

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2556>
<https://elibrary.ru/OROAYO>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Влияние корнеплодов *Raphanus sativus* L. var. *sativus* на качественные характеристики хлебобулочных изделий



А. В. Паймулина*^{ORCID}, О. В. Голуб^{ORCID}, Г. П. Чекрыга^{ORCID},
О. К. Мотовилов^{ORCID}, П. В. Семенов^{ORCID}

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Краснообск, Россия

Поступила в редакцию: 23.06.2024
Принята после рецензирования: 11.09.2024
Принята к публикации: 01.10.2024

*А. В. Паймулина: aaaminaaa@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-4981-717X>
О. В. Голуб: <https://orcid.org/0000-0003-2561-9953>
Г. П. Чекрыга: <https://orcid.org/0000-0002-3756-1798>
О. К. Мотовилов: <https://orcid.org/0000-0003-2298-3549>
П. В. Семенов: <https://orcid.org/0009-0000-5178-4587>

© А. В. Паймулина, О. В. Голуб, Г. П. Чекрыга, О. К. Мотовилов,
П. В. Семенов, 2025



Аннотация.

Одной из тенденций в коррекции ассортимента хлебобулочных изделий является повышение их пищевой ценности за счет использования растительных ингредиентов. Редька европейская (*Raphanus sativus* L. var. *sativus*) относится к корнеплодам, химический состав которых характеризуется присутствием ценных физиологически активных соединений, глюкозинолатов, фенольных соединений и др. Однако данный корнеплод пользуется меньшей популярностью у населения из-за специфического остро-горького вкуса. Цель данной работы – изучить возможности использования продуктов переработки корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* при изготовлении хлеба из пшеничной муки.

Объектами исследования являлись образцы теста и хлеба с добавлением редьки европейской, которую вносили в количестве 5, 10 и 15 % от массы муки в измельченном и гомогенном пюреобразном виде. Хлеб хранили при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности воздуха не более 85 % в пакетах из целлофана. Методы исследований – общепринятые, стандартные. Реологические характеристики теста и мякиша хлеба определяли на текстурометре «Структурометр СТ-2» (Россия). Органолептическую оценку хлеба осуществляли при использовании 5-балльной шкалы, разработанной НИИ хлебопечения. Для определения степени влияния факторов формы, количества вносимых корнеплодов, продолжительности хранения хлеба на изменение исследуемого результативного признака органолептических, физико-химических показателей проводили дисперсионный анализ экспериментальных данных с использованием программы SNEDECOR.

Установлено, что увеличение количества добавляемого растительного сырья приводило к снижению эластичности и растяжимости теста, повышению его упругости и кислотности; тесто с добавлением корнеплодов в виде гомогенной пюреобразной массы, по сравнению с измельченной, обладало лучшими реологическими характеристиками и повышенной кислотностью; использование корнеплодов привело к сокращению процесса брожения теста в среднем на 28 мин. Полученный хлеб характеризовался специфическими органолептическими свойствами, приемлемыми физико-химическими, реологическими и микробиологическими показателями. Использование редьки европейской повысило пищевую ценность хлеба за счет клетчатки в среднем в 1,7 раза. Определены сроки хранения хлеба с добавлением корнеплодов в процентном количестве от массы муки: до 10 % – не более 72 ч, до 15 % – не более 48 ч.

Хлебобулочные изделия с добавлением редьки европейской могут быть рекомендованы потребителям, заинтересованным в продуктах с оригинальными сенсорными характеристиками и повышенной пищевой ценностью. Полученные результаты расширили область знаний об использовании нетрадиционных растительных ингредиентов в технологиях хлебобулочных изделий.

Ключевые слова. Корнеплод, редька европейская, *Raphanus sativus* L. var. *sativus*, хлеб, тесто, качество, пищевая ценность, хранение

Для цитирования: Паймулина А. В., Голуб О. В., Чекрыга Г. П., Мотовилов О. К., Семенов П. В. Влияние корнеплодов *Raphanus sativus* L. var. *sativus* на качественные характеристики хлебобулочных изделий. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 45–60. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2556>

Effect of *Raphanus sativus* L. var. *sativus* on Bakery Quality



Anastasia V. Paymulina*^{ORCID}, Olga V. Golub^{ORCID}, Galina P. Chekryga^{ORCID},
Oleg K. Motovilov^{ORCID}, Pavel V. Semenov^{ORCID}

Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia

Received: 23.06.2024
Revised: 11.09.2024
Accepted: 01.10.2024

*Anastasia V. Paymulina: aaaminaa@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-4981-717X>

Olga V. Golub: <https://orcid.org/0000-0003-2561-9953>

Galina P. Chekryga: <https://orcid.org/0000-0002-3756-1798>

Oleg K. Motovilov: <https://orcid.org/0000-0003-2298-3549>

Pavel V. Semenov: <https://orcid.org/0009-0000-5178-4587>

© A.V. Paymulina, O.V. Golub, G.P. Chekryga, O.K. Motovilov, P.V. Semenov, 2025



Abstract.

The nutritional value of bread can be increased by adding plant ingredients. The radish (*Raphanus sativus* L. var. *sativus*) is a root plant with valuable physiologically active compounds, e.g., glucosinolates, phenolics, etc. However, its bitter-spicy taste makes it commercially unpopular. The article describes a new technology of using byproducts of radish processing in wheat bread.

The research relied on standard methods and featured dough and bread samples with 5, 10, and 15% crushed and puree radish. The bread was stored in plastic bags at 20 ± 2 °C and a relative air humidity of $\leq 85\%$. The rheological characteristics of dough and breadcrumb were tested in texture analyzer Structurometer ST-2 (Russia). The sensory assessment involved a 5-point scale developed by the Research Institute of Bread Baking. A dispersion analysis (SNEDECOR) revealed the effect of application form, share of radish, and storage time on the sensory and physicochemical indicators of the finished product.

Radish reduced the elasticity and extensibility of dough but increased its resilience and acidity. The dough samples with radish puree had better a rheological profile and higher acidity than the samples with crushed radish. In addition, radish reduced the dough fermentation time by 28 min. The resulting bread demonstrated specific sensory properties but acceptable physicochemical, rheological, and microbiological parameters. Radish fiber increased the nutritional value of the finished product by 1.7 times. The shelf life was 72 h for the bread samples with $\leq 10\%$ radish and 48 h for the samples with $\leq 15\%$ radish. The new bread with *R. sativus* L. var. *sativus* might interest gourmet customers that look for new products with non-trivial sensory properties and enhanced nutritional value. The research expanded the knowledge about non-traditional plant ingredients in functional bakery.

Keywords. Root plant, radish, *Raphanus sativus* L. var. *sativus*, bread, dough, quality, nutritional value, storage

For citation: Paymulina AV, Golub OV, Chekryga GP, Motovilov OK, Semenov PV. Effect of *Raphanus sativus* L. var. *sativus* on Bakery Quality. Food Processing: Techniques and Technology. 2024;55(1):45–60. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2556>

Введение

В ежедневном рационе многих людей хлеб является одним из основных продуктов питания. Большинство хлебобулочных изделий изготавливаются из рафинированной муки, как следствие, они обладают не только положительными свойствами, такими как мягкая консистенция, светлый мякиш, хрустящая корочка, высокая усвояемость, но и отрицательными – низким содержанием биологически активных веществ (витамины, пищевые волокна, минеральные элементы и пр.), утраченных на этапе помола зерна пшеницы [1, 2]. В последние годы изменились предпоч-

тения и требования к хлебу: современный потребитель рассматривает его как продукт здорового питания [3, 4]. По вышеуказанным причинам одной из тенденций в коррекции ассортимента хлебобулочных изделий является повышение их пищевой ценности, а значит удовлетворение новых потребительских запросов, в том числе за счет использования ингредиентов различного происхождения (животного, растительного, микробиологического и пр.) в натуральном, обработанном или переработанном виде [5–8]. При изготовлении хлеба используются различные растительные компоненты [9]: нехлебные злаки и псевдозерновые [10–12];

бобовые [13–15]; масличные культуры [16–18]; фрукты, овощи, травянистые растения [19–26] и пр.

Редька европейская, или *Raphanus sativus* L. var. *sativus*, относится к корнеплодам с химическим составом, многие нутриенты которого представляют собой ценные физиологически активные соединения (пищевые волокна, тиамин, рибофлавин, аскорбиновая кислота, кальций, магний, марганец), глюкозинолаты (сульфорафен, индол-3-карбинол), фенольные соединения (катехин-(7,8-*bc*)-4 α -(3,4-дигидроксифенил)-дигидро-2-(3H)-пиранон, дельфинидин) и др. [27–32]. Из редьки, или с ее использованием, изготавливают консервы, соусы, мясную продукцию, мармелад, конфеты, чипсы, мороженое, водку и т. д. [33–35]. В настоящее время европейские подвиды редьки пользуются меньшей популярностью среди населения из-за специфического остро-горького вкуса. В отличие от них, китайские и японские подвиды, не обладающие данной органолептической характеристикой, имеют слабоострый вкус с легким оттенком горечи или вовсе без нее. Возможно, поэтому на территории нашей страны потребителям предлагается узкий ассортимент продукции с использованием или на основе редьки европейской. На 29.08.2023 задекларировано всего 3 вида салата (ЕАЭС № RU Д-RU.PA02.B.43762/22, ЕАЭС № RU Д-RU.PA07.B.77621/22, ЕАЭС № RU Д-RU.PA07.B.77706/22) и продукция сублимационной сушки (ЕАЭС № RU Д-RU.AE37.B.01662/20), согласно Единому реестру сертификатов соответствия и деклараций о соответствии.

