

Междисциплинарные исследования / Interdisciplinary Research

Научная статья

Original article

DOI: [10.12731/2658-6649-2026-18-3-1730](https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-3-1730)EDN: [SIFTFF](https://siftff.ru)

УДК 664.64



Исследование технологических свойств нетрадиционных видов муки при производстве мучных кулинарных изделий

А.Т. Васюкова¹, И.У. Кусова², О.А. Суворов²¹Университет Вернадского, Балашиха, Российская Федерация²Университет РОСБИОТЕХ, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Обоснование. Мучные кулинарные изделия пользуются заслуженным и постоянным спросом у потребителей. Повышение пищевой, биологической ценности и расширение линейки данной группы пищевых продуктов – важная народнохозяйственная задача.

Цель исследования – разработка сбалансированных по аминокислотному составу СФС, рецептуры булочки Триумф со сбалансированным комплементарным составом белка и изучение качественных характеристик полуфабрикатов и готовых изделий.

Методы. Объектом исследования выбраны сухие функциональные смеси №1-№3, состоящие из 7-9 компонентов зернобобового сырья, образцы обогащенной муки, тесто и булочки «Триумф» с нетрадиционными видами муки. Комплексные исследования проводились традиционными методами определения белизны, числа падения муки, реологических показателей теста и булочек. Использован профиль-ранговый метод сенсорной оценки булочек.

Результаты. Освещены вопросы влияния сбалансированных по аминокислотному составу трех вариантов сухих функциональных смесей на физико-химические показатели дрожжевого теста и мучных кулинарных изделий – булочек «Триумф». Рассмотрен ингредиентный состав сухих смесей, включающий зерновые, бобовые культуры и пряно-ароматическое сырье. Рассмотрены основные группы хлебобулочных изделий, востребованных потребителем. Проанализирован рынок пищевых добавок, используемых в хлебобулочных изделиях. Определены критериальные показатели, которые использованы в качестве основы для моделирования рецептур булочек.

Заключение. Установлено, число падения всех образцов муки с сухими смесями от 247,5 с; с 238,0 с и до 172,5 соответственно по сравнению с 282,0 с, что ниже контроля в 1,1 - 1,6 раз, а кислотность несколько превышает контрольный показатель. Оптимальная концентрация сухих смесей в рецептуре булочек «Триумф», не снижающая качество изделий, составляет 15% от массы контрольного образца. Удельный объем булочек, максимально соответствующий контрольному образцу, булочки с СФС №3, состоящая из восьми видов зернобобового сырья, включающая максимальную концентрацию чечевицы (26,3%), гороха (22%) и пшена (22%), что повлияло также на вкусовые показатели образцов. Выявлено увеличение пористости мякиша булочек (на 6,1 % по сравнению с образцом №3) при повышении удельного объема изделий на 11,1 % при введении в рецептуру СФС № 3.

Ключевые слова: свойства; изделия; булочки; пищевые добавки; сухие функциональные смеси; пищевая и биологическая ценность

Для цитирования. Васюкова, А. Т., Кусова, И. У., & Суворов, О. А. (2026). Исследование технологических свойств нетрадиционных видов муки при производстве мучных кулинарных изделий. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(3), 537-568. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-3-1730>

Study of the technological properties of non-traditional flour types in the production of flour culinary products

A.T. Vasyukova¹, I.U. Kusova², O.A. Suvorov²

¹Vernadsky University, Balashikha, Russian Federation

²University ROSBIOTECH, Moscow, Russian Federation

Abstract

Background. Flour-based culinary products enjoy well-deserved and consistent demand among consumers. Increasing the nutritional and biological value and expanding the product line of this food group is an important national economic objective.

Purpose. The aim of the work is to develop a balanced amino acid composition SPS, a recipe for Triumph buns with a balanced complementary protein composition and to study the quality characteristics of semi-finished and finished products.

Methods. The study subjects were dry functional mixtures No. 1-No. 3, consisting of 7-9 legume components, fortified flour samples, and dough and Triumph buns made with non-traditional flour types. Comprehensive studies were conducted using traditional methods to determine whiteness, flour falling number, and rheological properties of the dough and buns. A profile-ranking method for sensory evaluation of the buns was used.

Results. This article examines the impact of three dry functional mixes, each with a balanced amino acid composition, on the physicochemical properties of yeast dough and flour-based baked goods – Triumph buns. The ingredient composition of the dry mixes, including grains, legumes, and spices and aromatics, is examined. The main groups of bakery products in demand by consumers are considered. The market for food additives used in bakery products is analyzed. Criteria are determined, which are used as a basis for modeling bun recipes.

Conclusion. The falling number of all flour samples with dry mixes was found to range from 247.5 s; from 238.0 s to 172.5 s, respectively, compared to 282.0 s, which is 1.1-1.6 times lower than the control value, while acidity slightly exceeds the control value. The optimal concentration of dry mixes in the Triumph bun recipe, without degrading product quality, is 15% of the control sample weight. The specific volume of the buns, which most closely matched the control sample, was buns with SFS No. 3, consisting of eight types of legumes, including the highest concentration of lentils (26.3%), peas (22%), and millet (22%). This also impacted the taste of the samples. An increase in the crumb porosity of the buns (by 6.1% compared to sample No. 3) was observed, while the specific volume of the products increased by 11.1% with the introduction of SFS No. 3 into the recipe.

Keywords: properties; products; buns; food additives; dry functional mixes; nutritional and biological value

For citation. Vasyukova, A. T., Kusova, I. U., & Suvorov, O. A. (2026). Study of the technological properties of non-traditional flour types in the production of flour culinary products. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(3), 537-568. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-3-1730>

Введение

В хлебопечении механическая энергия, подаваемая в процессе смешивания, способствует гидратации проламинов (глиадинов и глютелинов) и вызывает конформационные изменения этих белков. Такие структурные изменения приводят к образованию ковалентных (SS) и нековалентных связей, а также водородных связей, которые образуют глютен. Глютен может удерживать ферментационные газообразные вещества (CO_2), тем самым реагируя на объем, текстуру и мягкость хлеба. Он демонстрирует важные технологические свойства, объясняющие его широкое использование в пищевой промышленности в качестве сырья и пищевой добавки [49].

Качество хлеба можно определить с помощью физического, химического, микробиологического, сенсорного анализа, внешних характеристик хлеба (размеры, удельный объем, цвет корки, форма и симметрия) и вну-

тренних характеристик хлеба (толщина корки, цвет мякиша, размер и количество альвеол, и текстура мякиша).

Часто обращают внимание на качество безглютенового хлеба [50; 61], обогащенного селеном и йодом [5], грецкими орехами, содержащими йод [16]. В рецептурах также используют органически связанные формы йода и цинка на низкомолекулярных пептидах соевого гидролизата [10]; белково-витаминно-минеральные ингредиенты, изготовленные из семян сои биотехнологической модификации [21]; препараты на основе ростков пшеницы и ячменя [19]; комплексные добавки из чечевичной муки и порошка морской капусты [12]. Важным является и введение в хлебобулочные изделия солодовых препаратов [10], всевозможных улучшителей, позволяющих активировать дрожжевые клетки [15].

Хлебобулочные изделия, вырабатываемые у нас в стране, являются одной из наиболее востребованных потребителями групп пищевых продуктов. Поэтому значимым аспектом также будет обогащение пищевыми добавками со скорректированным аминокислотным составом [11], и оценка биологической полноценности готовых изделий. Получить требуемые характеристики булочек возможно путем моделирования рецептур, корректирования технологического процесса, активации отдельных ключевых контрольных точек, регулирующих баланс между пищевой ценностью продукта и органолептическими показателями качества.

Среди проанализированных рецептур хлебобулочных изделий можно выделить наиболее распространенные и максимально отвечающие показателям биологической полноценности. При использовании рисовой муки в качестве основного ингредиента в рецептуру вводится кукурузный крахмал, гречневая крупа и соя, или рисовая мука, мука батата и β -амилаза [26]. Сочетание рисовой муки или кукурузного крахмала и гидроколлоидов способствует формированию структуры теста. За счет водорастворимого полимера (гидроксипропилметилцеллюлоза) и конжаковой камеди, являющихся натуральными полисахаридами, которые используются для загустения, структурирования теста, создается требуемый объем хлеба или булочек. В качестве загустителя в отдельных рецептурах используется псиллиум - пищевые волокна, получаемые из оболочки семян *Plantago ovata* (подорожника яйцевидного) [30].

Смесь рисовой муки, метилцеллюлозы и транслгутаминазы, в сочетании с добавками сорбитола, трегалозы, альфа-амилазы или полисорбата отличается высокой ферментной активностью. Путем введения в смесь метилцеллюлозы, не имеющей запаха и вкуса, а также обладающей высокой

степенью влагоудержания и загущающими свойствами, при добавлении воды образуется вязкий гелеобразный раствор. Полученная смесь является основой в формировании структуры теста [31].

Отдельно можно выделить рецептуры высокобелковых смесей для хлебобулочных изделий. Например, смесь кукурузного крахмала и гидроксипропилметилцеллюлозы с добавлением горохового белка и/или яичного [32]; сухая функциональная смесь из муки проса и сои 20:80% [34]; смесь рисовой муки и ксантановой камеди (с добавлением или без добавления гидроксипропилметилцеллюлозы), соевого или яичного белка; смесь муки (67% рисовая + 33% крахмал маниоки) с 16% гидроксипропилметилцеллюлозы и 50% яичного белка [36]; смесь муки из нута, картофельного крахмала, гречневой муки, муки из цельного зерна сорго и муки из конских бобов, рисовой клетчатки, крахмала тапиоки [42]. Вводимая в состав смеси мука из конских бобов может напрямую заменить импортную соевую муку и часть пшеничной муки с низким содержанием питательных веществ.

