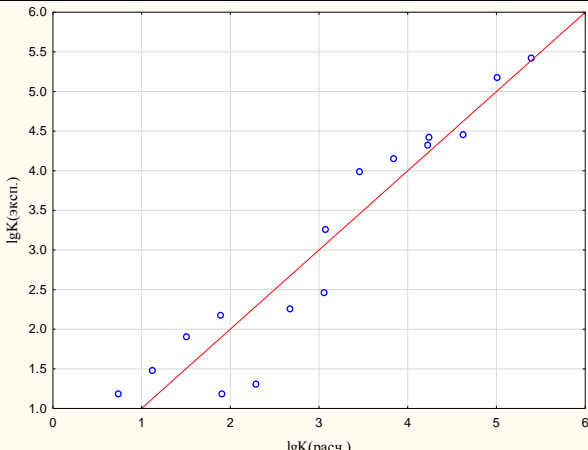
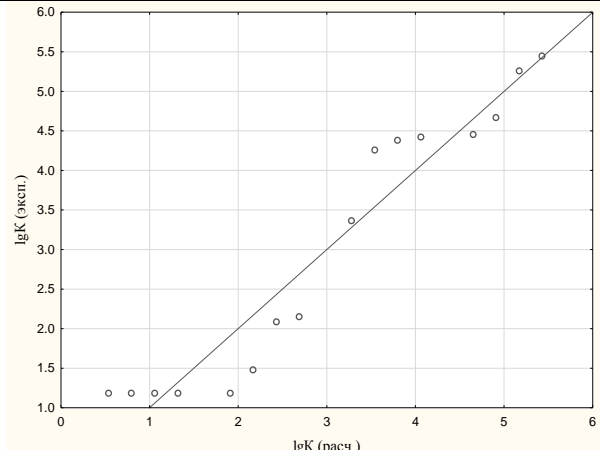
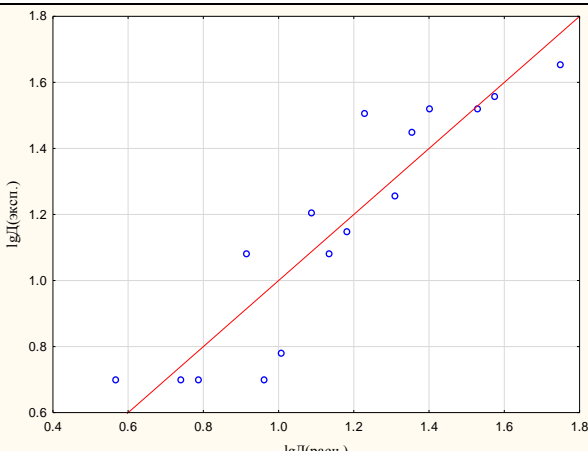
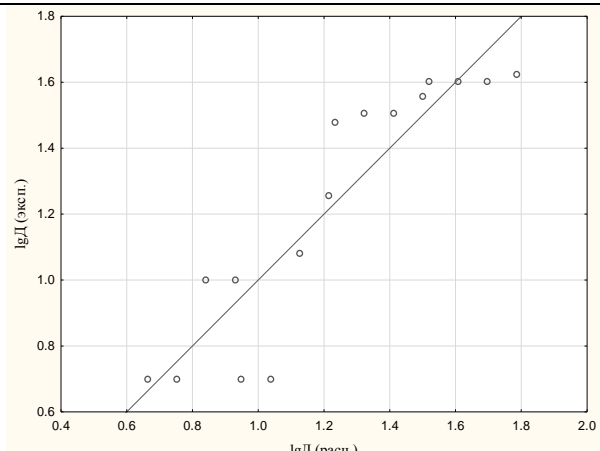
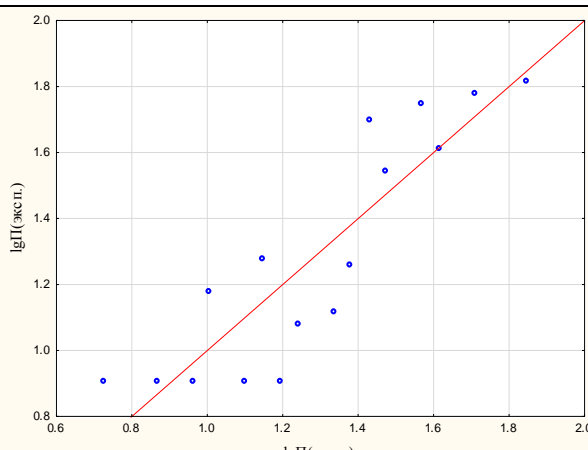
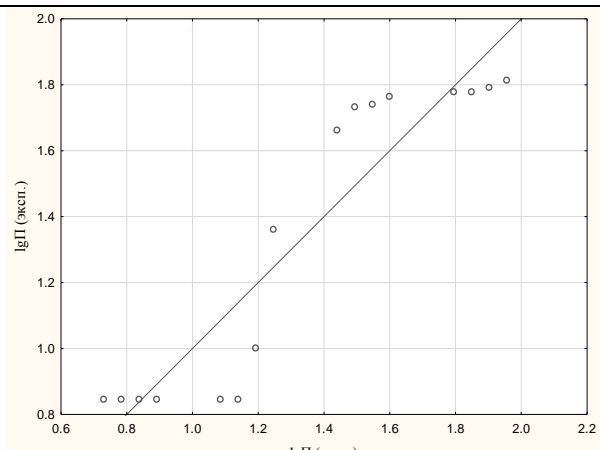
Изучение морфолого-культуральных свойств колоний показало, что уже через трое суток инкубации количество образовавшихся колоний выше у контрольного образца зерна пшеницы, в то время как посевы для опытного образца (после воздействия ХПИ) дают менее значительный рост колоний. На поверхности питательной среды практически не визуализируются плоские белые, слегка пушистые, местами рваные, неоднородные по массе колонии, характерные для контрольного образца.

