

УДК 664.66

Исследование влияния порошка из черники на качество хлебобулочного изделия

Н. З. Дубкова, В. В. Харьков*, Г. К. Шакирова

*Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия;

e-mail: v.v.kharkov@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8219-7323>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
06.02.2025;

получена
после доработки
22.04.2025;

принята
к публикации
28.04.2025

Ключевые слова:

рецептура,
показатели качества,
черника,
порошок черники,
растительная добавка,
цветность

Использование добавок из натуральных растительных ингредиентов в рецептуре хлебобулочных изделий становится актуальным для современной хлебопекарной промышленности в связи с увеличивающимися запросами населения на продукцию здорового и диетического питания. Ягоды черники являются перспективным видом растительного сырья для включения их в рецептуры новых видов хлебобулочных изделий с повышенной пищевой ценностью. В статье исследуется возможность частичной замены пшеничной муки в рецептуре хлебобулочного изделия на порошок из черники. Данный порошок получается путем переработки ягод в вакуумной вибрационной сушилке-мельнице в щадящем режиме для сохранения термолабильных веществ растительного сырья. Проведено сравнение нормативных органолептических (внешний вид, состояние мякиша, вкус и запах) и физико-химических показателей (влажность, кислотность, пористость, удельный объем, цветность) выпеченных образцов хлебобулочного изделия – контрольного и экспериментального с 5 % заменой муки на черничный порошок. Установлено, что значения влажности, кислотности и пористости для обоих исследуемых образцов соответствуют действующей нормативной документации. Органолептический анализ выявил, что добавление порошка черники при замесе теста положительно сказывается на вкусовых качествах готового хлебобулочного изделия. Результаты определения цветности корки и мякиша образцов хлебобулочных изделий с помощью цифрового колориметра показали, что тонкодисперсный порошок черники способствует равномерному прокрашиванию корки и мякиша за счет его хорошей растворимости и высокой красящей способности, придает им привлекательный коричневый цвет с синеватым оттенком. В дальнейшем планируется провести оценку влияния различной дозировки черничного порошка в рецептуре теста на качественные показатели готовых хлебобулочных изделий, а также химического состава изделий на наличие веществ, придающих им функциональные свойства.

Для цитирования

Дубкова Н. З. и др. Исследование влияния порошка из черники на качество хлебобулочного изделия. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 2. С. 186–197. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-2-186-197>.

Study on effect of blueberry powder on quality of bakery products

Nailya Z. Dubkova, Vitaly V. Kharkov*, Gadilia K. Shakirova

*Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia;

e-mail: v.v.kharkov@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8219-7323>

Article info

Received
06.02.2025;

received
in revised form
22.04.2025;

accepted
28.04.2025

Key words:

recipe,
quality indicators,
blueberry,
blueberry powder,
plant-based additive,
color

Abstract

The use of natural plant-based additives in bakery formulations is gaining relevance in the modern baking industry due to increasing consumer demand for healthy and dietary food products. Blueberries represent a promising plant-derived ingredient for incorporation into novel bakery products with increased nutritional value. This study investigates the partial substitution of wheat flour with blueberry powder in bakery formulations. The powder has been obtained by processing berries in a vacuum vibration dryer-mill under gentle conditions to preserve thermolabile substances of plant-based materials. A comparative analysis of standard sensory (appearance, crumb condition, taste, and aroma) and physicochemical parameters (moisture content, acidity, porosity, specific volume, and color) has been conducted between a control bread sample and an experimental sample containing 5 % blueberry powder. The results have shown that moisture content, acidity, and porosity of both samples complied with current regulatory standards. Sensory analysis has revealed that the addition of blueberry powder into the dough positively influences the taste profile of the final product. Color analysis of crust and crumb using a digital colorimeter has demonstrated that finely ground blueberry powder has ensured uniform crust and crumb coloration due to its high solubility and strong pigmentation capacity, imparting an attractive brown color with a bluish tint. Future research will focus on evaluating the effect of various dosages blueberry powder into dough formulation on the qualitative characteristics of bakery products, as well as the chemical composition of the products on the presence of substances which give them functional properties.

For citation

Dubkova, N. Z. et al. 2025. Study on effect of blueberry powder on quality of bakery products. *Vestnik of MSTU*, 28(2), pp. 186–197. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-2-186-197>.

Введение

Хлеб является одним из самых распространенных продуктов питания в рационе человека на протяжении нескольких тысяч лет. В настоящее время перед современной хлебопекарной промышленностью стоят две задачи. Первая задача заключается в разработке позиций новых рецептур хлеба и хлебобулочных изделий, обогащенных различными дополнительными ингредиентами, которые соответствуют принципам здорового и диетического питания. Вторая задача направлена на продление или увеличение срока хранения продукции (Mitelut et al., 2021). Продукты питания повышенной пищевой ценности – это широкая категория товаров, которые обеспечивают пользу для здоровья человека за счет биологических и энергетических свойств дополнительных ингредиентов (Харьков и др., 2016; Vignesh et al., 2024; Naveed et al., 2024).

Для повышения пищевой ценности хлебобулочной продукции широко используется различное растительное сырье. В работе (Мусаева и др., 2020) предлагается добавлять в рецептуру хлебобулочных изделий разные сушеные растительные ингредиенты. Сушка сырья проводилась при температурах 60–70 °С в течение 4–5 ч с целью сохранения его витаминного состава. Внесение добавок позволило повысить пищевую ценность хлебобулочных изделий, в частности, на 100–120 % при использовании сушеных дикорастущих ягод, до 44 % – из кожицы и семян винограда, на 30–95 % – из кожицы тыквы, на 5–24 % – из семян и кожицы яблок. Авторы (Колесниченко и др., 2014) разработали рецептуру хлеба из ржаной муки с добавлением измельченных плодов жимолости в объеме 2–3 % с целью получения обогащенного продукта. Хлеб с измельченными плодами жимолости по сравнению с контрольным образцом содержит большее количество пищевых волокон, пектинов, сахаров, биологически активных и минеральных веществ. Полученный хлеб обладает повышенной пищевой ценностью и рекомендуется для людей, ведущих здоровый образ жизни.

