

Разработка обогащенных хлебобулочных изделий с использованием биотрансформации белоксодержащих растительных добавок в заквасках

А. И. Кошелева, Т. Г. Богатырева, И. Г. Белявская

Российский биотехнологический университет, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение: В хлебопекарной отрасли ключевая задача — создание качественных продуктов из разнообразного сырья для здорового питания населения. Технологии включают в себя использование добавок для улучшения качества, методы биотрансформации с заквасками и выбор ферментов с микроорганизмами. Биотрансформация изменяет сырье, давая продукт с лучшими вкусовыми качествами и пищевой ценностью. Применение заквасок требует аккуратного выбора микроорганизмов для оптимизации качества продукции.

Цель: Разработка технологии обогащенных хлебобулочных изделий путем биотрансформации соевой обезжиренной муки и протеина подсолнечника в качестве белоксодержащего растительного сырья для повышения пищевой ценности готовой продукции.

Материалы и методы: Объектами исследования в работе являлись хлебобулочные изделия, полученные с применением биотрансформации исследуемого растительного сырья, которую осуществляли чистыми культурами пробиотических микроорганизмов — мезофильными гомо- и гетероферментативными молочнокислыми и пропионовокислыми бактериями: *Lactobacillus casei*, *L.plantarum*, *L.acidophilus*, *L.fermenti*, *L.brevis*, *Propionibacterium freudenreichii subsp. Shermanii*. В исследовании использованы общепринятые стандартные методы определения органолептических и физико-химических показателей качества полуфабрикатов и готовых хлебобулочных изделий. Проводили определения показателя устойчивости к микробиологической порче разработанного хлебобулочного изделия.

Результаты: Обосновано применение в качестве источников растительного белка: полуобезжиренной соевой муки и протеина подсолнечника. На основании комплексных экспериментальных исследований, выявлен рациональный способ внесения полуобезжиренной соевой муки в закваску в количестве 25% к массе муки, заключающийся в кислотном и ферментативном гидролизе с последующей биотрансформацией бактериальной закваской на основе композиции молочнокислых микроорганизмов. Дополнительно для повышения содержания сбалансированного по аминокислотному составу белка, а также макро- и микроэлементов, витаминов и антиоксидантов, подобрана дозировка протеина подсолнечника в количестве 10 % к массе муки в рецептуре изделия.

Выводы: Разработана технология обогащенных хлебобулочных изделий, проведен расчёт пищевой ценности. Проведена комплексная оценка качества готовых изделий по органолептическим и физико-химическим показателям, а также установлен срок годности.

Ключевые слова: соевая мука; ферментативный гидролизат; бактериальная соевая закваска; протеин подсолнечника; пищевая ценность хлебобулочных изделий

Корреспонденция:

Белявская Ирина Георгиевна,
Российский биотехнологический университет,
125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11.
E-mail: belyavskaya@mgupp.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 05.01.2023

Принята: 15.03.2023

Опубликована: 30.09.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Кошелева, А.И., Богатырева, Т.Г., & Белявская, И.Г. (2023). Преобразование белоксодержащих растительных добавок путем биотрансформации в технологии хлебобулочных изделий. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 21-40. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.19>

Development of Enriched Bakery Products Using Biotransformation in Starter Cultures of Protein-Containing Vegetable Additives

Anna I. Kosheleva, Tatiana G. Bogatyreva, Irina G. Belyavskaya

Russian Biotechnological University,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction: In the bakery industry, the key task is to produce quality products from diverse raw materials for healthy public nutrition. Technologies include the use of additives to enhance quality, biotransformation methods with starters, and the selection of enzymes and microorganisms. Biotransformation modifies the raw material, resulting in a product with superior taste qualities and nutritional value. The use of starters requires careful selection of microorganisms to optimize product quality.

Materials and Methods: The objects of research in the work were bakery products obtained by biotransformation of the studied plant raw materials, which was carried out by pure cultures of probiotic microorganisms – mesophilic homo- and heterofermentative lactic acid and propionic acid bacteria: *Lactobacillus casei*, *L. plantarum*, *L. acidophilus*, *L. fermenti*, *L. brevis*, *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *Shermanii*. The work uses generally accepted standard methods for determining organoleptic and physico-chemical quality indicators of semi-finished products and finished bakery products. The indicator of resistance to microbiological spoilage of the developed bakery product was determined.

Results: The use of defatted soy flour and sunflower protein as sources of plant protein has been justified. Based on comprehensive experimental studies, a rational method was identified for introducing defatted soy flour into the starter at 25% of the flour mass, which involves acid and enzymatic hydrolysis followed by biotransformation with a bacterial starter based on a composition of lactic acid microorganisms. Additionally, to increase the content of protein balanced in amino acid composition, as well as macro and microelements, vitamins, and antioxidants, a dosage of sunflower protein was selected at 10% of the flour mass in the product recipe.

Conclusion: A technology for enriched bakery products has been developed, and the nutritional value has been calculated. A comprehensive assessment of the quality of the finished products based on organoleptic and physico-chemical indicators has been conducted, and the shelf life has been determined.

Keywords: soy flour; enzymatic hydrolysate; soy starter culture; sunflower protein; nutritional value of bakery products

Correspondence:

Belyavskaya Irina Georgievna,
Russian Biotechnological University,
11, Volokolamskoe shosse, Moscow,
Russian Federation, 125080.
E-mail: belyavskaya@mgupp.ru

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 05.01.2023

Accepted: 15.03.2023

Published: 30.09.2023

Copyright: © 2023 The Authors



To cite: Kosheleva, A.I., Bogatyreva, T.G., & Belyavskaya, I.G. (2023). Development of enriched bakery products using biotransformation in starter cultures of protein-containing vegetable additives. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 21-40. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.19>

ВВЕДЕНИЕ

Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года № 1364-р от 29 июня 2016 г ориентирована на обеспечение полноценного питания, стимулирование развития производства и обращения на рынке пищевой продукции надлежащего качества. В рамках программы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения предусмотрено расширение производства пищевых продуктов сбалансированного состава, обогащенных незаменимыми и биологически активными компонентами функционального назначения. Совершенствование технологии хлебопекарного производства на основе использования продуктов переработки зерновых и бобовых культур позволяет расширить ассортимент продукции здорового питания (Белявская, 2022).

Белки растительного и животного происхождения, поступающие с пищей, распадаются в организме человека до аминокислот, из которых затем образуются новые белки. Таким образом, белки в питании человека являются одним из основных факторов, регулярное поступление которых формирует здоровье организма человека, отражающих полноценность составов пищевых продуктов (Ауэрман, 2011). Высокой пищевой ценностью обладают белки мясных и молочных продуктов. Из растительных белков хорошо сбалансированы по аминокислотному составу белки семян бобовых культур. В них содержатся почти все незаменимые аминокислоты, наиболее дефицитные из которых — лизин, триптофан и треонин. Однако в белках семян бобовых не хватает серосодержащих аминокислот. В составе белков злаковых культур наблюдается обратная тенденция: часто не хватает лизина, треонина и триптофана, однако содержится достаточное для питания человека количество серосодержащих аминокислот. Пищевые белки бобовых и злаков хорошо дополняют друг друга и в смеси приближаются к полноценным животным белкам. Согласно рекомендациям ФАО ВОЗ и ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии» суточная норма потребления белка для взрослого человека составляет 80–100 г или 1,0–1,5 г на 1 кг массы тела (для детей — 1,5–4,0 г на 1 кг массы тела) (Тутельян, 2023). Одним из способов, направленных на борьбу с белковой недостаточностью в питании населения, является производство пищевых продуктов, обогащенных дополнительным количеством белка.

Целью данного исследования явилась разработка технологии обогащенных хлебобулочных изделий путем биотрансформации соевой обезжиренной муки и протеина подсолнечника в качестве белоксодержащего растительного сырья для повышения пищевой ценности готовой продукции.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Современные тренды создания хлебобулочных изделий

Современное создание хлебобулочных изделий направлено на повышение их биологической ценности, содержания пищевых волокон, полиненасыщенных жирных кислот, витаминов, микро- и макроэлементов и других биологически активных веществ. Их источниками являются как нетрадиционное хлебопекарное сырье: гречиха, ячмень, рис, лен, бобовые (Драчева, 2001), масличные культуры (Гершончик, 2022), так и пророщенные зерна зерновых и бобовых культур (Богатырева, 2011).

Проблемы использования нетрадиционного растительного сырья

Использование нетрадиционных видов растительного сырья в технологиях хлебопекарного производства требует специализированного подхода к его переработке. При непосредственном добавлении зерновых, крупяных и семенных масс возникают определенные трудности на стадии приготовления полуфабрикатов, что связано со степенью измельчения, высокой водопоглотительной способностью, слишком высокой или слишком низкой ферментативной активностью, отсутствием структур, образующих клейковину. Такие отличительные свойства сырья отрицательно сказываются на процессах замеса, брожения, разделки, формовки мучных полуфабрикатов и выпечки готовых хлебобулочных изделий. Органолептические и физико-химические показатели выпеченных изделий не отвечают нормативным и потребительским требованиям.

