Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-3-122-128 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.696; 634.723 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Влияние зерно-черносмородиновой барды на свойства экструдированных кукурузно-рисовых хлебцев

Антон.Ю. Шариков [1] anton.sharikov@gmail.com 0000-0001-9483-5209
Алексей А. Голубев [1] 4953624495@mail.ru 0000-0002-3847-6472
Елена Н. Соколова [1] 4953624495@mail.ru 0000-0002-6084-7786
Мария В. Амелякина [1] foodbiotech@ya.ru 0000-0002-5138-6746
Елизавета Р. Крючкова [1] 4953624495@mail.ru 0000-0002-8012-0907
Виктор В. Иванов [1] foodbiotech@ya.ru 0000-0002-6492-7070

1 Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Самокатная улица, 4 Б, Москва, 111033, Россия

Аннотация. В работе изучено влияние зерно-черносмородиновой барды, вторичного сырьевого ресурса технологии дистиллятов, как ингредиента на параметры экструзии, структурно-механические и нутритивные характеристики хлебцев из кукурузно-рисовой смеси. Зерно-черносмородиновая барда была получена после дистилляции бражки, полученной в процессе ферментации смеси пшеницы и жмыха смородины после сокоотделения. Экструдирование смесей с добавлением 5–15 % барды протекало стабильно, с увеличением доли барды давление процесса снижалось с 2,3 до 1,9 МПа при отсутствии изменений температуры и момента сдвиговых деформаций. Отмечено уменьшение коэффициента вертикального расширения стренга с 9,7 до 7,3, что соответствует типичной реакции крахмалсодержащих смесей при введении некрахмальных компонентов. При этом твердость экструдатов не изменялась, а количество микроразломов возрастало с 10,9 до 13,2, что свидетельствует о формировании более равномерной и мелкопористой структуры с улучшенной хрусткостью. Оценка пищевой ценности хлебцев показывает, что добавление 15 % барды приводит к увеличению содержания белка на 69 %, пищевых волокон на 110 %, а фенольных соединений на 62 % по сравнению с контролем. Сопоставление расчетных и экспериментальных значений выявило устойчивое превышение фактического содержания фенольных соединений над расчетным до 50 % при максимальной дозировке. Данный эффект обусловлен ферментативной обработкой жмыха смородины, а также термомеханическим воздействием экструзии, способствующими деструкции клеточных стенок и высвобождению связанных форм полифенолов. Полученные результаты подтверждают перспективность использования зерно-черносмородиновой барды в производстве экструдированных хлебцев как источника белка, пищевых волокон и полифенольных соединений. Применение данного ингредиента позволяет целенаправленно формировать улучшенный нутритивный и сенсорный профиль продуктов без ухудшения технологической устойчивости процесса.

Ключевые слова: дистиллят, черная смородина, кукуруза, рис, барда, экструзия, хлебцы, фенольные соединения .

Influence of grain–blackcurrant distillers' stillage on the properties of extruded corn–rice crispbreads

Anton Yu. Sharikov [1] anton.sharikov@gmail.com 0000-0001-9483-5209
Alexey A. Golubev [1] 4953624495@mail.ru 0000-0002-3847-6472
Elena N. Sokolova [1] 4953624495@mail.ru 0000-0002-6084-7786
Maria V. Amelyakina [1] foodbiotech@ya.ru 0000-0002-5138-6746
Elizabeth R. Kryuchkova [1] 4953624495@mail.ru 0000-0002-8012-0907
Viktor V. Ivanov [1] foodbiotech@ya.ru 0000-0002-6492-7070

1 All-Russian Research Institute of Food Biotechnology is a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-B, Moscow, 111033,Russian Federation

Abstract. The study investigated the effect of grain–blackcurrant distillers' stillage as a secondary raw material of the distillation process on the extrusion parameters, structural–mechanical properties, and nutritional characteristics of corn–rice crispbreads. The stillage was obtained after distillation of mash produced by fermenting a mixture of wheat and blackcurrant pomace remaining after juice pressing. Extrusion of mixtures containing 5–15% stillage proceeded steadily; with an increase in its proportion, the process pressure decreased from 2.3 to 1.9 MPa without changes in temperature and torque. A reduction in the vertical expansion ratio of the strand from 9.7 to 7.3 was observed, which is typical for starch-containing systems when non-starch components are incorporated. At the same time, extrudate hardness remained unchanged, whereas the number of microfractures increased from 10.9 to 13.2, indicating the formation of a more uniform, fine-pored structure with improved crispness. Nutritional evaluation of the crispbreads demonstrated that the addition of 15% stillage increased protein content by 69%, dietary fiber by 110%, and phenolic compounds by 62% compared with the control. Comparison of calculated and experimental values revealed a consistent excess of actual phenolic content over theoretical estimates by up to 50% at the maximum dosage. This effect is attributed to the enzymatic treatment of blackcurrant pomace, as well as the thermomechanical action of extrusion, which facilitate the breakdown of cell walls and release of bound polyphenols. The results confirm the potential of grain–blackcurrant distillers' stillage as an ingredient for the production of extruded crispbreads enriched with protein, dietary fiber, and phenolic compounds. Incorporation of this resource allows for targeted improvement of the nutritional and sensory profile of products without compromising technological stability of the process.)

