

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА В РАЗРАБОТКЕ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОНИЖЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ

Н.В. Науменко¹, naumenkonv@susu.ru
Е.И. Аникина¹, evgeniaanikina.1999@mail.ru
Е.К. Васильева², vasilevaE.04@mail.ru

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Российский университет транспорта, Москва, Россия

Аннотация. Современный ритм жизни оставляет все меньше времени на приготовление пищи, население страны надежно ввело в свои рационы питания снековую продукцию, позволяющую перекусить «набегу» и делать закупки длительного хранения. Одним из таких продуктов являются хлебцы хрустящие, представляющие собой привлекательную альтернативу традиционному хлебу. Они могут иметь гибкую рецептуру, небольшие размеры и высокую сохраняемость свойств. Однако, наряду с преимуществами, возникает необходимость тщательного контроля качества данной продукции, что обусловлено спецификой технологического процесса и повышенной чувствительностью к внешним факторам, таким как влажность и температура. Целью исследования являлась разработка комплексного подхода в формировании рецептуры хлебобулочных изделий пониженной влажности и поиск наиболее приемлемого по качеству образца с выраженными антиоксидантными свойствами. В рамках работы были разработаны контрольные и опытные образцы хлебцев хрустящих с использованием комплексного подхода в варьировании ингредиентов сырьевого состава, включая ржаную муку, различного вида отрубей, а также используемого типа закваски. Представленные результаты продемонстрировали, что изменение рецептурных компонентов существенно влияет на органолептические и физико-химические свойства изделий, а также на их антиоксидантную активность. Контрольные образцы хлебцев хрустящих имеют более плотную структуру, менее выраженный вкус и аромат. Большая часть опытных образцов характеризуется достаточно приятным вкусом и запахом, имеет выраженный характерный хруст и хорошо сформированную форму. Необходимо отметить, что использование ржаных отрубей в сочетании с активированной закваской негативно сказалось на качестве и деформационных характеристиках: изделия имели темный цвет, плотную структуру с низкими значениями общей деформации. Опытные образцы хлебцев хрустящих имеют антиоксидантные свойства несколько выше относительно контрольных. Прирост варьируется в диапазоне 1,5–23,0 % (DPPH) в зависимости от рецептуры изделий, что обуславливает перспективность проведения дальнейших исследований.

Ключевые слова: реологические свойства теста, хлебцы хрустящие, хлебобулочные изделия пониженной влажности, сохраняемость, качество

Для цитирования: Науменко Н.В., Аникина Е.И., Васильева Е.К. Использование комплексного подхода в разработке хлебобулочных изделий пониженной влажности // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2025. Т. 13, № 2. С. 64–75. DOI: 10.14529/food250207

Original article
DOI: 10.14529/food250207

USING AN INTEGRATED APPROACH IN THE DEVELOPMENT OF LOW-MOISTURE BAKERY PRODUCTS

N.V. Naumenko¹, naumenkonv@susu.ru
E.I. Anikina¹, evgeniaanikina.1999@mail.ru
E.K. Vasileva², vasilevaE.04@mail.ru

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² Russian University of Transport, Moscow, Russia

Abstract. The modern pace of life leaves less and less time for cooking, the population of the country has reliably introduced snack products into their diets, allowing them to have a snack “on the run” and make purchases with a long shelf life. One of these products is crispbread, which is an attractive alternative to traditional bread. They can have a flexible recipe, small size and high shelf life. However, along with the advantages, there is a need for careful quality control of this product, which is due to the specifics of the technological process and increased sensitivity to external factors, such as humidity and temperature. The aim of the study was to develop an integrated approach to the formation of a recipe for low-moisture bakery products and to search for the most acceptable quality sample with pronounced antioxidant properties. As part of the work, control and experimental samples of crispbread were developed using an integrated approach to varying the ingredients of the raw material composition, including rye flour, various types of bran, as well as the type of sourdough used. The presented results demonstrated that changes in the recipe components significantly affect the organoleptic and physicochemical properties of the products, as well as their antioxidant activity. The control samples of crispbread have a denser structure, less pronounced taste and aroma. Most of the experimental samples are characterized by a fairly pleasant taste and smell, have a pronounced characteristic crunch and a well-formed shape. It should be noted that the use of rye bran in combination with activated sourdough negatively affected the quality and deformation characteristics: the products were dark in color, dense in structure with low values of total deformation. The experimental samples of crispbread have slightly higher antioxidant properties relative to the control. The increase varies in the range of 1.5–23.0 % (DPPH) depending on the recipe of the products, which determines the prospects for further research.

Keywords: rheological properties of dough, crisp bread, low-moisture bakery products, shelf life, quality

For citation: Naumenko N.V., Anikina E.I., Vasileva E.K. Using an integrated approach in the development of low-moisture bakery products. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2025, vol. 13, no. 2, pp. 64–75. (In Russ.) DOI: 10.14529/food250207

Введение

В последние годы наблюдается устойчивый интерес к разработке и производству хлебобулочных изделий с пониженной влажностью, что обусловлено изменением потребительских предпочтений, стремлением к увеличению сроков хранения, улучшению органолептических свойств продукции, а также соблюдению здорового образа жизни [1, 11, 15].

Особенностью таких изделий является не только более длительный срок годности, но и улучшенные текстурные характеристики, что делает их более привлекательными для потребителей. Хрустящие хлебцы имеют пористую структуру, которая придаёт им легкость и хрусткость. Данные изделия обладают гигро-

скопичными свойствами, что позволяет им поглощать влагу из окружающей среды. При повышении влажности они могут терять хрусткость, что негативно сказывается на текстуре и вкусе [2, 6, 8].

Важной и многогранной задачей в производстве хлебобулочных изделий пониженной влажности является учет различных технологических параметров, включая состав теста, в частности, процентное содержание ржаной муки, частичную замену муки на отруби, варьирование внесения. Низкие объемы производства хлебцев хрустящих связаны с несколькими факторами: нестабильные технологические свойства ржаной муки, переход хлебозаводов с трехсменного на односменный

режим работы, что снижает стабильность бродильной активности заквасок, а также увеличенные технологические потери при формировании тестовых заготовок. В связи с вышеизложенным важным направлением для повышения объемов производства является вариация ингредиентов в рецептурах. Адаптация и оптимизация рецептов позволяют не только улучшить качество изделий, но и повысить их сохраняемость [3, 7, 9, 10].