Преимущества использования обогащающих добавок натурального происхождения

Использование обогащающих добавок натурального происхождения способствует увеличению белковой, витаминной, минеральной ценности хлеба, увеличению содержания пищевых волокон, снижению энергетической ценности готовой продукции. Внесение натуральных добавок имеет преимущества перед использованием химических улучшителей, композитных смесей, поскольку в таком виде макро- и микронутриенты находятся в естественных пропорциях и более эффективно усваиваются организмом человека (Yang, 2021).

Процесс биотрансформации растительного сырья основан на применении кислотообразующей микрофлоры с целью последующего использования ферментативных гидролизатов в пищевых технологиях различных отраслей промышленности. Под влиянием комплексной ферментативной переработки сырья происходит глубокая деструкция клеточных стенок и отдельных структурных компонентов, например, сложные полисахариды — пектиновые вещества, целлюлоза, гемицеллюлоза — расщепляются до простых сахаров и аминокислот, которые используются в биосинтезе микроорганизмов (Белявская, 2022).

Биологическая конверсия ячменной муки

В хлебопекарной промышленности России технология хлебопекарного производства характеризуется использованием стартерных культур молочнокислых, пропионовых бактерий и дрожжей видов *Saccharomyces cerevisiae* и *Saccharomyces minor*, которые применяются в виде пшеничных и ржаных заквасок. Закваски обладают следующими функциями: стабилизация реологических свойств полуфабрикатов, предотвращение микробиологической порчи, улучшение вкуса и запаха готовых изделий (Богатырева, 2014).

Реализацию биологической конверсии можно рассмотреть на примере ячменной муки, которая применяется только в смеси с ржаной или пшеничной мукой. При замесе в чистом виде ячменная мука дает малоэластичное, плотное тесто с низкой газоудерживающей способностью, из-за чего хлеб получается малообъемный с неразвитой пористостью. Это связано с наличием большого количества слизистых веществ и медленно

протекающим процессом образования клейковинного комплекса. Для образования однородной структуры теста, необходима высокая температура применяемой воды и более длительное время для его созревания. Исследования, направленные на предварительную обработку ячменной муки специально подобранной композицией микроорганизмов, позволило интенсифицировать процессы кислотонакопления и газообразования в тесте, что благоприятно отразилось на реологических показателях полуфабрикатов и качестве готовых изделий (Богатырева, 2013).

Применение сои в пищевой промышленности

Соевая мука и протеин подсолнечника являются перспективными ингредиентами для преобразования рецептуры хлебобулочных изделий для здорового питания (Teleky, 2020, Zhou, 2018). В России практикуется применение продуктов переработки сои в различных отраслях пищевой промышленности. Получило развитие применение соевой муки в производстве композитных улучшителей для хлеба и хлебобулочных изделий (Драчева, 2001). Соевое масло широко используют для приготовления маргарина, шортингов, майонеза и других высококалорийных продуктов питания (Зеленцов, 2006). Пищевыми продуктами, вырабатываемыми из сои, являются: соевое молоко, соевая мука, тофу, текстурированный соевый белок, изоляты соевого белка, соевые концентраты. В пищевой промышленности широко применяется обезжиренная соевая мука для приготовления хлебобулочных и кондитерских изделий (Zhou, 2018). Реже используется соевый шрот в качестве пищевой добавки в мучные и сахаристые кондитерские изделия как заменитель орехов и ядер семян масличных культур (Otegbayo, 2018). Соя является экономически выгодной культурой, которая пользуется устойчивым спросом на мировом рынке (Типсина, 2021).

Установлено, что добавление обезжиренной соевой муки к пшеничной в количестве 3–5 % положительно влияет на качество получаемого хлеба: улучшается внешний вид изделий, увеличивается пористость, процесс черствения хлеба замедляется (Ефремова, 2020). Известны работы по замене меланжа на продукты ферментативного гидролиза соевой муки в технологии производства кексов. Применение соевой гидролизованной муки позволяет интенсифицировать процесс брожения теста и сократить время его приготовления,

а также приводит к замедлению процесса черствения кексов (Милорадова, 2013). Соевые концентраты и изоляты, характеризуются высокой долей белка (до 90 % на сухое вещество) и высокой степенью его очистки от других компонентов: жиров, углеводов и пищевых волокон. Белки в таком виде лучше усваиваются организмом человека, а также обладают высокими показателями влаго- и жиросвязывающей способности, пено- и эмульгирующей способности и в пищевых технологиях выполняют роль текстурообразователей. Соевый изолят можно комбинировать с другими видами белка для оптимизации аминокислотного состава композиции, например, с сывороточным изолятом или сухой пшеничной клейковиной (Алехина, 2020).

Проводились исследования в области применения белковых соевых концентратов. Текстураты используются как заменитель мяса в кулинарии. Изоляты соевого белка применяются в качестве добавок в мясной продукции, хлебобулочных изделиях и замороженных десертах. Гидролизаты (продукты с частично расщепленным белком) являются питательной средой для дрожжей, используются в косметической промышленности и применяются как пищевые добавки для спортивного питания (Бычкова, 2021). Соевый белок получает все большее признание как высокопитательный, функциональный и рентабельный пищевой ингредиент, позволяющий увеличить пищевую ценность готовой продукции (Петибская, 2012).

Внесение соевой муки в рецептуру пшеничного хлеба способствует увеличению удельного объема хлеба на 10–15 %, обогащает состав хлеба полноценным белком на 20–50 %. Внесение соевой муки способствует увеличению такого показателя как водопоглощательная способность теста. Изделия, изготовленные с добавлением соевой муки, характеризовались более интенсивной окраской корки за счет большего количества продуктов реакции меланоидинообразования. Изделия с частичной заменой пшеничной муки на соевую характеризуются улучшенными органолептическими и основных физико-химических показателей хлеба, более длительным сроком сохранения свежести (Мхитарянц, 2020).

Проводились экспериментальные исследования по использованию молочнокислых бактерий и дрожжей в заквасках для теста из пшеничной муки, обогащенного соевой мукой. В результате исследования был сде-

лан вывод о том, что ферментация на закваске позволяет улучшить питательные качества хлеба и увеличить срок хранения (Masure, 2019). Также возможно внесение соевой окары (побочный продукт, образующийся после выработки соевого молока) в рецептуру хлебобулочных изделий. Окара в своем составе содержит около 5 % белка, 4 % жира, является источником железа и пищевых волокон. Белок соевой окары является более полноценным, чем белок пшеницы, благодаря этому внесение окары оказывает положительный эффект на пищевую и биологическую ценность хлеба (Куницына, 2022).

В настоящее время интерес к сое как сельскохозяйственной культуре третьего тысячелетия растет и в связи с ее высокой экологичностью. Благодаря своей способности связывать атмосферный азот, она в большей степени обеспечивает защиту окружающей среды. Происходит дополнительное питание растения азотом за счет связывания атмосферного азота и поглощения минерального азота из почвы: нет необходимости вносить синтетические азотные удобрения, способные вызывать загрязнение подземных вод (Федотов, 1998).

Изолят подсолнечного шрота

Положительный эффект оказало внесение в рецептуру хлеба изолята подсолнечного шрота (Sa, 2021). Изолят вносился в виде белково-жировой эмульсии, при его введении пористость мякиша увеличилась на 4 %, удельный объем — на 5,3 %, формоустойчивость — на 4,7 %, содержание белка — на 19 %. При этом улучшается аминокислотный состав композиции: содержание большинства незаменимых аминокислот увеличилось на 12–13 %, содержание валина на 16 % и метионина на 20 % (Гершончик, 2022).

Функциональные ингредиенты для создания хлебобулочных изделий здорового питания

Соевая мука и протеин подсолнечника являются перспективными функциональными ингредиентами для преобразования рецептуры хлебобулочных изделий при создании продукции здорового питания. Подтверждением целесообразности использования соевой полуобезжиренной муки и протеина подсолнечника в технологии хлебобулочных изделий являются данные химического состава, представленные в Таблицах 1–3.

Таблица 1

Сравнительный химический состав пшеничной и соевой муки по основным питательным веществам

Наименование показателя	Количество в 100 г муки	
	пшеничной хлебопекарной высшего сорта	соевой полуобезжиренной
Белки, г	10,3	43,0
Жиры, г	1,1	9,5
Углеводы, г	74,2	19,1
Крахмал, г	70,6	—
Пищевые волокна, г	3,5	14,5
Зола, г	0,5	4,9
Na, мг	3	5
K, мг	122	1600
Ca, мг	18	217
Mg, мг	16	200
P, мг	86	600
Fe, мг	1,2	9,0
β-каротин, мкг	0	50
B ₁ , мг	0,17	0,83
B ₂ , мг	0,04	0,24
PP, мг	1,2	2,1
ТЭ, мг	1,5	1,5
НЭ, мг	3,0	11,3

Из представленных данных следует, что в соевой полуобезжиренной муке растительного белка содержится на 32,7 %, жира на 8,4 %, пищевых волокон на 11 % больше, а углеводов на 55,1 % меньше по сравнению с пшеничной мукой высшего сорта.