Видовая идентификация микрофлоры (рис. 2) позволяет оценить потенциальные риски накопления микотоксинов и их патологического эффекта на организм животных и человека. При анализе рисков накопления микотоксинов в пищевых продуктах ряд исследователей [15, 16] особо подчеркивают важность данного описания, где систематизируется характер и степень неблагоприятных последствий для здоровья конечного потребителя.

При инкубации контрольных образцов зерна пшеницы были идентифицированы с самым высоким значением scores такие виды плесневых грибов, как *Aspergillus glaucus* (2,054), *Aspergillus candidus* (1,918), *Fusarium incarnatum* (2,144), *Aureobasidium pullulans* (2,082) и *Azoarus communis* (2,026). Тогда как у опытных образцов идентифицированных микроорганизмов с высоким значением scores отмечено не было, что говорит об эффективности предложенного метода воздействия. Для них была идентифицирована плесневая микрофлора с минимальным значением scores – *Aspergillus glaucus* (<1,7), *Aspergillus*

Таблица 1

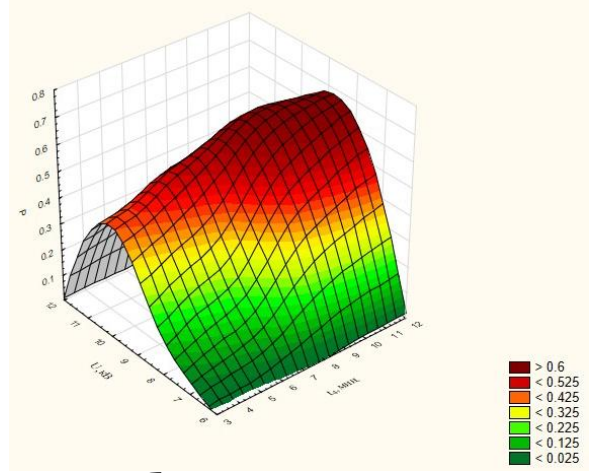
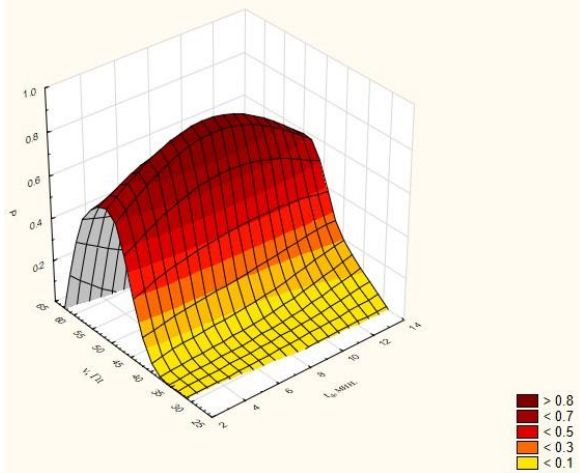
Расчетные (расч.) и экспериментальные (эксп.) значения показателей обеззараживания