Ржаная мука, обладая высоким содержанием клетчатки и специфическими функциональными свойствами, способствует улучшению текстуры и питательной ценности хлебцев. Включение ржаной муки в состав теста может повысить уровень антиоксидантной активности и улучшить органолептические характеристики, такие как вкус и аромат. Однако необходимо учитывать, что ржаная мука также может влиять на гигроскопичность и, следовательно, на срок хранения изделия.

Возбудителями спиртового брожения в тесте являются дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, которые выполняют важную функцию разрыхления. Молочнокислые бактерии также играют значительную роль в хлебопечении. Эти микроорганизмы осуществляют молочнокислое брожение в полуфабрикатах, что приводит к увеличению кислотности. Это, в свою очередь, способствует набуханию и пептизации белков, а также повышает вязкость и газодерживающую способность теста. Частичная замена пшеничной муки на отруби представляет собой еще один важный аспект, способствующий улучшению качества хлебцев. Отруби, богатые клетчаткой, не только способствуют улучшению пищевой ценности, но и оказывают влияние на текстуру и влажность продукта. Тем не менее, чрезмерное содержание отрубей может негативно сказаться на хлебопекарных свойствах теста, что требует тщательной оптимизации их доли в рецептуре [4, 13, 14].

Использование закваски и дрожжей также играет ключевую роль в формировании качества хлебцев. Закваска, содержащая природные микроорганизмы, способствует улучшению ферментации, что может привести к более выраженному развитию вкусовых и ароматических свойств. Дрожжи, в свою очередь, обеспечивают необходимую газообразующую активность, что влияет на текстуру и объем готового изделия [5, 12, 16].

Особое внимание уделяется выявлению

корреляции между технологическими параметрами производства и показателями качества готовой продукции. Результаты исследования позволят оптимизировать технологический процесс производства хрустящих хлебцев с целью повышения их качества и продления сроков хранения, что актуально для пищевой промышленности и потребительского рынка.

Целью исследования являлась разработка комплексного подхода в формировании рецептуры хлебобулочных изделий пониженной влажности и поиск наиболее приемлемого по качеству образца с выраженными антиоксидантными свойствами.

1. Материалы и методы

1.1. Сырье

Для получения теста и готовых хлебцев было использовано следующие сырье:

- мука пшеничная хлебопекарная первого сорта, торговой марки «Каждый день», производителя ООО «Мельничный комплекс Роса»;
- мука хлебопекарная ржаная обдирная, торговой марки «Красная птица», производитель ООО «Хлебзернопродукт»;
- мука хлебопекарная ржаная обойная, производитель АО «Магнитогорский комбинат хлебопродуктов – СИТНО»;
- закваска сухая ржаная для приготовления хлеба, производитель «ИП Гольдфайн А.Е.»;
- дрожжи хлебопекарные прессованные «Люкс экстра», производитель ООО «САФ-НЕВА»;
- отруби ржаные фасованные, производитель ООО «Эверест»;
- отруби овсяные фасованные, производитель ООО «Эверест»;
- отруби овсяные натуральные среднего помола, производитель ООО «Торговый Дом «Диамир К»;
- соль поваренная пищевая самосадочная, производитель АО «Аралтуз».

1.2. Приготовление теста

Контрольные и экспериментальные лабораторные образцы хлебцев хрустящих изготавливали по опарной технологии для лучшего подъема теста. Для первого контрольного образца подготавливали опару из дрожжей, воды и муки пшеничной первого сорта, соединяли с сухими компонентами, водой и выдерживали 2 часа, затем производили обминку теста и приступали к разделке. Для второго контрольного образца вместо приготовления

дрожжей вводили закваску ржаную и замешивали тесто, затем отправляли на ферментацию также на 2 часа. Для опытных образцов – технология, подобная контрольным прототипам, но с различным процентным соотношением дополнительных ингредиентов (отрубей) либо соотношения опара : закваска.

На начальном этапе исследований была проведена оценка реологических свойств и кислотности модельных образцов теста, для этого определены следующие образцы:

образец 1 – тесто, полученное по стандартной рецептуре [6] с использованием дрожжей и закваски в соотношении 1:1;

образец 2 – тесто, полученное по стандартной рецептуре [6] с использованием закваски;

образец 3 – тесто, полученное по стандартной рецептуре [6] с использованием дрожжей.

Далее в разработке рецептуры и технологии производства хлебцев хрустящих использовался комплексный подход, представляющий собой последовательное варьирование и сочетание внесения опары и закваски для формирования теста, а также дополнительных сырьевых ингредиентов (отрубей овсяных, ржаных и льняных). В ходе рекогносцировочных исследований опытным путем было определено оптимальное количество вносимых сырьевых ингредиентов (путем частичной замены пшеничной муки), которое составило в среднем 10 %. Исходя из этого были определены следующие образцы хлебцев хрустящих для проведения исследований:

– контрольный образец 1 (К1), полученный по стандартной рецептуре [6] с использованием опары (вода, дрожжи прессованные, мука пшеничная 1 сорта);

– контрольный образец 2 (К2), полученный по стандартной рецептуре [6], с использованием опары и закваски активированной в соотношении 1:1;

– опытный образец 1 (О1), полученный по рецептуре К1 с внесением отрубей овсяных 10 % (путем частичной замены пшеничной муки);

– опытный образец 2 (О2), полученный по рецептуре К2 с внесением отрубей льняных 10 % (путем частичной замены пшеничной муки);

– опытный образец 3 (О3), полученный по рецептуре К2 с внесением отрубей ржаных 10 % (путем частичной замены пшеничной муки);

– опытный образец 4 (О4), полученный по рецептуре К2, с использованием опары и за-

кваски активированной в соотношении 1:2;

– опытный образец 5 (О5), полученный по рецептуре К2, с использованием опары и закваски активированной в соотношении 1:3;

– опытный образец 6 (О6), полученный по рецептуре К2, с использованием опары и закваски активированной в соотношении 1:4.

