

Исследование эффекта ферментной обработки зерна на процесс черствения хлеба

Валерия В. Орлова	¹	v.orlova@enzoway.ru	 0009-0004-9388-0154
Елена И. Пономарева	²	elena6815@yandex.ru	 0000-0003-2310-2838
Надежда Н. Алехина	²	nadinat@yandex.ru	 0000-0002-3317-9858
Светлана И. Лукина	²	lukina.si@yandex.ru	 0000-0003-4393-2046
Юлия П. Губарева	²	yuliya.gubareva@mail.ru	 0000-0003-2949-2048

¹ Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. В настоящее время применение ферментных улучшителей зерна в мукомольном производстве является перспективным направлением для повышения качества муки и готовых хлебобулочных изделий. В данной работе исследовано влияние технологического вспомогательного средства (ТВС) «*IORDAN 3*», используемого при отволаживании пшеничного зерна, на процесс черствения хлеба из муки высшего сорта. Проведен сравнительный анализ двух образцов: контрольного (из муки без обработки ТВС) и опытного (из муки, полученной из зерна, обработанного ТВС «*IORDAN 3*»). Черствение хлеба оценивали через 72 часа после выпечки с использованием синхронного термического анализа (STA 449 F3) методами термогравиметрии (ТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Результаты исследования показали, что мука, полученная с применением ТВС «*IORDAN 3*», обладает улучшенными водоудерживающими свойствами. В опытном образце хлеба содержание связанной влаги оказалось на 2,8% выше, чем в контрольном, что свидетельствует о замедлении процесса черствения. Термический анализ выявил три основных эндотермических эффекта, соответствующих удалению свободной и связанной влаги в различных температурных диапазонах. В опытном образце наблюдалось более равномерное распределение влаги, что снижает скорость ретроградации крахмала и продлевает свежесть хлеба. Таким образом, применение ТВС «*IORDAN 3*» при подготовке зерна к помолу позволяет не только улучшить качество муки, но и повысить потребительские свойства хлеба за счет замедления процесса черствения. Полученные данные подтверждают эффективность использования ферментных улучшителей в мукомольной и хлебопекарной промышленности для увеличения сроков хранения продукции без потери качества.

Ключевые слова: технологическое вспомогательное средство «*IORDAN 3*», пшеничная мука, хлеб, черствение, синхронный термический прибор.

Investigation of the effect of enzyme treatment of grain on the process of bread hardening

Valeria V. Orlova	¹	v.orlova@enzoway.ru	 0009-0004-9388-0154
Elena I. Ponomareva	²	elena6815@yandex.ru	 0000-0003-2310-2838
Nadezhda N. Alekhina	²	nadinat@yandex.ru	 0000-0002-3317-9858
Svetlana I. Lukina	²	lukina.si@yandex.ru	 0000-0003-4393-2046
Julia P. Gubareva	²	yuliya.gubareva@mail.ru	 0000-0003-2949-2048

¹ Kuban State Technological University, Moskovskaya str., 2, Krasnodar, 350072, Russia

² Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Currently, the use of enzyme grain improvers in flour milling is a promising direction for improving the quality of flour and finished bakery products. In this paper, the influence of the technological auxiliary means (FA) "IORDAN 3", used in the cooling of wheat grains, on the process of staling bread made from flour of the highest grade, is investigated. A comparative analysis of two samples was carried out: the control (from flour without fuel elements treatment) and the experimental (from flour obtained from grain processed by fuel elements "IORDAN 3"). The staling of bread was assessed 72 hours after baking using synchronous thermal analysis (STA 449 F3) by thermogravimetry (TG) and differential scanning calorimetry (DSC). The results of the study showed that flour obtained using fuel assemblies "IORDAN 3" has improved water-retaining properties. In the experimental bread sample, the bound moisture content turned out to be 2.8% higher than in the control, which indicates a slowdown in the staling process. Thermal analysis revealed three main endothermic effects corresponding to the removal of free and bound moisture in various temperature ranges. A more uniform distribution of moisture was observed in the test sample, which reduces the rate of starch retrogradation and prolongs the freshness of bread. Thus, the use of fuel assemblies "IORDAN 3" in the preparation of grain for grinding allows not only to improve the quality of flour, but also to increase the consumer properties of bread by slowing down the staling process. The data obtained confirm the effectiveness of using enzyme improvers in the flour and bakery industries to increase the shelf life of products without loss of quality.

