

## ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

<sup>1,2</sup>Пахомов В.И., <sup>1</sup>Рудой Д.В., <sup>1</sup>Лебеденко В.Г., <sup>1</sup>Ананова О.Г., <sup>1</sup>Куликова Н.А., <sup>1</sup>Мальцева Т.А., <sup>1</sup>Угрехелидзе Н.Т.

<sup>1</sup>Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация  
<sup>2</sup>Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье представлен обзор основных способов высокотемпературной обработки зерновых культур, позволяющей улучшить усвояемость, вкусовые качества, увеличить питательную ценность сырья при правильной подобранной технологии: СВЧ-нагрев, ИК-нагрев, омический нагрев, воздействие высокого давления и пара. В качестве сырья для высокотемпературной обработки рассмотрены зерновые в том числе многолетние колосовые культуры: многолетняя озимая пшеница (трититригия) сорт «Памяти Любимовой» и Пырей сизый сорт «Сова».

**Ключевые слова.** Зерновые культуры, термическая обработка, комбикорма, многолетние культуры, Трититригия, Сизый пырей, ранние фазы спелости.

## HIGH-TEMPERATURE TREATMENT OF GRAIN CROPS

<sup>1,2</sup>Pakhomov V.I., <sup>1</sup>Rudoy D.V., <sup>1</sup>Lebedenko V.G., <sup>1</sup>Ananova O.G., <sup>1</sup>Kulikova N.A., <sup>1</sup>Maltseva T.A., <sup>1</sup>Ugrehelidze N.T.

<sup>1</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation  
<sup>2</sup>Agrarian Research Center "Donskoy", Zernograd, Russian Federation

**Abstract.** The article presents an overview of the main methods of high-temperature processing of grain crops, which allows to improve digestibility, taste, and increase the nutritional value of raw materials with the right technology: microwave heating, IR heating, ohmic heating, high pressure and steam exposure. As raw materials for high-temperature processing, cereals, including perennial ear crops, are considered: perennial winter wheat (Trititrigia) variety "Pamyati Lyubimovoy" and Wheatgrass gray variety "Sova".

**Keywords.** Cereal crops, heat treatment, animal feed, perennial crops, Trititrigia, Blue wheatgrass, early stages of ripeness.

**Введение.** Одним из основных компонентов комбикормов являются зерновые культуры как источник углеводов, белков, жиров, минералов, витаминов и ферментов. Для сохранения питательных свойств, повышения усвояемости и улучшения вкусовых качеств сырья, а также для снижения содержания вредных веществ и защиты от насекомых-вредителей применяются технологии обеззараживания. Обеззараживание зерна является важной и единичной операцией при производстве комбикормов и сырья для их производства [1].

Воздействие высоких температур на сырье осуществляется также с целью снижения влажности. Так, по данным [1], на ранних стадиях спелости содержание питательных веществ, микро – и макроэлементов в зерновых культурах, в том числе многолетних, таких как Трититригия и Сизый пырей сорт «Сова», выше, чем в зерне полной спелости. В связи с этим для комбикормов целесообразно использовать зерно на ранних стадиях спелости с повышенным содержанием белка, аминокислот и прочих компонентов. Наряду с этим, зерно ранних фаз спелости имеет высокое содержание влаги – более 60%. При такой влажности зерно имеет невысокие сроки хранения, является благоприятной средой для развития плесени и патогенных микроорганизмов. Поэтому в таком сырье необходимо снизить массовую влаги до значения не выше 14%.

Существуют химические и нехимические способы. Химические дезинфицирующие способы активно применялись в начале пятидесятых годов двадцатого века. Однако, с развитием технологий и неблагоприятного воздействия таких способов обеззараживания на здоровье животных и окружающую среду, химическая дезинфекция стала применяться намного реже, а некоторые из них были запрещены для использования [3,4]. Таким образом, в настоящее время используют более эффективные технологии обеззараживания зерна и комбикормов, которые улучшают их физико-химические свойства

и не оказывают негативного воздействия на животных и окружающую среду. К таким технологиям относят СВЧ-нагрев, ИК-нагрев, омический нагрев, воздействие высокого давления и пара.