1.3. Методы исследований

Реологические характеристики теста (предельное напряжение сдвига) и готовых хлебцев хрустящих определяли с использованием прибора Структурометр СТ-2. Для теста использовался вид наконечника – конус (45°). Определение проводили с использованием следующих параметров: глубина внедрения конуса в тесто ($h_v = 7$ мм); усилие касания ($F_k = 5$ г); скоростью внедрения ($V_d = 1$ мм/с). Хлебцы оценивали с использованием насадки – полусфера с использованием следующих параметров: усилие касания ($F_k = 5$ г); скорость деформации ($V_d = 1$ мм/с); глубина внедрения индентора в пробу теста ($h_v = 5$ мм). Хрупкость хрустящих хлебцев, согласно ГОСТ 9846-88, устанавливали по разлому не менее двух плиток из лабораторного образца.

Для оценки общей антиоксидантной активности (АОА) использовался спектрофотометрический метод, основанный на применении раствора 2,2-дифенил-1-пикрилгидразида (DPPH). Поглощение света определялось с помощью спектрофотометрического анализа при длине волны 515 нм [17–20].

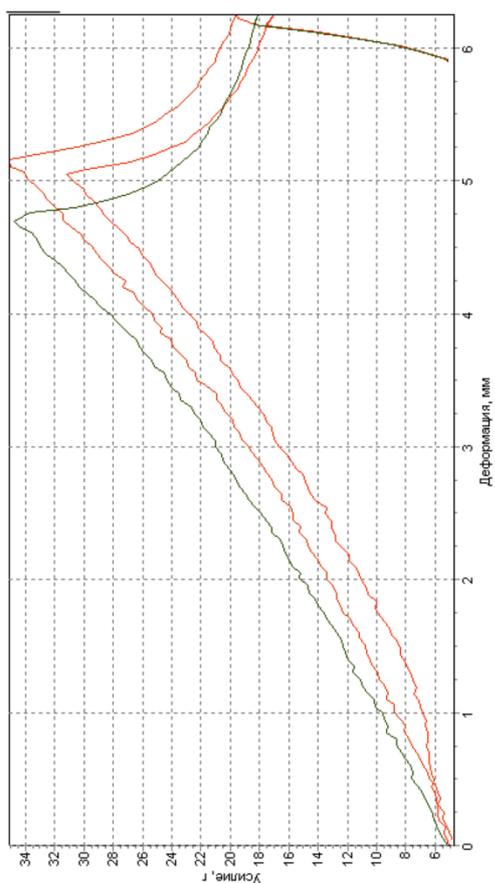
Определение общего содержания флавоноидов проводили с использованием этанольного раствора хлорида алюминия и ацетата натрия, светопоглощение измеряли при 415 нм [17–20].

Содержание фенольных соединений определяли по методу Синглтона [17–20] с использованием реактива Фолина – Чокальтеу, светопоглощение определяли при 700 нм.

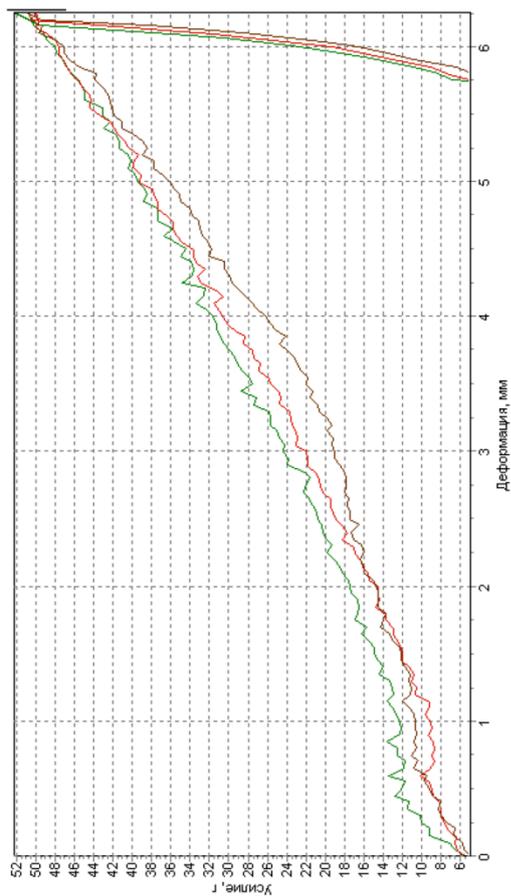
Все результаты исследований проводились в 3-кратной повторности и обрабатывались на основе методов математической статистики с использованием Microsoft Excel. Полученные данные представлены с доверительным коэффициентом 0,95.

2. Результаты и обсуждение

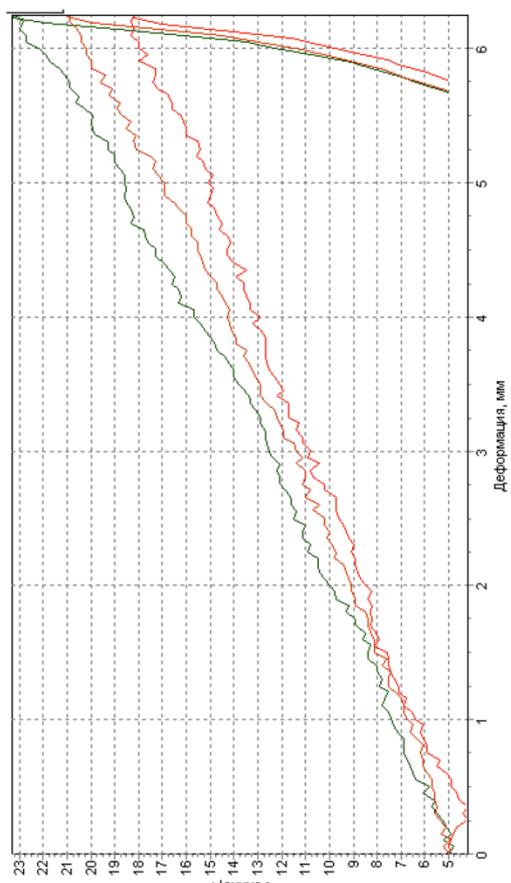
На начальном этапе исследования была проведена оценка реологических свойств и кислотности модельных образцов теста в динамике брожения. Характерный вид кривых деформации теста и полученные результаты представлены на рис. 1 и 2 соответственно.