Влияние используемого напряжения (U) и длительности воздействия ХПИ (t) на эффективность обеззараживания	Влияние используемого частоты воздействия (v) и длительности воздействия ХПИ (t) на эффективность обеззараживания
	
$\lg K = 9,28 - 0,583 \cdot U - 0,128 \cdot t \quad (Rk^* = 0,952)$	$\lg K = 9,81 - 0,137 \cdot v - 0,087 \cdot t \quad (Rk = 0,962)$
	
$\lg D = 2,58 - 0,110 \cdot U - 0,058 \cdot t \quad (Rk^* = 0,915)$	$\lg D = 2,73 - 0,0285 \cdot v - 0,030 \cdot t \quad (Rk = 0,912)$
	
$\lg \Pi = 2,69 - 0,117 \cdot U - 0,046 \cdot t \quad (Rk^* = 0,884)$	$\lg \Pi = 3,07 - 0,0355 \cdot v - 0,018 \cdot t \quad (Rk = 0,927)$

* Коэффициент корреляции расчетных и экспериментальных значений.

Таблица 2

Зависимость обобщенного критерия оптимальности от времени воздействия и используемой используемого напряжения/частоты ХПИ

Зависимость обобщенного критерия оптимальности от времени воздействия и	
используемого напряжения	используемой частоты
	
$\begin{cases} \ln(-\ln(0,5))=a+b \times 3,1 \\ \ln(-\ln(0,95))=a+b \times 1,6 \end{cases}$	$P = 0.337 + 0.148t_4 - 0.00956t_4^2$ (Rk = 0,995; St.err.** = 0,018)

** стандартное отклонение

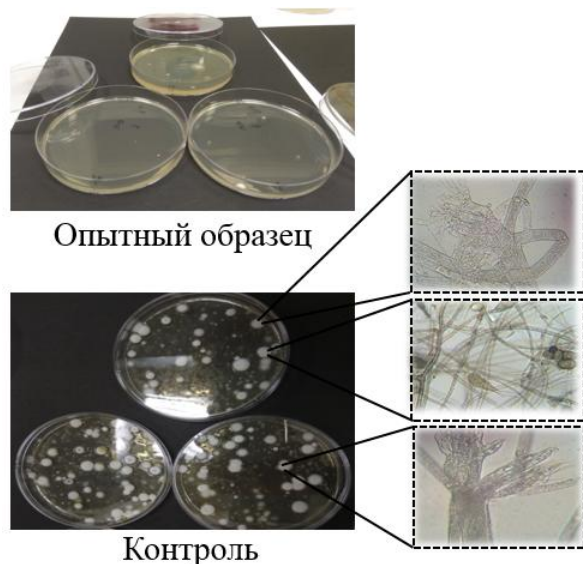


Рис. 1. Схематичное представление результатов идентификации микроорганизмов

candidus (<1,7), *Fusarium incarnatum* (<1,7) и *Penicillium spp* (<1,7).

Анализ и систематизация научной литературы [8–14] свидетельствуют о том, что наличие выявленной микрофлоры (грибы рода *Aspergillus*, *Alternaria*, *Fusarium*) у контроль-

ных образцов зерна пшеницы при использовании провокационных условий в процессе получения сырьевых ингредиентов, активизирует накопление микотоксинов, среди которых приоритетное значение имеют такие, как Афлатоксин В1 (АФВ1) и Охратоксин А (ОТА) (основные продуценты грибы рода *Aspergillus*), Дезоксиниваленол (ДОН), Т-2 токсин и Зеараленон (ЗОН) (основные продуценты грибы рода *Fusarium*).