Keywords: distillate; blackcurrant; corn; rice; distillers' stillage; extrusion; crispbreads; phenolic compounds .

Для цитирования
Шариков А.Ю., Голубев А.А., Соколова Е.Н., Амелякина М.В., Ионов В.В., Иванов В.В. Влияние зерно-черносмородиновой барды на свойства экструдированных кукурузно-рисовых хлебцев // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 3. С. 122–128. doi:10.20914/2310-1202-2025-3-122-128

For citation
Shsrikov A.Yu., Golubev A.A., Sokolova E.N., Amelyakina M.V., Ionov V.V., Ivanov V.V. Influence of grain–blackcurrant distillers' stillage on the properties of extruded corn–rice crispbreads. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 3. pp. 122–128. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-3-122-128

© 2025, Шариков А.Ю. и др. / Shsrikov A.Yu. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Переориентация агропромышленного комплекса при переработке сырья с высокой пищевой ценностью и высоким содержанием биологически активных соединений на экологически устойчивое развитие делает особенно важными технологии комплексной переработки растительного сырья и рационального использования побочных продуктов в пищевом производстве [1, 2]. Например, технологии дистилляции с использованием плодово-ягодного сырья не только обеспечивают расширение номенклатуры напитков, но и создают возможности для получения и дальнейшего применения функционально ценных вторичных ресурсов [3, 4]. Сложный состав летучих соединений – терпены, фенолы, эфирные масла, органические кислоты – придает ягодным дистиллятам характерную сенсорную выразительность [5–7], а богатый антиоксидантный профиль ягод делает их особенно ценными в качестве функциональных ингредиентов [8, 9]. Полифенолы и другие биологически активные вещества ягод проявляют антиоксидантное и иммуномодулирующее действие, что способствует снижению риска развития хронических заболеваний и положительно влияет на функциональное состояние желудочно-кишечного тракта [10].

В настоящее время ведется разработка технологий зерно-фруктовых дистиллятов – напитков, сочетающих классические методы спиртового брожения зернового и плодового сырья и современные приемы дистилляции, обеспечивающие сохранение природного аромата и вкусового профиля сырья [11] [12]. Важным аспектом является возможность использования в качестве плодового-ягодного компонента жмыхов после отжима сока, что позволяет повысить рентабельность обработки за счёт рационального процесса переработки вторичных сырьевых ресурсов и эффективного их включения в дальнейшие производственные цепочки. Образуемая в результате спиртового брожения зерно-фруктовая барда может рассматриваться как потенциально функциональный ингредиент, пригодный к переработке в смеси с сельскохозяйственным сырьем и обладающий потенциалом повышения пищевой ценности продуктов. Эффективной технологией по переработке смесей с включением зернофруктовой барды является экструзия. Многочисленными исследованиями отмечается синергизм технологических решений, с одной стороны подразумевающих добавление вторичных ресурсов в экструдируемые смеси, а с другой стороны – их положительное влияние на химический состав экструдатов [13–15]. Как правило, экструдированные продукты из крахмалсодержащего сырья характеризуются низким содержанием пищевых волокон, особенно это касается изделий на основе рисовой и кукурузной муки. С учётом того, что процесс экструзии сопровождается выраженными макромолекулярными преобразованиями крахмала и, как следствие, повышением гликемического индекса готовых продуктов, использование зерно-фруктовой барды в качестве ингредиента, богатого пищевыми волокнами, представляется перспективным технологическим решением. Включение данного компонента в рецептуры экструдируемых смесей может способствовать увеличению содержания пищевых волокон и формированию продуктов с более благоприятным нутритивным профилем.

Цель исследования – определить влияние дозировки зерно-черносмородиновой барды на режимные параметры экструзии смеси кукурузной и рисовой муки, а также на физико-химические и нутриентные характеристики получаемых экструдированных хлебцев.