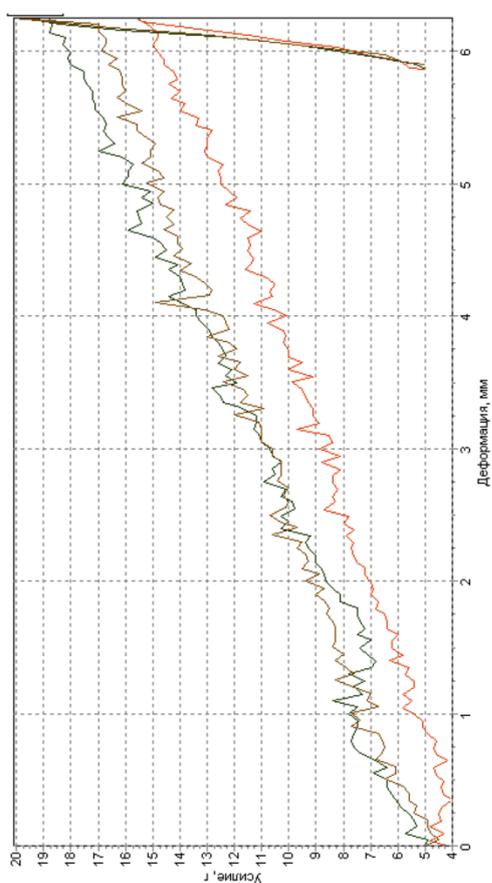
1 час брожения



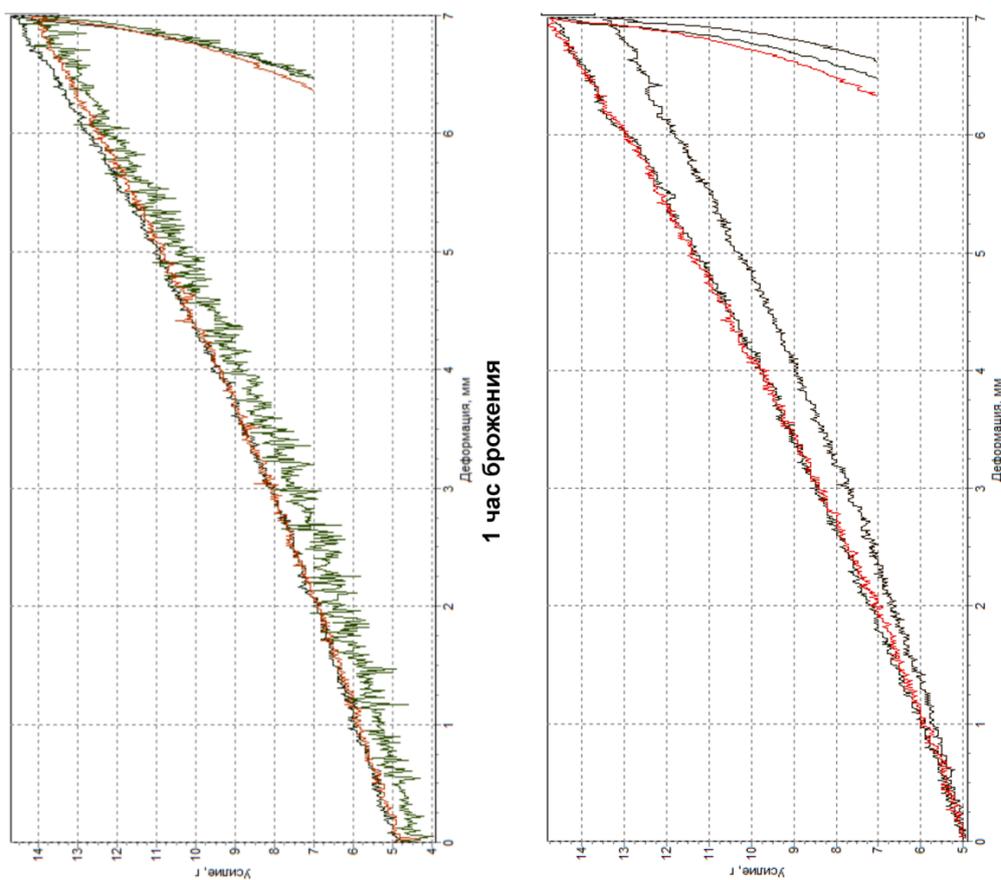
2 часа брожения
б) образец 2 (тесто с использованием закваски)



1 час брожения



2 часа брожения
а) образец 1 (тесто с использованием дрожжей и закваски 1:1)



в) образец 3 (тесто с использованием дрожжей)