Известны также многокомпонентные смеси, состоящие из пшеничной муки, рисовой клетчатки, крахмала тапиоки, белка яйца; рисовой муки, рисовой клетчатки, крахмала тапиоки, трегалозы, белка яйца; пшеничной муки, рисовой клетчатки, крахмала тапиоки, трегалозы, соевого масла, белка яйца; рисовой муки и клетчатки, крахмала тапиоки, сахара, трегалозы, соевого масла и белка яйца [44]. Перечисленные многокомпонентные мучные смеси используются для получения хлеба определенного объема и структуры.

Для получения хлеба с удельным объемом $3,5 - 4,0 \text{ см}^3$ в состав рецептуры входит 80% сухих компонентов, к которым относится мучная смесь из пшеничной муки (85%) и соевой (15%), соль, сахар, дрожжи, а остальное – вода [35]; сухая мучная смесь (67% рисовой муки и 33% крахмала маниоки) с добавлением 16% гидроксипропилметилцеллюлозы, 50% яичного белка, 10% дрожжей, 2% соли, 4% сахара и воды [37]; сухая мучная смесь состоит из рисовой муки с добавлением 2% кукурузной муки, 0,5% трансклутаминазы, 4% коллагеновых волокон, 2% соли, 5% сахара, 2% сухих дрожжей, 6% соевого масла, 0,009% аскорбиновой кислоты и воды [39].

Для получения хлеба с удельным объемом $7,0-7,14 \text{ см}^3$ в состав рецептуры входит смесь из рисовой муки и кукурузного крахмала (50–50%), 5% заменителя яичного белка и воды; смесь из кукурузной муки, кукурузного крахмала и воды. Во все смеси было добавлено 2% гидроксипропилме-

тилцеллюлозы [47,54]. Полученный хлеб характеризовался хорошо сформированной текстурой: твердостью, упругостью и плотностью, которые соответствовали требованиям к данной группе хлебобулочных изделий.

Для получения хлеба с удельным объемом $7,58 \text{ см}^3$ в состав рецептуры входит смесь из кукурузного крахмала и 2% гидроксипропилметилцеллюлозы с добавлением 6% подсолнечного масла, 5% сахара, 3% сухих дрожжей; 1,8% соли и воды [30]; в состав сухих компонентов входит мучная смесь (95% рисовой муки и 5% рисового белка), 2% гидроксипропилметилцеллюлозы, 5% сахарозы; 1,8% соли, 3% быстрорастворимых дрожжей с добавлением 6% подсолнечного масла и воды [25].

Анализируя полученные данные можно отметить, что хлебобулочные изделия, имеющие удельный объем 7 см^3 , имели водопоглотительную способность от 56,5 до 120%, твердость варьировалась в больших пределах, а также упругость, показатели отличались в 3 раза. Мякиш имел от желтого до зеленоватого оттенка.

Следующая группа хлебобулочных изделий, имеющие удельный объем $3,5\text{--}4 \text{ см}^3$, имели несколько большее водопоглощение, по сравнению с образцами, имеющими удельный объем 7 см^3 . Данные варьировались от 70 до 130%. Твердость мякиша и упругость были менее неоднородными, лучше соответствовали контрольным образцам. Текстура считалась сухой и грубой, а вкус – бобовым, что отмечено не довольно качественным [38; 58].

Последняя группа хлебобулочных изделий с самым большим удельным объемом $7,58 \text{ см}^3$ отмечена по показателям профиля текстуры: твердость не высокая, а упругость в 2 раза больше, чем у образцов с удельным объемом 7 см^3 . Все анализируемые образцы имели приятный и гармоничный вкус [30; 47; 56].

Удельный объем нарезного батона является хорошим показателем качества хлеба и связан с количеством воды, удерживаемой в его структуре. Точно отражает изменение объема данного пищевого продукта, приготовленного в соответствии с различными рецептурами и способами производства. Он представляет собой способность глютеиновых белков удерживать достаточное количество CO_2 , выделяющегося во время ферментации и расстойки теста. Это объективная характеристика, и при сочетании с плотностью она показывает связь между содержанием твердых веществ и долей воздуха, пористостью в выпеченном тесте. Хлеб с высокой плотностью и/или с низким удельным объемом не востребован потребителем. Он обычно связан с высоким содержанием влаги, трудностью разжевывания и отрицательно гармонирует со вкусом и ароматом [26; 27; 33; 45].

Однако иногда потребители ищут натуральный безглютеновый продукт, который может значительно отличаться от традиционных хлебобулочных изделий, что не является недостатком, а зависит от выбора потребителя.

Выбор в качестве составного компонента сухих смесей для хлебобулочных изделий рисовой муки обусловлен ее гипоаллергенными характеристиками, низким содержанием (2,5–3,5%) проламинов, приятным вкусом, белым цветом, помимо других преимуществ, таких как экономические преимущества и широкая доступность [26; 28; 37; 53; 57]. Рисовые белки в основном гидрофобны и нерастворимы. Эта нерастворимость не позволяет формировать вязкоупругое тесто, необходимое для удерживания углекислого газа во время брожения. Кроме того, рисовые белки не обладают свойствами проламинов, аналогичного проламинам пшеницы. В результате хлеб имеет низкий объем с липкими хлебными крошками и высокой скоростью старения. С другой стороны, в составе мучной смеси содержится кукурузная мука, а зеин – это белок, содержащийся в кукурузе. Он проявляет гидрофобность, поскольку в его аминокислотный состав входит много гидрофобных остатков аминокислот (лейцин, пролин, аланин и фенилаланин).

Необходимо отметить, что физико-химические свойства различных сортов риса влияют на функционально-технологические показатели хлеба. Этот факт связан с уровнями амилозы и амилопектина в каждом типе зерна [52]. Aoki N. и др. [27] определили, что содержание амилозы в рисовой муке (19–22%) положительно коррелировало с удельным объемом безглютенового хлеба. Эти авторы также установили, что этот хлеб менее пористый, чем те образцы, которые получены из муки с низким содержанием амилозы. Это указывает на тот факт, что амилоза играет более важную роль в достижении большого объема хлеба.

Что касается роли крахмала в эффективности многокомпонентных рецептов для производства безглютеновых хлебобулочных изделий, можно отметить, что кукурузный, картофельный, маниоковый и рисовый крахмалы, могут образовывать матрицу для удерживания углекислого газа, ухудшения коалесценции крахмальных полисахаридов во время брожения теста, а также для стабилизации конечной структуры хлебобулочных изделий [24; 33; 38; 51; 57]. Поэтому выбор крахмала является важнейшим элементом для оптимальной рецептуры таких продуктов. В целом, крахмал злаковых культур (пшеничный, кукурузный и рисовый), содержит меньше влаги, чем картофельный и тапиоковый крахмал. Выбранный тип крахмала влияет на водопоглощение теста и реологические параметры, характери-

ки клейстеризации крахмала, а также текстуру и черствение полученного мякиша [25; 46; 62].

Во многих исследованиях были предложены рецептуры на основе смеси рисовой муки, кукурузного крахмала с крахмалами других культур, гидроколлоидами, белками и ферментами для получения пресного или безглютенового теста с соответствующим удельным объемом и мякишем с меньшим количеством крупных пор. Эти белки, ферменты и крахмал, которые формируют и улучшают качество теста, могут связывать воду, увеличивать вязкость и развивать неглютеновую матрицу. Эта структура может представлять свойства глютена за счет стабилизированных белковых связей (межмолекулярных и внутримолекулярных). Лучшего теста и улучшенной текстуры продуктов можно добиться как с помощью гидроколлоидов, так и белков, смеси вязких свойств (поглощение белка и гибкость) и эластичных свойств – образования пленки и удержания углекислого газа [41; 46].

Важным в тестоведении является размер и свойства различных гранул компонентов рецептуры, степень помола зернобобовых культур. Рисовый крахмал имеет гранулы небольшого размера (от 2 до 10 мкм), уровень амилозы от 1 до 37%, а при желатинизации он имеет мягкий вкус и кремовый вид, создавая ощущение текстуры, похожей на текстуру жира. Кукурузный крахмал содержит от 25 до 28% амилозы и гранулы от 5 до 25 мкм [60]. Картофельный крахмал имеет уровни амилозы от 20 до 30% и диаметр гранул от 20 до 40 мкм, образуя высоковязкий, плотный и прозрачный гель. Крахмал маниоки содержит 17% амилозы и размер гранул от 30,51–39,50 до 14,39–17,1 мкм. В зависимости от концентрации перечисленных крахмалов в рецептуре теста, или вида зернобобовых культур и концентрации крахмала в них будет сформирован каркас теста различной твердости и упругости. В рецептуру теста также могут вводиться модифицированные крахмалы. Они существенно отличаются от нативных по степени гидрофильности, способности к клейстеризации и гелеобразованию. Целые же зерна крахмала при температурах замеса теста связывают воду в основном адсорбционно, и поэтому их объем в тесте увеличивается весьма незначительно. Объем может варьировать от концентрации крахмала в безглютеновом тесте, где крахмал будет играть роль формирующей структуры теста, входить в его каркас.

Что касается роли гидроколлоидов в формировании подходящей матрицы для производства безглютенового теста, Baldino N. и др. [29] сообщили, что они могут быть лучшими альтернативами для обеспечения

газоудержания и имитации вязкоупругих свойств глютена. Таким образом, они придают мякишу структурообразующие свойства. Образованная сеть может удерживать углекислый газ, увеличивать объем хлеба и улучшать вязкость теста. Эти агенты также необходимы для временного связывания воды для желатинизации крахмала и структуры мякиша.