Многие ингредиенты, используемые для производства хлеба, улучшают и облегчают различные технологические процессы, а также продлевают сроки хранения [36, 37]. Ранее исследования по применению редьки европейской в качестве рецептурного компонента при изготовлении хлебобулочных изделий не проводились. Цель работы – изучить возможности использования продуктов переработки корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* при изготовлении хлеба из пшеничной муки. Задачи: исследовать влияние различных форм и количества добавляемого растительного сырья на органолептические, физико-химические (в том числе

реологические) характеристики теста и хлеба, обозначить сроки хранения готовых хлебобулочных изделий.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования на разных этапах работы являлись:

– образец 1 (контроль) – тесто и подовый хлеб из пшеничной муки первого сорта, полученные опарным способом, в соответствии с рецептурой и технологической инструкцией для белого хлеба из муки высшего, первого и второго сортов [38];

– образцы 2–7 (опытные) – тесто и подовый хлеб из пшеничной муки первого сорта, полученные опарным способом, с внесением корнеплодов *Raphanus sativus* L. var. *sativus*.

Рецептуры контрольного и опытных образцов теста и хлеба представлены в таблице 1. Корнеплоды *R. sativus* L. var. *sativus* в измельченном виде (соломка сечением 4×3 мм) получали механическим способом с использованием протирочно-резательной машины МПР-350М-01 (Республика Беларусь). Гомогенную пюреобразную массу из корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* получали путем обработки измельченных корнеплодов в механоакустическом гомогенизаторе (Россия) при гидромодуле 1:1, мощности 100–500 Вт/кг, температуре 70–75 °С в течение 20–30 мин и стерилизации при 95–97 °С в течение 20–60 с.

Замес теста осуществляли машинным способом, используя кухонный комбайн Kenwood Chef classic KM400 (Китай), в течение 15 мин при 120–170 об/мин и температуре 30 °С. Технологические этапы брожения, расстойки и выпечки тестовых заготовок проводили с использованием пароконвектомата ЕКФ 611 СТС (Италия) согласно режимам, представленным в таблице 2 [39]. Деление и формование тестовых заготовок осуществляли ручным способом. Корнеплоды *R. sativus* L. var. *sativus* вносили на этапе замешивания теста.

Хранение контрольного и опытных образцов хлеба осуществляли при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности воздуха не более 85 % в пакетах из целлофана марки П.

Таблица 1. Рецептуры контрольного и опытных образцов теста и хлеба из пшеничной муки первого сорта, кг

Table 1. Formulations for control and experimental samples of dough and bread from first-grade wheat flour, kg

Сырье	Образец						
	1 (контроль)	2	3	4	5	6	7
Мука пшеничная первого сорта	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Корнеплоды <i>Raphanus sativus</i> L. var. <i>sativus</i> в измельченном виде	–	5,0	10,0	15,0	–	–	–
Корнеплоды <i>Raphanus sativus</i> L. var. <i>sativus</i> в гомогенном пюреобразном виде	–	–	–	–	5,0	10,0	15,0
Дрожжи прессованные	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Соль пищевая	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Вода питьевая	по расчету (влажность теста – 36,3 ± 1,0 %)						

Таблица 2. Режимы работы пароконвектомата EKF 611 CTC на технологических этапах брожения, расстойки и выпечки тестовых заготовок

Table 2. Operating modes for EKF 611 CTC combination steamer at different stages of fermentation, proofing, and baking

Параметры технологического этапа	Характеристика параметров
Брожение	
Продолжительность, мин	120
Температура, °С	30 ± 2
Пар, %	10
Конвекция (импульс-режим), %	30
Обминка через 60 мин	2 раза по 5 мин
Расстойка	
Продолжительность, мин	90
Температура, °С	37 ± 2
Пар, %	50
Конвекция (импульс-режим), %	50
Выпечка	
Продолжительность, мин	25
Температура, °С	180 ± 2
Конвекция (импульс-режим), %	100

Оценку качественных характеристик контрольного и опытных образцов теста и хлеба проводили по совокупности показателей.

Кислотность теста рассчитывали в соответствии ГОСТ 5670-96. Реологические характеристики (общую, пластическую и упругую деформацию) теста определяли на текстурометре «Структурометр СТ-2» (Россия) с использованием индентора «Цилиндр» диаметром 36 мм. Измерение проводили согласно следующему режиму работы: скорость движения индентора вниз до контакта с пробой – 0,5 мм/с при усилении касания 7 г, внедрение индентора в пробу – 0,5 мм/с до усилия 500 г, извлечение индентора из пробы – 0,5 мм/с до конечного усилия 7 г, возврат индентора в начальную точку – 1 мм/с.

Органолептическую оценку хлеба осуществляли при использовании 5-балльной шкалы, разработанной НИИ хлебопечения, с учетом коэффициентов весомости (для внешнего вида $K = 0,3$; состояния мякиша $K = 0,2$; запаха $K = 0,1$; вкуса $K = 0,4$), согласно которой устанавливали уровень качества готовых изделий (отличное – 4,7–5,0 балла; хорошее – 3,8–4,6 балла; удовлетворительное – 3,3–3,7 балла; неудовлетворительное – ниже 3,3 балла). В мякише хлеба определяли влажность, кислотность, пористость в соответствии с ГОСТ 21094-75, ГОСТ 5670-96, ГОСТ 5669-96. Удельный объем хлеба определяли как отношение объема изделия к его массе, улек хлеба – как разность между массой тестовой заготовки перед выпечкой и массой готового изделия. Крошковатость мякиша хлеба определяли методом Ройтера, набухаемость – по количеству воды, поглощаемой мякишем хлеба за 5 мин (мл на 1 г сухого вещества) [40].

Реологические характеристики (общая, пластическая и упругая деформация, эластичность) мякиша хлеба (кусочка высотой 25 мм) определяли на «Структурометр СТ-2» (Россия) с использованием индентора «Полусфера» согласно следующему режиму работы: скорость движения индентора вниз до контакта с пробой – 0,5 мм/с при усилении касания 7 г, сжатие пробы – 0,5 мм/с до усилия 500 г, реверсивное движение индентора вверх – 0,5 мм/с до конечного усилия 7 г, возврат индентора в начальную точку – 1 мм/с. Содержание сырой клетчатки в хлебе определяли в соответствии с ГОСТ 31675-2012. Содержание мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, условно патогенных бактерий (*Staphylococcus aureus*, *Proteus*, группы кишечной палочки (колиформов)), патогенных микроорганизмов, в том числе *Salmonella*, а также плесневых грибов определяли по ГОСТ 10444.15-94, ГОСТ 31746-2012, ГОСТ 28560-90, ГОСТ 31747-2012, ГОСТ 31659-2012, ГОСТ 10444.12-2013.

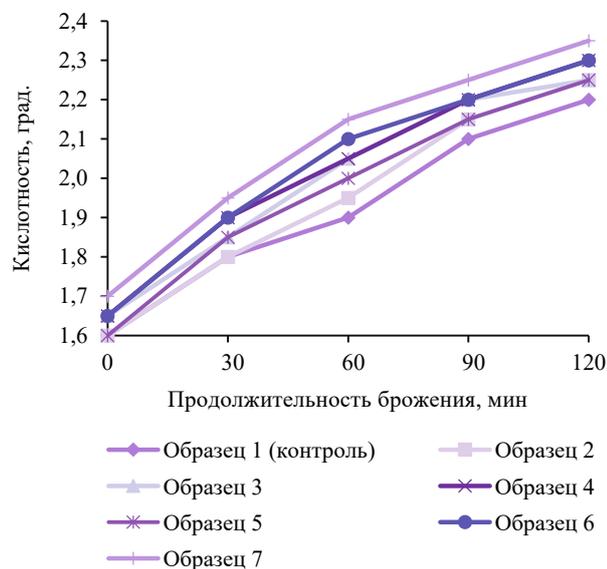
Исследование проводили в трех-пятикратной повторности с доверительной вероятностью 0,95 %. Для определения степени влияния факторов (А – форма внесения корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* (измельченные или пюреобразные); В – количество вносимых корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*; С – продолжительность процесса брожения; D – продолжительность хранения хлеба) на изменение исследуемого результативного признака органолептических, физико-химических показателей проводили дисперсионный анализ экспериментальных данных с использованием программы SNEDECOR.

Результаты и их обсуждение

Исследование влияния корнеплодов *Raphanus sativus* L. var. *sativus*, добавленных в измельченном виде и виде гомогенной пюреобразной массы, на процесс накопления кислот в ходе брожения теста представлено на рисунке 1.

Внесение растительного сырья в рецептуру хлебобулочных изделий способствовало незначительному увеличению начальной титруемой кислотности в опытных образцах, по сравнению с контрольным. При использовании растительного ингредиента в количестве 15 % от массы муки, независимо от формы его внесения, кислотность увеличивалась максимально на 0,075 град. Наибольшая кислотность была зафиксирована в образцах теста с добавлением гомогенной пюреобразной массой корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* (образцы 5–7) по сравнению с образцами, содержащими измельченные растительные ингредиенты (образцы 2–4). Эти различия, вероятно, обусловлены большей доступностью нутриентов корнеплодов в виде гомогенной пюреобразной массы для дрожжевых клеток и другой кислотообразующей микрофлоры. Интенсификация жизнедеятельности микрофлоры ускорила процесс брожения, сопровож-

дающийся образованием молочной, уксусной, пропионовой и других летучих органических кислот, которые, в свою очередь, обуславливают формирование оригинальных органолептических характеристик хлебобулочных изделий (вкус, запах, состояние мякиша). Кислотность контрольного образца теста



Примечание: образец 1 – контроль; образцы 2, 3 и 4 – с внесением корнеплодов *Raphanus sativus* L. var. *sativus* в измельченном виде в количестве 5, 10 и 15 %; образцы 5, 6 и 7 – в гомогенном пюреобразном виде в количестве 5, 10 и 15 %

Note: Sample 1 – control; Sample 2 – 5% crushed radish; Sample 3 – 10% crushed radish; Sample 4 – 15% crushed radish; Samples 5 – 5% radish puree; Sample 6 – 10% radish puree; Sample 7 – 15% radish puree.