Материалы и методы

Барда зерно-черносмородиновая получена как вторичный сырьевой ресурс технологии дистиллятов. Гидролизат пшеничной муки после обработки ферментными препаратами термостабильной альфа-амилазы и ксиланазы в дозировке 1 и 0,5 ед./г крахмала, соответственно, подвергали тепловой обработке в течении 3-х часов при температуре 85–90 °С, по окончании процесса затор охлаждали до 58–60 °С и в него вносили черносмородиновый жмых, который предварительно подщелачивали 30%-ой щелочью до pH 4,5, обрабатывали ксиланазой (0,6 ед. КС/г крахмала) и пастеризовали в суховоздушном термостате 1 час при 68–70 °С. После осахаривания с использованием ферментных препаратов глюкоамилазы 15 ед. ГлС / г крахмала, грибной альфа-амилазы 1 ед. АС/г крахмала, кислой протеазы 0,5 ед. ПС/г крахмала в охлажденное до 35 °С сусло добавляли антисептик, дрожжи 10–15 млн/мл и проводили сбраживание при температуре 28–30 °С в течение 72 часов. После сбраживания в процессе получения дистиллята на первой стадии перегонки осуществляли процесс извлечения спирта и всех сопутствующих летучих примесей из бражки с получением промежуточного продукта – дистиллята неочищенного. Для перегонки использовали вакуумную кубовую установку с глубиной вакуума до 93 кПа, температурой паров 32–44 °С на разных этапах дистилляции [16, 17].

Полученную барду после дистилляции высушивали и добавляли в кукурузно-рисовую смесь в количестве 5–15%. Также в смесь вносили 1% стабилизатора карбоната кальция, соль и хлорид калия в количестве 0,25%. Хлорид калия использовали как частичную замену соли.

Экструдирование проводили с использованием двухшнекового экструдера Werner&Phleiderer Continua 37 через матрицу с формующим отверстием прямоугольного сечения 25 мм шириной, 1,1 мм высотой. Стренг экструдата нарезался на хлебцы режуще-тянущим устройством СР-150.

Коэффициент вертикального расширения стренга определяли, как соотношение толщины стренга, выходящего из фильеры, к высоте формующей щели матрицы.

При определении структурных свойств продукта использовали анализатор Brookfield CT3 Texture Analyser. На прибор устанавливалась металлическая насадка-индентор в виде иглы. В образец продукта погружали насадку-индентор на глубину прокола 4 мм со скоростью погружения насадки 0,5 мм/с и фиксировали ответную реакцию тензодатчика прибора в виде структурно-механических характеристик: твердости образца и количества микроразломов.

Изменение содержания белка осуществляли методом Кьельдаля на автоматической установке для определения азота Gerhardt Vadopest 10, пищевых волокон – ферментативно-гравиметрическим методом по ГОСТ Р 54014–2010. Содержание фенольных соединений определяли методом Фолина-Чокальтеу с использованием спектрофотометра Specord 50 Analytic Yena при длине волны 720 нм.

Метод однофакторного дисперсионного анализа и апостериорный анализ по критерию Тьюки с применением пакета программ Statistica 6.0 использовали для оценки достоверности различия средних при $p < 0,05$.

Обсуждение

Полученную после дистилляции зерно-черносмородиновую барду высушивали и в качестве ингредиента добавляли в экструдируемую смесь на основе рисовой и кукурузной муки, изменяя содержание от 5 до 15%. Изучено влияние дозировки барды на изменение параметров экструзии, проводимой в политропном режиме. Процесс экструзии всех смесей протекал устойчиво; выбранные параметры обеспечили клейстеризацию крахмала без признаков меланоидинообразования и подгорания экструдатов. Установлено, что увеличение дозировки зерно-черносмородиновой барды не оказывает значимого влияния на изменение температуры процесса и момент сдвиговых деформаций, при этом значимо снижается давление экструзии с 2,3 до 1,9 МПа (таблица 1). Поскольку удельный расход механической энергии является величиной, зависимой от момента сдвиговых деформаций, соответственно, изменения этого показателя процесса также не происходило. На рисунке 1 представлены фотографии образцов экструдированных хлебцев на основе рисово-кукурузной смеси.

Таблица 1.

Режимные параметры экструзии зерновых смесей с зерно-черносмородиновой бардой на основе рисово-кукурузной смеси

Table 1.