Keywords: technological auxiliary equipment "IORDAN 3", wheat flour, bread, stale, synchronous thermal device.

Для цитирования

Орлова В.В., Пономарева Е.И., Алехина Н.Н., Лукина С.И., Губарева Ю.П. Исследование эффекта ферментной обработки зерна на процесс черствения хлеба // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 211–216. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-211-216

For citation

Orlova V.V., Ponomareva E.I., Alekhina N.N., Lukina S.I., Gubareva Y.P. Investigation of the effect of enzyme treatment of grain on the process of bread hardening. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 211–216. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-211-216

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Известно, что изделия хлебопекарной промышленности считаются продуктами первой необходимости, которые в настоящее время в полной мере удовлетворяют потребностям человека за счет своего расширенного ассортимента. На рынке представлено большое количество хлебобулочных изделий, обогащенных различными видами нетрадиционного сырья, которые способствуют повышению пищевой, биологической и энергетической ценности. Однако, выпускаемые продукты питания характеризуются не высоким качеством, а цены на них достаточно велики [1].

Поэтому специалисты компании ООО «Грейн Ингредиент» предлагают решать проблему низкого качества хлебобулочных изделий еще начиная со стадии подготовки зерна к помолу на мельничном предприятии. Данная организация занимается разработкой, внедрением и производством ферментных композиций для мукомольной и хлебопекарной промышленности.

Специалисты обратили внимание на процесс гидротермической обработки зерна, и нашли эффективное решение улучшить мукомольные и хлебопекарные свойства зерна на стадии его подготовки к помолу. Данный биохимический метод позволяет повысить эффективность гидротермической обработки зерна перед помолом за счет расслабления биохимических связей алейронового и субалейронового слоев с эндоспермом при помощи патентованной композиции ферментов, что в свою очередь способствует повышению эффективности работы обоечной машины в 1,5–2 раза. Вследствие чего возрастают выхода муки высших сортов и общий выход. Полученная таким образом мука обладает лучшей цветностью и чистотой, повышенной биологической ценностью, увеличенным количеством клейковины за счет обогащения продуктов помола периферийными частями эндосперма [2, 3], богатыми глютеиновыми белками, а также оптимизированным гранулометрическим составом за счет щадящих режимов помола и лучшего крупобразования на драных системах. Использование муки щадящего помола в производстве хлебобулочных изделий позволяет улучшить упруго-пластичные и адгезионные свойства теста, увеличить выход и удельный объем готовых изделий.

Целью работы было исследование влияния технологического вспомогательного средства ТВС «JORDAN 3» (улучшитель зерна базовый), применяемого при отволаживании зерна пшеницы, на соотношение различных форм связи влаги в хлебе из муки улучшенного качества.

Объектами исследования были 2 образца изделий: 1 (контроль) – хлеб из пшеничной муки высшего сорта без обработки ТВС (ГОСТ 58233–108) при обычных жестких режимах помола; 2 (опыт) – хлеб из пшеничной муки высшего сорта, полученной при щадящих режимах помола благодаря предварительной ферментации пшеницы с ТВС «JORDAN 3» (улучшитель зерна базовый).

Тесто замешивали безопасным способом влажностью 45%. Замес теста осуществляли в лабораторных условиях в тестомесильной машине KitchenAid, после чего его направляли в термостат для брожения при температуре 30° С в течение 90 мин. Выброженное тесто делили на куски массой 0,27 кг для выпечки формового хлеба. Разделявали и формовали тестовые заготовки вручную, затем отправляли их в настольный шкаф на окончательную расстойку при температуре 40° С и относительной влажности 80% в течение 40 мин. Изделия выпекали в печи КЭП-10П с увлажнением при температуре 210 ± 5° С в течение 20 ± 2 мин.