Рисунок 1. Динамика накопления кислот в процессе брожения контрольного и опытных образцов теста

Figure 1. Acid accumulation during fermentation in control vs. experimental dough samples

по окончании процесса брожения (120 мин) составляла 2,2 град. В образцах теста с добавлением растительных ингредиентов кислотность контрольного образца достигалась быстрее: для образцов 2 и 5 – через 105 мин; 3, 4 и 6 – через 90 мин; 7 – через 75 мин.

Оценку структурно-механических свойств (общей, пластической и упругой деформации) контрольного и опытных образцов теста проводили до и после обминки по окончании процесса брожения (табл. 3).

Кривые релаксации механических напряжений контрольного и опытных образцов теста до обминки имели вид скачкообразной экспоненты, при этом резких перепадов усилия индентора при внедрении в пробу не наблюдалось, что доказывает равномерное распределение пузырьков диоксида углерода в тесте. Измерение реологических характеристик теста до обминки позволяет оценить равномерность формируемых пор в матрице, при этом невозможно определить зависимость значений пластической и упругой деформации от формы и количества добавляемого сырья.

После обминки кривые релаксации механических напряжений контрольного и опытных образцов теста носили экспоненциальный характер. Полученные реологические характеристики показали, что опытные образцы теста, независимо от формы внесения корнеплодов, имели меньшую пластичность, по сравнению с контрольным образцом, с преобладанием упругих свойств. Эти результаты могут быть связаны с взаимодействием клетчатки *R. sativus* L. var. *sativus* и белков пшеничной муки. Снижение пластической деформации имело отрицательное технологическое значение, т. к. при этом снижалась эластичность теста, что впоследствии повлияло на уменьшение удельного объема выпеченных изделий и формирование уплотненного мякиша. Внесение в рецептуру теста растительного сырья снижало значение его общей

Таблица 3. Реологические характеристики контрольного и опытных образцов теста, мм

Table 3. Rheological profile of control and experimental dough samples, mm

Деформация	Образец 1 (контроль)	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6	Образец 7
до обминки							
Общая	62,736	37,206	27,815	17,636	25,686	16,856	14,686
Пластическая	61,512	34,717	26,076	15,140	23,213	14,649	12,549
Упругая	1,224	2,489	1,739	2,496	2,473	2,207	2,137
после обминки							
Общая	20,499	16,271	12,097	11,388	14,991	14,500	14,493
Пластическая	18,439	14,610	10,116	9,360	13,158	12,340	12,199
Упругая	2,060	1,661	1,981	2,028	1,833	2,160	2,294

Примечание: образец 1 – контроль; образцы 2, 3 и 4 – с внесением корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* в измельченном виде в количестве 5, 10 и 15 %; образцы 5, 6 и 7 – в гомогенном пюреобразном виде в количестве 5, 10 и 15 %.

Note: Sample 1 – control; Sample 2 – 5% crushed radish; Sample 3 – 10% crushed radish; Sample 4 – 15% crushed radish; Samples 5 – 5% radish puree; Sample 6 – 10% radish puree; Sample 7 – 15% radish puree.

и пластической деформации: в измельченном виде – в среднем на 35,4 и 38,3 %; в виде гомогенной пюреобразной массы – в среднем на 28,5 и 31,9 % соответственно.

При анализе значимости факторов, влияющих на кислотность теста (табл. 4), установлено, что продолжительность процесса брожения оказывала наибольшее влияние (90,55 %), в отличие от формы и количества вносимых корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* – 4,28 и 3,35 % соответственно. Влияние нескольких факторов одновременно было минимальным.

При анализе значимости факторов, влияющих на реологические свойства теста после обминки (табл. 3), установлено, что наибольшее влияние оказывало количество внесенного растительного сырья: степень влияния на общую (35,77 %), пластическую (42,55 %) и упругую деформацию (66,79 %) по сравнению с их формой – 16,97, 12,83 и 30,15 % соответственно. Взаимодействие факторов, рассматриваемых в исследовании, было значительным только для общей и пластической деформации теста, их степень влияния 47,20 и 44,59 % соответственно.

При оценке органолептических показателей контрольного и опытных образцов хлеба выявлено, что внесение корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* оказывало влияние на их внешний вид, состояние мякиша и вкус (рис. 2, 3).

Результаты органолептической оценки контрольного и опытных образцов хлеба с корнеплодами через 3 ч после выпечки позволили проранжировать их по уровням качества: отличное (образцы 1, 2, 5 и 6 – суммарная оценка 4,94, 4,78, 5,00 и 4,84 балла соответственно) и хорошее (образцы 3, 4 и 7 – 4,64, 4,04 и 4,46 балла соответственно).

Контрольный образец хлеба (образец 1) через 3 ч после выпечки имел следующие характеристики: гладкая, ровная, слегка выпуклая поверхность корки равномерного золотисто-коричневого цвета без трещин и подрывов; равномерный белый мякиш с хорошей эластичностью, мелкой, равномерной пористостью с тонкими стенками, нелипкий, без комочков и следов непромеса; запах и вкус – свойственные хлебобулочным изделиям, приятные, без посторонних примесей. Через 24 ч хранения статистически значимых изменений органолептических показателей качества контрольного образца хлеба не было зафиксировано. Через 48 ч хранения наблюдалось снижение эластичности мякиша и увеличение его крошливости. Уровень качества образца снизился с отличного до хорошего. Через 72 ч хранения происходила интенсификация процессов черствения, что сопровождалось снижением объема изделия и уплотнением мякиша. Через 108 ч хранения отмечались уменьшение объема изделий и жесткий, крошливый мякиш, связанные

Таблица 4. Значимость факторов, влияющих на кислотность и реологические свойства теста, %

Table 4. Factors that affect acidity and rheological profile of dough, %

Фактор	Кислотность		Общая деформация		Пластическая деформация		Упругая деформация	
	Влияние фактора	НСР _{0,5} (p < 0,05)	Влияние фактора	НСР _{0,5} (p < 0,05)	Влияние фактора	НСР _{0,5} (p < 0,05)	Влияние фактора	НСР _{0,5} (p < 0,05)
А	4,28	1,27	16,97	12,20	12,83	8,50	30,15	9,70
В	3,35	1,56	35,77	18,10	42,55	12,50	66,79	14,30
С	90,55	2,02	–	–	–	–	–	–
АВ	0,40	2,21	47,50	0	44,59	0	0	0
АС	0,76	2,85	–	–	–	–	–	–
ВС	0,34	3,49	–	–	–	–	–	–

Примечание: А – форма внесения корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* (измельченные или пюреобразные); В – количество вносимых корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*; С – продолжительность процесса брожения; НСР – наименьшая существенная разница.

Note: A – form of application (crushed / puree); B – amount; C – fermentation time; LSD – the least significant difference.



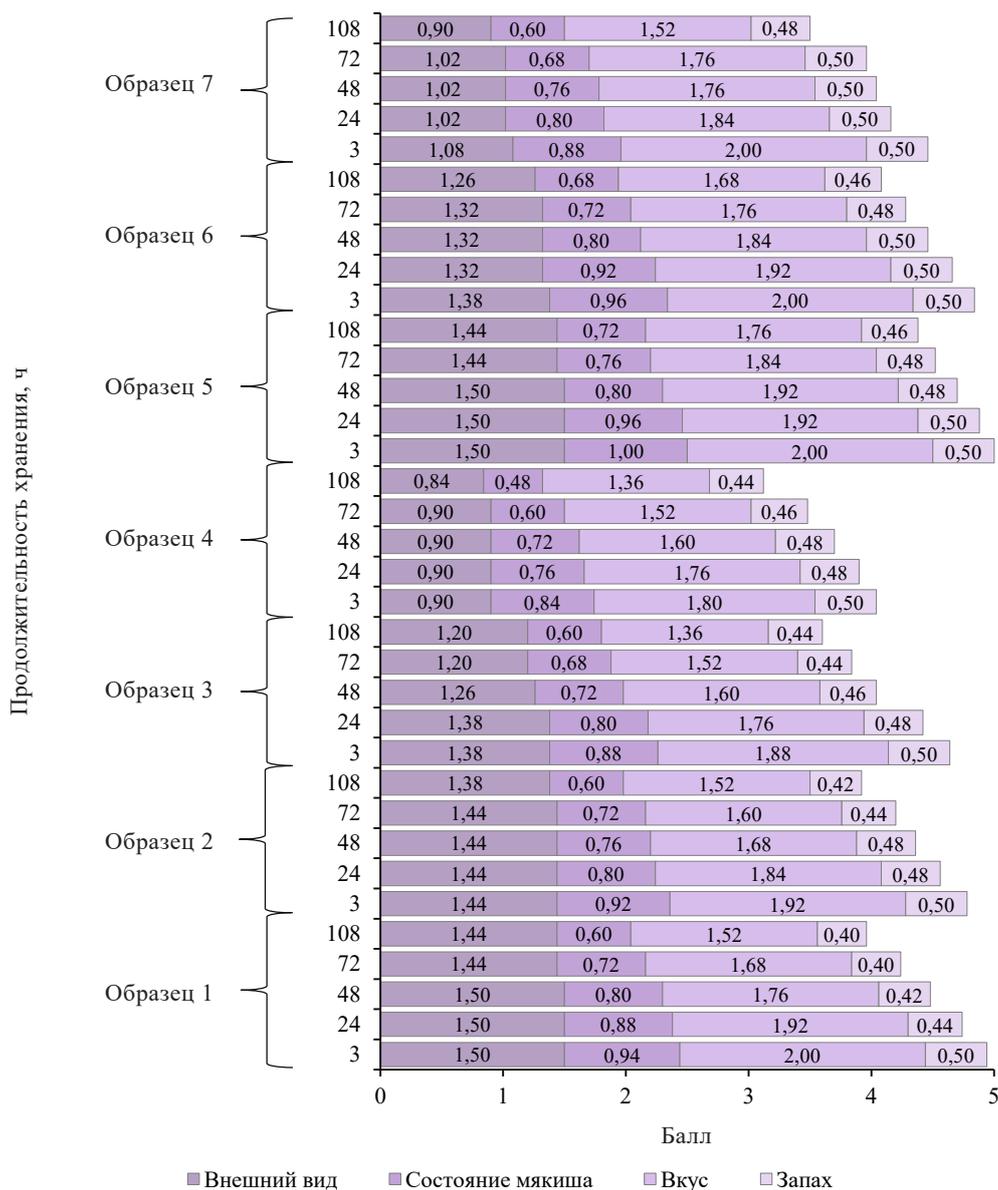
Рисунок 2. Внешний вид поверхности и мякиша контрольного и опытных образцов хлеба через 3 ч после выпечки

Figure 2. Surface and crumb of control vs. experimental bread samples, 3 h after baking

с процессами черствения. Также наблюдалось ухудшение вкуса и запаха хлеба вследствие потери летучих вкусоароматических веществ. Уровень качества контрольного образца через 108 ч хранения оставался хорошим (3,96 баллов), снижение суммарной оценки составило 0,98 балла.