Parameters of extrusion of corn-rice mixtures with grain-blackcurrant stillage

% добавления зерно-черносмородиной барды % dosage of grain-blackcurrant stillage	Влажность смеси, % Moisture content, %	Температура экструзии, °С Temperature of extrusion, °С	Давление, Мпа Pressure, MPa	Момент сдвиговых деформаций, % Torque, %	Удельный расход механической энергии, кВт×час/кг Specific mechanical energy, kW×h/kg
0	15	165^{a}	2,3 ^{a}	48^{a}	0,122 ^{a}
5	15	165^{a}	2,2 ^{ab}	50^{a}	0,127 ^{a}
10	15	167^{a}	2,0 ^{bc}	50^{a}	0,127 ^{a}
15	15	165^{a}	1,9 ^{c}	49^{a}	0,124 ^{a}

Примечание: Различия между значениями, обозначенными одинаковыми буквенными индексами, в каждом столбце статистически незначимы при $p < 0.05$ /

Note: Means followed by the same letters within a column are not significantly different at $p < 0.05$

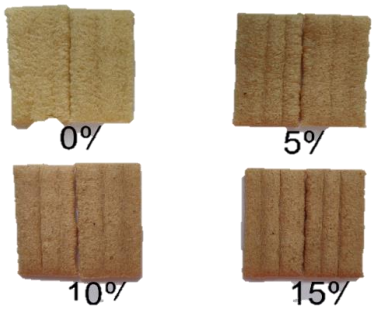


Рисунок 1. Фотографии хлебцев экструзионной технологии с различным уровнем внесения в рецептуру зерно-черносмородиновой барды

Figure 1. Crispbreads with the addition of grain-blackcurrant stillage

Оценка изменения структурно-механических характеристик полученных хлебцев показала, что внесение и увеличение содержания барды снизило коэффициент вертикального расширения стренга с 9,7 до 7,3. Это непротиворичивый эффект, отмечаемый для большинства экструдируемых крахмалсодержащих смесей с увеличивающейся долей некрахмальных твердых частиц и пищевых волокон, источником которых является зерно-фруктовая барда. В аспекте расширения стренга экструдата барда является водоудерживающим компонентом и дисперной фазой расплава, уменьшая долю свободной влаги и его эластичность. Вследствие этого ограничивается

рост размеров пор при выходе из отверстий матрицы экструдера. Отмечено отсутствие негативного влияния на текстурные характеристики экструдатов (таблица 2). Твердость не изменялась, показатель количества микроразломов, характеризующий пористость экструдатов, с добавлением барды значимо увеличился с 10,9 до 13,1–13,2. Этот эффект можно интерпретировать как формирование более мелкопористой и равномерной структуры с большим числом центров парообразования, которыми могут являться частицы клеточных стенок, пектинсодержащие фрагменты и др [18]. Снижение общего вспучивания стренга экструдата компенсируется увеличением количества межпоровых стенок, в результате чего твердость экструдата не меняется, а текстурная характеристика хрусткости увеличивается. Таким образом, повышение дозировки барды позволяет улучшить пористость и хрусткость экструдатов без потери механической стабильности изделий.

Таблица 2.

Структурно-механические характеристики экструдатов с зерно-черносмородиновой бардой на основе рисово-кукурузной смеси

Table 2.

Mechanical and textural properties of extrudates

% добавления зерно-черносмородиной барды % dosage of grain-blackcurrant stillage	Коэффициент линейного расширения стренга Vertical expansion index	Твердость, Н Hardness, N	Количество микроразломов Number of microfractures
0	9,7	0,9 a	10,9
5	8,6	1,1 a	13,1 a
10	8,2	0,75 a	13,2 a
15	7,3	0,9 a	13,1 a

Примечание: Различия между значениями, обозначенными одинаковыми буквенными индексами, в каждом столбце статистически незначимы при $p < 0.05$ /

Note: Means followed by the same letters within a column are not significantly different at $p < 0.05$

Зерно-черносмородиновая барда характеризуется высоким содержанием белка, пищевых волокон и фенольных соединений. Оценка изменения пищевой ценности экструдированных хлебцев показывает (таблица 3), что увеличение доли зерно-черносмородиновой барды (5–15%) сопровождается ростом содержания белка, пищевых волокон и фенольных соединений в экструдатах. В сравнении с контролем белок возрастает на 69 %, пищевые волокна на 110%, а суммарные фенольные соединения на 62%.

Таблица 3.

Оценка содержания отдельных нутриентов в образцах экструдированных хлебцев с зерно-черносмородиновой бардой

Table 3.

Evaluation of the content of individual nutrients in samples of extruded crispbread with grain-blackcurrant stillage

% добавления зерно-черносмородиновой барды % dosage of grain-blackcurrant stillage	Белок, г/100 г Protein, g/100 g	Пищевые волокна, г/100 г Dietary fibers, g/100 g	Фенольные вещества, мг/ кг Phenolic compounds, mg/kg
0	7,4	3,9	915,3
5	8,8	5,3	1223,3
10	10	5,9	1306,3
15	11,3	8,2	1479,6

Сопоставление экспериментальных и расчетных значений содержания полифенольных соединений показывает устойчивое и нарастающее превышение фактических уровней над ожидаемыми: 30,5% при 5% барды, 36,0% при 10%, 50,5% при 15% (рисунок 2). Вероятными факторами такого эффекта являются предварительная ферментативная обработка жмыха смородины (ксиланаза, протеаза и др.) и брожение, частично разрушающие клеточные стенки, а также термомеханическое воздействие двухшнековой экструзии, дополнительно деструктирующее связанную полифенольную фракцию клеточного матрикса сырья.