Кроме органолептических показателей важным является повышение пищевой и биологической ценности хлебобулочных изделий, возможности использования перспективного хлебопечения из высокобелковых видов муки, пищевых добавок и сухих хлебопекарных смесей. Наиболее оптимально соответствует данным показателям цельнозерновая амарантовая мука, имеющая также высокие показатели газообразующей и газоудерживающей способностей [4; 8; 23]. Введение в рецептуру хлеба функциональных пищевых ингредиентов на основе смеси из семян сои биотехнологической модификации в количестве от 10 до 30 %, позволяет увеличить концентрацию белка на 4,8 г, жира - на 0,5 г, золы - на 0,4 г, пищевых волокон - на 0,6 г, витаминов E, B₁, B₄, β, минеральных веществ (K, Ca, Mg), которые превышают 15% суточной потребности организма, что позволяет отнести такой продукт к функциональным [21].

Разработаны сухие кулинарные безглютеновые смеси для блинчиков на основе рисовой, соевой, кукурузной и амарантовой муки, а также сухого обезжиренного молока и яичного порошка. Рецептурный состав сухих смесей подбирался по органолептическим показателям и с учетом содержания в муке основных аминокислот с целью обеспечения функциональных свойств продукции. Целесообразность использования одновременно двух видов муки (рисовой и амарантовой) в рецептуре позволяет сбалансировать комплементарный состав белка [22].

Обогащать пищевые продукты массового потребления, к которым относятся хлебобулочные изделия, возможно путем введения в рецептуры одного или нескольких составляющих пищевых ингредиентов с целью предотвращения возникновения или исправления дефицита в организме человека пищевых веществ. Производство продуктов с добавленной пищевой ценностью возможно при использовании природно-сырьевых ресурсов России, в том числе зерновых и масличных культур в виде цельных зерен, продуктов их переработки (крупы, муки, отрубей, многозерновых смесей). Можно добавлять также продукты переработки фруктов, ягод и орехов, содержащие весь спектр натуральных биологических активных веществ [6; 13; 14].

Решение проблемы пищевой и биологической ценности хлебобулочных изделий возможно путем внедрения в производство высоко-

качественных сортов пшеницы, формирующих зерно с повышенным содержанием белка [7; 20]. Дудко М.А. предлагает использовать в хлебопечении пшеницу сорта Веда, селекции Краснодарского НИИСХ им. П.П. Лукьяненко, формирующего высокое содержание белка, наряду с высоким урожаем. Установлено, что повышение белка приводит к увеличению доли водо- и солерастворимой фракций белка, которые наиболее полноценны по аминокислотному составу лизином, триптофаном, треонином и метионином. Это означает, что путем селекции за счет повышения общего белка в зерне пшеницы, можно увеличить количество лимитируемых незаменимых аминокислот в хлебе и повысить его биологическую ценность [7].

В связи с вышесказанным достаточно актуальным вопросом остается качество хлебобулочных изделий с учетом питательных, сенсорных и технологических аспектов, ингредиентов [51; 59]. Анализ имеющихся рецептов показал возможные сочетания компонентов, влияющих на структуру хлебобулочных изделий. Но в большинстве случаев рассматривался только удельный объем как один из показателей оценки качества [48]. Удельный объем является важнейшим показателем технологического процесса при выпечке хлеба [55], сильно влияющим на выбор потребителя. Он используется для выражения технологической пригодности рецептуры для производства хлеба [43].

Учитывая, что в литературе пока нет публикаций о качестве булочек, обогащенных сухой функциональной смесью (СФС) со скорректированным аминокислотным составом, оцененных по удельному объему, то данное направление актуально и требует дальнейших исследований.

Цель исследования – разработка сбалансированных по аминокислотному составу СФС, рецептуры булочки Триумф со сбалансированным комплексным составом белка и изучение качественных характеристик полуфабрикатов и готовых изделий.

Материалы и методы

Объекты – сухие функциональные смеси (СФС): №1 (1 /НС); №2 (2 ДС/2); №3 (3 ВС), булочки сдобные «Триумф» с добавками СФС. Контрольный образец – рецептура № 292¹.

Состав сухих функциональных смесей (табл. 1) сбалансирован по аминокислотному составу (табл. 2).

¹ Сборник рецептов на продукцию для обучающихся во всех образовательных учреждениях под ред. В.А. Тутельяна и Д.Б. Никитюка. М.: ДеЛи плюс, 2022.

Таблица 1.

Ингредиентный состав рецептуры СФС
Table 1. Ingredient Composition of Dry Functional Blends

Продукт	5 ВС/3, г	3 ВС/2, г	2 ДС/2, г	1 НС, г
Мука чечевичная		26,3	14,0	7,0
Мука гороховая	17,0	22,0		7,0
Мука из гороха (маш)				7,0
Мука пшеничная	26,0	22,0	12,0	
Мука перловая	14,0	12,0	12,0	40,0
Мука полбяная	7,0	10,0	30,0	31,0
Мука фасолевая	28,3		24,5	5,0
Мука ржаная	6,0			
Мука овсяная		6,0		
Мука гречневая			6,0	
Соль поваренная пищевая	1,2	1,2	1,0	1,2
Порошок скорлупы кедрового ореха				1,5
Кориандр, семена	0,3	0,3	0,5	0,3
Перец душистый, молотый	0,2	0,2		
Массовая доля влаги	10,31	11,78	12,22	12,71
Итого	100	100	100	100

Таблица 2.

Пищевая и биологическая ценность используемых СФС, г/100 г продукта
Table 2. Nutritional and Biological Value of the Dry Functional Mixtures Used, g/100 g of product

СФС	1НС	2/ДС-2	3/ВС-2
Белки, г	11,640	16,856	18,140
Жиры, г	0,162	1,918	2,183
Углеводы, г	41,26	58,95	44,78
Калорийность, ккал	238,2	326,93	387,04
Триптофан	0,192	0,167	0,192
Треонин	0,635	0,510	0,621
Изолейцин	0,676	0,621	0,746
Лейцин	1,270	1,358	1,43
Лизин	0,924	0,541	1,016
Метионин	0,249	0,275	0,226
Цистеин	0,204	0,284	0,297
Фенилаланин	0,844	0,764	0,89
Тирозин	0,439	0,449	0,51
Валин	0,828	0,762	0,886
Аргинин	0,994	0,970	1,2656
Гистидин	0,427	0,377	0,453
Аланин	0,803	0,863	0,8777
Аспарагиновая к-та	1,673	1,176	1,7504
Глутаминовая к-та	2,932	3,501	3,4530
Глицин	0,709	0,585	0,7206
БЦ	17,261	16,920	18,696

Для обоснования степени сбалансированности аминокислотного состава полученных смесей для сравнения приведены данные по эталонному белку, в том числе аминокислотный скор.

При расчете аминокислотного сора использованы приведенные ниже эталонные аминокислотные шаблоны, по возрастам питающихся (детей), согласно справочным данным² (табл. 3). Аминокислотные скоры рецептур СФС №1-3 приведены в табл. 4-6.

Таблица 3.

Эталонные аминокислотные шаблоны, по категориям питающихся, мг**Table 3.** Reference Amino Acid Profiles by Dietary Category, mg

Категория питающихся	Три	Тре	Изо	Лей	Лиз	САК	ААК	Вал	Гис
до года	8,5	31	32	66	57	28	52	43	20
1–2	7,4	27	31	63	52	26	46	42	18
3–10	6,6	25	31	61	48	24	41	40	16
11–14	6,5	25	30	60	48	23	41	40	16
15–18	6,3	24	30	60	47	23	40	40	16
Взрослые >18 лет	6	23	30	59	45	22	38	39	15

Сокращения и обозначения:

Три – триптофан *Тир* – тирозин *АК* – аминокислота *Тре* – треонин *Лиз* – лизин
САК – серосодержащие аминокислоты (метионин + цистеин). *Изо* – изолейцин
Вал – валин *ААК* – ароматические аминокислоты (фенилаланин + тирозин) *Лей* – лейцин
Гис – гистидин *НАК* – незаменимые аминокислоты (всего) *Мет* – метионин
Фен – фенилаланин *Цис* – цистеин

Таблица 4.

Аминокислотный скор (PDCAAS) для рецептуры № 3 (3 BC/2)**Table 4.** Amino Acid Score (PDCAAS) for Formulation No. 3 (3 BC/2)

Категория питающихся (шаблон АК)	Три	Тре	Изо	Лей	Лиз	САК	ААК	Вал	Гис	Лимитирующая АК	Скор	PDCAAS
до года	117	106	123	115	96	96	142	108	120	Лизин	95,9	93,9
1–2	135	122	127	120	105	104	160	111	134	Серосодерж.	103,7	101,5
3–10	151	132	127	124	114	112	180	116	150	Серосодерж.	112,3	110,0
11–14	153	132	132	126	114	117	180	116	150	Лизин	113,9	111,5
15–18	158	137	132	126	116	117	184	116	150	Лизин	116,3	113,9
Взрослые >18 лет	166	143	132	129	121	123	194	119	160	Валин	119,4	117,0

² FAO food and nutrition paper 92. Dietary protein quality evaluation in human nutrition/ Report of an FAO Expert Consultation, Geneva: FAO, 2013.

Таблица 5.