Материалы и методы

Известно, что на скорость черствения мякиша хлеба оказывает влияние соотношение связанной и свободной влаги. Связанная влага – это ассоциированная вода, которая прочно связана с различными компонентами мякиша – белками, липидами и углеводами за счет химических и физических связей. Свободная влага – это влага, которая не связана полимером и доступна для протекания различных процессов, биохимических, микробиологических и химических реакций. При большем содержании связанной влаги процесс ретроградации крахмала замедляется, однако стоит отметить, что содержание связанной влаги напрямую связано с содержанием и свойствами гелеобразующих биополимеров – белков и пентазанов. В хлебопечении о гелеобразующей способности белковых веществ в пшеничной муке судят по количеству и свойствам клейковины [4, 5].

Исследование форм связи влаги проводили в хлебе через 72 ч после выпечки в условиях лаборатории центра коллективного пользования «Контроль и управление энергоэффективными проектами» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» на приборе синхронного термического анализа STA 449 F3, Jupiter, фирмы NETZSCH, (Германия) методом термогравиметрии (ТГ) и дифференциальносканирующей калориметрии (ДСК) и неизотермической кинетики с нахождением степени изменения массы вещества (α). Метод ТГ обеспечивает контроль изменения массы исследуемого образца при нагреве или охлаждении в диапазоне температур,

соответствующих фазовым превращениям влаги в образце. Метод ДСК и неизотермической кинетики основан на регистрации тепловых эффектов физико-химических и структурных изменений, протекающих в образце при управляемом воздействии высокой температурой. Для получения зависимостей dTG и dДСК использовали программное обеспечение MS Excel и NETZSCH Proteus. Анализ образцов хлеба осуществляли в кварцевых тиглях, в качестве эталона использовали Al₂O₃, прокаленный до 2800 °С. Масса навески образцов хлеба составляла 40 мг. Измерения теплофизических свойств проводили в диапазоне температур от 27 до 295 °С, скорость нагрева –

1 град/мин. Охлаждение системы осуществляли жидким азотом, расход продувочного газа – 2 мл/мин. Точность измерения температуры была ±0,3 °С. Количественную оценку фракций влаги, различных форм связи проводили по экспериментальным данным в соответствии с методикой [6–10].

По полученным кривым (рисунки 1, 2) установлена максимальная температура, при которой больше всего испарилось влаги в исследуемых образцах – 176°С, дальнейшее повышение температуры не влияло на изменение процесса испарение влаги.

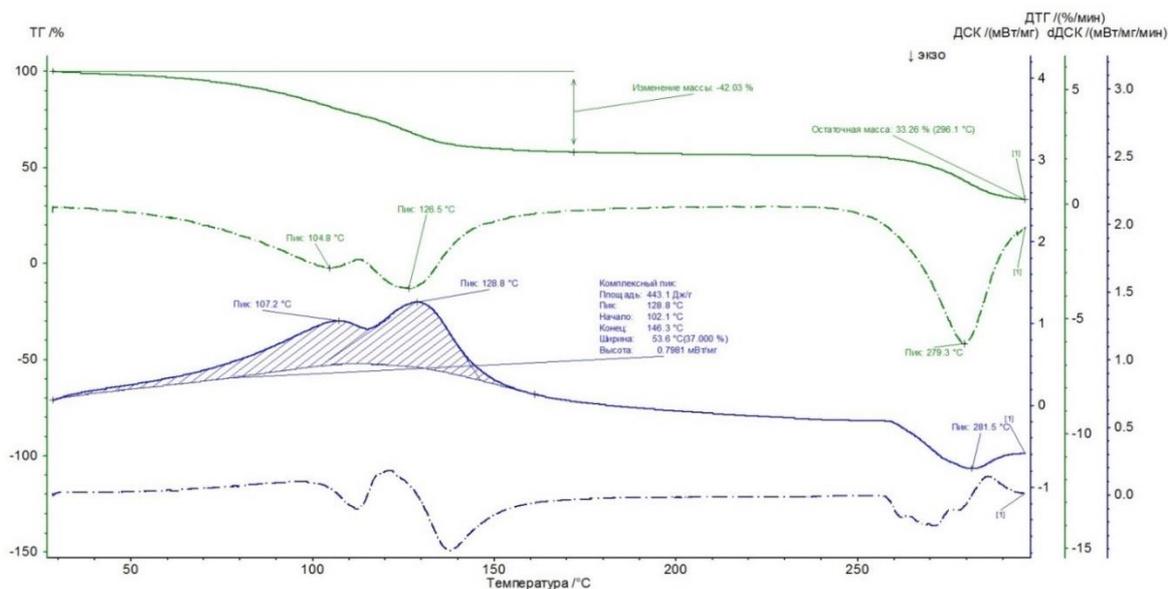


Рисунок 1. Термограмма образца хлеба без муки без обработки ТВС (контроль)