Представленный в таблице 2 аминокислотный состав белков соевой и пшеничной муки показывает, что содержание незаменимых аминокислот в соевой муке в 1,5–2,0 раза выше по сравнению с пшеничной мукой.

Соя является не только источником белка, но и жиров (соевое масло), содержание которого в семенах колеблется от 16 до 27 %. Отличительной особенностью сои является самое высокое содержание фосфолипидов по сравнению с другими культурами. Фосфолипиды обладают антиоксидантной активностью, способствуют регенерации мембран, увеличивают детоксикацион-

Таблица 2

Аминокислотный состав соевой и пшеничной муки

Наименование аминокислоты	Количество аминокислоты в муке, г/100 г	
	пшеничной хлебопекарной высшего сорта	соевой полуобезжиренной
Аргинин	0,63	2,61
Валин	0,58	1,74
Гистидин	0,28	1,02
Изолейцин	0,52	1,64
Лейцин	0,97	2,75
Лизин	0,34	2,18
Метионин	0,18	0,68
Треонин	0,37	1,51
Триптофан	0,14	0,65
Фенилаланин	0,62	1,69

Таблица 3

Химический состав и степень удовлетворения суточной потребности при потреблении протеина подсолнечника

Наименование	Количество в 100 г	Среднесуточная норма потребления	Удовлетворение суточной потребности при потреблении 100 г, %
Энергетическая ценность, ккал	449	2500	18,0
Белки, г	82,5	75	110,0
Жиры, г	4,6	83	5,5
Углеводы, г	3,4	365	0,9
Витамины			
Витамин B ₁ , тиамин, мг	0,64	1,4	45,7
Витамин B ₆ , пиридоксин, мг	0,54	2	27,0
Витамин B ₉ , фолаты, мкг	0,11	200	0,1
Витамин E, альфа токоферол, мг ТЭ	3,72	10	37,2
Макроэлементы			
Калий, мг	1150	3500	32,9
Кальций, мг	110	1000	11
Магний, мг	200	400	50
Натрий, мг	110	2300	4,8
Фосфор	480	800	60
Микроэлементы			
Железо, мг	12,9	14	92,1

ную способность печени, снижают у больных диабетом потребность в инсулине, предотвращают дегенеративные изменения в нервных клетках, мышцах, способствует укреплению капилляров. Ненасыщенные, в том числе и полиненасыщенные (ПНЖК) жирные кислоты преобладают в соевом масле (86–87% от общего количества). К биологически активным веществам соевого масла относятся также токоферолы, обладающие выраженными антиокислительными свойствами (Смагина, 2011). Характерной особенностью сои является невысокое содержание углеводов. Углеводы в сое представлены растворимыми сахарами: моносахаридами (глюкоза, фруктоза), дисахаридом сахарозой, трисахаридом рафинозой и тетрасахаридом стахиозой, а также гидролизруемыми полисахаридами (крахмалом и др.) и нерастворимыми структурными полисахаридами (гемицеллюлозой, пектиновыми веществами и др.). Фракция растворимых углеводов на 99% представлена олигосахаридами сахарозой, рафинозой и стахиозой, в состав которых входят молекулы глюкозы, фруктозы и галактозы.

Ингибиторы

Несмотря на высокое содержание белка и отдельных аминокислот соевая мука содержит вещества, оказывающие ингибирующие действие на протеолитические ферменты в организме человека и снижает уровень их потребления. Ингибиторы протеаз составляют 5–10% от общего количества белка в семенах сои. Отличительной особенностью этих веществ является установленное взаимодействие с ферментами, предназначенными для расщепления белков (трипсином, пепсином), при этом они образуют устойчивые комплексы, лишённые ферментативной активности. Результатом такой блокады является снижение уровня усвоения белковых веществ рациона. Попадая в желудок, часть ингибиторов (30–40%) теряет свою активность, но наиболее устойчивые достигают двенадцатиперстной кишки в активной форме и могут ингибировать ферменты, вырабатываемые поджелудочной железой (Кан, 2010).

К ингибиторам протеолитических ферментов относятся лектины, уреазы, липоксигеназы. Лектины (фитогемагглютенины) представляют собой гликопротеины, которые составляют от 2 до 10% всего белка сои и хорошо извлекаются водой или спиртом. Уреаза — фермент, который осуществляет гидролитическое расщепление мочевины с образованием аммиака

и углекислого газа. В цельных семенах сои доля уреазы может достигать 6% от количества всех белков. Липоксигеназа — фермент, содержащийся в сое и играющий большую роль в окислении липидов (Риццо, 2015). Ингибирующая активность трипсина и пепсина соевой муки может быть снижена за счёт предварительного кислотного, ферментативного гидролиза с последующей биотрансформацией кислотообразующими микроорганизмами.

Протеин подсолнечника

Химический состав протеина подсолнечника, в основном, представлен растительным белком (82%) с полным спектром незаменимых и заменимых аминокислот (Таблица 4). Обнаруженная в протеине из семян подсолнечника хлорогеновая кислота обладает высокой антиоксидантной активностью, которая в 27 раз превосходит активность флавоноида нарингенина. Эффективность проявления антиоксидантных свойств различных кислот можно представить по следующей схеме: кофейная кислота > феруловая кислота > хлорогеновая кислота >> нарингенин (Shchekoldina, 2014). Таким образом, обезжиренная соевая мука и протеин подсолнечника являются ценными источниками растительного белка и могут быть использованы в рецептуре для разработки хлебобулочного изделия.

Таблица 4

Аминокислотный состав белков протеина подсолнечника

Наименование незаменимой аминокислоты	Количество, г/100 г белка	Наименование заменимой аминокислоты	Количество, г/100 г белка
Аргинин	7,84	Аланин	2,92
Валин	4,58	Аспарагиновая кислота	8,61
Изолейцин	3,76	Глицин	4,73
Лейцин	5,55	Глутаминовая кислота	24,72
Лизин	6,53	Пролин	3,51
Метионин	1,71	Серин	3,63
Треонин	2,95	Тирозин	2,29
Триптофан	1,43		
Фенилаланин	4,67		

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на кафедре зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)».

Материалы

Объектами исследования являлись хлебобулочные изделия, полученные с применением биотрансформации исследуемого растительного сырья, которую осуществляли чистыми культурами пробиотических микроорганизмов — мезофильными гомо- и гетероферментативными молочнокислыми и пропионовокислыми бактериями: *Lactobacillus casei*, *L.plantarum*, *L.acidophilus*, *L.fermenti*, *L.brevis*, *Propionibacterium freudenreichii subsp. Shermanii*.

В качестве сырья использовали муку пшеничную хлебопекарную высшего сорта по ГОСТ 26574–2017, дрожжи хлебопекарные прессованные по ГОСТ Р 54731–2011, сахар белый по ГОСТ 33222–2015, маргарин по ГОСТ 32188–2013, соль пищевую сорта экстра по ГОСТ Р 51574–2018, кислоту лимонную по ГОСТ 908–2004, муку соевую дезодорированную полуобезжиренную по ГОСТ 3898–56, протеин подсолнечника в соответствии с СТО 33403405–001-2020, ферментные препараты Глюзим Моно 10000 БГ, обладающий глюкозооксидазной активностью, Пентопан 500 БГ — ксиланазной активностью и Фунгамил 2500 БГ — амилазной активностью.

Оборудование

В качестве оборудования использовали лабораторное оборудование: весы, тестомесильную машину спиральную электрическую ТМС- 40НН-1Р (серии LIGHT), шкаф АВАТ ШРТ-12 без использования пароувлажнения для брожения полуфабрикатов и с пароувлажнением для расстойки тестовых заготовок, конвекционную печь КЭП-4Э.

Методы

В работе использованы общепринятые стандартные методы определения органолептических и физико-химических показателей качества полуфабрикатов и готовых хлебобулочных изделий.

Биотрансформацию соевой полуобезжиренной муки осуществляли с использованием предварительного кислотного гидролиза лимонной кислотой в сочетании с биохимическим воздействием ферментными препаратами ксиланазного и амилазного действия водно-мучной суспензии всего объема полуобезжиренной соевой муки с последующим добавлением смеси гомо- и гетероферментативных молочнокислых и пропионовых бактерий.

Тесто замешивали на электрической тестомесильной спиральной машине в течение 5–7 минут. Соль пищевую и сахар белый вносили в растворенном виде, дрожжи прессованные хлебопекарные в виде суспензии, дополнительные компоненты в соответствии с рецептурами. Этап брожения теста проводили в шкафу АВАТ ШРТ-12 без использования пароувлажнения при температуре 30–32 °С, во время брожения тесто подвергали обминке через час. Тесто разделяли на куски массой 400 г, укладывали в формы для выпечки, которые помещали в расстоечный шкаф АВВТ ШРТ-12 с применением пароувлажнения при температуре 35–38 °С и относительной влажности воздуха 75–80 %. Готовность тестовых заготовок к выпечке определяли по органолептическим показателям. После расстойки тестовые заготовки выпекались в конвекционной печи КЭП-4Э при $T = 210\text{--}180\text{ }^{\circ}\text{C}$, в течение 20 мин — подовый, 25 мин — формовой. После выпечки контрольные и опытные образцы хлебобулочных изделий охлаждали до температуры $25 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. В готовых образцах исследовали показатели качества: органолептические показатели качества (внешний вид, состояние мякиша, вкус и запах) и физико-химические (масса изделия через 1 час выпечки, объем, формоустойчивость, влажность мякиша, реологические свойства мякиша).