**1. СВЧ-нагрев.** Обработка происходит при помощи электромагнитного излучения, при котором часть энергии поглощается, а часть передается и отражается, где она рассеивается в виде тепла. Микроволновый нагрев работает по принципу «вращения диполя» и «ионной проводимости» [4,5]. Взаимодействие микроволн с пищевым материалом зависит от его диэлектрических свойств, таких как «диэлектрическая проницаемость», которая представляет собой способность материала накапливать электрическую энергию, и «диэлектрические потери», которые указывают на способность материала преобразовывать электрическую энергию в тепло [6,7]. СВЧ-нагрев успешно применяется в промышленном производстве комбикормов для предварительной обработки зерновых культур. Влияние технологии на патогенные микроорганизмы весьма эффективны, так как показывают результаты при оптимальных параметрах уменьшается содержание фитиновой кислоты, вызывающей дефицит минеральных ионов в питании, танинов и ингибиторов трипсина, препятствующих перевариванию белков, инактивируя различные пищеварительные ферменты за счет множественных водородных связей [8,9,10]. Кроме того, уменьшается содержание сапонинов, которые так же могут препятствовать перевариванию белка, и оксалатов, снижающих биодоступность минералов.

Основным недостатком СВЧ-обработки является неравномерное распределение температуры в объеме образца, что приводит к локальному перегреву в определенных областях нагреваемого зерна и вызывает термическое повреждение. Поэтому такая технология может быть использована в комбинации с другими методами для достижения оптимального результата и минимизации повреждений.

**2. ИК-нагрев.** Воздействие инфракрасного излучения приводит к колебательным движениям молекулы воды в нагреваемом материале, в результате чего выделяется тепло. Нагревание происходит с помощью электромагнитных волн, диапазон которых составляет от 1,3 до 10 мкм. Такая обработка снижает количество патогенных микроорганизмов, в том числе кишечную палочку [6]. ИК-нагрев может быть использован для сушки материала [11,12]. Одним из недостатков такой технологии является повреждение молекулярного содержимого сырья. Также лучи проходят на глубину всего лишь в 1 мм, что увеличивает время на обработку зерна [8].

**3. Омический нагрев.** Нагрев происходит под воздействием электрического тока, при котором создается сопротивление. Материал нагревается равномерно за счет преобразования электрического тока в тепловую энергию [6,9]. Омический нагрев является одним из самых экологичных методов обработки пищевых продуктов: в процессе нагрева происходит клейстеризация пищевого крахмала, что снижает затраты для дальнейшей переработки и соответственно экономит энергию. Такая термообработка стабилизирует активность липазы, антиоксидантную активность и биологически активные соединения рисовых отрубей [10]. Тем не менее, омический нагрев оказывает негативное влияние на зерно, снижая скорость прорастания, активность воды, содержание крахмала, свободных жирных кислот, золы, жира, крахмала, приводит к потере твердости и цвета зерна [13].

**4. Воздействие высокого давления и пара.** Воздействие высокого давления и пара применяется для борьбы с насекомыми и патогенными микроорганизмами в хранящемся зерне. Перегретый пар имеет более высокую температуру, чем температура кипения воды. Обработка материала производится путем нагревая насыщенного пара с помощью давления, при полном отсутствии кислорода, что предотвращает нежелательные окислительные реакции. К недостаткам такой обработки относятся неравномерное распределение тепла на поверхности сырья, что приводит к неравномерному распределению влаги, большой расход тепла при проведении операции и сложность организации.

**Выводы.** СВЧ-нагрев, ИК-нагрев, Омический нагрев и воздействие высокого давления и пара являются эффективными способами при борьбе с патогенными микроорганизмами и насекомыми-вредителями в зерновых культурах, в том числе зерна ранних фаз спелости с высокой влажностью, положительно влияют на физико-химические свойства, что упрощает дальнейшую обработку, и при этом повышается усвояемость готовой продукции. Таким образом, исходя из рассмотренных методов термической обработки, наиболее оптимальным является СВЧ-нагрев, обеспечивающий возможность получения качественного сырья, обработки больших объемов продукции, высокую скорость нагрева, сохранение полезных веществ и снижения энергозатрат.