Аминокислотный скор (PDCAAS) для рецептуры №2 (2 ДС/2)**Table 5.** Amino Acid Score (PDCAAS) for Formulation No. 2 (2 DS/2)

Категория питающихся (шаблон АК)	Три	Тре	Изо	Лей	Лиз	САК	ААК	Вал	Гис	Лимитирующая АК	Скор	PDCAAS
до года	74	65	77	74	45	75	93	70	78	Лизин	45,4	44,9
1–2	85	75	80	78	50	81	105	72	86	Лизин	49,8	49,2
3–10	95	81	80	80	54	88	118	75	97	Лизин	53,9	53,3
11–14	96	81	82	82	54	91	118	75	97	Лизин	53,9	53,3
15–18	99	84	82	82	55	91	121	75	97	Лизин	55,1	54,4
Взрослые >18 лет	104	88	82	83	58	96	127	77	104	Лизин	57,5	56,9

Таблица 6.

Аминокислотный скор (PDCAAS) для рецептуры №1 (1 НС)**Table 6.** Amino Acid Score (PDCAAS) for Formulation No. 1 (1 NS)

Категория питающихся (шаблон АК)	Три	Тре	Изо	Лей	Лиз	САК	ААК	Вал	Гис	Лимитирующая АК	Скор	PDCAAS
до года	107	82	93	83	59	97	116	86	94	Лизин	58,9	58,5
1–2	123	94	96	87	65	105	131	88	104	Лизин	64,5	64,1
3–10	138	101	96	89	70	113	147	92	117	Лизин	69,9	69,5
11–14	140	101	99	91	70	118	147	92	117	Лизин	69,9	69,5
15–18	145	106	99	91	71	118	151	92	117	Лизин	71,4	71,0
Взрослые >18 лет	152	110	99	92	75	124	159	94	125	Лизин	74,6	74,1

Используемые методы

В работе применялись общеизвестные методы определения качества сырья, СФС, теста и готовых булочек «Триумф», в том числе показатели числа падения по ГОСТ 27676-88³ на приборе ПЧП-7. Определение pH проводили по ГОСТ 27493-87⁴ на анализаторе жидкости «Эксперт-001»; кислотности методом титрования по ГОСТ 28561-90⁵; подъемную силу дрожжей ускоренным способом – методом всплывания шарика по ГОСТ

³ ГОСТ 27676-88 Зерно и продукты его переработки. Метод определения числа падения.

⁴ ГОСТ 27493-87 Мука и отруби. Метод определения кислотности по болтушке.

⁵ ГОСТ 28561-90 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги.

Р 54731-2011⁶. Органолептическую оценку выполняли по ГОСТ ИСО 6658–2015⁷.

Вычисление показателей осуществляли путем применения программы «STATISTICA–version10».

Результаты и обсуждение

Для моделирования рецептур булочек с введением нетрадиционных компонентов (СФС), важным являлось создание оптимальных условий брожения теста путем активации дрожжей. Наиболее эффективный способ активации – создание питательной среды, позволяющей максимально стимулировать развитие и рост дрожжевой клетки. В качестве активаторов могут выступать углеводы, витамины, минералы и аминокислоты. Эти вещества создают благоприятные условия для роста и размножения дрожжей, повышают их бродильную активность. Концентрация аминокислот (валина, лейцина и изолейцина) в СФС в 2,0-2,3 раза выше, чем у пшеничной муки высшего сорта. Они играют важную роль в жизнедеятельности дрожжей в процессе брожения, а также участвуют в биохимических процессах метаболизма углеводов при спиртовом брожении. Предварительное заваривание СФС позволяет создать питательный субстрат для дрожжей, который будет способствовать активации дрожжевой клетки. Этот технологический процесс известный как метод Ф.Г. Гинзбурга [1] подтверждает биохимическую роль СФС в процессе брожения. Использование чечевичной муки в составе СФС №1, №2 и №3 в концентрации от 1,1 до 4,0% в составе теста для булочек, тоже совместно с другими компонентами рецептуры будет использоваться в качестве субстрата для активации дрожжей и брожении теста. Данный способ активации дрожжевой клетки описан в методе А. А. Петрика с соавторами, но отличается немного большей концентрацией чечевичной муки в составе субстрата [17; 18]. В данном случае, используемые в эксперименте сбалансированные по аминокислотному составу СФС, могут применяться в качестве питательной среды для дрожжевой клетки.

Заварка, состоящая из СФС, введенная в водный дрожжевой раствор в течение 20-30 минут при температуре 30-32°C, будет способствовать интенсификации процесса брожения теста. Этот технологический прием позволил улучшить качество дрожжей за счет увеличения их подъемной силы на 10,21 %, что привело к увеличению объема теста, позволило сократить продол-

⁶ 54731-2011 Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия.

⁷ ГОСТ ИСО 6658–2015 Органолептический анализ. Методология. Общее руководство.

жительность технологического процесса, повысить качество булочек. На основании проведенных физико-химических исследований и промежуточных дегустаций был выбран диапазон внесения СФС в рецептуру, который не ухудшал органолептические показатели качества булочек «Триумф». Установлено, что оптимальной является замена пшеничной муки высшего сорта на СФС в количестве 15-20% (табл. 7). Более высокая добавка функциональной смеси снижала органолептические показатели качества готовых булочек (становились сероватого цвета), а концентрация СФС менее 15% - не имела достаточного стимулирующего эффекта роста дрожжевой клетки.

Три модельные рецептуры с концентрацией 20% были проанализированы с добавкой следующих смесей: образец 1 – смесь №2 (2 ДС/2), образец 2 – смесь № 3 (3 ВС/2) и образец 3 – смесь №1 (НС) (табл. 7).

Таблица 7.

Модельные рецептуры дрожжевого теста для булочек (при 20% замене муки), г
Table 7. Model Formulations for Yeast Dough for Rolls (with 20% flour substitution), g

Наименование сырья	1 образец	2 образец	3 образец	Контрольный
Мука пшеничная	40	40	40	55
Сахар белый	7	7	7	7
Масло растительное	9	9	9	9
Яйцо (меланж)	4	4	4	4
Соль	0.4	0.4	0.4	0.4
Дрожжи	2	2	2	2
Вода	20	20	20	20
2 ДС/2	15	-	-	-
3 ВС/2	-	15	-	-
1 НС	-	-	15	-
Масса полуфабриката	95	95	95	95
Выход:	76,0	76,1	75,8	78

Для установления уровня воздействия питательной среды (заварка СФС) и температуры активации дрожжей на их подъемную силу проведены лабораторные исследования всех стадий процесса приготовления дрожжевого теста, включая подготовку сырья, замес и брожение теста, порционирование, расстойку и выпечку булочек.

Проведенные исследования позволили выделить контрольные критические точки и на основании полученных результатов внести дополнения в технологический процесс: кислотность теста от 3 до 3,5 град, температура теста от 30 до 32 °С, продолжительность от 120 до 180 мин.

Показатели функционально-технологических свойств основного и дополнительного сырья: мука пшеничная высшего сорта (контрольный образец); СФС (15-20%) вместе с мукой пшеничной высшего сорта для образцов №1-№3, формирующие характеристики теста и готовых булочек на основе модельных рецептов позволили получить изделия требуемого качества (табл. 8).

Таблица 8.

Физико-химические показатели качества муки, опытного дрожжевого теста для булочек и готовых изделий

Table 8. Physicochemical Quality Parameters of Flour, Experimental Yeast Dough for Rolls, and Finished Products

Показатели	1 образец (2 ДС/2)	2 образец (3 ВС/2)	3 образец (1/НС)	Контроль
Сырье:				
Число падения, с	247,5 ± 0,1	172,5 ± 0,12	238,0 ± 0,3	282,0 ± 0,4
Количество клейковины, г	23,5 ± 0,4	23,8 ± 0,1	24,3 ± 0,07	28,0 ± 0,1
Влажность СФС с мукой или муки, %	14,5 ± 0,3	14,6 ± 0,11	14,8 ± 0,1	14,6 ± 0,05
Тесто:				
Температура, °С	30,0 ± 0,1	32,0 ± 0,4	32,0 ± 0,4	32,0 ± 0,1
Влажность теста, %	29,5 ± 0,12	29,6 ± 0,1	33,4 ± 0,21	32,25 ± 0,05
Кислотность, град	3,5 ± 0,4	3,3 ± 0,3	3,5 ± 0,1	3,0 ± 0,1
Подъемная сила по «ша-рику», мин	3,4 ± 0,1	3,8 ± 0,4	2,9 ± 0,4	3,5 ± 0,3
рН	6,43 ± 0,21	6,73 ± 0,1	6,67 ± 0,05	6,10 ± 0,4
Готовые изделия:				
Влажность изделия, %	26,06 ± 0,3	23,43 ± 0,03	21,9 ± 0,1	25,4 ± 0,08
Кислотность, град	2,56 ± 0,1	1,44 ± 0,12	1,20 ± 0,08	1,61 ± 0,1
Формоустойчивость,	0,48 ± 0,1	0,50 ± 0,1	0,47 ± 0,1	0,55 ± 0,1
Удельный объем, %	160 ± 0,4	180 ± 0,1	144 ± 0,8	144-200 ± 0,3

Так как была использована мука с добавкой СФС число падения снизилось по сравнению с контролем. отмечено от 247,5 с; с 238,0 с и до 172,5 соответственно по сравнению с 282,0 с в контроле, что показывает о снижении активности фермента альфа-амилазы в муке. Введение в рецептуру дрожжевого безопарного теста вместо части пшеничной муки СФС привело к изменению влажности. В образцах №2 и №1 от 2,65 до 2,75% соответственно, а в образце №3 – наблюдалось увеличение на 1,15% из-за разного поглощения муки нутриентами рецептуры. Полученные данные необходимо учитывать при расчете жидкости в процессе изготовления бу-

лочек «Триумф». Тепловая обработка тестовых полуфабрикатов приводит к усушке булочек. Наибольшее снижение отмечено в образце №3 – 34,4% что на 13,1% больше, чем в контроле. Можно предположить, что это снижение связано с увеличением продолжительности брожения теста, которое осуществлялось безопасным способом.