Готовые изделия упаковывались в полипропиленовые пакеты на упаковочном аппарате «Термопак». Определение показателя устойчивости к микробиологической порче хлебобулочных изделий проводили визуальным методом, оценивая его поверхность при хранении.

Определение показателей пищевой ценности хлебобулочных изделий осуществляли расчетным способом по стандартным методикам. Наличие хлорогеновой кислоты устанавливали по характерному окрашиванию проб с протеином подсолнечника в щелочной среде.

Полученные в трехкратной повторности экспериментальные результаты исследований обрабатывали статистическими методами в программе Matstat и представляли средним арифметическим значением.

Процедура исследования

На первом этапе исследований определяли влияние соевой полуобезжиренной муки в количестве 25 % при однофазном способе тестоприготовления, а также применения ферментных препаратов, обладающих глюкозооксидазной и ксиланазной активностью, на показатели качества и микробиологическую устойчивость хлебобулочных изделий при хранении.

На втором этапе исследований приготовление теста проводили с внесением предварительно приготовленного ферментативного соевого гидролизата. Ферментативный гидролизат соевой муки готовили следующим образом: соевую муку смешивали с водой с температурой 40 °С в соотношении 1 : 2, тщательно перемешивали и вносили по 1 см³ предварительно разведённых ферментных препаратов глюкозооксидазного и ксиланазного действия из расчета 2 мг на 100 г муки. Ферментативное воздействие проводили в термостате при 40 °С в течение 2 ч. Проводили сравнительную оценку показателей качества хлебобулочных изделий.

На третьем этапе исследовали влияние способа введения соевой муки в рецептуру изделия путем биотрансформации под влиянием комбинации гомо- и гетероферментативных молочнокислых и пропионовых бактерий в различных соотношениях. Для получения бактериальной закваски полуобезжиренную соевую муку смешивают с водой с температурой 38–40 °С с гидро модулем 1:2–1:3, в полученный полуфабрикат добавляют 0,15–0,2 % лимонной кислоты к массе соевой муки в полуфабрикате, вводили водный раствор ферментных препаратов ксиланазного и амилазного действия из расчета 2 мг на 100 кг муки, помещали в термостат с аналогичной температурой на 1–2 часа. По окончании кислотной и ферментативной обработки соевого полуфабриката его охлаждали до 33–35 °С и вносили пробиотические микроорганизмы: мезофильные гомо- и гетероферментативные молочнокислые и пропионовокислые бактерии. Определяли состав заквасочных культур и технологические параметры, формирующие наилучшие показатели качества и микробиологическую устойчивость готовых изделий.

На четвертом этапе установленный рациональный способ введения полуобезжиренной соевой муки в рецептуру теста из пшеничной муки использовали в качестве базисного при определении допустимой дозировки протеина из семян подсолнечника в количестве

от 10 до 15 % к массе муки. Определяли влияние протеина подсолнечника на показатели качества изделий, устанавливая рациональную рецептуру приготовления продукции, а также пищевую ценность обогащенных растительными белками хлебобулочных изделий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с целью исследования поэтапно решали задачи для преобразования рецептуры хлебобулочных изделий из пшеничной муки высшего сорта за счет включения белоксодержащих функциональных добавок. При определении способа введения полуобезжиренной муки и дозировки протеина подсолнечника основными критериями оценки технологии являлись качественные показатели готовых изделий и их микробиологическая устойчивость при хранении.

При определении способа введения соевой муки в тесто проведена серия исследований, включающая несколько этапов: на первом этапе полуобезжиренную соевую муку вводили при замесе теста в количестве 25 %, при этом для улучшения реологических показателей полуфабриката и готовой продукции в тесто использовали водные растворы ферментных препаратов. Приготовление пшеничного хлеба с применением соевой муки и ферментных препаратов, а также контрольного образца проводилось в лабораторных условиях согласно рецептуре, приведённой в Таблице 5.

Таблица 5

Рецептура приготовления контрольного и обогащённых образцов пшеничного хлеба

Наименование сырья	Расход сырья по вариантам, г			
	1 (контроль)	2	3	4
Мука пшеничная высшего сорта	400	300	300	300
Соевая мука	—	100	100	100
Дрожжи прессованные хлебопекарные	12	12	12	12
Соль пищевая	6	6	6	6
Сахар белый	16	16	16	16
Маргарин	12	12	12	12
Ферментный препарат глюкозооксидазы	—	—	0,008	
Ферментный препарат ксиланазы				0,008

Результаты исследования физико-химических показателей качества хлебобулочных изделий представлены в Таблице 6.

Сравнительный анализ органолептических и физико-химических показателей различных образцов хлебобулочных изделий показал, что непосредственное введение соевой муки в рецептуру теста оказывает отрицательное влияние на внешний вид, состояние пористости, удельный объем, показатель пористости хлебобулочных изделий. Так, показатель удельного объема хлебобулочных изделий снижался более чем в два раза при использовании в рецептуре полуобезжиренной соевой муки в исследуемом количестве. Однофазный способ приготовления теста, а также применение исследованных ферментных препаратов глюкозооксидазы и ксилазы в изученных дозировках не выявило положительного эффекта. Результаты определения микробиологической устойчивости хлебобулочных изделий приведены в Таблице 7.

Анализ показателя микробиологической устойчивости показал, что первые признаки микробиологической порчи в образце, приготовленному по варианту 1, выявляются на 3-и сутки в виде развития на поверхности колоний плесени белого и зеленого цвета. В образцах 2 и 3 микробиологическая порча выявляется на 4-е сутки одновременно с контрольным образцом.

На втором этапе исследований приготовление теста проводили с введением предварительно приготовленного ферментативного соевого гидролизата. Ферментативный гидролизат соевой муки готовили следующим образом: соевую муку смешивали с водой с температурой 40 °С в соотношении 1:2, тщательно перемешивали и вносили по 1 см³ предварительно разведённых ферментных препаратов глюкозооксидазного и ксиланазного действия. Ферментативное воздействие проводили в термостате при 40 °С в течение 2 ч. Приготовление пшеничных хлебобулочных изделий хлеба с применением ферментативного соевого гидролизата, а также

Таблица 6

Физико-химические показатели хлебобулочных изделий с соевой мукой по вариантам

Наименование показателя	Значение показателя хлебобулочного изделия, приготовленного по вариантам			
	1	2	3	4
Масса, г	332,9 ± 0,5	356,2 ± 0,5	348,5 ± 0,5	341,9 ± 0,5
Объём, см ³	1330 ± 20	630 ± 20	650 ± 20	620 ± 20
Удельный объём, см ³ /г	4,00 ± 0,15	1,77 ± 0,15	1,87 ± 0,15	1,81 ± 0,15
H/D	0,34 ± 0,1	0,43 ± 0,1	0,32 ± 0,1	0,30 ± 0,1
Пористость мякиша, %	77 ± 2	61 ± 2	63 ± 2	64 ± 2
Титруемая кислотность мякиша, град	1,6 ± 0,2	1,8 ± 0,2	1,8 ± 0,2	1,8 ± 0,2
Влажность мякиша, %	36,2 ± 0,5	40,2 ± 0,5	39,8 ± 0,5	39,6 ± 0,5

Таблица 7

Микробиологическая устойчивость контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий с соевой мукой

Продолжительность хранения, ч	Характеристика хлебобулочного изделия, приготовленного по варианту			
	1	2	3	4
24	Микробиологическая порча не обнаружена			
48	Микробиологическая порча не обнаружена			
72	Микробиологическая порча не обнаружена	На поверхности обнаружены колонии плесени белого и зеленого цвета	Микробиологическая порча не обнаружена	
96	На поверхности обнаружены колонии плесени черного и зеленого цвета	На поверхности обнаружены многочисленные колонии плесени белого, зеленого и черного цвета	Обнаружены колонии плесени белого цвета	Обнаружены колонии плесени белого цвета

контрольного образца проводилось в лабораторных условиях согласно рецептуре, приведённой в Таблице 8.

Таблица 8

Рецептура приготовления контрольного и обогащённых образцов пшеничного хлеба

Наименование сырья	Расход сырья, г			
	1	2	3	4
Мука пшеничная высшего сорта	400	370	350	300
Ферментативный гидролизат соевой муки	—	100	150	210
Дрожжи прессованные хлебопекарные	12	12	12	12
Соль пищевая	6	6	6	6
Сахар белый	16	16	16	16
Маргарин	12	12	12	12

По органолептическим показателям хлебобулочные изделия с ферментативным гидролизатом соевой муки

приближаются к контрольному варианту за исключением показателя пористости, которая неравномерно распределена по объёму мякиша.