В статье (Дорн и др., 2020) предложена рецептура ржано-пшеничного хлеба с гречневой мукой и добавлением порошков черемухи и облепихи. Хлеб с частичной заменой ржаной муки на гречневую и добавлением порошка черемухи или облепихи обладает повышенным содержанием витаминов С, группы В, Р, А, Е и других полезных веществ, таких как флавоноиды, органических кислот, микроэлементов, пектина и др. В статье (Шевелева и др., 2021) представлены результаты исследования влияния добавления ягод барбариса в виде порошка и отвара на технологический процесс, а также на показатели качества и сроки хранения различных типов хлебобулочных изделий. Было выявлено, что добавление ягодного компонента сокращает время брожения и расстойки на 10–20 мин при различных способах тестоприготовления, при этом качество готовой продукции остается на уровне, соответствующем требованиям нормативных документов.

Авторами (Ковалев и др., 2020) было предложено добавлять в рецептуру пшеничного хлеба порошок ламинарии японской, обработанной ультразвуком разной мощности, а именно 25, 50, 75, 100 Вт в течение 5 мин. В результате выявлено положительное влияние добавки на технологические свойства хлеба, к тому же подъемная сила дрожжей, кислотность теста и органолептические показатели готового изделия остались прежними. В статье (Негматуллоева и др., 2023) приводится способ повышения биологической ценности хлеба из пшеничной муки высшего сорта за счет введения в рецептуру высокобелкового порошка из семян маша в количестве от 10 до 30 %. Приводятся результаты расчета аминокислотного скорра в разных образцах для оценки по аминокислотному составу. Авторами (Доев и др., 2018) было предложено введение в рецептуру хлебобулочных изделий порошка облепихи, высушенного при температуре 55–60 °С в течение 36 ч, в качестве источника дополнительных биологически активных веществ. Полученное изделие обладает повышенной пищевой ценностью за счет увеличения содержания углеводов, витаминов и полифенольных соединений. Использование ферментированного амаранта в рецептуре белого хлеба позволяет не только обогатить его минералами и микронутриентами, но и увеличить срок хранения хлеба за счет его антифугицидного действия (Kia et al., 2024). В обзорной работе (Quitral et al., 2022) собраны данные по использованию водорослей в пищевых продуктах для увеличения их полезности за счет высокого содержания полифенолов в водорослях и их антиоксидантной способности. Приводится максимальная концентрация порошка водорослей в составе хлебобулочных (4 %) и мучных кондитерских изделий (5 %).

В качестве дополнительного источника биологически активных веществ могут быть использованы лекарственные растения. В работе (Ахметзянова и др., 2024) предложено добавить в хлеб из пшеничной муки первого сорта корень лопуха в количестве до 3 %. Установлено положительное влияние добавки, поскольку изделие по органолептическим и физико-химическим показателям соответствовало требованиям нормативной документации. Авторами (Маслов и др., 2022) представлены данные влияния комплексной добавки на основе растительных компонентов, состоящей из порошков пророщенной спельты, семян тыквы, плодовых тел грибов вешенки и ягод крыжовника, на реологические свойства теста, а также водопоглощение и состояние белково-протеиназного комплекса мучных смесей. Внесение биологически активных добавок связано не только с улучшением пищевой ценности готового изделия, но и с целью

активации дрожжей, что позволяет получать продукцию с повышенными технологическими характеристиками (Левашов и др., 2015). Флавоноиды, витамины, микроэлементы, содержащиеся в растительном сырье, позволяют интенсифицировать бродильную активность и повысить качество хлебопекарных дрожжей. Применение растительных добавок в условиях внедрения ускоренных технологий тестоприготовления позволяет адаптировать дрожжи-сахаромицеты, имеющие высокую бродильную активность в анаэробных условиях, к аэробным условиям за счет активации, во время которой происходит перестройка ферментативного комплекса дрожжей с дыхания на брожение. Использование активированных дрожжей позволяет ощутимо сократить время брожения теста, при этом замечено и повышение качественных показателей хлебобулочных изделий (Мингалеева и др., 2019). В работе (Левашов и др., 2017) применение растительной добавки с ягодами калины позволило снизить время брожения на 30 мин, получить хлебобулочное изделие с привлекательными вкусом и ароматом и повышенной пищевой ценностью.

В рамках данного исследования предлагается использовать порошок, полученный из ягод черники, как растительную добавку в рецептуры хлебобулочных изделий. Введение порошка черники в рецептуры хлебобулочных изделий является перспективным, но при этом исследованным недостаточно, что определяет актуальность данной работы. Черника является богатым источником витаминов А, Е и С и различных полифенолов (флавоноидов, флавонолов, фенольных кислот и производных стильбена) (Ashique et al., 2024). Одно из самых главных качеств черники заключается в высоком содержании антиоксидантов. Большое количество антоцианов, отвечающих за глубокий сине-фиолетовый цвет, является одним из ключевых факторов антиоксидантной способности черничного сырья. Эти антиоксиданты способствуют снятию воспалений и повышению иммунных свойств организма, а также полезны при заболеваниях сердечно-сосудистой системы, онкологических заболеваниях и при диабете (Ginwala et al., 2019). Регулярное употребление черники приводит к понижению артериального давления и уровня холестерина, что улучшает кровоток и снижает вероятность инфарктов и инсультов (Machado et al., 2015). Также черника, обладающая низкой калорийностью, является источником пищевых волокон, что позволяет отнести ее к продуктам диетического назначения (Blundell et al., 2009). Главной проблемой переработки ягод черники является уменьшение или даже полная потеря биологических полезных веществ, в частности антоцианов (Алексеев и др., 2023). Поэтому технология получения порошка из черники должна быть разработана с учетом сохранности компонентов данного вида сырья (Кузнецов и др., 2016; Харьков и др., 2017). Таким образом, добавление порошка черники в хлебобулочные изделия может способствовать повышению их пищевой ценности за счет обогащения пищевыми волокнами, антоцианами и полифенолами.

Целью исследования является изучение влияния применения порошка из черники в рецептуре теста хлебобулочного изделия из пшеничной муки на его органолептические и физико-химические свойства.