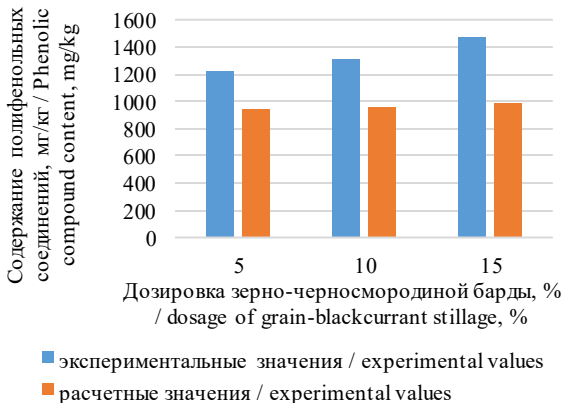


Рисунок 2. Содержание полифенольных соединений

Figure 2. The content of polyphenolic compounds

В целом совокупность показателей образует внутренне согласованную, логически непротиворечивую картину обогащения экструдированных хлебцев и указывает на возможность целенаправленного конструирования нутритивного профиля экструдатов за счёт дозирования зерно-черносмородиновой барды.

Опубликованные данные по влиянию экструзии на полифенольные фракции сельхозсырья [19] показывают двунаправленную природу изменений полифенолов при экструзии: с одной стороны, термолабильные соединения могут разрушаться, с другой – деструкция клеточной матрикса и распад высокомолекулярных комплексов повышают извлекаемость фенолов; итоговый баланс чувствителен к множеству факторов экструзионной переработки. В многокомпонентных системах описаны случаи увеличения количества полифенолов до ~180%, что также согласуется с полученными результатами.

Заключение

Полученные данные свидетельствуют о возможности использования черносмородиновой барды в качестве компонента, повышающего функциональную ценность экструдированных продуктов за счёт полифенольных соединений.

Разработаны рецептуры хлебцев экструзионной технологии, состав рецептуры которых включает пшеничную обойную муку, зерно-черносмородиновую барду, стабилизатор карбонат кальция, соль или рис, кукурузу, зерно-черносмородиновую барду, стабилизаторы карбонат кальция, хлорид калия, соль.

По результатам исследований разработан технологические решения и технологическая инструкция по производству экструдированной пищевой продукции с использованием зерно-черносмородиновой барды. Технология получения экструдированных хлебцев включает стадии формирования экструдируемой смеси, экструзии при температуре 140–160 °С, нарезки стренга экструдата, подсушки и упаковки хлебцев.

Благодарности

Работа проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания (тема № FGMF-2023–0004).

Литература

1 Iqbal A.S., Shulz P., Rizvi S. Valorization of bioactive compounds in fruit pomace from agro-fruit industries: Present Insights and future challenges // Food Bioscience. 2021. V. 44. P. 101384. doi: 10.1016/j.fbio.2021.101384.

2 Michalska-Ciechanowska A. A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products // Trends in Food Science & Technology. 2019. V. 88. P. 207–219. doi: 10.1016/j.tifs.2019.03.021.

3 Римарева Л.В., Серба Е.М., Соколова Е.Н., Игнатова Н.И., Фурсова Н.А. К вопросу о целесообразности использования ягод черной смородины для получения оригинальных зерно-фруктовых дистиллятов // Пищевая промышленность. 2023. № 5. С. 61–63. doi: 10.52653/PPI.2023.5.5.017.

4 Šimonėlienė A. Distillate composition from fermented black currant, aronia, rhubarb, apple, and raspberry wines // Mokslas taikomieji tyrimai Lietuvos kolegijose. 2023. V. 19. № 1. P. 246–252. doi: 10.59476/mtt.v1i19.593.

5 Guncheva R. Characteristic of species Morus alba L. and Morus nigra L. by some basic vegetative traits // Agricultural Science & Technology. 2024. V. 16. № 2. P. 18–24. doi: 10.15547/ast.2024.02.019.

6 Kelanne N., Yang B., Liljenbäck L., Laaksonen O. Phenolic compound profiles in black currant beverages fermented with yeasts // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2020. V. 68. № 37. P. 10128–10141. doi: 10.1021/acs.jafc.0c03354.