Результаты исследования физико-химических показателей качества хлебобулочных изделий представлены в Таблице 9.

Значения физико-химических показателей хлебобулочные изделия с ферментативным гидролизатом соевой муки значительно уступают контрольному образцу, как по удельному объёму на 0,46–1,64 см³/г, так и по показателю пористости на 2–10%. Применение ферментативного гидролизата соевой муки повышало титруемую кислотность мякиша готовых изделий на 0,8–1,6 град.

Анализ микробиологической устойчивости образцов хлебобулочных изделий с использованием ферментативного гидролизата соевой муки показал, что появление на поверхности видимых колоний плесени черного, зеленого и белого цвета наблюдается на 4-ые сутки (Таблица 10).

Таблица 9

Физико-химические показатели качества исследуемых образцов

Наименование показателя	Значение показателей качества хлебобулочных изделий, приготовленных по вариантам			
	1	2	3	4
Масса, г	332,9 ± 0,5	322,0 ± 0,5	336,2 ± 0,5	338,7 ± 0,5
Объём, см ³	1330 ± 20	1140 ± 20	870 ± 20	800 ± 20
Удельный объём, см ³ /г	4,00 ± 0,15	3,54 ± 0,15	2,59 ± 0,15	2,36 ± 0,15
H/D	0,34 ± 0,1	0,24 ± 0,1	0,32 ± 0,1	0,30 ± 0,1
Пористость мякиша, %	77 ± 2	70 ± 2	68 ± 2	67 ± 2
Титруемая кислотность мякиша, град	1,6 ± 0,2	2,2 ± 0,2	2,8 ± 0,2	3,2 ± 0,2
Влажность мякиша, %	36,2 ± 0,5	40,2 ± 0,5	41,6 ± 0,5	42,15 ± 0,5

Таблица 10

Микробиологическая устойчивость контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий с соевой мукой

Продолжительность хранения, ч	Характеристика хлебобулочных изделий, приготовленных по варианту			
	1	2	3	4
24	Микробиологическая порча не обнаружена			
48	Микробиологическая порча не обнаружена			
72	Микробиологическая порча не обнаружена			
96	На поверхности обнаружены колонии плесени черного и зеленого цвета	На поверхности обнаружены многочисленные колонии плесени белого, зеленого и черного цвета	Обнаружены колонии плесени белого цвета	Обнаружены колонии плесени белого цвета

Несмотря на лучшие результаты по критическим показателям данный способ введения соевой муки нельзя отнести к наиболее эффективному, так как качество хлебобулочных изделий, устойчивость к микробиологической порче оставались на низком уровне, а незначительный показатель титруемой кислотности не гарантировал подавление активности ингибиторов протеаз.

Наиболее целесообразным и эффективным явился способ введения соевой муки в закваске путем биотрансформации под влиянием комбинации гомо- и гетероферментативных молочнокислых и пропионовых бактерий в различных соотношениях. Для получения бактериальной закваски полуобезжиренную соевую муку смешивают с водой с температурой 38–40 °С с гидро модулем 1 : 2–1 : 3, в полученный полуфабрикат добавляют 0,15–0,2 % лимонной кислоты к массе соевой муки в полуфабрикate, вводили водный раствор ферментных препаратов ксиланазного и амилазного действия из расчета 2 мг на 100 кг муки, помещали в термостат с аналогичной температурой на 1–2 часа. По окончании кислотной и ферментативной обработки соевого полуфабриката его охлаждали до 33–35 °С и вносили пробиотические микроорганизмы: мезофильные гомо- и гетероферментативные молочнокислые и пропионовокислые бактерии, комбинации которых представлены в Таблице 11.

Полуфабрикат перемешивали и оставляли в термостате на 18–20 ч при температуре 33–35 °С до конечной титруемой кислотностью 10–12 град и влажности 69–72 %. Биотрансформированный гидролизат полуобезжиренной соевой муки — бактериальную соевую закваску использовали при замесе теста из пшеничной муки высшего сорта.

Таблица 11

Микробиологический состав и технологические свойства бактериальных заквасок на основе соевого ферментативного гидролизата

Наименование показателей	Бактериальная закваска № 1	Бактериальная закваска № 2	Бактериальная закваска № 3
Микробиологический состав и соотношение культур	<i>Lactobacillus casei</i> : <i>L.plantarum</i> : <i>L.acidophilus</i> 1:1:1	<i>Lactobacillus casei</i> : <i>L.plantarum</i> : <i>L.acidophilus</i> : <i>L.fermenti</i> : <i>L.brevis</i> 1:1:1:1:1	<i>Lactobacillus casei</i> : <i>L.plantarum</i> : <i>L.acidophilus</i> : <i>L.fermenti</i> : <i>L.brevis</i> : <i>Propionibacterium freudenreichii</i> <i>subsp. Shermanii</i> 1:1:1:1:1:0,1
Влажность полуфабриката, %	69–72	69–72	69–72
Титруемая кислотность полуфабриката, град	10–12	10–11	11–12

Таблица 12

Рецептура приготовления контрольного и обогащённых образцов пшеничного хлеба

Наименование сырья	Расход сырья по вариантам, г			
	1	2	3	4
Мука пшеничная высшего сорта	400	375	370	360
Бактериальная соевая закваска	—	80	100	120
Дрожжи прессованные хлебопекарные	12	12	12	12
Соль пищевая	6	6	6	6
Сахар белый	16	16	16	16
Маргарин	12	12	12	12

Замес теста осуществлялся в 2 этапа в тестомесильной машине Keenwood. Изначально в течение 5 минут замешивалась мука и жировой продукт, после чего вносились остальное сырьё, предусмотренное рецептурой. Продолжительность замеса составляла 5 минут, брожение тестового полуфабриката осуществляли в шкафу для брожения в течение 60 мин при температуре 30 °С.

По окончании процесса брожения тесто взвешивали, делили на куски массой 400 г, формовали и отправляли на расстойку при температуре 35–40 °С и относительной влажности 75–80 % на 30 минут. По окончании расстойки тестовые заготовки переносили в печь, предварительно нагретую до 200–210 °С. Продолжительность выпечки составляла 25 минут для подовых и 30 минут для формовых изделий.

После выемки из печи изделия охлаждались до температуры 18±2 °С в течение 1,5–2 ч.

А. И. Кошелева, Т. Г. Богатырева, И. Г. Белявская

Часть охлажденных изделий упаковывали в полипропиленовые пакеты на упаковочном аппарате «Термопак» и хранили при температуре 20–22 °С в течение 7 суток. Показатели микробиологической устойчивости контрольных и опытных образцов представлены в таблице 10. Остальные изделия анализировали по органолептическим и физико-химическим показателям (Рисунок 1, Таблица 13).

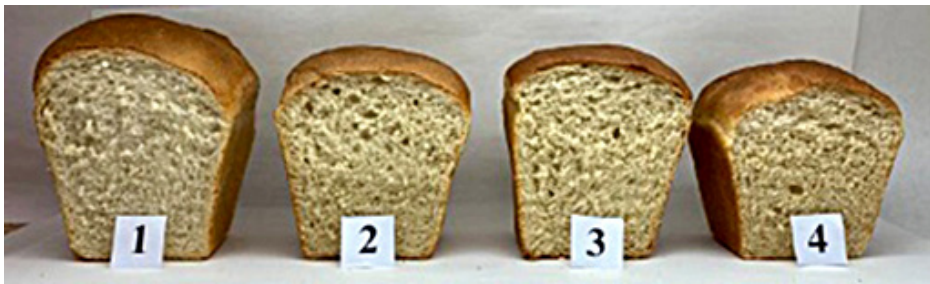
Таблица 13

Микробиологическая устойчивость контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий с бактериальной соевой закваской

Продолжительность хранения, час	Характеристика хлебобулочного изделия, приготовленного по варианту			
	Контроль	1	2	3
24		Микробиологическая порча не обнаружена		
48		Микробиологическая порча не обнаружена		
72		Микробиологическая порча не обнаружена		
96	На поверхности обнаружены колонии плесени черного и зеленого цвета	Микробиологическая порча не обнаружена		
120	Сплошной газон плесени черного и зеленого цвета	Микробиологическая порча не обнаружена		
144	Сплошной газон плесени черного и зеленого цвета	На поверхности обнаружены колонии плесени белого, зеленого и черного цвета	На поверхности обнаружены колонии белого и зеленого цвета	На поверхности обнаружены колонии белого и зеленого цвета

Рисунок 1

Внешний вид образцов хлебобулочных изделий с бактериальной соевой закваской



Примечание. 1 — контроль; 2 — 20 % закваски; 3 — 25 % закваски; 4 — 30 % закваски

Таблица 14

Органолептические показатели готовых изделий

Наименование показателя	Характеристика образцов		
	2	3	4
Внешний вид	Имеет форму, соответствующую хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов Поверхность ровная, выпуклая, без крупных трещин и подрывов Окраска светло-золотистая, равномерная	Имеет форму, соответствующую хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов Поверхность ровная, выпуклая, без крупных трещин и подрывов Окраска тёмно-золотистая, равномерная	Имеет форму, соответствующую хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов Поверхность ровная, без крупных трещин и подрывов Окраска светло-коричневая, равномерная

Окончание таблицы 14

Наименование показателя	Характеристика образцов		
	2	3	4
Состояние мякиша	Пористость развитая, тонкостенная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Пористость развитая, тонкостенная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Пористость развитая, равномерная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный
Вкус	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса
Запах	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха

Результаты исследования физико-химических показателей качества хлебобулочных изделий представлены в Таблице 15.