Установлено также изменение углеводно-амилазного комплекса за счет интенсивного сбраживания сахаров муки дрожжами теста в первый период брожения. Добавление СФС к массе муки стимулирует спиртовое брожение в тесте. Это связано со скоростью брожения и активностью питательной среды в диапазоне температур 30-32 °C [3; 9; 11].

Рассмотрим влияние отдельных злаковых и бобовых культур, входящих в 1НС, 2ДС-2, 3/ВС-2 сухие функциональные смеси на брожение теста. Например, использование СФС (1НС, 2ДС-2, 3/ВС-2), содержащих чечевичную муку (табл. 1) в концентрации 7,0-26,3%, приводит к увеличению пористости булочек (на 6,1 %) образца №3 по сравнению с образцом №1. Биологическая ценность увеличивается булочек увеличивается в 1,78; 1,74 и 1,87 раз (табл. 9 и рис. 1).

Таблица 9.

Пищевая ценность СФС с чечевичной мукой (ЧМ)
Table 9. Nutritional Value of Dry Functional Mixes with Lentil Flour (LF)

Ингредиенты	Мука с 1/НС		Мука с 2/ДС-2		Мука с 3/ВС-2		Контроль, в 100 г нетто
	7% ЧМ	в 100 г нетто	14% ЧМ	в 100 г нетто	26,3% ЧМ	в 100 г нетто	
Белки, г	0,288	10,926	0,671	11,708	1,262	11,901	10,8
Жиры, г	0,018	1,129	0,042	1,393	0,079	1,432	1,3
Углеводы, г	0,556	65,604	1,295	68,257	2,437	66,132	69,90
Калорийность, ккал	3,5	319	8	333	21,5	342	334
Биологическая ценность	1,440	10,84	3,355	10,789	6,312	11,055	9,707
Итого с ЧМ в СФС, г	7,0	15,0	14,0	15,0	26,3	15,0	0,0



Рис. 1. Органолептические показатели булочек с 20% СФС

Fig. 1. Organoleptic characteristics of rolls containing 20% dry functional mixes

Необходимо отметить, что наряду с чечевичной мукой в смеси 2 ДС/2 присутствует и гречневая мука, имеющая по сравнению с другими злаковыми культурами высокую биологическую ценность усваиваемого белка - 2,416 г по сравнению с мукой перловой - 2,04 г, пшеничной - 1,068 г, полбяной - 2,09 г, пшеничной - 2,33 г [31; 32; 34]. Данные ингредиентного состава рецептур смесей функциональных сухих (3/ВС-2, 2/ДС-2, 1/НС) (табл. 2) показывают высокий уровень усвояемости белка – 94%.

Булочки, приготовленные с использованием СФС с концентрацией чечевичной муки 7, 14 и 26,3%, по органолептическим показателям отличаются более яркой окраской корки от контроля, степень интенсивности которой зависит от концентрации чечевичной муки в рецептуре. Установлено, что СФС, содержащие муку из зернобобового сырья, имеют цвет от песочного до кремового оттенка, поэтому данная цветовая гамма передается выпеченным изделиям, особенно отчетливо это видно у мякиша на рис. 1.

Выводы

1. Анализ литературных источников показывает, что в рецептуру теста на основе пшеничной муки, с частичным ее содержанием, или без этой муки, для формирования удельного объема, структуры (твердости, прочности, упругости) для изготовления хлеба и булочек входит мука из зернобобовых культур, пищевые добавки и различные улучшители. Известны многокомпонентные смеси, состоящие из состоящие из пшеничной муки, рисовой клетчатки, крахмала тапиоки, белка яйца; рисовой муки, рисовой клетчатки, крахмала тапиоки, трегалозы, белка яйца; пшеничной муки, рисовой клетчатки, крахмала тапиоки, трегалозы, соевого масла, белка яйца; рисовой муки и клетчатки, крахмала тапиоки, сахара, трегалозы, соевого масла и белка яйца. В рецептуры вводятся фермента, гидроколлоиды, коллагеновые волокна, растительные масла. Для обогащения хлебобулочных изделий витаминно-минеральным комплексом используются зерновые и масличные культуры, а также продукты переработки фруктов, ягод и орехов, содержащие весь спектр натуральных биологических активных веществ.

2. Решение проблемы пищевой и биологической ценности хлебобулочных изделий выполнено путем внедрения в рецептуру сбалансированных по аминокислотному составу (лизину, триптофану, треонину и метионину) зернобобовых смесей с повышенным содержанием белка: 3/ВС-2, 2/ДС-2 и 1/НС.

3. На основании проведенных исследований рациональной добавкой является смесь 3/ВС-2, содержащая чечевичную муку (26,3%), которая

по сравнению с остальными СФС (2/ДС-2 и 1/НС) имеет более высокие качественные показатели.

4. Образцы булочек, приготовленные с 15% этой СФС к рецептурному количеству муки, немного отличаются от контроля по цвету, имеют мякиш песочный, с мелкими порами. Из всех представленных образцов удельный объем булочек «Триумф» с заменой 15% пшеничной муки на смесь 3/ВС-2, был максимально приближен к контролю – 180%.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Березин, А. А. (2015). Цепочка Гинзбурга — Ландау в описании динамики точной дифференцировки. *Национальная ассоциация ученых, IX(14)*, 94–98. EDN: <https://elibrary.ru/VHXXBJ>
2. Васюкова, А. Т., Мошкин, А. В., Богоносова, И. А., Славянский, А. А., & Охотников, С. И. (2019). Структурно-механические свойства сдобного теста с солодом из зерновых и бобовых культур. *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки»*, 5(3), 290–298. <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2019-5-3-289-297>. EDN: <https://elibrary.ru/KBANWP>
3. Васюкова, А. Т., Славянский, А. А., Мошкин, А. В., & Новожилов, М. П. (2019). Сенсорный анализ показателей качества хлебобулочных изделий из пшеничной муки с использованием различных солодов. В *Наука и практика — 2019. Всероссийская междисциплинарная научная конференция: материалы* (с. 72–75). ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». EDN: <https://elibrary.ru/PMTSES>
4. Вознюк, Е. В., Иванченко, О. Б., Доморощенкова, М. Л., & Хабибуллин, Р. Э. (2016). Исследование хлебопекарных свойств амарантовой муки. *Вестник Казанского технологического университета*, 19(22), 150–156. EDN: <https://elibrary.ru/XCNBSH>
5. Давыденко, Н. И. (2013). Разработка комплексной добавки для обогащения хлеба селеном и йодом. *Техника и технология пищевых производств*, 9414, 1–6. EDN: <https://elibrary.ru/PWPULB>
6. Дубровская, Н. О., & Нилова, Л. П. (2010). *Современные проблемы пищевой ценности и качества хлебобулочных изделий и возможные пути их решения* [Монография]. Изд-во Мичуринского агроуниверситета. 241 с. ISBN: 978-5-94664-201-9. EDN: <https://elibrary.ru/QNICJV>

7. Дудко, М. А., & Сокол, Н. В. (2015). Технологические особенности сортов пшеницы с высоким содержанием белка. *Евразийский Союз Ученых*, 1–2. EDN: <https://elibrary.ru/XDDZAZ>
8. Жаркова, И. М., Мирошниченко, Л. А., Звягин, А. А., & Бавыкина, И. А. (2014). Амарантовая мука: характеристика, сравнительный анализ, возможности применения. *Вопросы питания*, (1), 67–73. EDN: <https://elibrary.ru/RXDPND>
9. Кушнаренко, А. С., Васюкова, А. Т., Князева, А. С., & Курзова, А. А. (2019). Оценка биологической полноценности разработанных диетических блюд. *Все о мясе*, (6), 32–35. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2019-6-32-35>. EDN: <https://elibrary.ru/PLTQDZ>
10. Лыгденов, Д. В., Жамсаранова, С. Д., Козлова, Т. С., & Сордонова, Е. В. (2018). Разработка рецептуры и оценка потребительских свойств хлеба пшеничного, обогащенного органической формой йода и цинка. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (6), 193–199. EDN: <https://elibrary.ru/YRIYPJ>
11. Мошкин, А. В., Васюкова, А. Т., & Алексеев, А. Е. (2019). Сухие функциональные смеси с плодово-ягодными порошками для дрожжевого теста. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 81(2), 177–183. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-2-177-183>. EDN: <https://elibrary.ru/ZPPUZR>
12. Науменко, Н. В., & Ашмарина, Е. А. (2018). Влияние сырьевых компонентов на реологические характеристики теста и качество хлебобулочных изделий. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 6(1), 60–68. <https://doi.org/10.14529/food180107>. EDN: <https://elibrary.ru/RJLSTO>
13. Нилова, Л. П., Дубровская, Н. О., & Науменко, Н. В. (2007). Оптимизация качества хлебобулочных изделий, получаемых с использованием нетрадиционного сырья. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент»*, (27), 70–75. EDN: <https://elibrary.ru/KWRCXP>
14. Нилова, Л. П., Науменко, Н. В., & Калинина, И. В. (2011). Инновационный подход к оптимизации качества хлебобулочных изделий с добавленной пищевой ценностью. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент*, (18), 183–187. EDN: <https://elibrary.ru/OFAOVP>
15. Васюкова, А. Т., Тихонов, Д. А., Мошкин, А. В., Богоносова, И. А., Портнов, Н. М., & Кулаков, В. Г. (2020). Оптимизация аминокислотного состава комбинированных продуктов для школьного питания. *Вопросы детской диетологии*, 18(5), 54–65. <https://doi.org/10.20953/1727-5784-2020-5-54-65>. EDN: <https://elibrary.ru/OVINQX>