Figure 1. Thermogram of a sample of bread without flour without fuel assembly treatment (control)

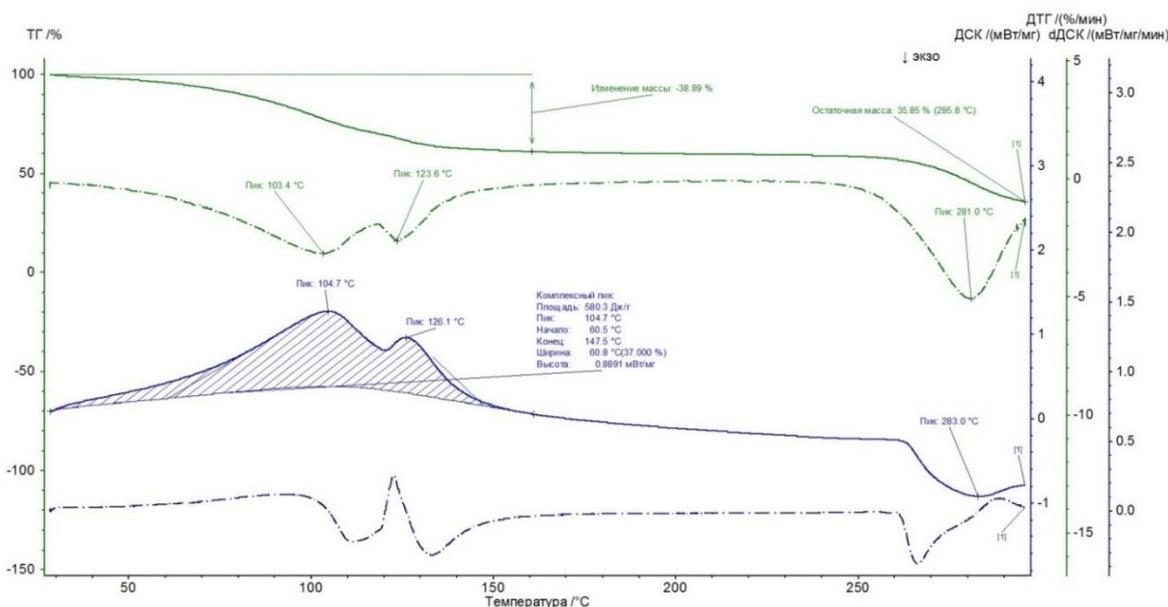


Рисунок 2. Термограмма образца хлеба из муки, полученной из зерна, обработанного ТВС (опыт)

Figure 2. Thermogram of a sample of bread made from flour obtained from grain treated with fuel assemblies (experiment)

На рисунке 3 представлены дериватограммы мякиша хлеба ТГ после 72 ч хранения. При количественной обработке методом неизо-термической кинетики термоаналитические кривые одновременно регистрируют изменения температуры ТА, массы образца ТГ, скорость изменения массы DTG.