По оценке органолептических и физико-химических показателей выделен образец, приготовленный по варианту 4, в рецептуру которого соевую муку вносили в форме бактериальной соевой закваски на основе смеси мезофильных гомо- и гетероферментативных мо-

лочнокислых и пропионовых бактерий. Данный способ введения полуобезжиренной соевой муки в рецептуру теста из пшеничной муки использовали в качестве базисного при определении допустимой дозировки протеина из семян подсолнечника.

В полуфабрикате определяли кинетику кислотонакопления в процессе брожения теста с целью выявления продолжительности созревания полуфабриката. Отбор

Таблица 15

Физико-химические показатели качества исследуемых образцов

Наименование показателя	Значение показателей хлебобулочных изделий, приготовленных по вариантам			
	1	2	3	4
Масса, г	332,9 ± 0,5	363,7 ± 0,5	364,0 ± 0,5	366,0 ± 0,5
Объём, см³	1330 ± 20	960 ± 20	890 ± 20	800 ± 20
Удельный объём, см³/г	4,00 ± 0,15	2,64 ± 0,15	2,45 ± 0,15	2,19 ± 0,15
H/D	0,34 ± 0,1	0,40 ± 0,1	0,39 ± 0,1	0,39 ± 0,1
Пористость мякиша, %	78 ± 2	75 ± 2	74 ± 2	72 ± 2
Титруемая кислотность хлеба, град	1,6 ± 0,2	3,1 ± 0,2	3,2 ± 0,2	3,4 ± 0,2
Влажность мякиша, %	41,2 ± 0,5	42,1 ± 0,5	42,4 ± 0,5	42,6 ± 0,5

Таблица 16

Рецептура приготовления контрольного и обогащённых образцов хлебобулочных изделий

Наименование сырья	Количество сырья по вариантам, г							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Мука пшеничная высшего сорта	400	370	370	370	370	370	370	370
Бактериальная соевая закваска	—	100	100	100	100	100	100	100
Протеин подсолнечника	—	—	30	33	36	39	42	45
Дрожжи прессованные хлебопекарные	12	12	12	12	12	12	12	12
Соль пищевая	6	6	6	6	6	6	6	6
Сахар белый	16	16	16	16	16	16	16	16
Маргарин	12	12	12	12	12	12	12	12

А. И. Кошелева, Т. Г. Богатырева, И. Г. Белявская

Рисунок 2

Кинетика кислотонакопления в тесте с биотрансформированной соевой мукой и 10 % протеина подсолнечника в процессе брожения



проб полуфабриката проводили через каждые 10 минут. Полученные данные представлены на Рисунке 2.

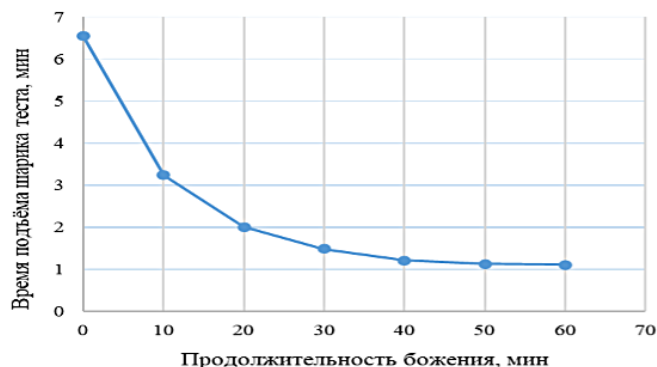
Параллельно проводилось определение подъёмной силы теста, которая является характеристикой его ферментативной активности. Полученные данные представлены на Рисунке 3.

Анализ показателей титруемой кислотности и бродительной активности полуфабриката выявил продолжительность оптимального брожения теста в течении 50 мин.

По окончании процесса брожения тесто взвешивали, делили на куски массой 400 г, формовали и отправляли

Рисунок 3

Кинетика бродительной активности полуфабриката с биотрансформированной соевой мукой и 10 % протеина подсолнечника в процессе брожения

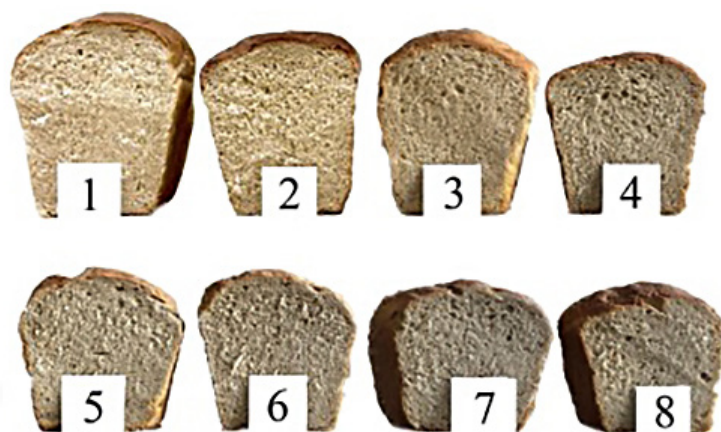


на расстойку при температуре 35–40 °С и относительной влажности 75–80 % до готовности. По окончании расстойки тестовые заготовки перемещали в печь, предварительно нагретую до 200–210 °С. Продолжительность выпечки составляла 25 минут для подовых и 30 минут для формовых изделий. После выемки из печи изделия опрыскивали водой и охлаждали до температуры 18±2 °С в течение 1,5–2 ч.

Внешний вид полученных образцов пшеничного хлеба представлен на Рисунке 4.

Рисунок 4

Внешний вид образцов хлебобулочных изделий на соевой закваске с добавлением протеина подсолнечника



Примечание. 1 — контроль без применения закваски и протеина подсолнечника; 2 — на закваске без протеина подсолнечника; 3 — на закваске и протеином подсолнечника в количестве 10 %; 4 — в количестве 11 %; 5 — в количестве 12 %; 6 — в количестве 13 %; 7 — в количестве 14 %; 8 — в количестве 15 %.

Органолептические показатели качества готовых изделий представлены в Таблице 17.

Результаты исследования физико-химических показателей качества хлебобулочных изделий представлены в Таблице 18.

С учетом оценки органолептических и физико-химических показателей различных образцов хлебобулочных

изделий с бактериальной соевой закваской и протеином подсолнечника для определения показателя устойчивости к микробиологической порче был отобран образец 3 с 25 % соевой закваски и 10 % протеина подсолнечника. Упакованные в полипропиленовую пленку образцы хранились при температуре 20–22 °С в течение срока появления видимых колоний плесени на поверхности изделий.

Таблица 17

Органолептические показатели готовых изделий

Образец №	Наименование показателя			
	Внешний вид	Состояние мякиша	Вкус	Запах
	Характеристика образцов			
2	Форма, соответствующая хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов. Поверхность изделия ровная, выпуклая, без крупных трещин и подрывов. Окраска тёмно-золотистая, равномерная.	Пористость развитая, тонкостенная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха
3	Форма, соответствующая хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов. Поверхность изделия ровная, без крупных трещин и подрывов. Окраска светло-золотистая, равномерная.	Пористость развитая, равномерная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха
4	Форма, соответствующая хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов. Поверхность изделия ровная, без крупных трещин и подрывов. Окраска светло-коричневая, равномерная	Пористость развитая, равномерная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха
5	Форма, соответствующая хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов. Поверхность изделия частично ровная, с небольшим подрывом. Окраска светло-коричневая, равномерная	Пористость развитая, равномерная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха
6	Форма, соответствующая хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов. Поверхность изделия частично ровная, без крупных трещин и подрывов. Окраска светло-коричневая, равномерная	Пористость развитая, равномерная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха
7	Форма, соответствующая хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов. Поверхность изделия частично ровная, без крупных трещин и подрывов. Окраска светло-коричневая с сероватым оттенком, равномерная	Пористость развитая, равномерная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха
8	Форма, соответствующая хлебной форме, в которой производилась выпечка, без боковых выплывов. Поверхность изделия частично ровная, с небольшими трещинами и подрывом. Окраска светло-коричневая с сероватым оттенком, равномерная	Пористость развитая, равномерная, без посторонних включений, мякиш пропечённый, эластичный	Вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Запах свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха