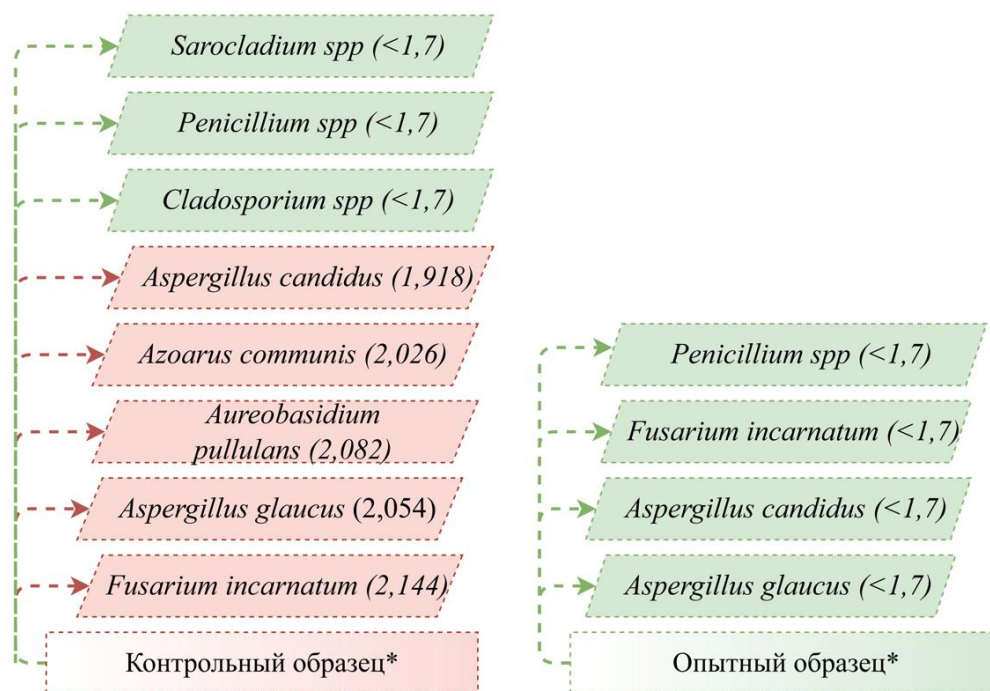
Таким образом, в ходе проведения работ доказана эффективность ХПИ как эффективного метода воздействия, обеспечивающего биобезопасность продовольственного сырья, в нашем случае зернового. Кроме того, предлагаемый метод обеззараживания на основе ХПИ является действенным приложением в качестве инструмента в получении биобезопасных сырьевых ингредиентов, используемых в технологии функциональных эмульсионных систем.

Последующие исследования будут направлены на установление эффективности дуального воздействия вышеуказанных методов (ХПИ и НУЗВ) на продовольственное сырье для обеспечения возможности получения

биобезопасных сырьевых ингредиентов с гарантированной функционально-технологической пригодностью в качестве структуро-

образующих ингредиентов для пищевых систем эмульсионного типа.

Продолжение в следующем номере



* Скор с величиной равной 2 и более считали надежным для определения вида, в диапазоне от 1,7 до 2,0 надежным для определения рода, показатель менее 1,7 свидетельствовал о ненадежной идентификации.

Рис. 2. Результаты идентификации микроорганизмов зерна пшеницы (метод MALDI TOF MS) (усредненные значения)

Список литературы

1. Возможности использования экотехнологий для минимизации продовольственных потерь / Н.В. Науменко, В.В. Ботвинникова, Л.П. Нилова и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2020. Т. 8, № 4. С. 69–76. DOI: 10.14529/food200409
2. Ресурсосберегающие технологии переработки зерновых культур как основа продовольственной безопасности Российской Федерации / Н.В. Науменко, И.Ю. Потороко, К.С. Гаврилова и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2021. Т. 9, № 4. С. 23–29. DOI: 10.14529/food210403
3. Caputo F. Gamma hydroxybutyric acid (GHB) for the treatment of alcohol dependence: a review / F. Caputo, T. Vignoli, I. Maremmanni [et al.] // International journal of environmental research and public health. 2009. Vol. 6, iss. 6, pp. 1917–1929. DOI: 10.3390/ijerph6061917
4. Basaran P., Basaran-Akgul N., Oksuz L. Elimination of *Aspergillus parasiticus* from nut surface with low pressure cold plasma (LPCP) treatment // Food microbiology. 2008. Vol. 25, iss. 4, pp. 626–632. DOI: 10.1016/j.fm.2007.12.005
5. Bermúdez-Aguirre D. Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of *Escherichia coli* in fresh produce / D. Bermúdez-Aguirre, E. Wemlinger, P. Pedrow [et al.] // Food control. 2013. Vol. 34, iss. 1. P. 149–157. DOI: 10.1016/j.foodcont.2013.04.022
6. Devi Y. Influence of cold plasma on fungal growth and aflatoxins production on groundnuts / Y. Devi, R. Thirumdas, C. Sarangapanu [et al.] // Food control. 2017. Vol. 77, pp. 187–191. DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.02.019