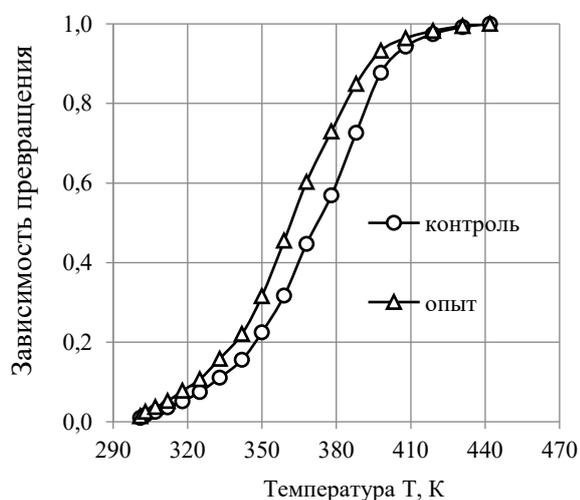


Рисунок 3. Изменение массы образцов хлеба: 1 – контроль; 2 – опыт

Figure 3. Weight change of bread samples: 1 – control; 2 – experiment

Зная температуру начала и конца процесса удаления каждого типа влаги, по кривой ТГ можно рассчитать ее количество для каждого образца. Количественную оценку кинетически неравноценных молекул воды в мякише хлеба осуществляли по экспериментальным кривым ТА и ТГ. Участок кривой изменения массы, соответствующий процессу дегидратации, преобразовали в график зависимости степени изменения массы от температуры (рисунок 4).

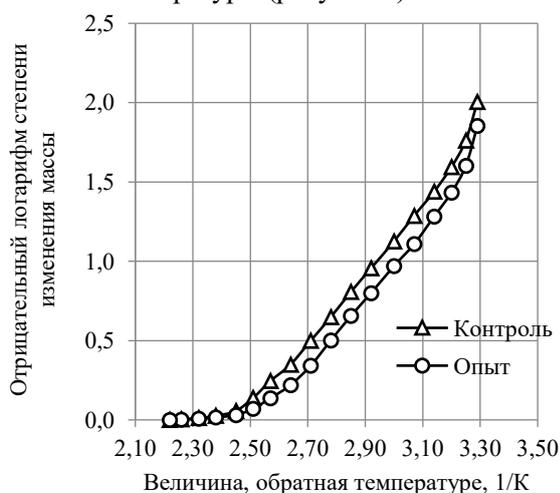


Рисунок 4. Зависимость $(-lg\alpha)$ от величины, обратной температуре $1000/T$ после 72 ч хранения

Figure 4. Dependence $(-lg\alpha)$ on the inverse temperature of $1000/T$ after 72 hours of storage

Для этого каждые 5 К на кривой ТГ при определенных значениях температуры находили изменение массы образца m_i , соответствующее количеству высвобождающей воды при температуре T_i . Степень изменения массы (α) рассчитывали как соотношение массы m_i к общему количеству жидкости, содержащейся в продукте (m), определяемому из кривой ТГ в конце процесса дегидратации [5].

В результате термического анализа исследуемых образцов выделены эндотермические эффекты I–III, соответствующие процессам удаления свободной и связанной влаги в различных температурных диапазонах: № 1 (контроль) – 301...333 К, 324...408 К и 419...449 К; № 2 (опыт) – 301...342 К, 350...408 К и 419...449 К (таблица). Установлено, что в первом периоде происходит испарение свободной влаги. Во втором наблюдается потеря связанной влаги и ограничение переноса влаги диффузионным процессам в приповерхностном слое. В третьем периоде происходит прекращение испарения свободной и физически связанной влаги, наступает динамическое равновесие [11].

Таблица 1.

Изменение массы влаги в хлебобулочных изделиях

Table 1.

Change in moisture mass in bakery products

Образец хлеба Bread sample	Эндотермический эффект Endothermic effect	Температурный интервал, ΔT , К Temperature interval, ΔT , К	Изменением массы влаги, % Change in moisture mass, %
Контроль/ Control	I	301–333	0–3,16
	II	342–408	4,68–37,08
	III	419–449	39,84–42,43
Опыт/ Experiment	I	301–342	0–6,27
	II	350–408	8,74–36,87
	III	419–449	38,12–39,67

Из таблицы видно, что во всех образцах хлеба с течением времени изменяется масса, что свидетельствует о протекании процесса черствения. Установлено, что через 72 ч хранения в опытном образце хлеба было связано влаги на 2,8% больше по сравнению с контролем.

Заключение

Проведенный термический анализ позволил определить, что в хлебе, полученном из муки (улучшенного качества) щадящего помола с сохранением природной структуры белка и крахмала, содержится меньше свободной влаги в крахмальных зернах, что приводит к снижению степени структурообразования крахмальных цепей и замедлению его черствения. Таким образом, было доказано, что использование улучшителя зерна ТВС «JORDAN 3» при отволаживании пшеницы на мельнице перед помолом способствует замедлению черствения хлеба из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта.