Материалы и методы

Для проведения исследования были проведены пробные выпечки двух образцов хлебобулочных изделий из пшеничной муки по ГОСТ Р 56631-2015¹. Рецепт контрольного образца (образец 1), выработанного по традиционной рецептуре по ГОСТ Р 55972-2014², и экспериментального образца с добавлением порошка черники (образец 2) представлена в табл. 1. Масса порошка из ягод черники составляла 5 % от массы муки.

Таблица 1. Рецептуры образцов хлебобулочного изделия
Table 1. Bakery product samples formulations

Наименования сырья	Количество вносимого сырья, % от массы муки	
	Образец 1 (контрольный)	Образец 2 (экспериментальный)
Мука пшеничная высшего сорта	300	285
Дрожжи прессованные хлебопекарные	2,1	2,1
Соль поваренная пищевая	4,5	4,5
Сахар	3	3
Вода	172	172
Порошок из ягод черники обыкновенной	—	15

Порошок из ягод черники предварительно был получен в вибрационной сушилке-мельнице ВСМ-0,5, работающей под вакуумом, в которой процесс термического обезвоживания совмещен с процессом измельчения (Dubkova et al., 2021; Kuznetsov et al., 2021). Такая конструкция позволяет проводить процесс сушки

¹ ГОСТ Р 56631-2015. Изделия хлебобулочные из пшеничной хлебопекарной муки. Общие технические условия. М., 2016.

² ГОСТ Р 55972-2014. Изделия хлебобулочные. Рецепт и технологическая инструкция. Общие требования к оформлению, построению и содержанию. М., 2014.

растительного сырья при щадящих температурных режимах, что сохраняет термолабильные компоненты черники. За счет одновременного измельчения и вакуумной сушки порошок черники был получен при температуре 40 °С в течение 40 мин. По результатам рассева черничного порошка, полученного в сушилке-мельнице, эквивалентный диаметр равен 313±50 мкм.

Тесто для образцов хлебобулочных изделий готовилось безопасным способом. Брожение теста происходило в течение 1 ч при температуре 45 °С. Расстойка тестовых заготовок проводилась при температуре 45 °С и относительной влажности воздуха 75–80 % в течение 30–40 мин. Выпечка велась в лабораторной электрической печи при температуре 180 °С в течение 40–45 мин. Охлаждение готовых хлебобулочных изделий осуществлялось естественным путем при комнатной температуре.

Качественный анализ образцов хлебобулочных изделий проведен согласно ГОСТ 31805-2018³ через 16–18 ч после выпечки по органолептическим показателям (внешний вид, состояние мякиша, вкус, запах) и физико-химическим показателям мякиша (влажность, кислотность, пористость). Дегустационная оценка полученных изделий по 5-балльной шкале была проведена согласно ГОСТ 31986-2012⁴. Количество человек в дегустационной группе – 10.

Анализ показателей мякиша проводился по стандартным методикам для влажности по ГОСТ 21094-2022⁵, кислотности по ГОСТ 5670-96⁶, пористости по ГОСТ 5669-96⁷. Дополнительно был проведен анализ образцов на цветность и удельный объем по ГОСТ 27669-88⁸.

Цветность изделий определялась с помощью цифрового колориметра CS-10 (Китай), диаметр области измерения 50 мм. Образцы освещали искусственным дневным светом D65 (стандартный угол 10°). Результаты выражены в цветовом пространстве $L^*a^*b^*$, где значение L^* обозначает яркость в диапазоне от 0 (черный) до 100 (белый), a^* и b^* – цветовые координаты (положительные значения a^* характеризуют интенсивность красного оттенка образца, а отрицательные a^* – интенсивность зеленого; положительные значения b^* характеризуют желтизну образца, а отрицательные b^* – синеву). Используя измеренные значения для проб исследуемых образцов, рассчитывают насыщенность цвета C^* и угол цветового тона h^* по формулам (1) и (2):

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}; \quad (1)$$

$$h^* = \arctg \frac{b^*}{a^*}. \quad (2)$$

Разница цвета ΔE_{2000} между двумя образцами рассчитывалась по формуле (Mokrzycki et al., 2011)

$$\Delta E_{2000} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2} \dots, \quad (3)$$

где $\Delta L' = L_2 - L_1$; $K_L = 1$; $S_L = 1 + \frac{0,015(\bar{L}' - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}' - 50)^2}}$; $\bar{L}' = (L_1 + L_2)/2$; $\Delta C' = C_2' - C_1'$; $C_1' = \sqrt{a_1'^2 + b_1'^2}$;

$$C_2' = \sqrt{a_2'^2 + b_2'^2}; \quad a_1' = a_1(1+G); \quad a_2' = a_2(1+G); \quad G = \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\right) / 2; \quad S_C = 1 + 0,045\bar{C}'; \quad \bar{C}' = (C_1' + C_2')/2;$$

$$C_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}; \quad C_2 = \sqrt{a_2^2 + b_2^2}; \quad K_C = 1; \quad \Delta H' = 2\sqrt{C_1' C_2'} \sin(\Delta h' / 2); \quad K_H = 1; \quad S_H = 1 + 0,015\bar{C}'T.$$

Объем выпеченного хлеба определялся стандартным методом с помощью лабораторного измерителя ОХЛ-2, работающего по принципу вытесненного хлебом объема сыпучего заполнителя (сахарный песок). Объем хлеба определяют по разнице объема сахара в емкости без хлеба и в емкости с хлебом. Удельный объем хлебобулочного изделия определяется путем деления его объема (в см³) на его массу (в г).

За окончательный результат всех измерений физико-химических показателей образцов принималось среднее арифметическое двух параллельных измерений. Допускаемые отклонения между параллельными определениями не превышали 5 %.

³ ГОСТ 31805-2018. Изделия хлебобулочные из пшеничной хлебопекарной муки. Общие технические условия. М., 2019.

⁴ ГОСТ 31986-2012. Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания. М., 2019.

⁵ ГОСТ 21094-2022. Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности. М., 2022.