Таблица 18

Физико-химические показатели качества исследуемых образцов

Наименование показателя	Значение показателя хлебобулочного изделия, приготовленного по варианту							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Масса, г	332,9 ± 0,5	344,7 ± 0,5	345,4 ± 0,5	348,0 ± 0,5	349,7 ± 0,5	351,0 ± 0,5	352,8 ± 0,5	354,3 ± 0,5
Объем, см ³	1300 ± 20	1120 ± 20	1080 ± 20	940 ± 20	800 ± 20	720 ± 20	700 ± 20	660 ± 20
Удельный объем, см ³ /г	3,82 ± 0,15	3,25 ± 0,15	3,13 ± 0,15	2,70 ± 0,15	2,29 ± 0,15	2,05 ± 0,15	1,98 ± 0,15	1,86 ± 0,15
H/D	0,50 ± 0,1	0,49 ± 0,1	0,50 ± 0,1	0,49 ± 0,1	0,46 ± 0,1	0,43 ± 0,1	0,42 ± 0,1	0,40 ± 0,1
Пористость мякиша, %	79 ± 2	76 ± 2	75 ± 2	74 ± 2	71 ± 2	70 ± 2	69 ± 2	68 ± 2
Титруемая кислотность мякиша, град	1,6 ± 0,2	3,2 ± 0,2	3,4 ± 0,2	3,4 ± 0,2	3,4 ± 0,2	3,4 ± 0,2	3,4 ± 0,2	3,4 ± 0,2
Влажность мякиша, %	36,2 ± 0,5	40,0 ± 0,5	40,0 ± 0,5	40,1 ± 0,5	40,0 ± 0,5	40,3 ± 0,5	40,4 ± 0,5	40,3 ± 0,5

Для разработанных вариантов проведен расчет пищевой, биологической, минеральной и витаминной ценности готовых изделий (Таблица 19).

Расчет химического состава хлебобулочных изделий с белоксодержащими функциональными добавками показал, что использование биотрансформированной соевой муки и протеина подсолнечника позволяет на 6,3 г/100 г изделий повысить содержание растительного белка, аминокислотный скор которого по лизину составляет 93 %; на 7,0 % снизить содержание крахмалсодержащих углеводов, улучшить витаминный и минеральный состав готовых изделий. Содержание витамина тиамина повышается на 0,07 мг %, что составляет 9 % от суточной потребности при употреблении 150 г хлебобулочных изделий, калия составляет 237 мг %, кальция — 33 мг %, магния — 33 мг %, фосфора — 118 мг %. В разработанных хлебобулочных изделиях с использованием протеина подсолнечника обнаружено наличие хлорогеновой кислоты.

Разработанные хлебобулочные изделия с функциональными добавками из соевой муки и протеина подсолнечника открывают новые перспективы в производстве продуктов здорового питания. Повышение содержания растительного белка в изделиях отвечает актуальным требованиям потребителей, которые все больше ориентируются на продукцию с улучшенными пищевыми характеристиками. При этом аминокислотный скор, особенно по таким важным аминокислотам, как лизин, играет ключевую роль для обеспечения физиологических потребностей человека. Снижение содержания углеводов, в особенности крахмала, в контексте растущего интереса к низкоуглеводным диетам может сделать продукт привлекательным для определенной аудитории потребителей. Обнаруженное в хлебе на-

Таблица 19

Показатели пищевой ценности обогащенных хлебобулочных изделий

Наименование показателей	Значение показателей для изделий хлебобулочных		
	контрольного	с использованием 25 % бактериальной соевой закваски	с использованием 25 % бактериальной соевой закваски и 10 % протеина подсолнечника
Пищевая ценность			
Белки, г	7,3	9,3	13,6
Жиры, г	2,5	2,9	2,9
Углеводы, г	51,3	47,8	44,3
Энергетическая ценность, ккал	255	255	260
Биологическая ценность			
Содержание аминокислот, мг %:			
Валин	398	473	669
Изолейцин	358	431	613
Лизин	234	351	698
Метионин	123	155	241
Треонин	255	328	472
Триптофан	99	131	203
Фенилаланин	431	500	729
Лейцин	633	779	1036
Содержание витаминов:			
Витамин В ₁ , мг %	0,13	0,19	0,21
Витамин В ₂ , мг %	0,04	0,05	0,05
Витамин В ₆ , мг %	—	—	0,03
Витамин РР, мкг %	1,02	1,06	0,98
Витамин Е, мг ТЭ	—	—	0,7
Содержание макро- и микроэлементов, мг %:			
Калий	94	186	237
Кальций	17	29	33
Магний	12	24	33
Фосфор	67	98	118
Цинк, мкг %	—	1	2
Железо, мкг %	1	3	3
Наличие хлорогеновой кислоты	отсутствует	отсутствует	обнаружена

А. И. Кошелева, Т. Г. Богатырева, И. Г. Белявская

личие хлорогеновой кислоты — антиоксиданта растительного происхождения — может быть рассмотрено как дополнительное преимущество. Этот компонент обладает рядом положительных свойств, включая антиоксидантную, противовоспалительную и антидиабетическую активности. Тем не менее, при всех очевидных преимуществах использования указанных добавок, необходимо учитывать потенциальные ограничения. Например, изменения в органолептических свойствах изделий могут не встретить однозначного одобрения у потребителей. Кроме того, необходимо рассмотреть экономическую сторону вопроса: стоимость производства таких изделий может быть выше из-за дополнительных этапов производства и более дорогих ингредиентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование подтвердило возможность и целесообразность использования полуобезжиренной соевой муки и протеина подсолнечника в качестве функциональных добавок для обогащения хлебобулочных изделий. Применение данных компонентов позволяет не только повысить пищевую и энергетическую ценность продукта, но и обогатить его незаменимыми

аминокислотами, витаминами и микроэлементами. Разработанные изделия соответствуют современным требованиям здорового питания, предоставляя потребителю продукт с улучшенными органолептическими и пищевыми качествами, при этом сохраняя привычную энергетическую ценность. Представленная разработка является перспективной для промышленного внедрения и может стать ответом на растущий спрос на продукцию здорового питания.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Белявская Ирина Георгиевна: формулирование идеи; разработка методологии исследования, формальный анализ, работа с программным обеспечением, проведение исследования.

Богатырева Татьяна Глебовна: формулирование исследовательских целей и задач, создание модели исследования, курирование данных, проведение исследования, верификация данных.

Кошелева Анна Игоревна: проведение исследования, визуализация данных, создание черновика рукописи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Алехина, А. А., Пономарева, Е. И., Жаркова, И. М., & Желтикова, А. С. (2020). Исследование функциональных свойств зернового хлеба на основе хлебопекарных смесей с белковым обогатителем. *Пищевая промышленность*, 5, 8–10. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10046>
- Alekhina, A. A., Ponomareva, E. I., Zharkova, I. M., & Zheltikova, A. S. (2020). Study of the functional properties of grain bread based on baking mixes with a protein enricher. *Food Industry*, 5, 8–10. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10046>
- Ауэрман, Т. Л., Генералова, Т. Г., & Сусянок Г. М. (2011). *Основы биохимии*. ИНФРА-М.
- Auerman, T. L., Generalova, T. G., & Suslyanok, G. M. (2011). *Fundamentals of Biochemistry*. INFRA-M. (In Russ.)
- Белявская, И. Г., Богатырева, Т. Г., & Матвеева И. В. (2022). *Биотехнологические основы приготовления хлеба*. ЗАО «Универ».
- Belyavskaya, I. G., Bogatyreva, T. G., & Matveeva, I. V. (2022). *Biotechnological foundations of bread making*. JSC «Univers». (In Russ.)
- Богатырева, Т. Г., Белявская, И. Г., Толмачева, И. П., & Быковченко, Т. В. (2013). Биоконверсия ячменной муки в технологии хлебобулочных изделий. *Хлебопродукты*, 9, 48–51.
- Bogatyreva, T. G., Belyavskaya, I. G., Tolmachova, I. P., & Bykovchenko, T. V. (2013). Bioconversion of barley flour in the technology of bakery products. *Bread Products*, 9, 48–51. (In Russ.)
- Богатырева, Т. Г., Белявская И. Г., & Муратова А. А. (2021). Обогащение хлебобулочных изделий с использованием нетрадиционного растительного сырья. *Хлебопродукты*, 6, 48–49. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-6-48-49>
- Bogatyreva, T. G., Belyavskaya, I. G., & Muratova, A. A. (2021). Enrichment of bakery products using non-traditional plant raw materials. *Bread Products*, 6, 48–49. (In Russ.) <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-6-48-49>