Рис. 1. Характерный вид деформационных кривых модельных образцов теста

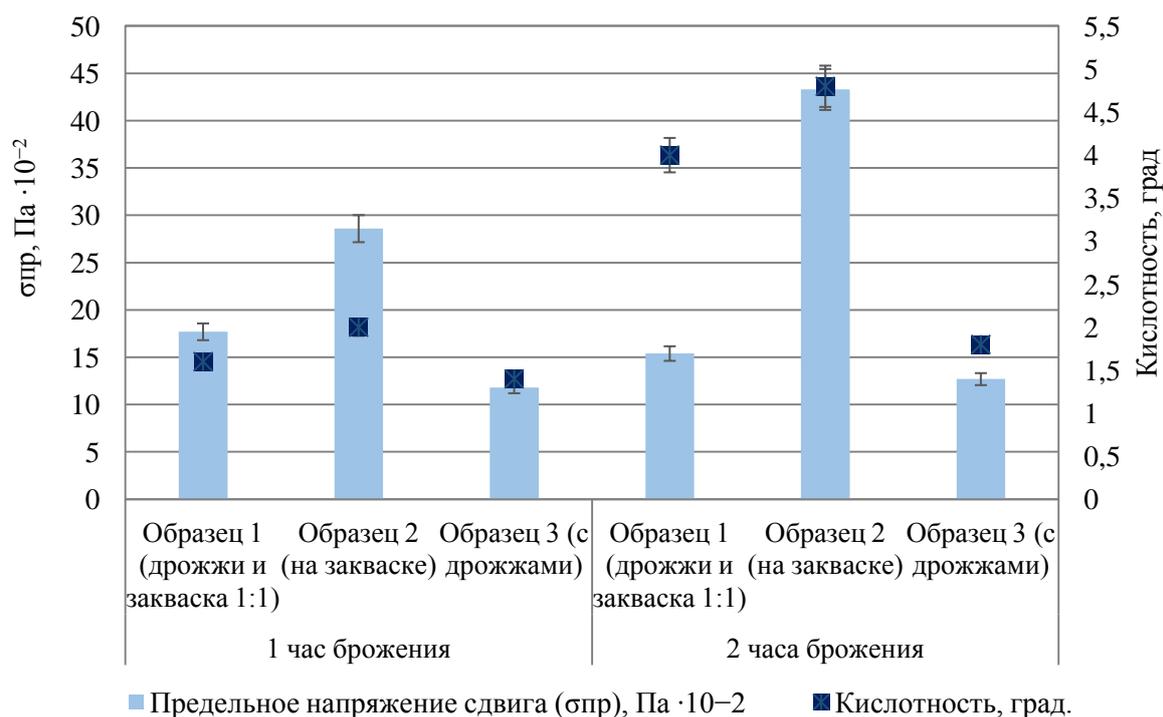


Рис. 2. Результаты определения предельного напряжения сдвига и кислотности модельных образцов тестовой заготовки

Модельные образцы теста, сформированные исключительно на ржаной закваске, имеют более высокие значения кислотности как через 1, так и через 2 часа брожения теста. Значения предельного напряжения сдвига также имели более высокие характеристики, что свидетельствует о формировании достаточно плотного клейковинного каркаса и получении более плотной структуры готовых изделий. Для образца 3 характерны самые низкие значения кислотности как через час, так и через два часа брожения. Реологические свойства практически не претерпевают значимых изменений в процессе брожения, что потенциально может привести к липкости тестовых заготовок и получению деформированных изделий. Наиболее оптимальные характеристики как реологические, так и физико-химические имел образец текста 1, что свидетельствует о получении в таком сочетании более эластичного и подвижного теста, способного удерживать накопившийся в процессе брожения диоксид углерода, и открывает перспективу варьирования сочетания опары и закваски в зависимости от рецептуры хлебцев.

Для реализации комплексного подхода и на следующем этапе исследований был определен ряд показателей, наиболее характеризующий влияние выбранного сочетания внесения опары и закваски для формирования теста, а также дополнительных сырьевых ингредиентов (отрубей овсяных, ржаных и льняных). Внешний вид полученных образцов представлен на рис. 3.

Контрольные образцы хлебцев хрустящих отличались более плотной структурой, менее выраженным вкусом и ароматом. Опытный образец 3 имел наиболее плотную структуру, не развитую пористость и слабо развитый аромат, тогда как все остальные опытные образцы характеризовались достаточно приятным вкусом и запахом, имели выраженный характерный хруст и хорошо сформированную форму. На следующем этапе исследований были определены общая деформация и хрупкость исследуемых образцов хлебцев, результаты которых представлены на рис. 4.

Хлебобулочные изделия пониженной влажности, как правило, имеют высокую степень твердости (жесткости) и низкую способность к деформации, что делает их более

склонными к разрушению, чем к упругому изменению формы. Поэтому очень важно максимально сохранить все потребительские свойства готовых изделий. Использование ржаных отрубей в сочетании с активированной закваской негативно сказалось на качестве и деформационных характеристиках

опытного образца 3 (темный цвет, плотная структура с низкими деформационными характеристиками), поэтому из дальнейших исследований данный образец был исключен. Полученные результаты определения антиоксидантных свойств разработанных хлебцев хрустящих представлены на рис. 5.