⁶ ГОСТ 5670-96. Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности. Минск, 1997.

⁷ ГОСТ 5669-96. Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости. Минск, 1997.

⁸ ГОСТ 27669-88. Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба. М., 2007.

Результаты и обсуждение

Согласно табл. 1 была рассчитана энергетическая ценность образцов: для контрольного образца она составила 123,64 ккал/100 г, для экспериментального образца – 126,55 ккал/100 г, т. е. добавление порошка черники повышает энергетическую ценность примерно на 2,4 %.

На рис. 1 показаны тестовые заготовки после расстойки.



Рис. 1. Тестовые заготовки после расстойки (слева – образец 1, справа – образец 2)

Fig. 1. Dough pieces after proofing (left – sample 1, right – sample 2)

Визуально обе заготовки одинаковы по объему, а цвет экспериментального образца имеет темный цвет по сравнению с контрольным образцом. Результаты органолептической оценки представлены в табл. 2. Установлено, что оба образца по всем показателям соответствуют требованиям действующего стандарта. Выявлено, что образец 2 отличается от образца 1 коричневатым цветом с синеватым оттенком корки и мякиша.

Таблица 2. Результаты органолептической оценки образцов хлебобулочного изделия

Table 2. Results of sensory evaluation of bakery products samples

Показатель	Образец 1 (контрольный)	Образец 2 (экспериментальный)
Внешний вид:		
форма	Круглая	
поверхность	Ровная, без трещин	
цвет	Равномерный, не бледный и не подгоревший	
Состояние мякиша:		
пропеченность	Пропеченный, не липкий, не влажный на ощупь, после легкого надавливания пальцами мякиш принимает первоначальную форму	
промес	Без комочков и следов непромеса	
пористость	Развитая, без пустот и уплотнений	
Вкус	Приятный, свойственный данному виду изделия, без посторонних привкусов	Приятный, слегка чувствуется вкус черники, слегка сладковатый, без посторонних привкусов
Запах	Приятный, свойственный данному виду изделия	Приятный, свойственный данному виду изделия

Проведенная дегустация исследуемого хлебобулочного образца представлена в табл. 3.

Таблица 3. Сводный дегустационный лист

Table 3. Summary tasting sheet

Показатель	Внешний вид	Цвет	Состояние мякиша	Аромат	Вкус	Средняя оценка
Образец 2 (хлебобулочное изделие с черничным порошком)	5	5	5	5	5	5,0
	5	5	5	5	5	5,0
	5	5	4	5	4	4,6
	4	5	5	5	4	4,6
	5	4	5	5	5	4,8
Средний балл	4,8	4,8	4,8	5	4,6	

Согласно результатам дегустационной оценки средний балл по всем показателям не ниже 4,6, а по аромату получен максимальный балл 5,0.

Для оценки влияния черничного порошка на физико-химические показатели хлеба из пшеничной муки высшего сорта был проведен сравнительный анализ мякиша готовых хлебобулочных изделий по влажности, кислотности и пористости. Результаты анализа представлены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты физико-химической оценки исследуемых образцов
Table 4. Results of physicochemical estimation of the studied samples

Показатель	Влажность, %	Кислотность, град	Пористость, %
Образец 1 (контрольный)	43,9 ± 1,5	2,4 ± 0,2	74 ± 1,0
Образец 2 (экспериментальный)	43,7 ± 1,5	3,2 ± 0,2	66 ± 1,0

Таким образом, значения влажности и кислотности для обоих образцов соответствуют ГОСТ Р 56631-2015⁹.

Влажность мякиша образца 2 немного ниже влажности мякиша образца 1, что может быть вызвано действием ферментов растительной добавки на крахмал муки, в результате чего образовалось некоторое количество свободной воды, которая во время выпечки испарилась с поверхности тестовых заготовок. Кислотность мякиша образца 2 выше, чем у контрольного образца на 0,8 град, что объясняется наличием в ягодах черники органических кислот.

Стандартная пористость хлеба различных сортов хлебобулочных изделий из пшеничной муки составляет не менее 54–70 %. Пористость образцов 1 и 2 составляет 74 и 66 % соответственно, что соответствует требованиям ГОСТ 31805-2018¹⁰ и также указывает на соблюдение требований технологического процесса при приготовлении изделий (табл. 1). Также отмечается, что замена части муки черничным порошком привела к уменьшению пористости мякиша на 8 %. Это связано с увеличением содержания клетчатки в тесте, которая мешает образованию пузырьков газа при брожении, что приводит к получению более плотной структуры мякиша.

Также согласно визуальному осмотру изделий выявлено, что образец 2 имеет меньший объем. Расчет объема образцов показал, что объемный выход образца 1 составил 491 см³/г, а образца 2 – 441 см³/г, т. е. меньше примерно на 10 %. Объемный выход хлеба из муки высшего сорта должен быть не менее 400 см³/г, таким образом, оба образца соответствуют этому нормативному показателю.

На основе анализа внешнего вида хлебобулочных изделий видно, что корка (рис. 2) и мякиш (рис. 3) образца 2 имеют насыщенный коричневый цвет за счет высокой красящей способности порошка черники, а также реакции меланоидинообразования в процессе выпечки.



Рис. 2. Внешний вид готовых хлебобулочных изделий (слева – образец 1, справа – образец 2)

Fig. 2. Bakery products appearance (left – sample 1, right – sample 2)

⁹ ГОСТ Р 56631-2015. Изделия хлебобулочные из пшеничной хлебопекарной муки. Общие технические условия. М., 2016.

¹⁰ ГОСТ 31805-2018. Изделия хлебобулочные из пшеничной хлебопекарной муки. Общие технические условия. М., 2019.

Результаты определения цветности корки образцов (рис. 2) колориметрическим методом представлены на рис. 4. Отмечается, что яркость (светлота) корки (L^*) образца 1 больше, чем образца 2. Оба образца имели положительные значения координаты a^* , т. е. имели красный оттенок, что характерно для поджаренных и выпеченных продуктов и является характерным признаком для корки хлебобулочных изделий. Большее значение координаты b^* образца 1 соответствует желтизне корки, а низкое значение b^* для образца 2 – наличию коричневого оттенка. Высокие положительные значения C^* для обоих образцов свидетельствуют о высокой интенсивности цвета корки. При значении разницы цвета ΔE_{2000} , рассчитанного по формуле (3), более 5 можно утверждать, что цвета образцов различные. Для корки $\Delta E_{2000} = 7,7$, соответственно, можно говорить о разнице цвета, что подтверждается визуально (рис. 2).



