

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-1-90-109>

УДК [635.656:541.182]:615.355



Гороховая дисперсия как основа для производства ферментированных продуктов

Д.А. Самсонова✉, С. Баруа, М.Д. Гурда, Н.В. Яковченко

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»;

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉dashafom@mail.ru

Аннотация. Введение. Продукты на растительной основе, в том числе ферментированные продукты, приобретают большую популярность. Это связано с тем, что все большее количество людей по этическим, экологическим, религиозным или медицинским причинам придерживаются вегетарианства. **Цель исследования.** Целью исследования являлось определить возможность использования гороховой дисперсии в качестве основы для производства ферментированных продуктов с антиоксидантными свойствами. **Методы.** Исследования проводились на базе лабораторий факультета биотехнологий Университета ИТМО. Процесс ферментации гороховой дисперсии с культурами *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium longum*, *Propionibacterium freudenreichii subsp. shermani*, *Streptococcus thermophilus*, *Bacillus coagulans* был исследован с точки зрения динамики кислотонакопления и изменения активной кислотности, прироста биомассы, изменения органолептических свойств после ферментации, а также изменение антиоксидантной активности после ферментации и в процессе хранения. **Результаты.** Эффективность ферментации гороховой дисперсии значительно изменяется в зависимости от используемой культуры. Самое длительное время ферментации в 15 часов было выявлено у штамма *Bacillus coagulans*, самое короткое – в 7 часов у *Streptococcus thermophilus*. В большинстве образцов был отмечен прирост биомассы при ферментации гороховой дисперсии с наибольшими значениями у образцов, ферментированных *B. bifidum* – с приростом в 23,64 % до 9,25 lg(КОЕ/мл) и *B. coagulans* MTCC 5856 – с приростом в 14,68% до 7,26 lg(КОЕ/мл). В первый день после ферментации у большинства образцов отмечается повышение антиоксидантной активности, которая уменьшается в течение срока хранения. Ферментация приводит к значительному улучшению органолептических свойств продукта, улучшая однородность и снижая горечь. **Заключение.** Таким образом, гороховая дисперсия представляет собой перспективную основу для производства как самостоятельных ферментированных продуктов, так и в качестве ферментированного компонента десертов, в том числе замороженных.

Ключевые слова: гороховая дисперсия, химический состав, антиоксидантная активность, ферментация, молочнокислые бактерии, пропионовокислые бактерии, бифидобактерии

Для цитирования: Самсонова Д.А., Баруа С., Гурда М.Д., Яковченко Н.В. Гороховая дисперсия как основа для производства ферментированных продуктов. *Новые технологии / New technologies*. 2025; 21(1):90-109. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-1-90-109>

Финансирование: статья выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-26-00288

Pea dispersion as a basis for the production of fermented products

D.A. Samsonova✉, S. Barua, M.D. Gurda, N.V. Iakovchenko

ITMO University; Saint-Petersburg, the Russian Federation
✉dariafom19@mail.ru

Abstract. Introduction. Plant-based products, including fermented products, are becoming increasingly popular. This is due to the fact that an increasing number of people adhere to vegetarianism for ethical, environmental, religious or medical reasons. **The goal.** The goal of the research was to determine the possibility of using pea dispersion as a basis for the production of fermented products with antioxidant properties. **The Methods.** The research was conducted in the laboratories of the Faculty of Biotechnology of ITMO University. The fermentation process of pea dispersion with *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. shermani*, *Streptococcus thermophilus*, *Bacillus coagulans* cultures was studied in terms of acid accumulation dynamics and changes in active acidity, biomass increase, changes in organoleptic properties after fermentation, as well as changes in antioxidant activity after fermentation and during storage. **The Results.** The fermentation efficiency of pea dispersion varies significantly depending on the culture used. The longest fermentation time of 15 hours was found in *Bacillus coagulans* strain, the shortest – 7 hours in *Streptococcus thermophilus*. Most samples showed an increase in biomass during fermentation of pea dispersion, with the highest values in samples fermented by *B. bifidum* - with an increase of 23.64% to 9.25 lg (CFU / ml) and *B. coagulans* MTCC 5856 - with an increase of 14.68% to 7.26 lg (CFU / ml). On the first day after fermentation, most samples showed an increase in antioxidant activity, which decreases during the shelf life. Fermentation leads to a significant improvement in the organoleptic properties of the product, improving homogeneity and reducing bitterness. **Conclusion.** Thus, pea dispersion is a promising basis for the production of both independent fermented products and as a fermented component of desserts, including frozen ones.