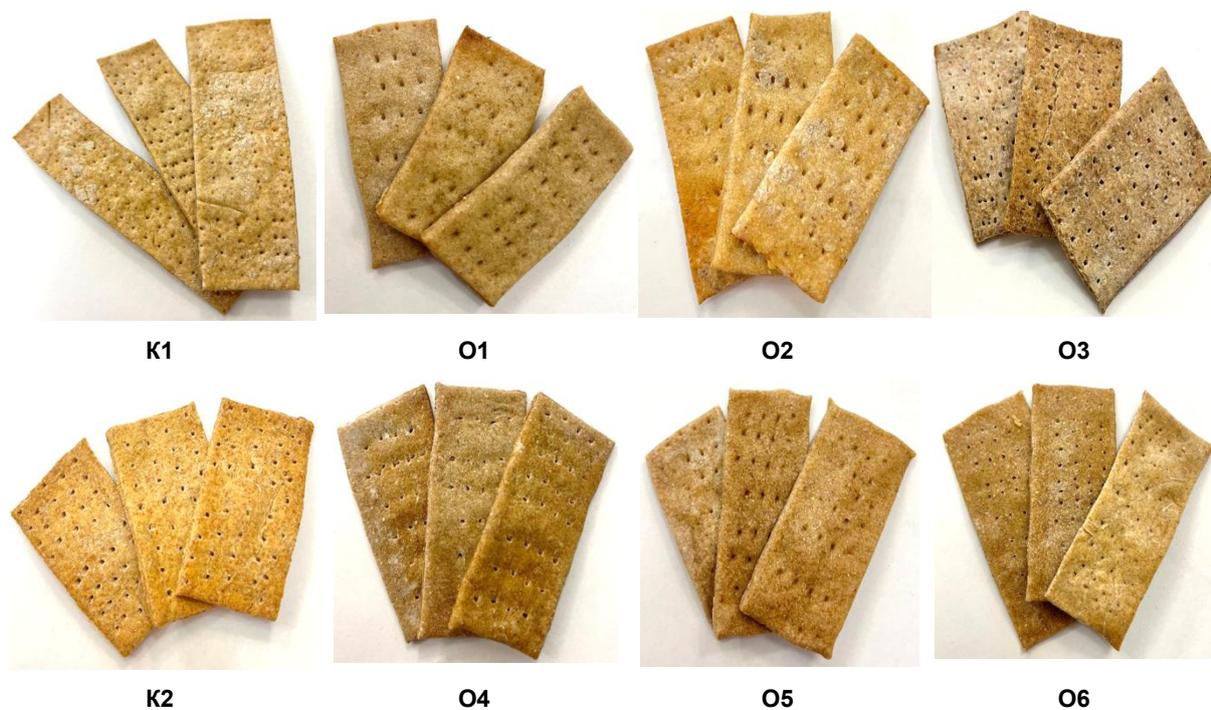


Рис. 3. Внешний вид полученных образцов хлебцев хрустящих

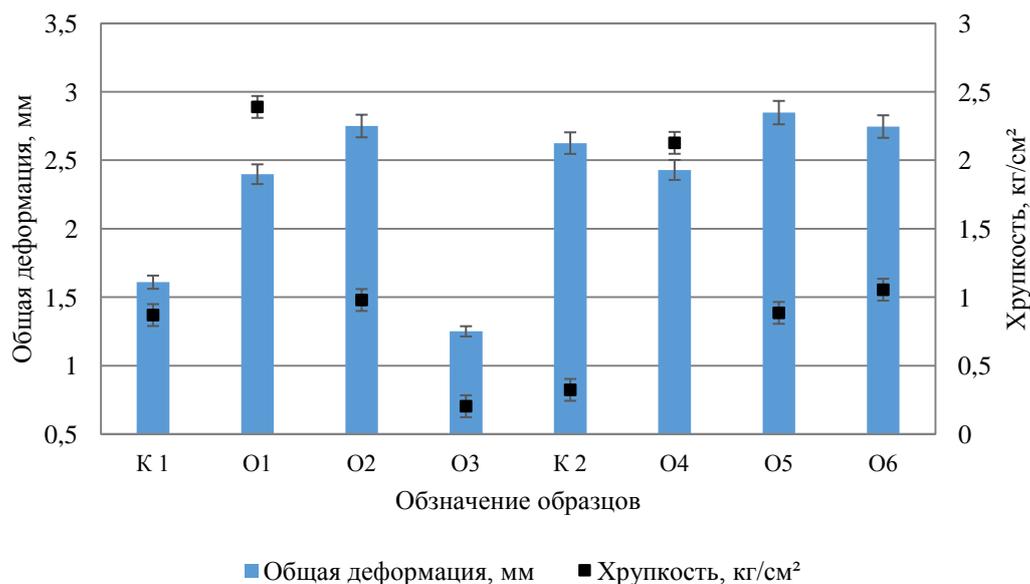


Рис. 4. Результаты определения общей деформации и хрупкости разработанных образцов хлебцев

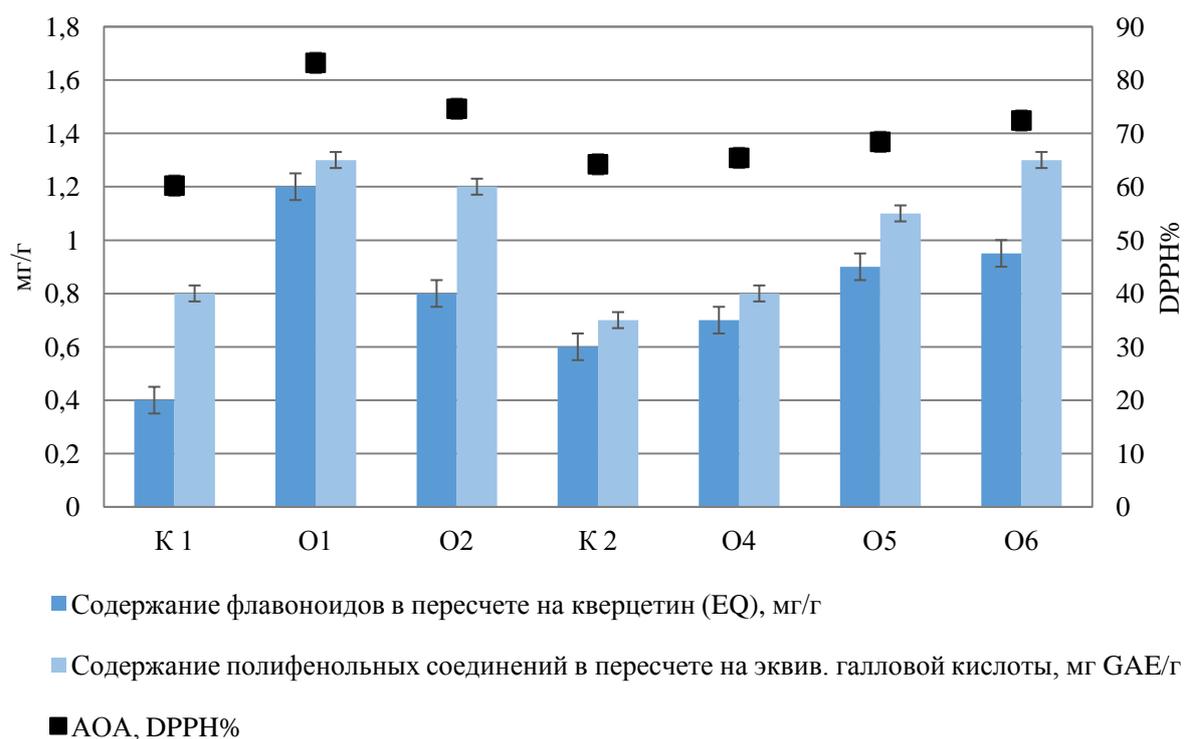


Рис. 5. Результаты определения антиоксидантных свойств разработанных образцов хлебцев

Опытные образцы хлебцев хрустящих имеют антиоксидантные свойства несколько выше относительно контрольных. Прирост варьируется в диапазоне 18,9–23,0 % (DPPH) и 1,5–8,2 % (DPPH) для K1 и K2 соответственно. Отмечается более выраженная положительная динамика данной группы показателей при внесении в рецептуру отрубей, при этом необходимо отметить, что 10 % вносимого нетрадиционного сырья путем частичной замены пшеничной муки – это оптимальное количество, которое позволяет сохранить органолептические свойства готовых изделий. Использование в рецептуре закваски ржаной активированной положительно сказывается на содержании флавоноидов и полифенольных соединений и соразмерно относительно объемов вносимой закваски.