7 Patelski A.M., Dziekońska-Kubczak U., Ditrych M. The fermentation of orange and black currant juices by the probiotic yeast Saccharomyces cerevisiae var. boulardii // Applied Sciences. 2024. V. 14. № 7. P. 3009. doi: 10.3390/app14073009.

8 Dumitraşcu L., Patrascu L., Banu I., Ina V. The influence of processing on bioactive compounds of berries // Applied Sciences. 2024. V. 14. № 19. P. 8713. doi: 10.3390/app14198713.

9 Makarova N.V., Valiulina D.F., Eremeeva N.B. Comparative studies of extraction methods of biologically-active substances with antioxidant properties from grape seed (Vitis vinifera L.) // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10. № 1. С. 140–148. doi: 10.21285/2227-2925-2020-10-1-140-148.

10 Saad A.M., El-Saadony M.T., El-Tarabily K.A., Abd El-Hack M.E. et al. Dietary polyphenols and human health: sources, biological activities, nutritional and immunological aspects, and bioavailability – a comprehensive review // Frontiers in Immunology. 2025. V. 16. P. 1653378. doi: 10.3389/fimmu.2025.1653378.

11 Серба Е.М., Игнатова Н.И., Соколова Е.Н., Микуляк А.А., Римарева Л.В. Обоснование перспективы использования плодово-ягодного сырья в производстве оригинальных дистиллятов // Вопросы питания. 2023. Т. 92. № S5 (549). С. 256–257. doi: 10.33029/0042-8833-2023-92-5s-320.

12 Никитенко В.Д., Туршатов М.В., Соловьев А.О., Леденев В.П., Кононенко В.В., Абрамова И.М. Сравнительное исследование различных спиртовых дрожжей для улучшения технологических и органолептических характеристик зерно-яблочных дистиллятов // Крахмал и его производные. 2024. № 3 (5). С. 12–16.

13 Soja J., Combrzyński M., Oniszczuk T., Gancarz M., Oniszczuk A. Extrusion-Cooking and Physical Characteristics of Snacks Pellets with Addition of Selected Plant Pomace // Applied Sciences. 2024. V. 14. № 19. P. 8754. doi: 10.3390/app14198754.

14 Wang S., Gu B.J., Ganjyal G.M. Impacts of the Inclusion of Various Fruit Pomace Types on the Expansion of Corn Starch Extrudates // LWT – Food Science and Technology. 2019. V. 110. P. 223–230. doi: 10.1016/j.lwt.2019.03.094.

15 Gumul D., Berski W., Zięba T. The Influence of Fruit Pomaces on Nutritional, Pro-Health Value and Quality of Extruded Gluten-Free Snacks // Applied Sciences. 2023. V. 13. № 8. P. 4818. doi: 10.3390/app13084818.

16 Кириллов Е.А., Никитенко В.Д., Туршатов М.В., Кононенко В.В., Соловьев А.О. Исследования по получению дистиллятов из сброженного зерно-фруктового сырья на аппаратах периодического действия // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2024. Т. 86. № 3 (101). С. 89–95. doi: 10.20914/2310-1202-2024-3-89-95.

17 Соловьев А.О., Туршатов М.В., Кононенко В.В., Погоржельская Н.С., Павленко С.В. Переработка клубней топинамбура в дистилляты для производства оригинальных спиртных напитков // Индустрия питания. 2022. № 7 (4). С. 36–43. doi: 10.29141/2500-1922-2022-7-4-4.

18 Kristiawan M., Della Valle G., Vergnes B. Extrusion—Cooking and expansion // Breakfast Cereals and How They Are Made. 4th ed. St. Paul: AACC International Press, 2020. P. 141–167.

19 Šárka E., Sluková M., Henke S. Changes in Phenolics during Cooking Extrusion: A Review // Foods. 2021. V. 10. № 9. P. 2100. doi: 10.3390/foods10092100.

20 Blejan A.M., Danciu C., Ciolan G.C., Velescu B.Ș., Negres S., Ancuceanu R.V. Corn-Based Extruded Snacks Supplemented with Bilberry Pomace Powder: Physical, Chemical, Functional, and Sensory Properties // Applied Sciences. 2025. V. 15. № 5. P. 2468. doi: 10.3390/app15052468.

21 Niemira J., Galus S. Valorization of red beetroot (Beta vulgaris L.) pomace combined with golden linseed (Lini semen) for the development of vegetable crispbreads as gluten-free snacks rich in bioactive compounds // Molecules. 2024. V. 29. № 9. P. 2105. doi: 10.3390/molecules29092105.