16. Орлова, О. Ю., Пилипенко, Т. В., Нилова, Л. П., & Никулина, М. В. (2015). Традиционные и перспективные растительные источники йода для обогащения пищевых продуктов. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*, (4), 1–9. EDN: <https://elibrary.ru/VCWCBB>
17. Петрик, А. А., Калманович, С. А., Мартовщук, В. И., и др. (2005). Патент № 2259396. Способ предварительной активации прессованных дрожжей. Заявка № 2004107582 от 15.03.2004.
18. Петрик, А. А. (2006). Способ предварительной активации прессованных дрожжей. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, (1), 9. EDN: <https://elibrary.ru/KVJYXH>
19. Питюрина, И. С., Евсенина, М. В., Лупова, Е. И., & Никитов, С. В. (2019). Совершенствование технологии производства пшеничного хлеба функционального назначения. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (5), 182–190. EDN: <https://elibrary.ru/MHQFUF>
20. Сокол, Н. В., Храмова, Н. С., & Гайдукова, О. П. (2011). Нетрадиционное сырье в производстве хлеба функционального назначения. *Хлебопечение России*, (1), 16–18. EDN: <https://elibrary.ru/NDYMGV>
21. Стаценко, Е. С., Литвиненко, О. В., & Корнева, Н. Ю. (2020). Разработка технологии получения обогащенного хлебобулочного изделия. *Достижения науки и техники АПК*, 34(8), 111–114. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10820>. EDN: <https://elibrary.ru/WOVYAR>
22. Феофилактова, О. В., & Пономарев, А. С. (2019). Исследование технологических свойств нетрадиционных видов муки при производстве продукции предприятий общественного питания. *Индустрия питания / Food Industry*, 4(2), 28–33. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2019-4-2-4>. EDN: <https://elibrary.ru/VXREVG>
23. Шмалько, Н. А., Дроздовская, Н. А., Чалова, И. А., & Ромашко, Н. Л. (2009). Перспективы использования амарантовой белковой муки в хлебопечении. *Техника и технология пищевых продуктов*, (1), 1–4. EDN: <https://elibrary.ru/KUFVDP>
24. Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Nutritional value of pseudocereals and their growing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.014>
25. Alvarez-Jubete, L., Auti, M., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2009). Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations. *European Food Research and Technology*, <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1184-z>. EDN: <https://elibrary.ru/AGDZIS>
26. Aoki, N. (2018). Sweet potato flour reduces hardness of gluten-free rice bread. *Food Science and Technology Research*, 24, 105–110. <https://doi.org/10.3136/fstr.24.105>

27. Aoki, N., Kataoka, T., & Nishiba, Y. (2020). Crucial role of amylose in improving the quality of gluten-free and additive-free rice bread. *Journal of Cereal Science*, 92, 102905. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102905>. EDN: <https://elibrary.ru/ZQIZFK>
28. Aprodu, I., & Banu, I. (2015). Effect of dietary fiber, water and glucose oxidase on the rheological and baking properties of gluten-free corn-based bread. *Food Science and Biotechnology*, 24, 1301–1307. <https://doi.org/10.1007/s10068-015-0167-z>. EDN: <https://elibrary.ru/ADSOJE>
29. Baldino, N., Laitano, F., Lupi, F. R., Curcio, S., & Gabriele, D. (2018). Effect of HPMC and CMC on the rheological behavior at different temperatures of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *European Food Research and Technology*, 244, 1829–1842. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3096-2>. EDN: <https://elibrary.ru/BZPOEG>
30. Belorio, M., & Gómez, M. (2020). Effect of hydration on gluten-free bread prepared with hydroxypropyl methylcellulose versus psyllium and xanthan gum. *Foods*, 9, 1548. <https://doi.org/10.3390/foods9111548>. EDN: <https://elibrary.ru/OOKCMM>
31. Borges, V. C., & Salas-Mellado, M. M. (2016). Effect of α -amylase, trehalose, sorbitol and polysorbate 80 on the quality of gluten-free bread. *International Food Research Journal*, 23, 1973–1979.
32. Bravo-Núñez, Á., Sahagún, M., & Gómez, M. (2019). Evaluation of the importance of protein interactions and hydration level in gluten-free protein-enriched breads: a new approach. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 820–828. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02258-2>. EDN: <https://elibrary.ru/MNODLZ>
33. Bravo-Núñez, Á., Sahagún, M., & Gómez, M. (2019). Evaluation of the importance of protein interactions and hydration level in gluten-free protein-enriched breads: a new approach. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 820–828. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02258-2>. EDN: <https://elibrary.ru/MNODLZ>
34. Campuzano, A., Rosell, K. M., & Cornejo, F. (2018). Physicochemical and nutritional characteristics of banana flour during ripening. *Food Chemistry*, 256, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.113>
35. Chakraborty, S. K., Gupta, S., & Kotwaliwale, N. (2016). Quality characteristics of gluten-free breads made from millet-soy flour blends. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 4308–4315. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2429-z>. EDN: <https://elibrary.ru/BSHZOZ>
36. Cai, L., Brennan, K. S., Yang, H., Li, W., & Zhao, H. (2019). Evolution of oxidative and structural characteristics of proteins, especially lipid transfer protein 1 (LTP1), in beer during forced aging. *International Journal of Food Science & Technology*, 54, 3166–3174. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14250>

37. Crockett, R., Ie, P., & Vodovotz, Y. (2011). Effect of soy protein isolate and egg white solids on the physicochemical properties of gluten-free bread. *Food Chemistry*, 129, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.030>
38. Crockett, R., Ie, P., & Vodovotz, Y. (2011). How do xanthan and hydroxypropyl methylcellulose individually affect the physicochemical properties of a model gluten-free dough? *Journal of Food Science*, <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02088.x>
39. Da Silva Graça, C., Barbosa, J. B., De Souza, M. Z., Da Silveira Moreira, A., De Mello Luvielmo, M., & De las Mercedes Salas Mellado, M. (2017). Collagen addition to gluten-free rice flour bread. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20, e2016105. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.10516>
40. El Dash, A. A. (1978). Standardized mixing and fermentation procedure for an experimental baking test [Quality, Wheat, Flour]. *Cereal Chemistry*, 55, 436–446.
41. Esteller, M. S. (2007). *Structural modifications of bakery products by thermal and biochemical treatment processes (Modificações estruturais de produtos panificados por processos de tratamentos térmico e bioquímico)* [PhD thesis]. Digital Library of Theses and Dissertations, University of São Paulo.
42. Gumul, D., Korus, A., Ziobro, R., Harangozo, L., & Tokár, M. (2017). Physical characteristics and nutritional composition of gluten-free bread with a share of freeze-dried red potatoes. *CyTA — Journal of Food*, 15, 629–638. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1331265>
43. Gutkoski, L. C., & Neto, R. J. (2002). Procedure of bread-baking laboratory tests: Bread shape. *Ciência Rural*, 32, 873–879. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000500021>
44. Han, A., Romero, H. M., Nishijima, N., Ichimura, T., Handa, A., Xu, C., & Zhang, Y. (2019). Effect of egg white solids on the rheological properties and baking performance of gluten-free dough. *Food Hydrocolloids*, 87, 287–296. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.022>. EDN: <https://elibrary.ru/YKPHNJ>
45. Hernandez-Aguirre, M. A., Islas-Hernandez, J. J., Sanchez-Pardo, M. E., Rodriguez-Ambris, S. L., & Osorio-Diaz, P. (2019). Response surface methodology for the optimization of gluten-free bread made from unripened banana flour. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 1652–1660. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00082-y>. EDN: <https://elibrary.ru/FTSGMD>
46. Horstmann, S., Beltz, M., Heitmann, M., Zannini, E., & Arendt, E. (2016). Fundamental study on the impact of gluten-free starches on the quality of gluten-free model breads. *Foods*, 5(2), 30. <https://doi.org/10.3390/foods5020030>
47. Martinez, M. M., & Gomez, M. (2017). Rheological and microstructural evolution of the most common gluten-free flours and starches during fermentation and bread making. *Journal of Food Engineering*, 197, 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.11.008>

-
48. Masure, H. G., Fierens, E., & Delcour, J. A. (2016). Current and forward looking experimental approaches in gluten-free bread making research. *Journal of Cereal Science*, 67, 92–111. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.09.009>
 49. Mezaize, S., Chevallier, S., Le Bail, A., & de Lamballerie, M. (2009). Optimization of gluten-free formulations for French-style breads. *Journal of Food Science*, 74, E140–E146. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01096.x>
 50. Mir, S. A., Shah, M. A., Naik, H. R., & Zargar, I. A. (2016). Influence of hydrocolloids on dough handling and technological properties of gluten-free breads. *Trends in Food Science & Technology*, 51, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.005>
 51. Nakash, F., Ghani, A. A., Ghani, A. A., & Masoudi, F. A. (2017). Gluten-free baking: Coping with the challenges — a review. *Trends in Food Science & Technology*, 66, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.004>
 52. Nishita, K. D., & Bin, M. M. (1979). Physicochemical properties of rice in relation to rice bread. *Cereal Chemistry*, 56, 185–189.
 53. Pico, J., Reguilon, M. P., Bernal, J., & Gomez, M. (2019). Effect of rice, pea, egg white and whey proteins on crust quality of gluten-free breads based on rice flour and corn starch. *Journal of Cereal Science*, 86, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.01.014>
 54. Pico, J., Reguilon, M. P., Bernal, J., & Gomez, M. (2019). Effect of rice, pea, egg white and whey proteins on crust quality of gluten-free breads based on rice flour and corn starch. *Journal of Cereal Science*, 86, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.01.014>
 55. Renzetti, S., Dal Bello, F., & Arendt, E. K. (2008). Microstructure, fundamental rheology and baking performance of doughs and breads made from different gluten-free flours treated with microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science*, 48, 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.07.011>
 56. Roman, L., Gomez, M., Hamaker, B. R., & Martinez, M. M. (2019). Banana starch and molecular shear fragmentation significantly increase structure-dependent slowly digestible starch in fully gelatinized bread crumb. *Food Chemistry*, 274, 664–671. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.023>
 57. Sciarini, L. S., Ribotta, D., León, A. E., & Pérez, G. T. (2012). Incorporation of multiple additives into gluten-free bread: Effects on dough properties and bread quality. *Journal of Food Engineering*, 111, 590–597. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.011>
 58. Southgate, A. N. N., Scheuer, P. M., Martelli, M. F., Menegon, L., & de Francisco, A. (2017). Quality properties of gluten-free buckwheat bread. *Journal of Culinary Science & Technology*, 15(4), 339–348. <https://doi.org/10.1080/15428052.2017.1289134>