Образцы с добавлением *R. sativus* L. var. *sativus* в измельченном виде (образцы 2–4) через 3 ч после выпечки представляли собой изделия округлой формы без крупных трещин и подрывов, с гладкой, но неод-

нородной поверхностью корки золотисто-коричневого цвета, с вкраплениями измельченных кусочков корнеплодов. Увеличение количества добавленного растительного сырья привело к снижению объема выпеченных изделий. Состояние мякиша варьировалось: у образца 2 практически не отличалось от контрольного и характеризовалось хорошей эластичностью, равномерным распределением пор округлой формы с тонкими стенками; у образца 3 наблюдались средняя эластичность, некрупные поры округлой формы



Примечание: образец 1 – контроль; образцы 2, 3 и 4 – с внесением корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* в измельченном виде в количестве 5, 10 и 15 %; образцы 5, 6 и 7 – в гомогенном пюреобразном виде в количестве 5, 10 и 15 %.

Note: Sample 1 – control; Sample 2 – 5% crushed radish; Sample 3 – 10% crushed radish; Sample 4 – 15% crushed radish; Samples 5 – 5% radish puree; Sample 6 – 10% radish puree; Sample 7 – 15% radish puree.

Рисунок 3. Результаты органолептической оценки контрольного и опытных образцов хлеба, балл (n = 5)

Figure 3. Sensory assessment of control vs. experimental bread samples, points (n = 5)

с тонкими стенками, распределенные равномерно; у образца 4 – средняя эластичность и неравномерная пористость с толстыми стенками. Во вкусе и аромате всех образцов хлеба присутствовали легкие ноты редьки, а при разжевывании ощущался слабый хруст корнеплодов. Через 24 ч хранения фиксировалось снижение эластичности мякиша и потеря интенсивности вкуса и запаха. У образца 2 уровень качества снизился с отличного до хорошего, у образцов 3 и 4 он остался без изменений. Через 48 ч хранения наблюдалось увеличение крошливости мякиша, ухудшение вкуса и запаха. У образца 3 было зафиксировано снижение объема, у образца 4 уровень качества снизился с хорошего до удовлетворительного, у образца 2 – без изменений. Через 72 ч хранения процессы черствения интенсифицировались. Через 108 ч хранения все изделия потеряли свой объем, мякиш стал жестким, неэластичным и крошливым, вкус и запах ослабли, сохранялись лишь легкие ноты редьки. Уровень качества через 108 ч хранения у образцов 2–4: образец 2 – хорошее (3,92 балла), образец 3 – удовлетворительное (3,6 балла), образец 4 – неудовлетворительное (3,12 балла). Снижение суммарной оценки составило 0,86, 1,04 и 0,92 балла соответственно.

Образцы с добавлением корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* в виде гомогенной пюреобразной массы (образцы 5–7) через 3 ч после выпечки имели округлую форму, с гладкой, ровной поверхностью корки золотисто-коричневого цвета без трещин и подрывов. Образцы 5 и 6 отличались увеличенным объемом, тогда как у образца 7 наблюдалась слабая выпуклость корки. Состояние мякиша также варьировалось: у образцов 5 и 6 – белый, равномерный, с хорошей эластичностью и средней тонкостенной пористостью, у образца 7 – плотный, с мелкими округлыми порами, преимущественно с толстыми стенками. Во вкусе и аромате хлеба всех образцов с пюреобразными корнеплодами отмечались приятные ноты редьки, интенсивность которых была выше, чем у образцов с измельченными корнеплодами (2–4). Через 24 ч хранения органолептические показатели качества образцов не претерпели статистически значимых изменений. Через 48 ч хранения в образце 5 отмечалась крошливость мякиша, а в образцах 6 и 7 – некоторое уплотнение. Вкус и аромат всех образцов стали менее выраженными. У образца 6 уровень качества снизился с отличного до хорошего, у образцов 5 и 7 – остался без изменений. Через 72 ч хранения процессы черствения усилились. У образца 5 уровень качества снизился с отличного до хорошего, у образцов 6 и 7 изменений уровня качества не наблюдалось. К 108 ч хранения все образцы потеряли объем, мякиш стал жестким, неэластичным и крошливым, а вкус и запах ослабли, сохранялись лишь слабые ноты редьки. При этом вкусоароматические показатели образцов 5–7 оказались выше, чем у образ-

цов с измельченными корнеплодами (2–4). Уровень качества через 108 ч: образец 5 – хорошее (4,38 балла), образец 6 – хорошее (4,08 балла), образец 7 – удовлетворительное (3,50 балла). Снижение суммарной оценки составило 0,62, 0,76 и 0,96 балла соответственно.

Результаты физико-химической оценки контрольного и опытных образцов хлеба представлены в таблице 5. Через 3 ч после выпечки показатели влажности и кислотности мякиша опытных образцов хлеба незначительно возрастали, по сравнению с контрольным, но оставались в пределах, регламентируемых ГОСТ Р 58233-2018. На этот рост, вероятно, повлияли особенности химического состава вводимого растительного ингредиента. Максимальное увеличение влажности и кислотности мякиша опытных образцов хлеба отмечено при использовании корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* в количестве 15 % от массы муки, по сравнению с контрольным: в измельченном виде – на 0,7 и 3,7 % соответственно (образец 4), в гомогенном пюреобразном виде – на 2,3 и 6,1 % (образец 7). С увеличением продолжительности хранения во всех образцах хлеба происходило снижение влажности мякиша в среднем на 12,8 % через 108 ч, связанное с процессами усыхания. Кислотность мякиша незначительно возросла, изменения статистически незначимы. При этом значения влажности и кислотности мякиша всех образцов хлеба на конец срока хранения оставались в пределах, регламентируемых нормативным документом.

Пористость мякиша и удельный объем опытных образцов хлеба ухудшались с увеличением количества вносимого растительного сырья, при этом значения пористости мякиша опытных образцов хлеба соответствовали требованиям действующей нормативной документации. Данные результаты могут быть связаны со снижением газодерживающей способности пшеничной муки при взаимодействии сульфгидрильных групп белков с нерастворимыми пищевыми волокнами корнеплодов. Это приводит к образованию неустойчивого белково-углеводного каркаса хлебной матрицы, а также к увеличению доли воды в свободном состоянии при одновременном снижении осмотически, физико-механически и адсорбционно связанной воды. Через 3 ч после выпечки наибольшее уменьшение пористости и удельного объема мякиша опытных образцов хлеба отмечено при использовании *R. sativus* L. var. *sativus* в количестве 15 % от массы муки: у образца 4 (с измельченными корнеплодами) – на 4,6 и 16,1 %, у образца 7 (с пюреобразными корнеплодами) – на 8,6 и 12,9 %. Пористость мякиша хлеба постепенно снижалась во всех образцах в течение хранения, что связано с процессами черствения и ретроградации крахмала. Через 108 ч снижение пористости составило в среднем 6,1 %. При этом образцы хлеба с добавлением корнеплодов в количестве 15 % от массы муки не соответствовали требованиям ГОСТ Р 58233-2018 по показателю пористости