Keywords: pea dispersion, chemical composition, antioxidant activity, fermentation, lactic acid bacteria, propionic acid bacteria, bifidobacteria

For citation: Samsonova D.A., Barua S., Gurda M.D., Iakovchenko N.V. Pea dispersion as a basis for the production of fermented products. *Novye tehnologii / New technologies*. 2025; 21(1):90-109. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2025-21-1-90-109>

Funding: the article was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 22-26-00288

Введение. Все больший спрос приобретают продукты на растительной основе, в том числе ферментированные. Мировой рынок растительных продуктов (альтернатив молочных продуктов) оценивается в сумму от 12,1 до 18,5 млрд. долларов США, и хотя большая часть рынка приходится на растительные напитки, доля рынка ферментированных продуктов, аналогов йогуртов, растет [1]. Это связано с увеличением количества людей, которые в силу этических, экологических, религиозных или медицинских причин придержи-

ются вегетарианства, а также людей, страдающих от непереносимости лактозы и аллергии на молочный белок [2].

Непереносимость лактозы широко распространена в мире и составляет от 57 до 65 %, в России у 61% населения выявлен дефицит лактазы [3, 4]. Аллергия на белок коровьего молока является самой распространенной пищевой аллергией у младенцев, распространенность которой колеблется от 2 до 5 %. Она проявляется как переходящая аллергия, однако при достижении детьми возраста 3-5 лет она сохраняется у

25% детей [5]. К возрасту 4 лет толерантность к белкам коровьего молока наступает в 19% случаев, к возрасту 8 лет – в 42%, к возрасту 12 лет – в 64%, а к 16 годам – в 79% [6]. При этом у около 0,4% взрослых аллергия на белки молока сохраняется [7]. Более того, тенденция развития направления производства продуктов на основе растительного сырья связана с нехваткой и дороговизной животного белка [8], а также с экологической проблемой изменения климата, который, в том числе, связан с животноводством [9].

В связи с ростом рынка продуктов на растительной основе существует мнение, что растительные аналоги продуктов вытесняют долю молочных продуктов с рынка [10]. Однако таксономические различия, основанные на растительном или животном происхождении, и сенсорная приемлемость доминируют в восприятии потребителей, что препятствуют замене молочных продуктов аналогичными продуктами растительного происхождения [11, 12]. Кроме того, значительная часть потребителей не ограничивается исключительно молочными продуктами или их растительными аналогами, а включает в свой рацион продукцию обеих категорий [13]. Поэтому рынок продуктов на растительной основе скорее формирует новую потребительскую нишу, чем вытесняет долю молочных продуктов.

У продуктов на растительной основе есть недостатки, связанные со специфическим вкусом сырья, недостаточной питательной ценностью и содержанием антипитательных веществ [14]. Однако у них есть и преимущества: они содержат функционально активные компоненты: фенольные соединения, обладающие антиоксидантной активностью; повышенное количество пищевых волокон, не содержат холестерин и лактозу, содержат витамины и минеральные вещества, и имеют низкую калорийность [12, 15, 16].

Для производства продуктов на растительной основе в качестве сырья наибольший интерес представляют зернобобовые культуры, так как они содержат большее количество белка и незаменимых аминокислот по сравнению с зерновыми культурами. Из зернобобовых наиболее широко используется соя, однако она обладает высокой аллергенностью и содержит большое количество изофлавонов [17]. Поэтому в настоящее время активно рассматриваются другие сырьевые источники: прочие бобовые культуры, масличные культуры, орехи и даже фруиты и корнеплоды [18, 19].

В Российской Федерации ведущей зернобобовой культурой является *Pisum sativum* (горох). Согласно данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат), по состоянию на 2015 год Россия занимала вторую позицию в мировом рейтинге стран-производителей данной культуры. Значительная часть объемов ее выращивания сосредоточена в Ставропольском крае, Ростовской области и Алтайском крае, что обусловлено благоприятными агроклиматическими условиями данных регионов [20].

Гороховые бобы являются ценными источниками макроэлементов, включая высокомолекулярные биополимеры, такие как белки (лимитирующие аминокислоты – метионин и цистеин), крахмал, пищевые волокна и некрахмальные полисахариды. Кроме того, его химический состав включает калий, фосфор, магний и кальций. При этом горох характеризуется низким содержанием холестерина и натрия, что делает его перспективным компонентом в разработке функциональных и диетических пищевых продуктов [21, 22].