Рис. 3. Внешний вид мякиша хлебобулочных изделий (слева – образец 1, справа – образец 2)
Fig. 3. Appearance of bakery products crumb (left – sample 1, right – sample 2)

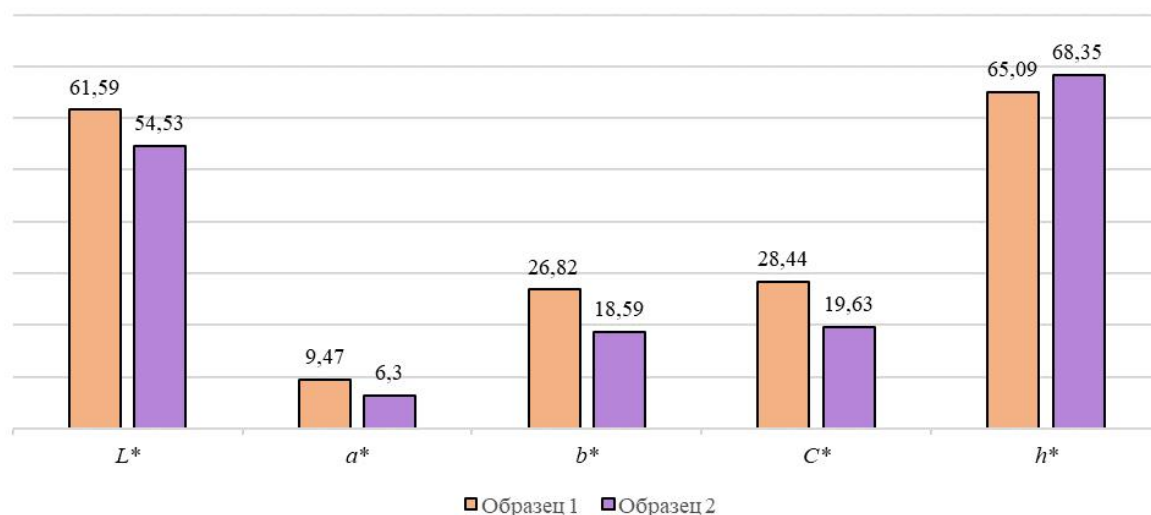


Рис. 4. Результаты определения цветности корки хлебобулочных изделий:
 L^* – яркость (светлота); a^* – цветовая координата от зеленого к красному;
 b^* – цветовая координата от синего к желтому; C^* – насыщенность цвета; h^* – угол цветового тона

Fig. 4. Color test results for the crust of bakery products:
 L^* – brightness (lightness); a^* – color in the green-red field;
 b^* – color in the blue-yellow field; C^* – saturation; h^* – hue

Результаты определения параметров цветности мякиша (рис. 3) представлены на рис. 5. При добавлении в хлебобулочное изделие порошка черники значение светлоты L^* , желтого b^* оттенка, а также значение насыщенности C^* для образца 2 снижались. На основании полученных значений разницы цвета для

мякиша $\Delta E_{2000} = 29,56$ можно сделать вывод о существенной разнице цвета мякиша у исследуемых образцов хлебобулочных изделий.

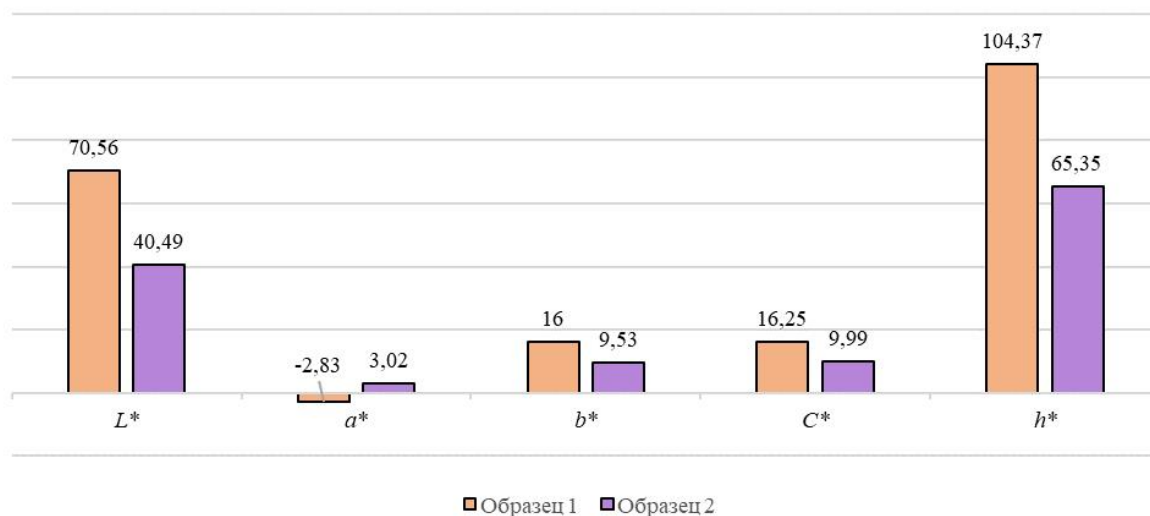


Рис. 5. Результаты определения цветности мякиша хлебобулочных изделий:

L^* – яркость (светлота); a^* – цветовая координата от зеленого к красному;

b^* – цветовая координата от синего к желтому; C^* – насыщенность цвета; h^* – угол цветового тона

Fig. 5. Color test results for the crumb of bakery products:

L^* – brightness (lightness); a^* – color in the green-red field;

b^* – color in the blue-yellow field; C^* – saturation; h^* – hue

Заключение

На основе проведенной работы можно сделать следующие основные выводы:

1. Применение порошка черники в рецептуре теста хлебобулочного изделия позволяет получить продукт с повышенной энергетической ценностью, обладающий оригинальным вкусом и ароматом.