Таблица 5. Физико-химические показатели контрольного и опытных образцов хлеба

Table 5. Physicochemical profile of control vs. experimental bread samples

Показатель	Продолжительность хранения, ч				
	3	24	48	72	108
Образец 1 (упек – 10,8 ± 0,4 %)					
Влажность мякиша, %	43,8 ± 0,2	43,2 ± 0,3	41,5 ± 0,2	39,9 ± 0,2	37,7 ± 0,2
Кислотность мякиша, %	1,62 ± 0,05	1,63 ± 0,05	1,64 ± 0,05	1,66 ± 0,05	1,70 ± 0,07
Пористость мякиша, %	74,2 ± 0,4	73,0 ± 0,4	72,2 ± 0,3	71,4 ± 0,4	69,9 ± 0,3
Удельный объем, см ³ /100 г	310 ± 12	302 ± 10	290 ± 10	285 ± 8	278 ± 10
Крошковатость, %	3,2 ± 0,1	3,6 ± 0,1	4,2 ± 0,1	4,8 ± 0,2	5,6 ± 0,2
Набухаемость мякиша, мл/г сухого вещества	6,8 ± 0,3	6,8 ± 0,3	6,6 ± 0,2	6,4 ± 0,2	6,3 ± 0,2
Массовая доля сырой клетчатки, %	0,21 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,21 ± 0,01
Образец 2 (упек – 9,6 ± 0,3 %)					
Влажность мякиша, %	43,9 ± 0,2	43,4 ± 0,3	41,9 ± 0,2	40,6 ± 0,2	38,1 ± 0,2
Кислотность мякиша, %	1,63 ± 0,06	1,64 ± 0,05	1,65 ± 0,05	1,68 ± 0,06	1,75 ± 0,07
Пористость мякиша, %	73,7 ± 0,3	72,6 ± 0,3	71,5 ± 0,3	70,5 ± 0,3	69,2 ± 0,3
Удельный объем, см ³ /100 г	295 ± 12	288 ± 12	280 ± 11	274 ± 10	270 ± 10
Крошковатость, %	3,3 ± 0,1	3,7 ± 0,1	4,4 ± 0,1	5,0 ± 0,2	5,7 ± 0,2
Набухаемость мякиша, мл/г сухого вещества	6,6 ± 0,3	6,6 ± 0,2	6,5 ± 0,2	6,3 ± 0,2	6,2 ± 0,1
Массовая доля сырой клетчатки, %	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,01
Образец 3 (упек – 9,3 ± 0,3 %)					
Влажность мякиша, %	44,1 ± 0,2	43,5 ± 0,3	42,1 ± 0,2	41,2 ± 0,3	38,6 ± 0,2
Кислотность мякиша, %	1,64 ± 0,06	1,65 ± 0,06	1,71 ± 0,06	1,72 ± 0,06	1,80 ± 0,07
Пористость мякиша, %	70,8 ± 0,5	69,8 ± 0,4	68,4 ± 0,4	67,1 ± 0,4	66,0 ± 0,4
Удельный объем, см ³ /100 г	280 ± 10	275 ± 10	268 ± 10	260 ± 8	254 ± 7
Крошковатость, %	3,3 ± 0,1	3,6 ± 0,1	4,4 ± 0,1	4,9 ± 0,1	5,7 ± 0,2
Набухаемость мякиша, мл/г сухого вещества	6,3 ± 0,2	6,2 ± 0,1	6,1 ± 0,1	5,9 ± 0,1	5,9 ± 0,1
Массовая доля сырой клетчатки, %	0,37 ± 0,01	0,37 ± 0,01	0,37 ± 0,01	0,37 ± 0,01	0,37 ± 0,01
Образец 4 (упек – 8,7 ± 0,3 %)					
Влажность мякиша, %	44,3 ± 0,2	43,8 ± 0,2	42,6 ± 0,2	42,0 ± 0,2	39,1 ± 0,2
Кислотность мякиша, %	1,68 ± 0,07	1,70 ± 0,07	1,72 ± 0,07	1,82 ± 0,07	1,91 ± 0,07
Пористость мякиша, %	66,4 ± 0,4	65,9 ± 0,3	65,2 ± 0,3	64,7 ± 0,3	63,6 ± 0,3
Удельный объем, см ³ /100 г	260 ± 10	254 ± 11	248 ± 10	243 ± 9	240 ± 8
Крошковатость, %	3,5 ± 0,2	3,8 ± 0,2	4,6 ± 0,2	5,2 ± 0,2	6,0 ± 0,2
Набухаемость мякиша, мл/г сухого вещества	5,9 ± 0,2	5,8 ± 0,2	5,6 ± 0,1	5,5 ± 0,1	5,4 ± 0,1
Массовая доля сырой клетчатки, %	0,45 ± 0,02	0,45 ± 0,02	0,45 ± 0,02	0,45 ± 0,02	0,45 ± 0,02
Образец 5 (упек – 10,4 ± 0,4 %)					
Влажность мякиша, %	44,0 ± 0,1	43,4 ± 0,2	42,1 ± 0,2	40,7 ± 0,2	38,3 ± 0,1
Кислотность мякиша, %	1,64 ± 0,05	1,65 ± 0,05	1,70 ± 0,06	1,73 ± 0,06	1,80 ± 0,07
Пористость мякиша, %	74,4 ± 0,4	73,2 ± 0,4	71,8 ± 0,3	71,9 ± 0,3	70,0 ± 0,3
Удельный объем, см ³ /100 г	315 ± 14	307 ± 11	300 ± 10	292 ± 8	285 ± 8
Крошковатость, %	3,2 ± 0,1	3,3 ± 0,1	3,8 ± 0,1	4,5 ± 0,1	5,3 ± 0,1
Набухаемость мякиша, мл/г сухого вещества	6,8 ± 0,3	6,8 ± 0,2	6,8 ± 0,2	6,6 ± 0,1	6,5 ± 0,1
Массовая доля сырой клетчатки, %	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,01
Образец 6 (упек – 9,7 ± 0,4 %)					
Влажность мякиша, %	44,5 ± 0,1	43,6 ± 0,2	42,6 ± 0,2	41,4 ± 0,2	38,7 ± 0,1
Кислотность мякиша, %	1,70 ± 0,08	1,72 ± 0,08	1,73 ± 0,08	1,80 ± 0,08	1,91 ± 0,08
Пористость мякиша, %	74,0 ± 0,3	72,4 ± 0,3	71,0 ± 0,3	69,3 ± 0,3	67,4 ± 0,3
Удельный объем, см ³ /100 г	290 ± 12	280 ± 11	274 ± 12	269 ± 8	264 ± 7
Крошковатость, %	3,2 ± 0,1	3,6 ± 0,1	4,3 ± 0,1	4,8 ± 0,1	5,5 ± 0,2
Набухаемость мякиша, мл/г сухого вещества	6,7 ± 0,3	6,6 ± 0,2	6,6 ± 0,2	6,4 ± 0,2	6,3 ± 0,1
Массовая доля сырой клетчатки, %	0,36 ± 0,01	0,36 ± 0,01	0,36 ± 0,01	0,36 ± 0,01	0,36 ± 0,01
Образец 7 (упек – 9,5 ± 0,4 %)					
Влажность мякиша, %	44,8 ± 0,2	44,3 ± 0,3	43,4 ± 0,2	42,5 ± 0,2	39,3 ± 0,2
Кислотность мякиша, %	1,72 ± 0,08	1,73 ± 0,08	1,74 ± 0,08	1,86 ± 0,08	1,93 ± 0,09
Пористость мякиша, %	67,8 ± 0,4	67,4 ± 0,4	66,9 ± 0,3	65,8 ± 0,3	64,5 ± 0,3
Удельный объем, см ³ /100 г	270 ± 11	266 ± 11	260 ± 10	256 ± 9	250 ± 7
Крошковатость, %	3,4 ± 0,1	3,7 ± 0,1	4,4 ± 0,1	5,0 ± 0,1	5,8 ± 0,1
Набухаемость мякиша, мл/г сухого вещества	6,4 ± 0,2	6,4 ± 0,1	6,2 ± 0,1	6,1 ± 0,1	6,0 ± 0,1
Массовая доля сырой клетчатки, %	0,43 ± 0,02	0,43 ± 0,02	0,43 ± 0,02	0,43 ± 0,02	0,43 ± 0,02

мякиша: у образца 4 несоответствие отмечено через 72 ч, у образца 7 – через 108 ч хранения. Удельный объем контрольного и опытных образцов хлеба снижался в среднем на 8,8 % через 108 ч хранения, что объясняется процессом усыхания.

Внесение *R. sativus* L. var. *sativus* в рецептуру хлеба привело к снижению значений упека и набухаемости мякиша опытных образцов, по сравнению с контрольным. Через 3 ч после выпечки наибольшее уменьшение показателей отмечено у образцов с содержанием растительного ингредиента в количестве 15 % от массы муки. В частности, у образца 4 (измельченные корнеплоды) упек и набухаемость снизились на 19,4 и 13,2 % соответственно, а у образца 7 (гомогенная пюреобразная масса) – на 12,0 и 5,9 %. Крошковатость мякиша в опытных образцах увеличивалась, по сравнению с контрольным. Через 3 ч после выпечки наибольшие значения крошковатости наблюдали у образцов с добавлением корнеплодов в количестве 15 %: у образца 4 (измельченные корнеплоды) увеличение составило 9,4 %, у образца 7 (гомогенная пюреобразная масса) – 6,3 %. В процессе хранения все образцы хлеба демонстрировали снижение способности к набуханию мякиша. Через 108 ч это снижение в среднем составило 6,4 %. Одновременно происходил рост крошковатости, которая увеличилась в среднем на 71,4 % за тот же период. Изменения упека, набухаемости и крошковатости опытных образцов хлеба, по сравнению с контрольным, объясняются высокой влагоудерживающей способностью пищевых волокон корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*.

Корнеплоды *R. sativus* L. var. *sativus* являются источником пищевых волокон, в том числе клетчатки. Включение растительного сырья в количестве 5, 10

и 15 % от массы муки, независимо от формы внесения, привело к увеличению содержания клетчатки в опытных образцах хлеба в среднем в 1,3, 1,7 и 2,1 раза, по сравнению с контрольным образцом. На протяжении всего срока хранения во всех образцах хлеба содержание сырой клетчатки оставалось неизменным.

Результаты исследования реологических характеристик контрольного и опытных образцов хлеба представлены в таблице 6.

Через 3 ч после выпечки, при увеличении количества добавляемых измельченных корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* до 5, 10 и 15 % от массы муки (образцы 2–4), мякиш хлеба становился более плотным, что сопровождалось снижением его деформации, по сравнению с контрольным образцом. Уменьшение деформации происходило в следующих пределах: общая деформация – в среднем на 19,6, 56,5 и 67,2 %; пластическая – на 30,0, 60,0 и 76,7 %; упругая деформация – на 14,5, 56,8 и 62,5 % соответственно. Аналогичные изменения наблюдались у образцов хлеба, в состав которых входили корнеплоды в виде гомогенной пюреобразной массы (образцы 6 и 7). При этом снижение деформации было следующим: общая деформация – на 16,6 и 64,9 %, пластическая – на 38,9 и 71,7 %, упругая деформация – на 5,8 и 61,6 %. Использование корнеплодов в количестве 5 % от массы муки в виде пюреобразной массы (образец 5) не приводило к значительным изменениям, мякиш сохранял высокую эластичность с минимальными изменениями деформации: общая деформация увеличилась на 12,2 %, пластическая – на 1,36 %, упругая деформация – на 17,5 %, по сравнению с контрольным образцом. Эти результаты согласуются с органолептическими показателями и значением пористости мякиша.