#### Список использованных источников

1. Meskhi B., Bondarenko V., Efremenko I., Larionov V., Rudoy D., Olshevskaya A. Technical, technological and managerial solutions in ensuring environmental safety. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1001, 012100. International Scientific and Practical Conference

Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering (ERSME-2020) DOI: 10.1088/1757-899X/1001/1/012100

2. Анализ способов консервации зерна пшеницы на ранних стадиях спелости / Д. В. Рудой, В.И. Пахомов, Д.С. Саркисян [и др.] // Инновационные технологии в науке и образовании (Конференция «ИТНО 2021»): сб. науч. трудов IX Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов-на-Дону: ООО «ДГТУ-ПРИНТ», 2021. С. 131-137. DOI 10.23947/itno.2021.131-137.

3. Moirangthem Tolen, Baik Oon-Doo. (2020). Disinfestation of stored grains using non-chemical technologies – A review. Trends in Food Science & Technology. 107. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.11.002.

4. Сыроватка, В. И. Высокотемпературная обработка комбикормов / В. И. Сыроватка // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 1-2. С. 76-78.

5. Suhag Rajat, Dhiman Atul, Deswal Gaurav, Thakur Dhruv, Sharanagat Vijay, Kumar Kshitiz, Kumar Vijay. (2021). Microwave processing: A way to reduce the anti-nutritional factors (ANFs) in food grains. LWT-Food Science and Technology. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111960.

6. Пахомов В. И., Рудой Д. В., Иванов Ю. А. Математическое моделирование и эксперименты по высокоинтенсивному тепловому нагреву микроволновой энергией зерновых материалов. Математическое моделирование и биомеханика в современном университете: тезисы докладов XIII Всероссийской школы-семинара, с. Дивноморское, 31 мая – 03 2018 года. – С. 66.

7. Sirohi Ranjna, Tarafdar Ayon, Gaur Vivek, Singh Shikhangi, Raveendran Sindhu, R., Reshmy, Parameswaran Binod, Kumar Sunil, Pandey Ashok. (2021). Technologies for disinfection of food grains: Advances and way forward. Food Research International. 145. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110396.

8. Долгих, П. П. Исследование инфракрасного способа сушки зерна / П. П. Долгих, Н. В. Кулаков, Е. В. Лоц // Вестник КрасГАУ. 2016. № 12(123). С. 85-92.

9. Bai, Yi-Peng & Zhou, Hui-Ming & Zhu, Ke-Rui & Li, Qin. (2020). Effect of thermal treatment on the physicochemical, ultrastructural and nutritional characteristics of whole grain highland barley. Food Chemistry. 346. 128657. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128657.

10. Analysis of the micronization process effect on the amino acid composition in compound feed / D. Rudoy, V. Pakhomov, T. Maltseva, Kulikova N., Ugrehelidze N., Enalyeva L., Babajanyan A. // E3S Web of Conferences : 8, Rostovon-Don, 19–30 августа 2020 года. Rostovon-Don, 2020. P. 06012. DOI: 10.1051/e3sconf/202021006012.

11. Сергеев М.А., Рудой Д.В., Завалий А.А. Полуэмпирическая имитационная модель нагрева влажного сырья в устройстве динамической инфракрасной сушки. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2022. – №176 (02). <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-176-011>

12. Petković M., Lukyanov A., Rudoy D., Kurćubić V., Đurović I., Miletić N., Safarov J. Potato thin layer convective dehydration model and energy efficiency estimation. E3S Web of Conferences 273, 07028 (2021) doi: 10.1051/e3sconf/202127307028

13. Рудой, Д. В. Исследование процесса экструдирования комбикормов для рыб / Д. В. Рудой // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2014. Т. 9. № 3(33). С. 95-97. DOI 10.12737/6503.

Работа выполнена в рамках исполнения гранта президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (МК-1700.2021.5, соглашение № 075-15-2021-179).

Исследование выполнено при поддержке гранта в рамках конкурса «Наука-2030».