2. Значения влажности, пористости и кислотности хлебобулочного изделия с порошком черники соответствуют требованиям ГОСТ 26987-2018¹¹. Установлено, что замена 5 % массы муки черничным порошком привела к уменьшению пористости мякиша на 8 % и удельного объема на 10 % за счет увеличения содержания клетчатки.

3. Согласно анализу цветности исследуемых изделий можно сделать вывод, что при добавлении черничного порошка корка и мякиш прокрашиваются равномерно за счет хорошей растворимости и высокой красящей способности тонкодисперсного порошка черники. Корка и мякиш хлебобулочного изделия имеют коричневый цвет с синеватым оттенком.

В дальнейших исследованиях планируется провести оценку влияния различной дозировки черничного порошка (например, 10, 15 %) в рецептуру теста на качественные показатели готовых хлебобулочных изделий. Также планируется оценить химический состав изделий на наличие веществ, придающих готовой продукции функциональные свойства (антоцианов, витаминов, полифенолов и др.).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Алексеев Е. В., Каримова Н. Ю., Цветкова А. А. Современное состояние и перспективы развития способов переработки ягод черники: обзор предметного поля // Хранение и переработка сельхозсырья. 2023. № 1. С. 22–44. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.353>. EDN: VLMBNR.
- Ахметзянова М. А., Маслов А. В., Мингалева З. Ш. Применение лекарственного сырья в производстве пшеничного хлеба // Инновационные технологии в АПК: теория и практика : сб. ст. XII Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 15–16 марта 2024 г. Пенза : Пензен. гос. аграр. ун-т, 2024. С. 13–16. EDN: ZJITYG.

¹¹ ГОСТ 26987-2018. Хлеб белый из пшеничной муки высшего, первого и второго сортов. Технические условия. М., 1986.

- Доев А. С., Джабоева А. С., Тедтова В. В., Тедтов И. Э. Использование порошка из плодов облепихи в рецептуре хлебобулочных изделий // Технологии и продукты здорового питания : материалы X Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 20-летию кафедры "Технологии продуктов питания", 100-летию факультета ветеринарной медицины, пищевых и биотехнологий, Саратов, 24–25 мая 2018 г. Саратов, 2018. С. 10–15. EDN: TPEUWN.
- Дорн Г. А., Москвин В. И. Разработка рецептуры ржано-пшеничного хлеба с гречневой мукой и добавлением порошков из нетрадиционного растительного сырья // Агропродовольственная политика России. 2020. № 4. С. 12–16. EDN: DDNXHJ.
- Ковалев Н. Н., Кращенко В. В. Исследование влияния ламинации японской разных способов обработки на качество пшеничного хлеба // Научные труды Дальрыбвтуза. 2020. Т. 51, № 1. С. 54–61. EDN: DTCHBQ.
- Колесниченко М. Н., Козубаева Л. А., Юршева Е. А. Ржано-пшеничный хлеб с жимолостью // Вестник алтайской науки. 2014. № 1(19). С. 310–313. EDN: SIOWXJ.
- Кузнецов М. Г., Харьков В. В., Хакимова Е. Г. Измельчение растительного сырья в гидродинамических мельницах // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 16. С. 59–61. EDN: WMUHLN.
- Левашов Р. Р., Мингалеева З. Ш. Исследование влияния добавки растительного происхождения на биотехнологические свойства дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 18. С. 268–269. EDN: UYYVKZ.
- Левашов Р. Р., Мингалеева З. Ш., Тазеева А. И., Лучкина А. С. [и др.]. Влияние комплексной добавки на показатели качества пшеничного хлеба // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, № 20. С. 133–134. EDN: ZXFJRF.
- Маслов А. В., Мингалеева З. Ш., Ямашев Т. А., Шибаева Н. Ф. Изучение влияния комплексной растительной добавки на свойства мучных смесей и пшеничного теста // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52, № 3. С. 511–525. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2385>. EDN: UBJCWN.
- Мингалеева З. Ш., Маслов А. В., Старовойтова О. В., Решетник О. А. Совершенствование технологии хлеба белого из муки пшеничной высшего сорта // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2019. № 6(59). С. 29–33. EDN: VURCGR.
- Мусаева Н. М., Бутгаева И. Р. Возможности использования вторичных сырьевых ресурсов // Современные проблемы и перспективы развития АПК Республики Дагестан : материалы региональной науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, Махачкала, 27 февраля 2020 г. Махачкала, 2020. С. 102–111. EDN: ZWTHKN.
- Негматуллоева М. Н., Гафаров А. А., Мухиддинов А. Р., Собиров Р. Э. Повышение биологической ценности хлеба с применением высокобелкового порошка из семян маша // Вестник Технологического университета Таджикистана. 2023. № 4–2(55). С. 50–58. EDN: RABYQK.
- Харьков В. В., Докучаева И. С. Исследование технологических характеристик овощных ферментированных соков повышенной биологической ценности // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 16. С. 35–37. EDN: WMUHIP.
- Харьков В. В., Николаев А. Н. Особенности кинетики реакций термического разложения материала при концентрировании во взвешенном слое // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 5. С. 33–37. DOI: [10.24153/2079-5920-2017-7-5-33-37](https://doi.org/10.24153/2079-5920-2017-7-5-33-37). EDN: ZQLDFJ.
- Шевелева Т. Л. Нетрадиционное растительное сырье в рецептурах хлебобулочных изделий // Вестник КрасГАУ. 2021. № 2(167). С. 143–150. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-2-143-150>. EDN: BPHMKF.
- Ashique S., Mukherjee T., Mohanty S., Garg A. [et al.]. Blueberries in focus: Exploring the phytochemical potentials and therapeutic applications // Journal of Agriculture and Food Research. 2024. Vol. 18. Article number: 101300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101300>.
- Blundell J., De Graaf K., Finlayson G., Halford J. C. G. [et al.]. Measuring food intake, hunger, satiety, and satiation in the laboratory // Handbook of Assessment Methods for Eating Behaviours and Weight-Related Problems: Measures, Theory and Research / eds.: D. Alison, M. Baskin. Sage Publications, United Kingdom, 2009. P. 283–325.
- Dubkova N. Z., Kharkov V. V., Vakhitov M. R. Using Jerusalem artichoke powder in functional food production // Foods and Raw Materials. 2021. Vol. 9, Iss. 1. P. 69–78. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-69-78>.
- Ginwala R., Bhavsar R., Chigbu D. G. I., Jain P. [et al.]. Potential role of flavonoids in treating chronic inflammatory diseases with a special focus on the anti-inflammatory activity of apigenin // Antioxidants. 2019. Vol. 8, Iss. 2. Article number: 35. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox8020035>.