References

1 Iqbal A.S., Shulz P., Rizvi S. Valorization of bioactive compounds in fruit pomace from agro-fruit industries: Present Insights and future challenges. Food Bioscience. 2021. vol. 44. p. 101384. doi: 10.1016/j.fbio.2021.101384

2 Michalska-Ciechanowska A. A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products. Trends in Food Science & Technology. 2019. vol. 88. pp. 207–219. doi: 10.1016/j.tifs.2019.03.021

3 Rimareva L.V., Serba E.M., Sokolova E.N., Ignatova N.I., Fursova N.A. On the feasibility of using black currant berries for obtaining original grain-fruit distillates. Food Industry. 2023. no. 5. pp. 61–63. doi: 10.52653/PPI.2023.5.5.017 (in Russian)

4 Šimonėlienė A. Distillate composition from fermented black currant, aronia, rhubarb, apple, and raspberry wines. Science and Applied Research at Lithuanian University Colleges. 2023. vol. 19. no. 1. pp. 246–252. doi: 10.59476/mtt.v1i19.593

5 Guncheva R. Characteristic of species Morus alba L. and Morus nigra L. by some basic vegetative traits. Agricultural Science and Technology. 2024. vol. 16. no. 2. pp. 18–24. doi: 10.15547/ast.2024.02.019

6 Kelanne N., Yang B., Liljenbäck L., Laaksonen O. Phenolic compound profiles in black currant beverages fermented with yeasts. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2020. vol. 68. no. 37. pp. 10128–10141. doi: 10.1021/acs.jafc.0c03354

7 Patelski A.M., Dziekońska-Kubczak U., Ditrych M. The fermentation of orange and black currant juices by the probiotic yeast Saccharomyces cerevisiae var. boulardii. Applied Sciences. 2024. vol. 14. no. 7. p. 3009. doi: 10.3390/app14073009

8 Dumitrașcu L., Patrascu L., Banu I., Ina V. The influence of processing on bioactive compounds of berries. Applied Sciences. 2024. vol. 14. no. 19. p. 8713. doi: 10.3390/app14198713

9 Makarova N.V., Valiulina D.F., Eremeeva N.B. Comparative studies of extraction methods of biologically-active substances with antioxidant properties from grape seed (Vitis vinifera L.). Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2020. vol. 10. no. 1. pp. 140–148. doi: 10.21285/2227-2925-2020-10-1-140-148 (in Russian)

10 Saad A.M., El-Saadony M.T., El-Tarabily K.A., Abd El-Hack M.E. et al. Dietary polyphenols and human health: sources, biological activities, nutritional and immunological aspects, and bioavailability–a comprehensive review. Frontiers in Immunology. 2025. vol. 16. p. 1653378. doi: 10.3389/fimmu.2025.1653378

11 Serba E.M., Ignatova N.I., Sokolova E.N., Mikulyak A.A., Rimareva L.V. Substantiation of the prospects for the use of fruit and berry raw materials in the production of original distillates. Problems of Nutrition. 2023. vol. 92. no. S5 (549). pp. 256–257. doi: 10.33029/0042-8833-2023-92-5s-320 (in Russian)

12 Nikitenko V.D., Turshatov M.V., Solovyev A.O., Ledenev V.P., Kononenko V.V., Abramova I.M. Comparative study of different alcohol yeasts to improve the technological and organoleptic characteristics of grain-apple distillates. Starch and Its Derivatives. 2024. no. 3 (5). pp. 12–16. (in Russian)

13 Soja J., Combrzyński M., Oniszczuk T., Gancarz M., Oniszczuk A. Extrusion-Cooking and Physical Characteristics of Snacks Pellets with Addition of Selected Plant Pomace. Applied Sciences. 2024. vol. 14. no. 19. p. 8754. doi: 10.3390/app14198754

14 Wang S., Gu B.J., Ganjyal G.M. Impacts of the Inclusion of Various Fruit Pomace Types on the Expansion of Corn Starch Extrudates. LWT – Food Science and Technology. 2019. vol. 110. pp. 223–230. doi: 10.1016/j.lwt.2019.03.094

15 Gumul D., Berski W., Zięba T. The Influence of Fruit Pomaces on Nutritional, Pro-Health Value and Quality of Extruded Gluten-Free Snacks. Applied Sciences. 2023. vol. 13. no. 8. p. 4818. doi: 10.3390/app13084818

16 Kirillov E.A., Nikitenko V.D., Turshatov M.V., Kononenko V.V., Solovyev A.O. Research on obtaining distillates from fermented grain-fruit raw materials on batch apparatus. Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies. 2024. vol. 86. no. 3 (101). pp. 89–95. doi: 10.20914/2310-1202-2024-3-89-95 (in Russian)

17 Solovyev A.O., Turshatov M.V., Kononenko V.V., Pogorzhelskaya N.S., Pavlenko S.V. Processing of Jerusalem artichoke tubers into distillates for the production of original alcoholic beverages. Food Industry. 2022. no. 7 (4). pp. 36–43. doi: 10.29141/2500-1922-2022-7-4-4 (in Russian)

18 Kristiawan M., Della Valle G., Vergnes B. Extrusion—Cooking and expansion. Breakfast Cereals and How They Are Made. 4th ed. St. Paul: AACC International Press, 2020. pp. 141–167.