7. Fernandez A., Noriega E., Thompson A. Inactivation of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium on fresh produce by cold atmospheric gas plasma technology // *Food microbiology*. 2013. Vol. 33, iss. 1, pp. 24–29. DOI: 10.1016/j.fm.2012.08.007
8. Lacombe A. Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes / A. Lacombe, B.A. Niemira, J.B. Gurtler [et al.] // *Food microbiology*. 2015. Vol. 46, pp. 479–484. DOI: 10.1016/j.fm.2014.09.010
9. McClurkin-Moore J.D., Ileleji K.E., Keener K.M. The effect of high-voltage atmospheric cold plasma treatment on the shelf-life of distillers wet grains // *Food and bioprocess technology*. 2017. Vol. 10, iss. 8, pp. 1431–1440. DOI: 10.1007/s11947-017-1903-6
10. Misra N.N. Cold plasma interactions with enzymes in foods and model systems / N.N. Misra, S.K. Pankaj, A. Segat, K. Ishikawa // *Trends in food science & technology*. 2016. Vol. 55, pp. 39–47. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.07.001
11. Misra N.N. In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries / N.N. Misra, S. Patil, T. Moiseev [et al.] // *Journal of food engineering*. 2014. Vol. 125, pp. 131–138. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2013.10.023
12. Mitra A. Inactivation of surface-borne microorganisms and increased germination of seed specimen by cold atmospheric plasma / A. Mitra, Y.F. Li, T.G. Klämpfl [et al.] // *Food and bioprocess technology*. 2014. Vol. 7, iss. 3, pp. 645–653. DOI: 10.1007/s11947-013-1126-4
13. Thirumdas R., Sarangapani C., Annapure U.S. Cold plasma: a novel non-thermal technology for food processing // *Food biophysics*. 2015. Vol. 1. P. 1–11. DOI: 10.1007/s11483-014-9382-z
14. Thirumdas R., Kadam D., Annapure U.S. Cold plasma: An alternative technology for the starch modification // *Food biophysics*. 2017. Vol. 12. P. 129–139. DOI: 10.1007/s11483-017-9468-5
15. Thirumdas R. Functional and rheological properties of cold plasma treated rice starch / R. Thirumdas, A. Trimukhe, R.R. Deshmukh, U.S. Annapure // *Carbohydrate polymers*. 2017. Vol. 157. P. 1723–1731. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.11.050
16. Thirumdas R. Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice / R. Thirumdas, C. Saragapani, M.T. Ajinkya [et al.] // *Innovative food science & emerging technologies*. 2016. Vol. 37, pt. A. P. 53–60. DOI: 10.1016/j.ifset.2016.08.009