Таблица 6. Реологические характеристики контрольного и опытных образцов хлеба, мм

Table 6. Rheological profile of control vs. experimental bread samples, mm

Деформация	Продолжительность хранения, ч	Образец 1 (контроль)	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6	Образец 7
Общая	3	11,258	9,056	4,896	3,697	12,636	9,391	3,955
	24	7,610	3,770	3,538	2,719	8,453	4,732	3,125
	48	3,911	2,834	2,793	2,059	7,013	3,790	2,351
	72	3,471	2,563	2,413	1,784	6,212	3,397	2,119
	108	2,874	1,974	1,867	1,274	4,750	2,764	1,562
Пластическая	3	3,671	2,568	1,617	0,855	3,721	2,244	1,040
	24	4,284	0,923	0,944	0,624	2,259	1,009	0,811
	48	1,129	0,853	0,536	0,585	1,513	1,141	1,316
	72	1,074	0,786	0,610	0,567	1,450	1,085	1,112
	108	0,874	0,613	0,624	0,637	0,440	0,845	1,054
Упругая	3	7,587	6,487	3,279	2,842	8,915	7,147	2,915
	24	3,326	2,847	2,594	2,095	6,194	3,723	2,314
	48	2,782	1,981	2,257	1,474	5,500	2,649	1,035
	72	2,397	1,777	1,803	1,217	4,762	2,312	1,007
	108	2,000	1,361	1,243	0,637	4,310	1,919	0,508

С увеличением срока хранения наблюдалось снижение всех типов деформации в мякише, причем более интенсивное снижение происходило в первые 48 ч. Это может быть обусловлено тем, что связи клейковины и крахмала в хлебной матрице становятся более жесткими и переходят в стеклообразное состояние при усыхании изделий, ограничивая их дальнейшую деформацию [41]. Через 108 ч хранения в опытных образцах хлеба снижение деформации по сравнению с контрольным составило:

- общая деформация: для образца 2 – на 31,3 %, для образца 3 – на 35,0 %, для образца 4 – на 55,7 %, для образца 6 – на 3,8 %, для образца 7 – на 45,7 %;
- пластическая деформация: для образца 2 – на 29,9 %, для образца 3 – на 28,6 %, для образца 4 – на 27,1 %, для образца 5 – на 49,7 %, для образца 6 – на 3,3 %;
- упругая деформация: для образца 2 – на 32,0 %, для образца 3 – на 37,9 %, для образца 4 – на 68,2 %, для образца 6 – на 4,1 %, для образца 7 – на 74,6 %.

В образце 5, напротив, через 108 ч хранения, по сравнению с контрольным образцом, наблюдалось увеличение общей и упругой деформации на 65,3 и 115,5 % соответственно, что может быть связано с его исходными реологическими свойствами.

Контрольный и опытные образцы хлеба являются безопасными для потребления, поскольку через 3 ч после выпечки в них не были обнаружены мезофильно-аэробные, факультативно-анаэробные и патогенные микроорганизмы, а также условно патогенные бактерии (*Staphylococcus aureus*, *Proteus*, группа кишечных палочек (колиформы)) и плесневые грибы, что соответствует требованиям ТР ТС 021/2011 – не более $1,00 \times 10^3$ КОЕ/г.

После 24 ч хранения в образце хлеба 4, содержащем измельченные корнеплоды *R. sativus* L. var. *sativus* в количестве 15 % от массы муки, были выявлены мезофильные аэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы. В остальных образцах хлеба, включая контрольный, указанные микроорганизмы отсутствовали. На протяжении 72 ч хранения всех образцов

количество исследуемых микроорганизмов находилось в пределах нормы, составляя $(3,18-9,54) \times 10^2$ КОЕ/г (табл. 7). После 108 ч хранения в образцах хлеба 4 и 7, содержащих корнеплоды в количестве 15 % от массы муки, независимо от формы внесения, количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов превысило нормируемые показатели в 1,14 и 1,03 раза соответственно. В остальных образцах хлеба содержание микроорганизмов оставалось в регламентируемых пределах.

В ходе всего исследуемого периода хранения количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в опытных образцах превышало аналогичный показатель для контрольного образца в среднем в 2 раза. Содержащаяся в опытных образцах хлеба клетчатка позволяла лучше удерживать воду, способствуя тем самым развитию микроорганизмов [42].

Патогенные микроорганизмы, условно патогенные бактерии и плесневые грибы в процессе хранения как контрольного, так и опытных образцов хлеба выявлены не были. Таким образом, корнеплоды *R. sativus* L. var. *sativus* не могут быть рекомендованы в качестве биоконсервантов при производстве хлеба из пшеничной муки.

При оценивании значимости факторов, влияющих на формирование внешнего вида, влажности, кислотности, пористости мякише, удельного объема опытных образцов хлеба, а также их реологических характеристик, установлено, что количество вносимого растительного сырья оказывало на них наибольшее влияние, в отличие от формы их внесения (табл. 8). Подобная тенденция характерна и для содержания биологически активного компонента – клетчатки. В результате проведенного дисперсионного анализа установлено, что существенное влияние на формирование вкуса опытных образцов хлеба оказывала форма вносимых корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*. Состояние мякише, уpek и крошковатость опытных образцов хлеба, так же как и набухаемость мякише,

Таблица 7. Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в контрольном и опытных образцах хлеба*, КОЕ/г

Table 7. Mesophilic aerobic and opportunistic anaerobic microbial count in control vs. experimental bread samples*, CFU/g

Образец	Продолжительность хранения, ч				
	3	24	48	72	108
1 (контроль)	нет роста	нет роста	$1,36 \times 10^2$	$3,18 \times 10^2$	$6,36 \times 10^2$
2	нет роста	нет роста	$1,82 \times 10^2$	$6,36 \times 10^2$	$8,64 \times 10^2$
3	нет роста	нет роста	$8,18 \times 10^2$	$8,64 \times 10^2$	$9,09 \times 10^2$
4	нет роста	$2,27 \times 10^2$	$9,09 \times 10^2$	$9,54 \times 10^2$	$1,14 \times 10^3$
5	нет роста	нет роста	$5,45 \times 10^2$	$5,91 \times 10^2$	$7,73 \times 10^2$
6	нет роста	нет роста	$6,82 \times 10^2$	$7,73 \times 10^2$	$8,18 \times 10^2$
7	нет роста	нет роста	$8,64 \times 10^2$	$9,09 \times 10^2$	$1,03 \times 10^3$

Примечание: * норма согласно ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» – не более $1,00 \times 10^3$ КОЕ/г.

Note: *the standard according to the TR CU 021/2011 – $\leq 1,00 \times 10^3$ CFU/g.

Таблица 8. Значимость факторов, влияющих на формирование характеристик качества контрольного и опытных образцов хлеба, %

Table 8. Factors that affect the quality of control vs. experimental bread samples, %

Показатель	Фактор А		Фактор В		Фактор АВ	
	Влияние	НСП _{0,5} ($p < 0,05$)	Влияние	НСП _{0,5} ($p < 0,05$)	Влияние	НСП _{0,5} ($p < 0,05$)
Внешний вид	3,39	6,80	91,72	10,00	15,20	0
Состояние мякиша	39,76	2,80	56,08	4,20	1,70	0
Вкус	75,11	3,00	7,60	4,50	15,20	0
Запах	0	1,20	0	1,80	0	0
Влажность мякиша	28,12	1,51	60,40	2,24	7,42	0
Кислотность мякиша	10,14	1,50	57,13	2,20	31,58	0
Пористость мякиша	11,35	4,05	82,82	5,99	5,60	0
Удельный объем	18,53	9,26	77,68	1,36	0,00	0
Упек	46,20	1,51	45,53	2,24	6,51	0
Крошковатость	41,73	1,38	47,48	2,04	0,00	0
Набухаемость мякиша	47,28	1,51	45,52	2,24	4,66	0
Массовая доля сырой клетчатки	1,30	1,50	97,89	2,20	0	0
Общая деформация	20,66	0,20	66,03	0,30	13,31	0
Пластическая деформация	13,91	0,20	78,51	0,30	7,58	0
Упругая деформация	22,76	0,50	58,75	0,70	18,49	0

Примечание: А – форма внесения корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* (измельченные или пюреобразные); В – количество вносимых корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*; НСП – наименьшая существенная разница.

Note: A – form of application (crushed / puree); B – quantity; НСП – the least significant difference.

зависели от количества вносимых корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*, и от формы их внесения. Взаимодействие исследуемых факторов было значимо для кислотности мякиша опытных образцов хлеба, но практически не влияло на другие органолептические и физико-химические показатели, реологические характеристики продукции. Запах опытных образцов хлеба не зависел от исследуемых факторов.

Проведенный дисперсионный анализ с целью выявления степени влияния формы внесения корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*, количества вносимого растительного ингредиента, продолжительности хранения и их взаимодействия на изменения характеристик качества опытных образцов хлеба в процессе хранения представлен в таблице 9.

Существенное влияние на изменения внешнего вида, пористость, удельный объем опытных образцов хлеба, а также содержание в них клетчатки в процессе хранения оказывало количество вносимых корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*; на состояние мякиша, запах, влажность, кислотность, крошковатость, пластическую деформацию мякиша, количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов – продолжительность хранения; на вкус, набухаемость, общую и упругую деформацию мякиша – срок хранения и форма внесения растительного ингредиента. Взаимодействие рассматриваемых факторов на органолептические характеристики и физико-химические показатели опытных образцов хлеба практически не оказывало на них влияния.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что форма и количество добавляемых корнеплодов *Raphanus sativus* L. var. *sativus* вызывали изменения качественных характеристик теста и конечного продукта.