- Kia P. S., Sadeghi A., Kashaninejad M., Zarali M. [et al.]. Application of controlled fermented amaranth supplemented with purslane (*Portulaca oleracea*) powder to improve technological functionalities of wheat bread // *Applied Food Research*. 2024. Vol. 4, Iss. 1. Article number: 100395. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100395>.
- Kuznetsov M. G., Dubkova N. Z., Kharkov V. V., Gumerova G. H. [et al.]. Study of power consumption in vibromixing apparatus during Jerusalem artichoke drying // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 640. Article number: 072006. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/7/072006>. (International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials 26–29 February 2020, Voronezh, Russian Federation).
- Machado A. M., de Paula H., Cardoso L. D., Costa N. M. B. Effects of brown and golden flaxseed on the lipid profile, glycemia, inflammatory biomarkers, blood pressure and body composition in overweight adolescents // *Nutrition*. 2015. Vol. 31, Iss. 1. P. 90–96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2014.05.002>.
- Mitelut A. C., Popa E. E., Popescu P. A., Popa M. E. Trends of innovation in bread and bakery production // *Trends in wheat and bread making* / ed.: C. M. Galanakis. Academic Press, 2021. P. 199–226. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821048-2.00007-6>. (Chapter 7).
- Mokrzycki W., Tatol M. Color difference Delta E – A survey // *Machine Graphics and Vision*. 2011. Vol. 20, Iss. 4. P. 383–411.
- Naveed H., Sultan W., Awan K. A., Imtiaz A. [et al.]. Glycemic impact of cereal and legume-based bakery products: Implications for chronic disease management // *Food Chemistry: X*. 2024. Vol. 24. Article number: 101959. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101959>.
- Quitral V., Sepúlveda M., Gamero-Vega G., Jiménez P. Seaweeds in bakery and farinaceous foods: A mini-review // *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2022. Vol. 28. Article number: 100403. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100403>.
- Vignesh A., Amal T. C., Sarvalingam A., Vasanth K. A review on the influence of nutraceuticals and functional foods on health // *Food Chemistry Advances*. 2024. Vol. 5. Article number: 100749. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100749>.

References

- Alekseenko, E. V., Karimova, N. Yu., Tsvetkova, A. A. 2023. Current state and prospects for the development of blueberry processing methods: A review of the subject field. *Storage and Processing of Farm Products*, 1, pp. 22–44. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.353>. EDN: VLMBNR. (In Russ.)
- Akhmetzyanova, M. A., Maslov, A. V., Mingaleeva, Z. Sh. 2024. Use of medicinal raw materials in the production of wheat bread. Collection of articles of the XII International scientific and practical conf. *Innovative technologies in the agro-industrial complex: Theory and practice*, 15–16 March, 2024, Penza. Penza, pp. 13–16. EDN: ZJITYG. (In Russ.)
- Doev, A. S., Dzhaboeva, A. S., Tedtova, V. V., Tedtov, I. E. 2018. The use of sea buckthorn powder in the formulation of bakery products. Proceedings of the X International scientific and practical conf. dedicated to the 20th anniversary of the Department of Food Technology and the 100th anniversary of the Faculty of Veterinary Medicine, Food and Biotechnology *Technologies and healthy food products*, Saratov, 24–25 May, 2018. Saratov, pp. 10–15. EDN: TPEUWN. (In Russ.)
- Dorn, G. A., Moskvina, V. I. 2020. Development of a recipe for rye-wheat bread with buckwheat flour and the addition of powders from non-traditional plant materials. *Agro-Food Policy in Russia*, 4, pp. 12–16. EDN: DDNXHJ. (In Russ.)
- Kovalev, N. N., Krashchenko, V. V. 2020. Study of the influence of Japanese laminaria of different processing methods on the quality of wheat bread. *Scientific Journal of the Far East State Technical Fisheries University*, 51(1), pp. 54–61. EDN: DTCHBQ. (In Russ.)
- Kolesnichenko, M. N., Kozubaeva, L. A., Yursheva, E. A. 2014. Rye-wheat bread with honeysuckle. *Vestnik altayskoy nauki*, 1(19), pp. 310–313. EDN: SIOWXJ. (In Russ.)
- Kuznetsov, M. G., Kharkov, V. V., Khakimova, E. G. 2016. Grinding of plant materials in hydrodynamic mills. *Herald of Technological University*, 19(16), pp. 59–61. EDN: WMUHLH. (In Russ.)
- Levashov, R. R., Mingaleeva, Z. Sh. 2015. Study of the influence of plant-based additives on the biotechnological properties of *Saccharomyces cerevisiae* yeast. *Herald of Technological University*, 18(18), pp. 268–269. EDN: UYYVKZ. (In Russ.)
- Levashov, R. R., Mingaleeva, Z. Sh., Tazeeva, A. I., Luchkina, A. S. 2017. The influence of a complex additive on the quality indicators of wheat bread. *Herald of Technological University*, 20(20), pp. 133–134. EDN: ZXFJRF. (In Russ.)
- Maslov, A. V., Mingaleeva, Z. Sh., Yamashev, T. A., Shibaeva, N. F. 2022. Study of the influence of complex plant additive on the properties of flour mixtures and wheat dough. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(3), pp. 511–525. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2385>. EDN: UBJCWH. (In Russ.)