59. Wang, Q., Lu, F., Zhao, L., & Han, S. (2017). Recent developments in gluten-free bread making: A review. *Food Science and Technology*, 37, 1–9. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.01417>
60. Weber, F. H., Collares-Queiroz, F. P., & Chang, Y. C. (2009). Physicochemical, rheological, morphological and thermal characterization of normal, waxy and high amylose maize starches. *Food Science and Technology*, 29, 748–753. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612009000400008>
61. Zannini, E., Jones, J. M., Renzetti, S., & Arendt, E. K. (2012). Functional replacements for gluten. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3, 227–245. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101203>
62. Ziobro, R., Korus, J., Witczak, M., & Juszczak, L. (2012). Effect of modified starches on the properties of gluten-free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten-free bread. *Food Hydrocolloids*, 29, 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.02.009>

References

1. Berezin, A. A. (2015). The Ginzburg–Landau chain in describing the dynamics of cell differentiation. *National Association of Scientists*, IX(14), 94–98. EDN: <https://elibrary.ru/VHXXBJ>
2. Vasyukova, A. T., Moshkin, A. V., Bogonosova, I. A., Slavyansky, A. A., & Okhotnikov, S. I. (2019). Structural and mechanical properties of sweet dough with malt from cereal and legume crops. *Bulletin of the Mari State University. Series: Agricultural Sciences. Economic Sciences*, 5(3), 290–298. <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2019-5-3-289-297>. EDN: <https://elibrary.ru/KBANWP>
3. Vasyukova, A. T., Slavyansky, A. A., Moshkin, A. V., & Novozhilov, M. P. (2019). Sensory analysis of quality indicators of bakery products made from wheat flour using various malts. In *Science and Practice — 2019. All-Russian Interdisciplinary Scientific Conference: Proceedings* (pp. 72–75). Astrakhan State Technical University. EDN: <https://elibrary.ru/PMTSES>
4. Voznyuk, E. V., Ivanchenko, O. B., Domoroshchenkova, M. L., & Khabibullin, R. E. (2016). Study of the baking properties of amaranth flour. *Bulletin of Kazan Technological University*, 19(22), 150–156. EDN: <https://elibrary.ru/XCNBSH>
5. Davydenko, N. I. (2013). Development of a complex additive for enriching bread with selenium and iodine. *Technique and Technology of Food Production*, 9414, 1–6. EDN: <https://elibrary.ru/PWPULB>
6. Dubrovskaya, N. O., & Nilova, L. P. (2010). *Modern problems of nutritional value and quality of bakery products and possible solutions* [Monograph]. Publishing House of Michurinsk Agricultural University. 241 pp. ISBN: 978-5-94664-201-9. EDN: <https://elibrary.ru/QNICJV>

7. Dudko, M. A., & Sokol, N. V. (2015). Technological features of wheat varieties with high protein content. *Eurasian Union of Scientists*, 1–2. EDN: <https://elibrary.ru/XDDZAZ>
8. Zharkova, I. M., Miroshnichenko, L. A., Zvyagin, A. A., & Bavykina, I. A. (2014). Amaranth flour: Characteristics, comparative analysis, and application possibilities. *Problems of Nutrition*, (1), 67–73. EDN: <https://elibrary.ru/RXDPND>
9. Kushnarenko, A. S., Vasyukova, A. T., Knyazeva, A. S., & Kurzova, A. A. (2019). Assessment of the biological value of developed dietary dishes. *All About Meat*, (6), 32–35. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2019-6-32-35>. EDN: <https://elibrary.ru/PLTQDZ>
10. Lygdenov, D. V., Zhamsaranova, S. D., Kozlova, T. S., & Sordonova, E. V. (2018). Development of the formulation and assessment of consumer properties of wheat bread enriched with the organic form of iodine and zinc. *Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University*, (6), 193–199. EDN: <https://elibrary.ru/YRIYPJ>
11. Moshkin, A. V., Vasyukova, A. T., & Alekseev, A. E. (2019). Dry functional mixtures with fruit and berry powders for yeast dough. *Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies*, 81(2), 177–183. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-2-177-183>. EDN: <https://elibrary.ru/ZPPUZR>
12. Naumenko, N. V., & Ashmarina, E. A. (2018). Influence of raw material components on the rheological characteristics of dough and the quality of bakery products. *Bulletin of South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 6(1), 60–68. <https://doi.org/10.14529/food180107>. EDN: <https://elibrary.ru/RJLSTO>
13. Nilova, L. P., Dubrovskaya, N. O., & Naumenko, N. V. (2007). Optimization of the quality of bakery products obtained using non-traditional raw materials. *Bulletin of SUSU. Series: Economics and Management*, (27), 70–75. EDN: <https://elibrary.ru/KWRCXP>
14. Nilova, L. P., Naumenko, N. V., & Kalinina, I. V. (2011). An innovative approach to optimizing the quality of bakery products with added nutritional value. *Bulletin of South Ural State University. Series: Economics and Management*, (18), 183–187. EDN: <https://elibrary.ru/OFAOVP>
15. Vasyukova, A. T., Tikhonov, D. A., Moshkin, A. V., Bogonosova, I. A., Portnov, N. M., & Kulakov, V. G. (2020). Optimization of the amino acid composition of combined products for school nutrition. *Problems of Pediatric Nutrition*, 18(5), 54–65. <https://doi.org/10.20953/1727-5784-2020-5-54-65>. EDN: <https://elibrary.ru/OVIHQX>
16. Orlova, O. Yu., Pilipenko, T. V., Nilova, L. P., & Nikulina, M. V. (2015). Traditional and promising plant sources of iodine for food enrichment. *Scientific Journal of ITMO University. Series: Processes and Equipment for Food Production*, (4), 1–9. EDN: <https://elibrary.ru/VCWCBB>

17. Petrik, A. A., Kalmanovich, S. A., Martovshchuk, V. I., et al. (2005). Patent No. 2259396. Method for preliminary activation of compressed yeast. Application No. 2004107582, filed March 15, 2004.
18. Petrik, A. A. (2006). Method for preliminary activation of compressed yeast. *News of Higher Educational Institutions. Food Technology*, (1), 9. EDN: <https://elibrary.ru/KVJYXH>
19. Pityurina, I. S., Evsenina, M. V., Lupova, E. I., & Nikitov, S. V. (2019). Improving the technology for producing functional wheat bread. *Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University*, (5), 182–190. EDN: <https://elibrary.ru/MHQFUF>
20. Sokol, N. V., Khramova, N. S., & Gaidukova, O. P. (2011). Non-traditional raw materials in the production of functional bread. *Bakery of Russia*, (1), 16–18. EDN: <https://elibrary.ru/NDYMGV>
21. Statsenko, E. S., Litvinenko, O. V., & Korneva, N. Yu. (2020). Development of technology for obtaining an enriched bakery product. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*, 34(8), 111–114. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10820>. EDN: <https://elibrary.ru/WOVYAR>
22. Feofilaktova, O. V., & Ponomarev, A. S. (2019). Study of the technological properties of non-traditional types of flour in the production of public catering products. *Food Industry*, 4(2), 28–33. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2019-4-2-4>. EDN: <https://elibrary.ru/VXREVG>
23. Shmalko, N. A., Drozdovskaya, N. A., Chalova, I. A., & Romashko, N. L. (2009). Prospects for using amaranth protein flour in baking. *Technique and Technology of Food Products*, (1), 1–4. EDN: <https://elibrary.ru/KUFVDP>
24. Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Nutritional value of pseudocereals and their growing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.014>
25. Alvarez-Jubete, L., Auti, M., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2009). Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations. *European Food Research and Technology*, <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1184-z>. EDN: <https://elibrary.ru/AGDZIS>
26. Aoki, N. (2018). Sweet potato flour reduces hardness of gluten-free rice bread. *Food Science and Technology Research*, 24, 105–110. <https://doi.org/10.3136/fstr.24.105>
27. Aoki, N., Kataoka, T., & Nishiba, Y. (2020). Crucial role of amylose in improving the quality of gluten-free and additive-free rice bread. *Journal of Cereal Science*, 92, 102905. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102905>. EDN: <https://elibrary.ru/ZQIZFK>
28. Aprodu, I., & Banu, I. (2015). Effect of dietary fiber, water and glucose oxidase on the rheological and baking properties of gluten-free corn-based bread. *Food*