Увеличение количества добавляемого растительного сырья приводило к снижению эластичности и растяжимости теста, повышению его упругости и кислотности. При использовании гомогенной пюреобразной массы корнеплодов реологические характеристики теста лучше, его кислотность выше, чем при использовании измельченной массы. Отмечено, что наибольшее влияние на изменение общей и пластической деформации теста оказывало взаимодействие факторов формы и количества добавляемых корнеплодов, на изменение упругой деформации – количество добавляемых корнеплодов, на кислотность – продолжительность процесса брожения. Внесение корнеплодов способствовало сокращению времени брожения теста в среднем на 28 мин.

Хлеб с добавлением корнеплодов в виде измельченной или пюреобразной гомогенной массы, независимо от количества, характеризовали оригинальными органолептическими характеристиками, приемлемыми физико-химическими, в том числе реологическими, и микробиологическими показателями. Использование корнеплодов повышало пищевую ценность хлеба за счет клетчатки в среднем в 1,7 раза. Установлено, что количество используемых корнеплодов оказывает

Таблица 9. Значимость факторов, влияющих на изменения органолептических, физико-химических и реологических показателей, содержание мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов контрольного и опытных образцов хлеба в процессе хранения, %

Table 9. Factors that affect sensory, physicochemical, and rheological properties, as well as mesophilic aerobic and opportunistic anaerobic microbial count in control vs. experimental bread samples during storage, %

Показатель	Фактор А		Фактор В		Фактор D		Фактор АВ		Фактор AD		Фактор BD	
	Влияние	НСР _{0,5} (<i>p</i> < 0,05)	Влияние	НСР _{0,5} (<i>p</i> < 0,05)	Влияние	НСР _{0,5} (<i>p</i> < 0,05)	Влияние	НСР _{0,5} (<i>p</i> < 0,05)	Влияние	НСР _{0,5} (<i>p</i> < 0,05)	Влияние	НСР _{0,5} (<i>p</i> < 0,05)
Внешний вид	3,03	3,33	91,75	4,07	2,09	5,26	0,99	5,76	0,00	7,44	0,00	9,11
Состояние мякиша	14,93	2,13	10,94	2,61	70,08	3,37	0,00	3,69	0,81	4,76	0,00	5,83
Запах	11,93	4,78	1,77	5,86	20,54	7,56	0,00	8,28	0,00	10,69	0,00	13,09
Вкус	36,90	3,14	6,05	3,84	50,36	4,96	0,11	5,43	3,18	7,01	0,45	8,59
Влажность мякиша	0,82	7,61	4,56	9,32	93,29	12,03	0,32	1,32	0,12	1,70	0,74	2,08
Кислотность мякиша	5,89	3,07	19,60	3,77	60,72	4,86	2,76	5,33	0,00	6,88	0,00	8,42
Пористость мякиша	7,86	2,92	66,47	3,58	20,68	4,62	2,30	5,06	0,00	6,52	1,85	8,00
Удельный объем	15,41	1,32	62,75	1,61	18,47	2,09	2,64	2,29	0,00	2,95	0,25	3,62
Крошковатость	2,69	4,07	2,91	4,98	92,36	6,43	1,59	7,04	0,12	9,10	0,10	1,11
Набухаемость мякиша	38,77	2,17	43,83	2,66	12,79	3,44	3,87	3,77	0,07	4,86	0,40	5,95
Массовая доля сырой клетчатки	0,77	0,00	98,46	0,00	0,00	0,00	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Общая деформация	16,59	6,01	26,77	7,37	32,16	9,51	12,74	1,04	0,00	1,34	7,13	1,65
Пластическая деформация	16,95	2,41	13,84	2,96	32,08	13,81	0,12	4,18	0,00	5,40	25,98	6,61
Упругая деформация	15,00	5,63	29,59	6,90	29,45	8,91	17,60	9,76	0,00	1,26	1,49	5,43
КМАФАММ	0,85	1,23	6,40	1,50	72,79	1,94	1,58	2,13	1,85	2,74	6,95	3,36

Примечание: А – форма внесения корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* (измельченные или пореобразные); В – количество вносимых корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*; D – продолжительность хранения хлеба; НСР – наименьшая существенная разница.

Note: A – form of application (crushed / puree); B – quantity; НСР – the least significant difference.

наибольшее влияние на формирование внешнего вида хлеба, а также на такие показатели, как влажность, кислотность, пористость мякиша, удельный объем, реологические характеристики и содержание клетчатки. В то же время вкусовые качества хлеба в большей степени зависят от формы внесения корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus*. На состояние мякиша, упек, крошковатость и набухаемость значительное влияние оказывает как количество, так и форма внесения растительного сырья.

В результате комплексных исследований установлен срок хранения хлеба с добавлением *R. sativus* L. var. *sativus* в количестве до 10 % от массы муки – не более 72 ч. Использование корнеплодов в количестве 15 % от массы муки, независимо от формы внесения корнеплодов, снижало срок хранения хлеба на 24 ч, поскольку через 108 ч хранения отмечено ухудшение органолептических, физико-химических, в том числе реологических, характеристик и интенсивность роста мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАММ).

Таким образом, хлебулочные изделия с добавлением корнеплодов *R. sativus* L. var. *sativus* могут быть рекомендованы производителям и потребителям, заинтересованным в продуктах с оригинальными

сенсорными характеристиками и повышенной пищевой ценностью. Полученные результаты расширяют область знаний об использовании нетрадиционных растительных ингредиентов в технологиях хлебобулочных изделий, способствующих укреплению здоровья.

Критерии авторства

Авторы в равной степени внесли свой вклад в это исследование и одобрили окончательный вариант рукописи; все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for information published in this article.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interests regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Пьяникова Э. А., Ковалева А. Е., Быковская Е. И., Говядова И. А., Тараторина О. С. Разработка технологии цельнозернового хлеба с применением различных заквасок. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 4. С. 23–30. [Pyanikova EA, Kovaleva AE, Bykovskaya EI, Govyadova IA, Taratorina OS. Development of whole grain bread technology with the use of various starter cultures. Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex-Healthy Food Products. 2022;(4):23–30. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/FTTHUQL>
2. Sacak-Pietrzak G, Dziki D, Gawlik-Dziki U, Sułek A, Wójcik M, et al. Dandelion flowers as an additive to wheat bread: physical properties of dough and bread quality. Applied Sciences. 2023;13(1):477. <https://doi.org/10.3390/app13010477>
3. Стахурлова А. А., Дерканосова Н. М., Буховец А. Г. Анализ потребительских предпочтений к обогащенному хлебу с использованием методики взаимосвязи переменных. Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2021. Т. 6. № 71. С. 109–115. [Stakhurlova AA, Derkanosova NM, Bukhovets AG. Analysis of consumer preferences for enriched bread using the variables relationship methodology. Technology and the study of merchandise of innovative foodstuffs. 2021;6(71):109–115. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/IDOCWI>
4. Miolla R, Ottomano Palmisano G, Roma R, Caponio F, Difonzo G, et al. Functional foods acceptability: A consumers' survey on bread enriched with oenological by-products. Foods. 2023;12(10):2014. <https://doi.org/10.3390/foods12102014>
5. Перфилова О. В., Брыксина К. В. Технология производства овощной пасты – источника физиологически активных ингредиентов для хлеба. Пищевая промышленность. 2022. № 11. С. 38–41. [Perfilova OV, Bryksina KV. Technology for the production of vegetable paste – a source of physiologically active ingredients for bread. Food Industry. 2022;(11):38–41. (In Russ.)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.11.11.009>
6. Дерканосова Н. М., Шеламова С. А., Василенко О. А., Каширина Н. А., Стахурлова А. А. и др. Проектирование обогащенных хлебобулочных изделий с прогнозируемым уровнем. Пищевая промышленность. 2022. № 7. С. 53–58. [Derkanosova NM, Shelamova SA, Vasilenko OA, Kashirina NA, Stakhurlova AA, et al. Designing enriched bakery products with a predictable level of quality. Food Industry. 2022;(7):53–58. (In Russ.)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.7.7.010>
7. Паймулина А. В., Потороко И. Ю., Науменко Н. В., Мотовилов О. К. Сонохимическое микроструктурирование альгината натрия для повышения его эффективности в технологии хлебобулочных изделий. Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 1. С. 13–24. [Paymulina AV, Potoroko IYu, Naumenko NV, Motovilov OK. Sonochemical microstructuring of sodium alginate to increase its effectiveness in bakery. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(1):13–24. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2411>
8. Mitelut AC, Popa EE, Popescu PA, Popa ME. Trends of innovation in bread and bakery production. Trends in Wheat and Bread Making. 2021;(7):199–226. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821048-2.00007-6>
9. Wang Y, Jian C. Sustainable plant-based ingredients as wheat flour substitutes in bread making. npj Science of Food. 2022;6(1):49. <https://doi.org/10.1038/s41538-022-00163-1>
10. Шмалько Н. А. Рациональные технологии пшеничных хлебобулочных изделий с использованием амарантовой муки. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2021. № 4. С. 6–9. [Shmalcko NA. Rational technologies of wheat bakery products with the use of amaranth flour. Izvestiya Vuzov. Food Technology. 2021;(4):6–9. (In Russ.)] <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2021.4.1>
11. Adamczyk G, Ivanišová E, Kaszuba J, Bobel I, Khvostenko K, et al. Quality assessment of wheat bread incorporating chia seeds. Foods. 2021;10(10):2376. <https://doi.org/10.3390/foods10102376>
12. Coțovanu I, Ungureanu-Iuga M, Mironcusa S. Investigation of quinoa seeds fractions and their application in wheat bread production. Plants. 2021;10(10):2150. <https://doi.org/10.3390/plants10102150>
13. Шаболкина Е. Н., Анисимкина Н. В., Майстренко О. А. Изучение биохимических свойств муки зернобобовых культур (горох, соя), физических и хлебопекарных показателей теста смесей с пшеничной мукой. Зерновое хозяйство России. 2022. № 1. С. 65–69. [Shabolkina EN, Anisimkina NV, Maistrenko OA. The study of biochemical properties of legume flour (peas, soybeans), physical and baking indicators of the dough from mixtures with wheat flour. Grain Economy of Russia. 2022;(1):65–69. (In Russ.)] <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-79-1-65-69>
14. Atudorei D, Atudorei O, Codină GG. The impact of germinated chickpea flour addition on dough rheology and bread quality. Plants. 2022;11(9):1225. <https://doi.org/10.3390/plants11091225>
15. Carboni AD, Salinas MV, Puppo MC. Production of legume-wheat dough of optimum quality for breadmaking: Essential analyzes required. Current Opinion in Food Science. 2022;(49):100970. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100970>
16. Иванова Н. Н., Каргин В. И., Иванов Д. И., Данилин С. И., Ильинский А. С. Применение семян масличных культур в технологии приготовления пшеничного хлеба. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 4. С. 92–99. [Ivanova NN, Kargin VI, Ivanov DI, Danilin SI, Ilyinsky AS. The use of oilseeds in the technology of making wheat bread. Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex-Healthy Food Products. 2022;(4):92–99. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2022-4-92-99>
17. Pycia K, Pawłowska AM, Kaszuba J, Żurek N. Walnut male flowers (*Juglans regia* L.) as a functional addition to wheat bread. Foods. 2022;11(24):3988. <https://doi.org/10.3390/foods11243988>