References

1. Naumenko N.V., Botvinnikova V.V., Nilova L.P., Sergeev A.A., Naumenko E.E., Stepanova D.S. Minimization of Food Losses with Ecotechnology Approaches Being Used. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2020, vol. 8, no. 4, pp. 69–76. (In Russ.) DOI: 10.14529/food200409
2. Naumenko N.V., Potoroко I.Yu., Gavrilova K.S., Naumenko E.E., Liksunova A.D. Resource-Saving Grain Processing Technologies as a Basis of Food Security in the Russian Federation. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2021, vol. 9, no. 4, pp. 23–29. (In Russ.) DOI: 10.14529/food210403
3. Caputo F., Vignoli T., Maremmani I. [et al.] Gamma hydroxybutyric acid (GHB) for the treatment of alcohol dependence: a review. *International journal of environmental research and public health*, 2009, vol. 6, iss. 6, pp. 1917–1929. DOI: 10.3390/ijerph6061917
4. Basaran P., Basaran-Akgul N., Oksuz L. Elimination of *Aspergillus parasiticus* from nut surface with low pressure cold plasma (LPCP) treatment. *Food microbiology*, 2008, vol. 25, iss. 4, pp. 626–632. DOI: 10.1016/j.fm.2007.12.005
5. Bermúdez-Aguirre D., Wemlinger E., Pedrow P. [et al.] Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of *Escherichia coli* in fresh produce. *Food control*, 2013, vol. 34, iss. 1, pp. 149–157. DOI: 10.1016/j.foodcont.2013.04.022
6. Devi Y., Thirumdas R., Sarangapanu C. [et al.] Influence of cold plasma on fungal growth and aflatoxins production on groundnuts. *Food control*, 2017, vol. 77, pp. 187–191. DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.02.019
7. Fernandez A., Noriega E., Thompson A. Inactivation of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium on fresh produce by cold atmospheric gas plasma technology. *Food microbiology*, 2013, vol. 33, iss. 1, pp. 24–29. DOI: 10.1016/j.fm.2012.08.007

8. Lacombe A., Niemira B.A., Gurtler J.B. [et al.] Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes. *Food microbiology*, 2015, vol. 46, pp. 479–484. DOI: 10.1016/j.fm.2014.09.010

9. McClurkin-Moore J.D., Ileleji K.E., Keener K.M. The effect of high-voltage atmospheric cold plasma treatment on the shelf-life of distillers wet grains. *Food and bioprocess technology*, 2017, vol. 10, iss. 8, pp. 1431–1440. DOI: 10.1007/s11947-017-1903-6

10. Misra N.N., Pankaj S.K., Segat A., Ishikawa K. Cold plasma interactions with enzymes in foods and model systems. *Trends in food science & technology*, 2016, vol. 55, pp. 39–47. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.07.001

11. Misra N.N., Patil S., Moiseev T. [et al.] In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries. *Journal of food engineering*, 2014, vol. 125, pp. 131–138. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2013.10.023

12. Mitra A., Li Y.F., Klämpfl T.G. [et al.] Inactivation of surface-borne microorganisms and increased germination of seed specimen by cold atmospheric plasma. *Food and bioprocess technology*, 2014, vol. 7, iss. 3, pp. 645–653. DOI: 10.1007/s11947-013-1126-4

13. Thirumdas R., Sarangapani C., Annapure U.S. Cold plasma: a novel non-thermal technology for food processing. *Food biophysics*, 2015, vol. 1. P. 1–11. DOI: 10.1007/s11483-014-9382-z

14. Thirumdas R., Kadam D., Annapure U.S. Cold plasma: An alternative technology for the starch modification. *Food biophysics*, 2017, vol. 12. P. 129–139. DOI: 10.1007/s11483-017-9468-5

15. Thirumdas R., Trimukhe A., Deshmukh R.R., Annapure U.S. Functional and rheological properties of cold plasma treated rice starch. *Carbohydrate polymers*, 2017, vol. 157. P. 1723–1731. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.11.050

16. Thirumdas R., Saragapani C., Ajinkya M.T. [et al.] Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice. *Innovative food science & emerging technologies*, 2016, vol. 37, pt. A. P. 53–60. DOI: 10.1016/j.ifset.2016.08.009

Информация об авторах

Науменко Наталья Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, Naumenko_natalya@mail.ru

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

Дежкунов Николай Васильевич, кандидат технических наук, доцент, зав. лабораторией НИЛ 5.2 «Ультразвуковые технологии и оборудование», НИЧ УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, Белоруссия, dnv@bsuir.by

Науменко Екатерина Евгеньевна, студент кафедры инфокоммуникационных технологий, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, 9193122375@mail.ru

Information about the authors

Natalia V. Naumenko, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, Naumenko_natalya@mail.ru

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

Nikolai V. Dezhkunov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head. Laboratory of Research Laboratory 5.2 Ultrasonic Technologies and Equipment, Research Institute of Educational Establishment “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”, Minsk, Belarus, dnv@bsuir.by

Ekaterina E. Naumenko, Bachelor’s Degree student at the Department of Information and Communications Technologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, 9193122375@mail.ru

Статья поступила в редакцию 15.01.2022

The article was submitted 15.01.2022