А. И. Кошелева, Т. Г. Богатырева, И. Г. Белявская

- Богатырёва, Т. Г., Белявская, И. Г., Толмачева, И. П., & Быковченко, Т. В. (2014). Ячменная мука-стимулятор газообразующей способности полуфабрикатов. *Хлебопродукты*, 5, 44–45.
- Bogatyрева, T. G., Belyavskaya, I. G., Tolmachova, I. P., & Bykovchenko, T. V. (2014). Barley flour as a stimulator of gas-forming ability in semi-finished products. *Bread Products*, 5, 44–45. (In Russ.)
- Богатырева Т. Г., Лабутина Н. В., Белявская И. Г., Быковченко Т. В., & Толмачева И. П. (2015). *Способ приготовления ячменно-молочной закваски* (Российская Федерация Патент № 2013142453/10). Роспатент.
- Bogatyрева, T. G., Labutina, N. V., Belyavskaya, I. G., Bykovchenko, T. V., & Tolmachova, I. P. (2015). *Method of preparing barley-milk sourdough* (Russian Federation Patent No. 2013142453/10). Rospatent. (In Russ.)
- Бычкова, Е. А., & Борисова, А. В. (2021). Белковые концентраты сои: технологии производства и перспективы применения. *Ползуновский вестник*, 2, 88–94. <https://doi.org/10.25712/astu.2072-8921.2021.02.012>
- Bychkova, E. A., & Borisova, A. V. (2021). Soy protein concentrates: Production technologies and application prospects. *Polzunovsky Vestnik*, 2, 88–94. (In Russ.) <https://doi.org/10.25712/astu.2072-8921.2021.02.012>
- Гершончик, К. Н., & Гарлинская, М. И. (2022). Исследование влияния продуктов переработки масличного сырья на структурно-механические свойства теста. *Пищевая промышленность: наука и технология*, 3(57), 23–31. [https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-3\(57\)-23-31](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-3(57)-23-31)
- Gershonchik, K. N., & Garlinskaya, M. I. (2022). Study of the influence of oilseed processing products on the structural and mechanical properties of dough. *Food Industry: Science and Technology*, 3(57), 23–31. (In Russ.) [https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-3\(57\)-23-31](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-3(57)-23-31)
- Драчева, Л. В. (2001). Полезные продукты из сои. *Пищевая промышленность*, 4, 16–17.
- Dracheva, L. V. (2001). Useful products from soy. *Food Industry*, 4, 16–17. (In Russ.)
- Ефремова, Е. Н., Зенина Е. А., & Шершневу, А. А. (2020). Влияние соевой муки на качество пшеничного хлеба. *Вестник КрасГАУ*, 3(156), 171–177. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-3-171-177>
- Efremova, E. N., Zenina, E. A., & Shershnev, A. A. (2020). The effect of soy flour on the quality of wheat bread. *Bulletin of KrasGAU*, 3(156), 171–177. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-3-171-177>
- Зеленцов, С. В., & Кочегура А. В. (2006). Современное состояние систематики культурной сои Glycinemax (L.) Merrill. Масличные культуры. *Научно-технический бюллетень*, 1, 34–38.
- Zelentsov, S. V., & Kochegura, A. V. (2006). The current state of the taxonomy of cultivated soybean Glycine max (L.) Merrill. *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin*, 1, 34–38. (In Russ.)
- Кан, Дж., Барсук, Т. М., & Ронис, М. Д. (2010). Изофлавоновые фитохимические вещества в сое и их влияние на здоровье. *Пищевая химия*, 8, 8119–8133. <https://doi.org/10.3109/09637486.2010.513680>
- Kan, J., Barsuk, T. M., & Ronis, M. D. (2010). Isoflavone phytochemicals in soy and their impact on health. *Food Chemistry*, 8, 8119–8133. (In Russ.) <https://doi.org/10.3109/09637486.2010.513680>
- Которовский, А. В. (2005). *Соевое питание в России и СССР в XIX–XX веках*. Региональный общественный фонд содействия внедрению социальных инноваций.
- Kotorovsky, A. V. (2005). *Soy nutrition in Russia and the USSR in the 19th–20th centuries*. Regional Public Fund for the Promotion of Social Innovations. (In Russ.)
- Куницына, Т. О., Березина, Н. А., & Хмелева, Е. В. (2022). Пшенично-ржаные хлебобулочные изделия с добавлением соевой окары. *Хлебопродукты*, 3, 49–55. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2022-31-3-49-55>
- Kunitsyna, T. O., Berezina, N. A., & Khmeleva, E. V. (2022). Wheat-rye bakery products with the addition of soybean okara. *Bread Products*, 3, 49–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2022-31-3-49-55>
- Милорадова Е. В., Траубенберг, С. Е., & Вяльцева, И. В. (2013). Пищевые продукты с использованием соевой муки. *Пищевая промышленность*, 11, 48–50.
- Miloradova, E. V., Traubenberg, S. E., & Vyaltseva, I. V. (2013). Food products using soy flour. (In Russ.) *Food Industry*, 11, 48–50.
- Мхитарьянц, Л. А., Таранец, О. В., Мхитарьянц, Г. А. (2020). Влияние добавки соевой муки на потребительские свойства пшеничного хлеба. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 1(373), 21–24. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.1.5>
- Mkhitaryants, L. A., Taranets, O. V., Mkhitaryants, G. A. (2020). The effect of adding soy flour on the consumer properties of wheat bread. *Proceedings of Higher Education Institutions. Food Technology*, 1(373), 21–24. (In Russ.) <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.1.5>
- Петибская, В. С. (2012). *Соя: химический состав и использование*. Полиграф-ЮГ.
- Petibskaya, V. S. (2012). *Soy: Chemical composition and use*. Polygraph-YUG. (In Russ.)

- Риццо, Г. (2015). Антиоксидантная роль сои и соевых продуктов в здоровье человека. *Антиоксиданты*, 9(7), 625–635. <https://doi.org/10.3390/antiox9070635>
- Rizzo, G. (2015). The antioxidant role of soy and soy products in human health. *Antioxidants*, 9(7), 625–635. (In Russ.) <https://doi.org/10.3390/antiox9070635>
- Смагина, А. В., & Сытова, М. В. (2011). Анализ использования соевого белка в пищевой промышленности. *Научные труды Дальрыбвтуза*, 23, 174–179.
- Smagina, A. V., & Sytova, M. V. (2011). Analysis of the use of soy protein in the food industry. *Scientific Works of Dalrybvtuz*, 23, 174–179. (In Russ.)
- Типсина, Н. Н., Батура, Н. Г., Демидов, Е. Л., & Белошапкин, М. С. (2021). Использование сои в производстве продуктов питания и перспективы развития применения соевых полуфабрикатов в производстве хлебобулочных изделий, 1, 163–168. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-1-163-168>
- Tipsina, N. N., Batura, N. G., Demidov, E. L., & Beloshapkin, M. S. (2021). The use of soy in food production and the prospects for the development of using soy semi-finished products in the production of bakery products, 1, 163–168. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-1-163-168>
- Тутельян, В. А., & Никитюк, Д. Б. (2023). *Нутрициология и клиническая диетология: национальное руководство*. ГЭОТАР-Медиа.
- Tutelyan, V. A., & Nikityuk, D. B. (2023). *Nutrition and Clinical Dietetics: A National Guide*. GEOTAR-Media. (In Russ.)
- Lu, X. K., Brennan, M. A., Guan, W. Q., Zhang, J., Yuan, L., & Brennan, C. S. (2021). Enhancing the nutritional properties of bread by incorporating mushroom bioactive compounds: The manipulation of the pre-dictive glycaemic response and the phenolic properties. *Foods*, (4), 10–11. <https://doi.org/10.3390/foods10040731>
- Masure, H. G., Wouters, A. G. B., Fierens, E., & Delcour, J. A. (2019). Impact of egg white and soy proteins on structure formation and crumb firming in gluten-free breads. *Food Hydrocolloids*, (95), 406–417. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.062>
- Otegbayo, B. O., Adebisi, O. M., Bolaji, O. A., & Olunlade, B. A. (2018). Effect of soy enrichment on bread quality. *International Food Research Journal*, 25(3), 1120–1125.
- Sa, A. G. A., Silva, D. C. S., Pacheco, M. T. B., Moreno, Y. F. M., & Carciofi, B. A. M. (2021). Oilseed by-products as plant-based protein sources: Amino acid profile and digestibility. *Future Foods*, (3). <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100023>
- Shchekoldina, T., & Aider, M. (2014). Production of low chlorogenic and caffeic acid containing sunflower meal protein isolate and its use in functional wheat bread making. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2331–2343. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0780-2>
- Teleky, B. E., Martau, A. G., Ranga, F., Chetan, F., & Vodnar, D. C. (2020). Exploitation of lactic acid bacteria and baker's yeast as single or multiple starter cultures of wheat flour dough enriched with soy flour. *Biomolecules*, 10(5), 778–779. <https://doi.org/10.3390/biom10050778>
- Yang, L., Philipus, P., & Vermont, P. D. (2021). Physicochemical, functional and bioactive properties of hempseed (*Cannabis sativa* L.) meal, a co-product of hempseed oil and protein production, as affected by drying process. *Food Chemistry*, 35, 129–139. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129188>
- Zhou, J. M., Liu, J. F., & Tang, X. Z. (2018). Effects of whey and soy protein addition on bread rheological property of wheat flour. *Journal of Texture Studies*, 49(1), 38–46. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12275>
- Ziebell, A. L. (2013). Sunflower as a biofuels crop: An analysis of lignocellulosic chemical properties. *Biomass and Bioenergy*, (59), 208–217. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.06.009>