18. Zlateva D, Stefanova D, Chochkov RM, Ivanova P. Study on the impact of pumpkin seed flour on mineral content of wheat bread. *Food Science and Applied Biotechnology*. 2022;5(2):131–139. <https://doi.org/10.30721/fsab2022.v5.i2.177>
19. Давыденко Н. И., Голуб О. В., Ульянова Г. С. Изменение антиоксидантного статуса ржано-пшеничных хлебо-булочных изделий при применении пряно-ароматического сырья. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2021. Т. 10. № 2. С. 122–126. [Davydenko NI, Golub OV, Ulyanova GS. On the use of aromatic raw materials as a source of antioxidants in the rye-wheat bread. *XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present Plus*. 2021;10(2): 122–126. (In Russ.)] <https://doi.org/10.46548/21vek-2021-1054-0023>
20. Иванова Н. Н., Каргин В. И., Иванов Д. И., Данилин С. И., Ильинский А. С. и др. Применение сушеных овощей при производстве мелкокштучных хлебобулочных изделий. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 3. С. 58–65. [Ivanova NN, Kargin VI, Ivanov DI, Danilin SI, Ilyinsky AS, et al. The use of dried vegetables in the production of small-piece bakery products. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex-Healthy Food Products*. 2022;(3):58–65. (In Russ.)] <https://www.elibrary.ru/CTPJLN>
21. Amoah I, Cairncross C, Osei EO, Yeboah JA, Cobbinah JC, et al. Bioactive properties of bread formulated with plant-based functional ingredients before consumption and possible links with health outcomes after consumption – A review. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2022;77(3):329–339. <https://doi.org/10.1007/s11130-022-00993-0>
22. Jansone L, Kruma Z, Majore K, Kampuse S. Dehydrated sauerkraut juice in bread and meat applications and bio-accessibility of total phenol compounds after in vitro gastrointestinal digestion. *Applied Sciences*. 2023;13(5):3358. <https://doi.org/10.3390/app13053358>
23. Korus A, Witczak M, Korus J, Juszcak L. Dough rheological properties and characteristics of wheat bread with the addition of lyophilized kale (*Brassica oleracea* L. var. *sabellica*) powder. *Applied Sciences*. 2023;13(1):29. <https://doi.org/10.3390/app13010029>
24. Kwon H, Lee D-U, Lee S. Lutein fortification of wheat bread with marigold powder: Impact on rheology, water dynamics, and structure. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2023;103(11):462–471. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12621>
25. Liu Y, Zhang Q, Wang Y, Xu P, Wang L, et al. Enrichment of wheat bread with *Platycodon grandiflorus* root (PGR) flour: Rheological properties and microstructure of dough and physicochemical characterization of bread. *Foods*. 2023; 12(3):580. <https://doi.org/10.3390/foods12030580>
26. Xin T, Tang S, Su T, Huang Z, Huang F, et al. Impact of replacing wheat flour with lychee juice by-products on bread quality characteristics and microstructure. *LWT – Food Science and Technology*. 2022;165:113696. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113696>
27. Битуева Э. Б., Бильтрикова Т. В. Технология мясного продукта, содержащего *Raphanus sativus* L. Все о мясе. 2015. № 2. С. 23–26. [Bituyeva EB, Biltrikova TV. Technology of the meat product containing *Raphanus sativus* L. All about meat. 2015;(2):23–26. (In Russ.)] <https://www.elibrary.ru/TSVYXT>
28. Косенко М. А. Эффективность выращивания редьки европейской зимней в Нечерноземной зоне Российской Федерации. Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 7–2. С. 173–175. [Kosenko MA. Efficiency of cultivation of european winter radish in the non-black earth zone of the Russian Federation. *International Research Journal*. 2022;(7–2):173–175. (In Russ.)] <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.121.7.070>
29. Gamba M, Asllanaj E, Raguindin PF, Glisic M, Franco OH, et al. Nutritional and phytochemical characterization of radish (*Raphanus sativus*): A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*. 2021;113:205–218. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.045>
30. Blažević I, Mastelić J. Glucosinolate degradation products and other bound and free volatiles in the leaves and roots of radish (*Raphanus sativus* L.). *Food Chemistry*. 2009;113(1):96–102. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.029>
31. Shukla S, Chatterji S, Yadav DK, Watal G. Antimicrobial efficacy of *Raphanus sativus* root juice. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2011;3(5)89–92.
32. Zhang J, Qiu X, Tan Q, Xiao Q, Mei S. A comparative metabolomics study of flavonoids in radish with different skin and flesh colors (*Raphanus sativus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020;68(49):14463–14470. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c05031>
33. Битуева Э. Б., Анцупова Т. П., Ханхалаева И. А., Ламажапова Г. П. Изменение сенсорных свойств мясных моделей при включении разных количеств *Raphanus sativus*. Вестник ВСГУТУ. 2020. № 4. С. 12–20. [Bituyeva EB, Antsupova TP, Khankhalaeva IA, Lamazharova GP. Change in sensory properties of meat models when including different amounts of *Raphanus sativus*. *ESSUTM Bulletin*. 2020;(4):12–20. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/XTPBAI>
34. Румянцева В. В., Туркова А. Ю. Совершенствование технологии использования местного сырья в производстве карамели. Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2022. № 5. С. 49–52. [Rumyantseva VV, Turkova AYU. Improvement of the technology of the use of local raw materials in the production of caramel. *Technology and the study of merchandise of innovative foodstuffs*. 2022;(5):49–52. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/PIPVCC>
35. Pardali E, Paramithiotis S, Papadelli M, Mataragas M, Drosinos EH. Lactic acid bacteria population dynamics during spontaneous fermentation of radish (*Raphanus sativus* L.) roots in brine. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2017;33(6):1–9. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2276-8>

36. Rahman M, Islam R, Hasan S, Zzaman W, Rana MR, *et al.* A comprehensive review on bio-preservation of bread: An approach to adopt wholesome strategies. *Foods*. 2022;11(3):319. <https://doi.org/10.3390/foods11030319>
37. Wang D, Wang Q, Sun Y, Qing Z, Zhang J, *et al.* Effect of insoluble dietary fiber extracted from feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret.) supplementation on physicochemical and functional properties of wheat bread. *Foods*. 2023;12(10):2019. <https://doi.org/10.3390/foods12102019>
38. Ершов П. С. Сборник рецептур на хлеб и хлебобулочные изделия. СПб.: ПРОФИ-ИНФОРМ; 2004. 192 с. [Ershov PS. Formulations for bread and bakery products. St. Petersburg: PROFI-INFORM; 2004. 192 p. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/QNFVSB>
39. Давыденко Н. И., Уржумова А. И., Шевелева Г. И., Григорьева Р. З. Влияние режимов и параметров выпечки в пароконвектомате на качество сдобных булочных изделий. *Техника и технология пищевых производств*. 2017. Т. 44. № 1. С. 11–16. [Davidenko NI, Urzhumova AI, Sheveleva GI, Grigor'eva RZ. Effect of baking modes and options in a steam-convection oven on quality of buns. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2017;44(1):11–16. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-136-142>
40. Паймулина А. В., Калинина И. В., Науменко Н. В., Потороко И. Ю. Пищевые ингредиенты направленного действия в технологии хлебобулочных. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. 2018. Т. 6. № 3. С. 22–32. [Paimulina AV, Kalinina IV, Naumenko NV, Potoroko IYu. Direct effect food ingredients in bakery products technology. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2018; 6(3):22–32. (In Russ.)] <https://doi.org/10.14529/food180303>
41. Chen Y, Parrilli A, Jaedig F, Fuhrmann A, Staedeli C, *et al.* Micro-computed tomography study on bread dehydration and structural changes during ambient storage. *Journal of Food Engineering*. 2021;296:110462. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110462>
42. Barroca MJ, Flores C, Ressurreição S, Guiné R, Osório N, *et al.* Re-thinking table salt reduction in bread with halophyte plant solutions. *Applied Sciences*. 2023;13(9):5342. <https://doi.org/10.3390/app13095342>