- Mingaleeva, Z. Sh., Maslov, A. V., Starovoitova, O. V., Reshetnik, O. A. 2019. Improving the technology of white bread from premium wheat flour. *Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff*, 6(59), pp. 29–33. EDN: VURCGR. (In Russ.)
- Musayeva, N. M., Buttayeva, I. R. 2020. Possibilities of using secondary raw materials. Materials of the regional scientific and practical conf. of students, postgraduates and young scientists dedicated to the 75th anniversary of Victory in the Great Patriotic War *Modern problems and prospects for the development of the agro-industrial complex of the Republic of Dagestan*, 27 February, 2020, Makhachkala. Makhachkala, pp. 102–111. EDN: ZWTHKH. (In Russ.)
- Negmatulloeva, M. N., Gafarov, A. A., Mukhiddinov, A. R., Sobirov, R. E. 2023. Increasing the biological value of bread using high-protein powder from mung bean seeds. *Vestnik Tekhnologicheskogo Universiteta Tadjikistana*, 4–2(55), pp. 50–58. EDN: RABYQK. (In Russ.)
- Kharkov, V. V., Dokuchaeva, I. S. 2016. Investigation of technological characteristics of fermented vegetable juices of increased biological value. *Herald of Technological University*, 19(16), pp. 35–37. EDN: WMUHIP. (In Russ.)
- Kharkov, V. V., Nikolaev, A. N. 2017. Features of the kinetics of reactions of thermal decomposition of the material during concentration in a suspended layer. *Scientific and Technical Volga Region Bulletin*, 5, pp. 33–37. DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-5-33-37. EDN: ZQLDFJ. (In Russ.)
- Sheveleva, T. L. 2021. Non-traditional plant-based raw materials in bakery product recipes. *Bulletin of KSAU*, 2(167), pp. 143–150. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-2-143-150>. EDN: BPHMKF. (In Russ.)
- Ashique, S., Mukherjee, T., Mohanty, S., Garg, A. et al. 2024. Blueberries in focus: Exploring the phytochemical potentials and therapeutic applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18. Article number: 101300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101300>.
- Blundell, J., De Graaf, K., Finlayson, G., Halford, J. C. G. et al. 2009. Measuring food intake, hunger, satiety, and satiation in the laboratory. *Handbook of Assessment Methods for Eating Behaviours and Weight-Related Problems: Measures, Theory and Research*. Eds.: D. Alison, M. Baskin. Sage Publications, United Kingdom, pp. 283–325.
- Dubkova, N. Z., Kharkov, V. V., Vakhitov, M. R. 2021. Using Jerusalem artichoke powder in functional food production. *Foods and Raw Materials*, 9(1), pp. 69–78. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-69-78>.
- Ginwala, R., Bhavsar, R., Chigbu, D. G. I., Jain, P. et al. 2019. Potential role of flavonoids in treating chronic inflammatory diseases with a special focus on the anti-inflammatory activity of apigenin. *Antioxidants*, 8(2). Article number: 35. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox8020035>.
- Kia, P. S., Sadeghi, A., Kashaninejad, M., Zarali, M. et al. 2024. Application of controlled fermented amaranth supplemented with purslane (*Portulaca oleracea*) powder to improve technological functionalities of wheat bread. *Applied Food Research*, 4(1). Article number: 100395. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100395>.
- Kuznetsov, M. G., Dubkova, N. Z., Kharkov, V. V., Gumerova, G. H. et al. 2021. Study of power consumption in vibromixing apparatus during Jerusalem artichoke drying. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 640. Article number: 072006. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/7/072006>. (International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials 26–29 February 2020, Voronezh, Russian Federation).
- Machado, A. M., de Paula, H., Cardoso, L. D., Costa, N. M. B. 2015. Effects of brown and golden flaxseed on the lipid profile, glycemia, inflammatory biomarkers, blood pressure and body composition in overweight adolescents. *Nutrition*, 31(1), pp. 90–96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2014.05.002>.
- Mitelut, A. C., Popa, E. E., Popescu, P. A., Popa, M. E. 2021. Trends of innovation in bread and bakery production. *Trends in wheat and bread making*. Ed.: C. M. Galanakis. Academic Press, pp. 199–226. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821048-2.00007-6>. (Chapter 7).
- Mokrzycki, W., Tatol, M. 2011. Color difference Delta E – A survey. *Machine Graphics and Vision*, 20(4), pp. 383–411.
- Naveed, H., Sultan, W., Awan, K. A., Imtiaz, A. et al. 2024. Glycemic impact of cereal and legume-based bakery products: Implications for chronic disease management. *Food Chemistry: X*, 24. Article number: 101959. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101959>.
- Quitral, V., Sepúlveda, M., Gamero-Vega, G., Jiménez, P. 2022. Seaweeds in bakery and farinaceous foods: A mini-review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 28. Article number: 100403. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100403>.
- Vignesh, A., Amal, T. C., Sarvalingam, A., Vasanth, K. 2024. A review on the influence of nutraceuticals and functional foods on health. *Food Chemistry Advances*, 5. Article number: 100749. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100749>.

Сведения об авторах

Дубкова Наиля Зуфаровна – ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, Россия, 420015;
Казанский национальный исследовательский технологический университет,
канд. техн. наук, доцент; e-mail: dubkova_n@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5207-3701>

Nailya Z. Dubkova – 68 Karl Marx Str., Kazan, Russia, 420015;
Kazan National Research Technological University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: dubkova_n@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5207-3701>

Харьков Виталий Викторович – ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, Россия, 420015;
Казанский национальный исследовательский технологический университет,
канд. техн. наук, доцент; e-mail: v.v.kharkov@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8219-7323>

Vitaly V. Kharkov – 68 Karl Marx Str., Kazan, Russia, 420015;
Kazan National Research Technological University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: v.v.kharkov@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8219-7323>

Шакирова Гадиля Камиловна – ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, Россия, 420015;
Казанский национальный исследовательский технологический университет, студент;
e-mail: w-delia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5717-2903>

Gadilia K. Shakirova – 68 Karl Marx Str., Kazan, Russia, 420015;
Kazan National Research Technological University, Student;
e-mail: w-delia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5717-2903>