19 Šárka E., Sluková M., Henke S. Changes in Phenolics during Cooking Extrusion: A Review. Foods. 2021. vol. 10. no. 9. p. 2100. doi: 10.3390/foods10092100

20 Blejan A.M., Danciu C., Ciolan G.C., Velescu B.Ș., Negres S., Ancuceanu R.V. Corn-Based Extruded Snacks Supplemented with Bilberry Pomace Powder: Physical, Chemical, Functional, and Sensory Properties. Applied Sciences. 2025. vol. 15. no. 5. p. 2468. doi: 10.3390/app15052468

21 Niemira J., Galus S. Valorization of red beetroot (Beta vulgaris L.) pomace combined with golden linseed (Lini semen) for the development of vegetable crispbreads as gluten-free snacks rich in bioactive compounds. Molecules. 2024. vol. 29. no. 9. p. 2105. doi: 10.3390/molecules29092105

Сведения об авторах

Антон.Ю. Шариков к.т.н., Заведующий, отдел оборудования и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Самокатная, 4 Б, г. Москва, 111033, Россия, anton.sharikov@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-9483-5209

Алексей А. Голубев инженер технолог, отдел оборудования и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи , Самокатная, 4 Б, Москва, 111033, Россия, 4953624495@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3847-6472

Елена Н. Соколова к.б.н., ведущий научный сотрудник, отдел биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Самокатная, 4 Б, Москва, 111033, Россия, 4953624495@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6084-7786

Мария В. Амелякина к.т.н., старший научный сотрудник, отдел оборудования и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Самокатная, 4 Б, Москва, 111033, Россия, foodbiotech@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-5138-6746

Елизавета Р. Крючкова Инженер-технолог 1 категории, отдел биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Самокатная, 4 Б, Москва, 111033, Россия, 4953624495@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8012-0907

Виктор В. Иванов к.т.н., ведущий научный сотрудник, отдел оборудования и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Самокатная, 4 Б, Москва, 111033, Россия, foodbiotech@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-6492-7070

Information about authors

Anton Yu. Sharikov Cand. Sci. (Engin.), Head, department of Equipment and Membrane Technologies, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology is a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety , Samokatnaya str., 4 B, Moscow, 111033, Russia, anton.sharikov@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-9483-5209

Alexey A. Golubev process engineer, department of Equipment and Membrane Technologies, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology is a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str , 4 B, Moscow, 111033, Russia, 4953624495@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-3847-6472

Elena N. Sokolova Cand. Sci. (Biol.), leading researcher, department of Biotechnology of Enzymes, Yeast, Organic Acids and Dietary Supplements , All-Russian Research Institute of Food Biotechnology is a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety), Samokatnaya str., 4 B, Moscow, 111033, Russia, 4953624495@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-6084-7786

Maria V. Amelyakina Cand. Sci. (Engin.), department of Equipment and Membrane Technologies, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology is a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety , Samokatnaya str., 4 B, Moscow, 111033, Russia, foodbiotech@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-5138-6746

Elizabeth R. Kryuchkova process engineer, department of Biotechnology of Enzymes, Yeast, Organic Acids and Dietary Supplements, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology is a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4 B, Moscow, 111033, Russia, 4953624495@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-8012-0907

Viktor V. Ivanov Cand. Sci. (Engin.), leading researcher , department of Biotechnology of Enzymes, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology is a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4 B, Moscow, 111033, Russia, foodbiotech@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-6492-7070

Вклад авторов

Антон.Ю. Шариков написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Алексей А. Голубев обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчёты
Елена Н. Соколова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчёты
Мария В. Амелякина написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат
Елизавета Р. Крючкова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчёты
Виктор В. Иванов консультация в ходе исследования

Contribution

Anton Yu. Sharikov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Alexey A. Golubev review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Elena N. Sokolova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Maria V. Amelyakina wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Elizabeth R. Kryuchkova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Viktor V. Ivanov consultation during the study

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/08/2025	**После редакции** 25/08/2025	**Принята в печать** 14/09/2026

Received 11/08/2025	**Accepted in revised** 25/08/2025	**Accepted** 14/09/2026