Выводы

Таким образом, полученные результаты позволяют сказать, что использование комплексного подхода, основанного на последовательном варьировании и сочетании внесения опары и закваски для формирования теста, а также дополнительных сырьевых ингредиентов, позволяет получить представление о динамике изменения технологических показателей и спрогнозировать качество готовых изделий. Основываясь на представленных результатах исследований, перспективным является проведение дальнейшей модификации рецептуры хлебобулочных изделий пониженной влажности хлебцев хрустящих в сочетании использования опары и закваски ржаной активированной в соотношении 1:3 с внесением путем частичной замены отрубей овсяных или льняных.

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. Контролируемое проращивание зерновых культур – эффективный способ переработки низкокачественного сырья / Н.В. Науменко, Р.И. Фаткуллин, И.В. Калинина и др. // Аграрная наука. 2023. 372(7). С. 149–154. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-149-154
3. Меренкова С.П., Потороко И.Ю., Девяткин Д.И. Влияние растительных биоактивных добавок на технологические аспекты производства, пищевую ценность и потребительские характеристики хлеба из пшеничной обойной муки // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2022. № 6 (390). С. 34–40. DOI: 10.26297/0579-3009.2022.6.5
4. Науменко Н.В., Потороко И.Ю., Фильков А.А. Использование цельнозернового сырьевого ингредиента для улучшения потребительских свойств пищевых продуктов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2022. Т. 10, № 1. С. 39–48. DOI: 10.14529/food220105
5. Нилова Л.П., Малютенкова С.В. Продовольственная корзина для здорового питания в условиях мегаполиса // Международный научный журнал. 2017. № 4. С. 31–35.
6. Сборник рецептов на хлеб и хлебобулочные изделия / сост. П.С. Ершов. СПб.: Гидрометеоздат, 1998. 191 с.
7. Alvarez-Jubete L., Wijngaard H., Arendt E.K., Gallagher Polyphenol E. composition and *in vitro* antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking // Food Chemistry. 2010. Vol. 119. P. 770–778. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.07.032
8. Arora S., Jood S., Khetarpaul N. Effect of germination and probiotic fermentation on nutrient composition of barley based food mixtures // Food Chemistry. 2010. Vol. 119. P. 779–784. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.07.035
9. Effects of ultraviolet irradiation, pulsed electric field, hot water and ethanol vapours treatment on functional properties of mung bean sprouts / A. Goyal, S. Siddiqui, N. Upadhyay, J. Soni. // Journal of food science and technology. 2014. Vol. 51, iss. 4. P. 708–714. DOI: 10.1007/s13197-011-0538-2
10. Ha K.S., Jo S.H., Mannam V. et al. Stimulation of phenolics, antioxidant and α -glucosidase inhibitory activities during barley (*Hordeum vulgare* L.) seed germination // Plant Foods for Human Nutrition. Vol. 71 (2016). P. 211–217. DOI: 10.1007/s11130-016-0549-2
11. Han H.M., Koh B.K. Effect of phenolic acids on the rheological properties and proteins of hard wheat flour dough and bread // Journal of the science of food and agriculture. 2011. Vol. 91, iss. 13. P. 2495–2499. DOI: 10.1002/jsfa.4499
12. Jiménez T., Martínez-Anaya M.A. Amylases and hemicellulases in breadmaking. Degradation by-products and potential relationship with functionality // Food science and technology international. 2001. Vol. 7, iss. 1. P. 5–14. DOI: 10.1106/7u5g-5akq-hvbq-4xa0
13. Koehler P., Hartmann G., Wieser H. et al. Changes of folates, dietary fiber, and proteins in wheat as affected by germination // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007. Vol. 55. P. 4678–4683. DOI: 10.1021/jf0633037
14. Kruger J.E., Matsuo R.R. Comparison of alpha-amylase and simple sugar levels in sound and germinated durum wheat during pasta processing and spaghetti cooking // Cereal chemistry. 1982. Vol. 59, iss. 1. P. 26–31.
15. Lemmens E., Moroni A.V., Pagand J. et al. Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: A critical review // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2019. Vol. 18. P. 305–328. DOI: 10.1111/1541-4337.12414
16. Matsushita K., Santiago D.M., Noda T. et al. The bread making qualities of bread dough supplemented with whole wheat flour and treated with enzymes // Food science and technology research. 2017. Vol. 23, iss. 3. P. 403–410. DOI: 10.3136/fstr.23.403
17. Shafii Z.A., Basri M., Malek E.A. et al. Phytochemical and antioxidant properties of Manilkara zapota (L.) P. Royen fruit extracts and its formulations for cosmaceutical application // Asian Journal of Plant Science & Research. 2017. Vol. 7, no. 3. P. 29–41.

18. Tatiana Cauduro, Carolina T.S. D'Almeida, Bárbara Biduski et al. Whole wheat flour replaced by sprouted wheat improves phenolic compounds profile, rheological and bread-making properties // *Journal of Cereal Science*. 2023. Vol. 114. 103778. DOI: 10.1016/j.jcs.2023.103778
19. Yang J., Sun C., Zhang Y. et al. Induced resistance in tomato fruit by γ -aminobutyric acid for the control of *Alternaria* rot caused by *Alternaria alternata* // *Food Chemistry*. 2017. Vol. 221. P. 1014–1020. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.11.061
20. Yang H., Zhang Q., Zhong S. et al. Genome-wide identification of superoxide dismutase and expression in response to fruit development and biological stress in *Akebia trifoliata*: A bioinformatics study // *Antioxidants*. 2023. Vol. 12, no. 3. Article 726. DOI: 10.3390/antiox12030726