Литература

- 1 Москвин Е.А., Загоруйко И.Ю. Рекомендации по совершенствованию качества продукции хлебобулочных изделий // Экономика и социум. 2022. № 4 (95). С. 162–165.
- 2 Петриченко В.В., Пономарева Е.И., Алехина Н.Н. и др. Влияние ферментной обработки зерна на содержание ароматобразующих веществ в хлебе из пшеничной муки // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. 2024. № 4. С. 145–152.
- 3 ООО «Грейн ингредиент» [Электронный ресурс]. URL: info@enzoway.ru (дата обращения: 14.04.2025).
- 4 Черных В.Я., Костюченко М.Н., Балуян Х.А. и др. Снижение скорости черствения хлебобулочных изделий из пшеничной муки // Ползуновский вестник. 2024. № 2. С. 96–106.
- 5 Пашенко Л.И., Кузнецова И.В., Никитин И.А. Текстурированная углеводно-белковая композиция и ее влияние на процесс черствения хлеба // Хранение и переработка сельхозсырья. 2005. № 3. С. 52–54.
- 6 Коротков Е.Г., Пономарев А.Н., Мельникова Е.И. и др. Исследование форм связи влаги в твороге с микропартикулятом сывороточных белков // Молочная промышленность. 2016. № 8. С. 31–32.
- 7 Магомедов Г.О., Плотникова И.В., Кузнецова И.В., Наумченко И.С. Исследование форм связи зефира различного состава методом термического анализа // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 3. С. 42–50.
- 8 Родионова Н.С., Кузнецова И.В., Зацепилина Н.П. и др. Влияние формы связи влаги фаршевых систем на основе различного рыбного сырья методом ДТА // Хранение и переработка сельхозсырья. 2010. № 12. С. 39–40.
- 9 Пожидаева Е.А., Илюшина А.В., Болотова Н.В., Иванова Е.В. Исследование форм связи влаги в творожных продуктах методом дифференциально-сканирующей калориметрии и термогравиметрии // Пищевая промышленность. 2018. № 11. С. 73–77.
- 10 Ухарцева И.Ю., Кадолич В., Ткачева Л.В. Методы исследования продовольственного сырья и пищевых продуктов и опыт их применения // Потребительская кооперация. 2014. № 1 (44). С. 66–74.
- 11 Пономарева Е.И., Магомедов М.Г., Боташева Х.Ю. и др. Рациональные режимы сушки флаксов из пророщенного зерна льна и нетрадиционного сырья // Хлебопродукты. 2020. № 8. С. 34–36.
- 12 Chen Y., Eder S., Schubert S. et al. // ACS Food Sci. Technol. 2021. Vol. 1, № 6. P. 1143–1150. doi: 10.1021/acsfoodscitech.1c00158.
- 13 Kim H.-J., Yoo S.-H. Effects of Combined α -Amylase and Endo-Xylanase Treatments on the Properties of Fresh and Frozen Doughs and Final Breads // Polymers. 2020. Vol. 12, № 6. Art. 1349. doi: 10.3390/polym12061349.
- 14 Matsushita K., Tamura A., Goshima D. et al. Effect of combining additional bakery enzymes and high pressure treatment on bread making qualities // J. Food Sci. Technol. 2020. Vol. 57. P. 134–142. doi: 10.1007/s13197-019-04038-4.
- 15 Gómez M., Gułkoski L.C., Bravo-Núñez A. Understanding whole-wheat flour and its effect in breads: A review // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2020. Vol. 19. P. 3241–3265. doi: 10.1111/1541-4337.12625.
- 16 Dahiya S., Bajaj B.K., Kumar A. et al. A review on biotechnological potential of multifarious enzymes in bread making // Process Biochem. 2020. Vol. 99. P. 290–306. doi: 10.1016/j.procbio.2020.09.002.
- 17 Mohammadi M., Zoghi A., Azizi M.H. Effect of Xylanase and Pentosanase Enzymes on Dough Rheological Properties and Quality of Baguette Bread // J. Food Qual. 2022. Art. 2910821. doi: 10.1155/2022/2910821.
- 18 Sun X., Wu S., Li W. et al. The effects of cooperative fermentation by yeast and lactic acid bacteria on the dough rheology, retention and stabilization of gas cells in a whole wheat flour dough system – A review // Food Hydrocoll. 2023. Vol. 135. Art. 108212. doi: 10.1016/j.foodhyd.2022.108212.
- 19 Chen Y., Gavaliatsis T., Kuster S. et al. Crust treatments to reduce bread staling // Curr. Res. Food Sci. 2021. Vol. 4. P. 182–190. doi: 10.1016/j.crf.2021.03.004.
- 20 Bhandari M., Sharma R., Bobade H. et al. Infrared thermogenesis: Review of multifaceted effects on cereal grains' functional, morphological & rheological properties and safety concerns // Food Control. 2025. Vol. 172. Art. 111207. doi: 10.1016/j.foodcont.2025.111207.
- 21 Bosmali I., Kotsiou K., Matsakidou A. et al. Fortification of wheat bread with an alternative source of bean proteins using raw and roasted Phaseolus coccineus flours: Impact on physicochemical, nutritional and quality attributes // Food Hydrocoll. 2025. Vol. 158. Art. 110527. doi: 10.1016/j.foodhyd.2024.110527.