- Science and Biotechnology*, 24, 1301–1307. <https://doi.org/10.1007/s10068-015-0167-z>. EDN: <https://elibrary.ru/ADSOJE>
29. Baldino, N., Laitano, F., Lupi, F. R., Curcio, S., & Gabriele, D. (2018). Effect of HPMC and CMC on the rheological behavior at different temperatures of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *European Food Research and Technology*, 244, 1829–1842. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3096-2>. EDN: <https://elibrary.ru/BZPOEG>
30. Belorio, M., & Gómez, M. (2020). Effect of hydration on gluten-free bread prepared with hydroxypropyl methylcellulose versus psyllium and xanthan gum. *Foods*, 9, 1548. <https://doi.org/10.3390/foods9111548>. EDN: <https://elibrary.ru/OOKCMM>
31. Borges, V. C., & Salas-Mellado, M. M. (2016). Effect of α -amylase, trehalose, sorbitol and polysorbate 80 on the quality of gluten-free bread. *International Food Research Journal*, 23, 1973–1979.
32. Bravo-Núñez, Á., Sahagún, M., & Gómez, M. (2019). Evaluation of the importance of protein interactions and hydration level in gluten-free protein-enriched breads: a new approach. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 820–828. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02258-2>. EDN: <https://elibrary.ru/MNODLZ>
33. Bravo-Núñez, Á., Sahagún, M., & Gómez, M. (2019). Evaluation of the importance of protein interactions and hydration level in gluten-free protein-enriched breads: a new approach. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 820–828. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02258-2>. EDN: <https://elibrary.ru/MNODLZ>
34. Campuzano, A., Rosell, K. M., & Cornejo, F. (2018). Physicochemical and nutritional characteristics of banana flour during ripening. *Food Chemistry*, 256, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.113>
35. Chakraborty, S. K., Gupta, S., & Kotwaliwale, N. (2016). Quality characteristics of gluten-free breads made from millet-soy flour blends. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 4308–4315. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2429-z>. EDN: <https://elibrary.ru/BSHZOZ>
36. Cai, L., Brennan, K. S., Yang, H., Li, W., & Zhao, H. (2019). Evolution of oxidative and structural characteristics of proteins, especially lipid transfer protein 1 (LTP1), in beer during forced aging. *International Journal of Food Science & Technology*, 54, 3166–3174. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14250>
37. Crockett, R., Ie, P., & Vodovotz, Y. (2011). Effect of soy protein isolate and egg white solids on the physicochemical properties of gluten-free bread. *Food Chemistry*, 129, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.030>
38. Crockett, R., Ie, P., & Vodovotz, Y. (2011). How do xanthan and hydroxypropyl methylcellulose individually affect the physicochemical properties of a model gluten-free dough? *Journal of Food Science*, <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02088.x>

39. Da Silva Graça, C., Barbosa, J. B., De Souza, M. Z., Da Silveira Moreira, A., De Mello Luvielmo, M., & De las Mercedes Salas Mellado, M. (2017). Collagen addition to gluten-free rice flour bread. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20, e2016105. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.10516>
40. El Dash, A. A. (1978). Standardized mixing and fermentation procedure for an experimental baking test [Quality, Wheat, Flour]. *Cereal Chemistry*, 55, 436–446.
41. Esteller, M. S. (2007). *Structural modifications of bakery products by thermal and biochemical treatment processes (Modificações estruturais de produtos panificados por processos de tratamentos térmico e bioquímico)* [PhD thesis]. Digital Library of Theses and Dissertations, University of São Paulo.
42. Gumul, D., Korus, A., Ziobro, R., Harangozo, L., & Tokár, M. (2017). Physical characteristics and nutritional composition of gluten-free bread with a share of freeze-dried red potatoes. *CyTA — Journal of Food*, 15, 629–638. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1331265>
43. Gutkoski, L. C., & Neto, R. J. (2002). Procedure of bread-baking laboratory tests: Bread shape. *Ciência Rural*, 32, 873–879. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000500021>
44. Han, A., Romero, H. M., Nishijima, N., Ichimura, T., Handa, A., Xu, C., & Zhang, Y. (2019). Effect of egg white solids on the rheological properties and baking performance of gluten-free dough. *Food Hydrocolloids*, 87, 287–296. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.022>. EDN: <https://elibrary.ru/YKPHNJ>
45. Hernandez-Aguirre, M. A., Islas-Hernandez, J. J., Sanchez-Pardo, M. E., Rodriguez-Ambris, S. L., & Osorio-Diaz, P. (2019). Response surface methodology for the optimization of gluten-free bread made from unripened banana flour. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 1652–1660. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00082-y>. EDN: <https://elibrary.ru/FTSGMD>
46. Horstmann, S., Beltz, M., Heitmann, M., Zannini, E., & Arendt, E. (2016). Fundamental study on the impact of gluten-free starches on the quality of gluten-free model breads. *Foods*, 5(2), 30. <https://doi.org/10.3390/foods5020030>
47. Martinez, M. M., & Gomez, M. (2017). Rheological and microstructural evolution of the most common gluten-free flours and starches during fermentation and bread making. *Journal of Food Engineering*, 197, 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.11.008>
48. Masure, H. G., Fierens, E., & Delcour, J. A. (2016). Current and forward looking experimental approaches in gluten-free bread making research. *Journal of Cereal Science*, 67, 92–111. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.09.009>
49. Mezaize, S., Chevallier, S., Le Bail, A., & de Lamballerie, M. (2009). Optimization of gluten-free formulations for French-style breads. *Journal of Food Science*, 74, E140–E146. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01096.x>

50. Mir, S. A., Shah, M. A., Naik, H. R., & Zargar, I. A. (2016). Influence of hydrocolloids on dough handling and technological properties of gluten-free breads. *Trends in Food Science & Technology*, 51, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.005>
51. Nakash, F., Ghani, A. A., Ghani, A. A., & Masoudi, F. A. (2017). Gluten-free baking: Coping with the challenges — a review. *Trends in Food Science & Technology*, 66, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.004>
52. Nishita, K. D., & Bin, M. M. (1979). Physicochemical properties of rice in relation to rice bread. *Cereal Chemistry*, 56, 185–189.
53. Pico, J., Reguilon, M. P., Bernal, J., & Gomez, M. (2019). Effect of rice, pea, egg white and whey proteins on crust quality of gluten-free breads based on rice flour and corn starch. *Journal of Cereal Science*, 86, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.01.014>
54. Pico, J., Reguilon, M. P., Bernal, J., & Gomez, M. (2019). Effect of rice, pea, egg white and whey proteins on crust quality of gluten-free breads based on rice flour and corn starch. *Journal of Cereal Science*, 86, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.01.014>
55. Renzetti, S., Dal Bello, F., & Arendt, E. K. (2008). Microstructure, fundamental rheology and baking performance of doughs and breads made from different gluten-free flours treated with microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science*, 48, 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.07.011>
56. Roman, L., Gomez, M., Hamaker, B. R., & Martinez, M. M. (2019). Banana starch and molecular shear fragmentation significantly increase structure-dependent slowly digestible starch in fully gelatinized bread crumb. *Food Chemistry*, 274, 664–671. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.023>
57. Sciarini, L. S., Ribotta, D., León, A. E., & Pérez, G. T. (2012). Incorporation of multiple additives into gluten-free bread: Effects on dough properties and bread quality. *Journal of Food Engineering*, 111, 590–597. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.011>
58. Southgate, A. N. N., Scheuer, P. M., Martelli, M. F., Menegon, L., & de Francisco, A. (2017). Quality properties of gluten-free buckwheat bread. *Journal of Culinary Science & Technology*, 15(4), 339–348. <https://doi.org/10.1080/15428052.2017.1289134>
59. Wang, Q., Lu, F., Zhao, L., & Han, S. (2017). Recent developments in gluten-free bread making: A review. *Food Science and Technology*, 37, 1–9. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.01417>
60. Weber, F. H., Collares-Queiroz, F. P., & Chang, Y. C. (2009). Physicochemical, rheological, morphological and thermal characterization of normal, waxy and high amylose maize starches. *Food Science and Technology*, 29, 748–753. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612009000400008>

61. Zannini, E., Jones, J. M., Renzetti, S., & Arendt, E. K. (2012). Functional replacements for gluten. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3, 227–245. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101203>
62. Ziobro, R., Korus, J., Witczak, M., & Juszczak, L. (2012). Effect of modified starches on the properties of gluten-free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten-free bread. *Food Hydrocolloids*, 29, 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.food-hyd.2012.02.009>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Васюкова Анна Тимофеевна, профессор кафедры биотехнологий и продовольственной безопасности
Университет Вернадского
ул. Шоссе Энтузиастов, 50, г. Балашиха, Московская область, 143907,
Российская Федерация
vasyukova-at@yandex.ru

Кусова Ирина Урузмаговна, заведующий кафедрой индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса
Университет РОСБИОТЕХ
Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Российская Федерация
ir.kusowa@yandex.ru

Суворов Олег Александрович, профессор кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса
Университет РОСБИОТЕХ
Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Российская Федерация
ir.kusowa@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anna T. Vasyukova, Professor, Department of Biotechnology and Food Security
Vernadsky University
50, Entuziastov Highway, Balashikha, Moscow Region, 143907, Russian Federation
vasyukova-at@yandex.ru
SPIN-code: 2889-1457
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7374-4145>
ResearcherID: AAX-2106-2020
Scopus Author ID: 57215827520

Irina U. Kusova, Head of the Department of Food Industry, Hotel Business and Service

University ROSBIOTECH

11, Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation

ir.kusowa@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8022-7229>

Scopus Author ID: 57191155074

Oleg A. Suvorov, Professor, Head of the Department of Food Industry, Hotel Business and Service

University ROSBIOTECH

11, Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2100-0918>

ResearcherID: W-1014-2017

Scopus Author ID: 23482727600

Поступила 15.04.2026

После рецензирования 02.06.2026

Принята 23.06.2026

Received 15.04.2026

Revised 02.06.2026

Accepted 23.06.2026