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., Fatkullin R.I., Kalinina I.V., Naumenko E.E., Ivanišová E., Vasileva E.K., Radkevich A.V. Controlled germination of grain crops is an effective way to processing low-quality raw materials. *Agrarian science*, 2023, no. 372(7), pp. 149–154. (In Russ.) DOI: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-149-154
3. Merenkova S.P., Potoroko I.Yu., Devyatkin D.I. Influence of plant bioactive additives on the technological aspects of production, nutritional value and consumer characteristics of bread from wholemeal wheat flour. *News of higher educational institutions. Food technology*, 2022, no. 6 (390), pp. 34–40. (In Russ.) DOI: 10.26297/0579-3009.2022.6.5
4. Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Filkov A.A. Use of a whole-grain raw ingredient to improve the consumer properties of food products. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2022, vol. 10, no. 1, pp. 39–48. (In Russ.) DOI: 10.14529/food220105
5. Nilova L.P., Malyutenkova S.V. Food basket for healthy nutrition in a megalopolis. *International Scientific Journal*, 2017, no. 4, pp. 31–35. (In Russ.)
6. Ershov P.S. Sbornik retseptur na khleb i khlebobulochnye izdeliya [Collection of recipes for bread and bakery products]. St. Petersburg, 1998. 191 p.
7. Alvarez-Jubete L., Wijngaard H., Arendt E.K., Gallagher Polyphenol E. composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chemistry*, 2010, vol. 119 (2010), pp. 770–778. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.07.032
8. Arora S., Jood S., Khetarpaul N. Effect of germination and probiotic fermentation on nutrient composition of barley based food mixtures. *Food Chemistry*, 2010, vol. 119, pp. 779–784. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.07.035
9. Goyal A., Siddiqui S., Upadhyay N., Soni J. Effects of ultraviolet irradiation, pulsed electric field, hot water and ethanol vapours treatment on functional properties of mung bean sprouts. *Journal of food science and technology*, 2014, vol. 51, iss. 4, pp. 708–714. DOI: 10.1007/s13197-011-0538-2
10. Ha K.S., Jo S.H., Mannam V., Kwon Y.I., Apostolidis E. Stimulation of phenolics, antioxidant and α -glucosidase inhibitory activities during barley (*Hordeum vulgare* L.) seed germination. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2016, vol. 71, pp. 211–217. DOI: 10.1007/s11130-016-0549-2
11. Han H.M., Koh B.K. Effect of phenolic acids on the rheological properties and proteins of hard wheat flour dough and bread. *Journal of the science of food and agriculture*, 2011, vol. 91, iss. 13, pp. 2495–2499. DOI: 10.1002/jsfa.4499
12. Jiménez T., Martínez-Anaya M.A. Amylases and hemicellulases in breadmaking. Degradation by-products and potential relationship with functionality. *Food science and technology international*, 2001, vol. 7, iss. 1, pp. 5–14. DOI: 10.1106/7u5g-5akq-hvbq-4xa0
13. Koehler P., Hartmann G., Wieser H., & Rychlik M. Changes of folates, dietary fiber, and proteins in wheat as affected by germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, vol. 55, pp. 4678–4683. DOI: 10.1021/jf0633037

14. Kruger J.E., Matsuo R.R. Comparison of alpha-amylase and simple sugar levels in sound and germinated durum wheat during pasta processing and spaghetti cooking. *Cereal chemistry*, 1982, vol. 59, iss. 1, pp. 26–31.

15. Lemmens E., Moroni A.V., Pagand J., Heirbaut P., Ritala A., Karlen Y., L[^]e K., Vanden Broeck H.C., Brouns F.J.P.H., De Brier N., Delcour J.A. Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2019, vol. 18, pp. 305–328. DOI: 10.1111/1541-4337.12414

16. Matsushita K., Santiago D.M., Noda T. et al. The bread making qualities of bread dough supplemented with whole wheat flour and treated with enzymes. *Food science and technology research*, 2017, vol. 23, iss. 3, pp. 403–410. DOI: 10.3136/fstr.23.403

17. Shafii Z.A., Basri M., Malek E.A., Ismail M. Phytochemical and antioxidant properties of Manilkara zapota (L.) P. Royen fruit extracts and its formulations for cosmaceutical application. *Asian Journal of Plant Science & Research*, 2017, vol. 7, no. 3, pp. 29–41.

18. Tatiana Cauduro, Carolina T.S. D'Almeida, Bárbara Biduski, Alessandra dos Santos, Millena C. Barros Santos, Luciana R. da S. Lima, L.C. Cameron, Telma Elita Bertolin, Mariana S.L. Ferreira, Luiz Carlos Gutkoski Whole wheat flour replaced by sprouted wheat improves phenolic compounds profile, rheological and bread-making properties. *Journal of Cereal Science*, 2023, vol. 114, 103778. DOI: 10.1016/j.jcs.2023.103778

19. Yang J., Sun C., Zhang Y., Fu D., Zheng X., Yu T. Induced resistance in tomato fruit by γ -aminobutyric acid for the control of Alternaria rot caused by Alternaria alternata. *Food Chemistry*, 2017, vol. 221, pp. 1014–1020. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.11.061

20. Yang H., Zhang Q., Zhong S., Yang H., Ren T., Chen C. et al. Genome-wide identification of superoxide dismutase and expression in response to fruit development and biological stress in Akebia trifoliata: A bioinformatics study. *Antioxidants*, 2023, vol. 12, no. 3, article 726. DOI: 10.3390/antiox12030726

Информация об авторах

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

Аникина Евгения Игоревна, магистр направления 19.04.01 «Биотехнология» кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; evgeniaanikina.1999@mail.ru

Васильева Елизавета Константиновна, студент, Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия; vasilevaE.04@mail.ru

Information about the authors

Natalia V. Naumenko, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; naumenkonv@susu.ru

Evgenia I. Anikina, Master of the direction 19.04.01 “Biotechnology” of the Department of Food and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; evgeniaanikina.1999@mail.ru

Elizaveta K. Vasileva, Student, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia; vasilevaE.04@mail.ru

Статья поступила в редакцию 14.04.2025

The article was submitted 14.04.2025