References

- 1 Moskvina E.A., Zagorujko I.Yu. Recommendations for improving the quality of bakery products. Economics and Society. 2022. no. 4 (95). pp. 162-165. (in Russian).
- 2 Petrichenko V.V., Ponomareva E.I., Alekhina N.N. et al. Influence of enzymatic grain treatment on the content of aroma-forming substances in wheat flour bread. Technologies of Food and Processing Industry of Agro-Industrial Complex - Healthy Food Products. 2024. no. 4. pp. 145-152. (in Russian).
- 3 LLC "Grain Ingredient". Available at: info@enzoway.ru (accessed: 14.04.2025). (in Russian).
- 4 Chernykh V.Ya., Kostyuchenko M.N., Baluyan Kh.A. et al. Reducing the staling rate of wheat flour bakery products. Polzunovsky Bulletin. 2024. no. 2. pp. 96-106. (in Russian).
- 5 Paschenko L.I., Kuznetsova I.V., Nikitin I.A. Textured carbohydrate-protein composition and its effect on bread staling process. Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2005. no. 3. pp. 52-54. (in Russian).
- 6 Korotkov E.G., Ponomarev A.N., Melnikova E.I. et al. Study of moisture binding forms in cottage cheese with whey protein microparticles. Dairy Industry. 2016. no. 8. pp. 31-32. (in Russian).
- 7 Magomedov G.O., Plotnikova I.V., Kuznetsova I.V., Naumchenko I.S. Study of moisture binding forms in marshmallows of different composition by thermal analysis. Bulletin of VSUIT. 2017. vol. 79. no. 3. pp. 42-50. (in Russian).
- 8 Rodionova N.S., Kuznetsova I.V., Zatsepilina N.P. et al. Influence of moisture binding forms in minced systems based on various fish raw materials by DTA method. Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2010. no. 12. pp. 39-40. (in Russian).
- 9 Pozhidaeva E.A., Ilyushina A.V., Bolotova N.V., Ivanova E.V. Study of moisture binding forms in curd products by differential scanning calorimetry and thermogravimetry. Food Industry. 2018. no. 11. pp. 73-77. (in Russian).

- 10 Uhartseva I.Yu., Kadolich V., Tkacheva L.V. Methods for studying food raw materials and food products and experience of their application. *Consumer Cooperation*. 2014. no. 1 (44). pp. 66-74. (in Russian).
- 11 Ponomareva E.I., Magomedov M.G., Botasheva Kh.Yu. et al. Rational drying modes for flaxseeds from sprouted flax grain and non-traditional raw materials. *Bread Products*. 2020. no. 8. pp. 34-36. (in Russian).
- 12 Chen Y., Eder S., Schubert S., Gorgerat S., Boschet E., Baltensperger L. et al. Impact of Enzymatic and Microbial Bioprocessing on Protein Modification and Nutritional Properties of Wheat Bran. *ACS Food Science & Technology*. 2021. vol. 1. no. 6. pp. 1143-1150. doi: 10.1021/acsfoodscitech.1c00158.
- 13 Kim H.-J., Yoo S.-H. Effects of Combined α -Amylase and Endo-Xylanase Treatments on the Properties of Fresh and Frozen Doughs and Final Breads. *Polymers*. 2020. vol. 12. no. 6. 1349. doi: 10.3390/polym12061349.
- 14 Matsushita K., Tamura A., Goshima D. et al. Effect of combining additional bakery enzymes and high pressure treatment on bread making qualities. *Journal of Food Science and Technology*. 2020. vol. 57. pp. 134-142. doi: 10.1007/s13197-019-04038-4.
- 15 Gómez M., Gutkoski L.C., Bravo-Núñez Á. Understanding whole-wheat flour and its effect in breads: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020. vol. 19. pp. 3241-3265. doi: 10.1111/1541-4337.12625.
- 16 Dahiya S., Bajaj B.K., Kumar A., Tiwari S.K., Singh B. A review on biotechnological potential of multifarious enzymes in bread making. *Process Biochemistry*. 2020. vol. 99. pp. 290-306. doi: 10.1016/j.procbio.2020.09.002.
- 17 Mohammadi M., Zoghi A., Azizi M.H. Effect of Xylanase and Pentosanase Enzymes on Dough Rheological Properties and Quality of Baguette Bread. *Journal of Food Quality*. 2022. 2910821. doi: 10.1155/2022/2910821.
- 18 Sun X., Wu S., Li W., Koksel F., Du Y., Sun L. et al. The effects of cooperative fermentation by yeast and lactic acid bacteria on the dough rheology, retention and stabilization of gas cells in a whole wheat flour dough system - A review. *Food Hydrocolloids*. 2023. vol. 135. 108212. doi: 10.1016/j.foodhyd.2022.108212.
- 19 Chen Y., Gavaliatsis T., Kuster S., Städeli C., Fischer P., Windhab E.J. Crust treatments to reduce bread staling. *Current Research in Food Science*. 2021. vol. 4. pp. 182-190. doi: 10.1016/j.crf.2021.03.004.
- 20 Bhandari M., Sharma R., Bobade H., Sharma S., Singh B. Infrared thermogenesis: Review of multifaceted effects on cereal grains' functional, morphological & rheological properties and safety concerns. *Food Control*. 2025. vol. 172. 111207. doi: 10.1016/j.foodcont.2025.111207.
- 21 Bosmali I., Kotsiou K., Matsakidou A., Irakli M., Madesis P., Biliaderis C.G. Fortification of wheat bread with an alternative source of bean proteins using raw and roasted *Phaseolus coccineus* flours: Impact on physicochemical, nutritional and quality attributes. *Food Hydrocolloids*. 2025. vol. 158. 110527. doi: 10.1016/j.foodhyd.2024.110527.

Сведения об авторах

Валерия В. Орлова к.т.н., доцент, кафедра пищевой инженерии, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, v.orlova@enzoway.ru

<https://orcid.org/0009-0004-9388-0154>

Елена И. Пономарева д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, elena6815@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2310-2838>

Надежда Н. Алехина д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nadinat@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3317-9858>

Светлана И. Лукина к.т.н., доцент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lukina.si@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4393-2046>

Юлия П. Губарева к.т.н., ассистент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, yuliya.gubareva@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2949-2048>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Valeria V. Orlova candidate of technical sciences, associate professor, department of food engineering, Kuban State Technological University, Moskovskaya str., 2, Krasnodar, 350072, Russia, v.orlova@enzoway.ru

<https://orcid.org/0009-0004-9388-0154>

Elena I. Ponomareva doctor of technical sciences, professor, Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, elena6815@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2310-2838>

Nadezhda N. Alehina doctor of technical sciences, professor, Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nadinat@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3317-9858>

Svetlana I. Lukina candidate of technical sciences, associate professor, Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lukina.si@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4393-2046>

Julia P. Gubareva candidate of technical sciences, associate, Bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, yuliya.gubareva@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2949-2048>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/01/2025

После редакции 18/01/2025

Принята в печать 10/02/2025

Received 01/01/2025

Accepted in revised 18/01/2025

Accepted 10/02/2025