Помимо этого, значительную роль в его биологической активности играют полифенольные соединения, преимущественно представленные флавоноидами и фенольными кислотами, которые локализуются, в основном, в оболочках семян. Благодаря

комплексу биологически активных компонентов горох и его производные демонстрируют широкий спектр физиологически значимых эффектов, включая антиоксидантное, противовоспалительное, антимикробное, нефропротекторное, антифиброзное действие, а также способность модулировать метаболические процессы, связанные с развитием метаболического синдрома [23].

Горох (*Pisum sativum*) представляет собой перспективное сырье для глубокой переработки, позволяя получать широкий спектр пищевых продуктов. В частности, из него могут быть произведены растительные напитки, продукты на основе пророщенного гороха, пищевые изделия с добавлением гороховой муки, а также альтернативные мясные аналоги, созданные на основе белковых фракций данной культуры. [23, 24, 25, 26]. Особый интерес горох представляет в качестве основного сырья для производства ферментированных напитков из гороха. В процессе ферментации растительного сырья микроорганизмы способны модулировать его текстурные и реологические характеристики, а также участвовать в формировании специфического органолептического профиля конечного продукта и повысить его питательные свойства и микробиологическую безопасность [27, 28]. Кроме того, их метаболическая активность может способствовать повышению антиоксидантного потенциала ферментированного продукта за счет разрушения клеточных стенок растений и высвобождения антиоксидантных соединений, а также за счет увеличения количества фитохимических веществ, антиоксидантных полисахаридов и антиоксидантных пептидов, образующихся в результате микробного гидролиза или биотрансформации [29, 30, 31].

Для процесса ферментации использование пробиотических культур микроорганизмов является предпочтительным в

связи с тем, что в процессе ферментации данные микроорганизмы обогащают продукт продуктами своей жизнедеятельности: молочной кислотой, бактериоцинами, различными летучими веществами и другими [32]. Пробиотики, такие как молочнокислые бактерии, *Bifidobacterium*, *Propionibacterium* и другие, входят в состав нормальной микрофлоры человека и животных. Кроме того, различные исследования *in vitro* и *in vivo* показали, что пробиотики обладают высокой антагонистической активностью по отношению к гнилостным, патогенным и условно-патогенным микроорганизмам, таким как *Escherichia coli*, *Salmonella paratyphi*, *Salmonella typhi*, *Pseudomonas spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Proteus spp.*, *Acinetobacter*, виды *Candida* и другим [33].

Таким образом, целью данной работы является определить возможность использования гороховой дисперсии в качестве основы для производства ферментированных продуктов с антиоксидантными свойствами.

Объекты и методы исследования. Исследования проводились в Университете ИТМО на базе лаборатории факультета биотехнологий. В исследованиях использовался горох целый желтый Российского производства торговой марки «Националь» (ООО «Компания «Ангстрем Трейдинг», Россия; массовая доля белка 42-43%, массовая доля жира 20%, влажность 9%), геллановая камедь (Zhejiang Tech-Way Biotechnology Co., Ltd, Китай), заквасочные культуры: *Lactobacillus acidophilus* 57S (Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Россия); *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* (Yo100, Micromilk s.r.l., Италия); *Bifidobacterium bifidum* (LYOBAC-D, ALCE, Италия); *Bifidobacterium longum* B379M (ООО «Пропионикс», Россия); *Propionibacterium freudenreichii subsp. shermani* KM-186 (ООО «Пропионикс»,

Россия); *Streptococcus thermophilus* (Danisco TA 40 LYO 50 DCU, Дания), *Bacillus coagulans* MTCC 5856 (LactoSpore®, США).

Титруемую кислотность определяли по методу [34]. Содержание пропионовой кислоты определяли с использованием ВЭЖХ системы Shimadzu LC-20 Prominence в соответствии с методом [35] с модификациями. Ферментированные образцы дисперсий в количестве 25 мл были смешивали с 0,001 М H₂SO₄ и центрифугировали при 10000 об/мин в течение 15 минут. Полученные супернатанты пропускали через фильтр с размером пор 0,22 мкм. Объем образца для определения составил 10 мкл. Активную кислотность определяли с помощью портативного рН-метра рН-410 с комбинированным стеклянным электродом (Научно–производственное объединение «ТЕХНОКОМ», Россия).

Массовую долю сухих веществ определяли гравиметрическим методом по ГОСТ 3626–73 «Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества». Массовую долю золы определяли гравиметрическим методом по ГОСТ 15113.8-77 «Концентраты пищевые. Методы определения золы». Массовую долю белка определяли по методу Лоури спектрофотометрически по ОФС.1.2.3.0012.15 «Определение белка». Массовую долю жира определяли гравиметрически по ГОСТ 8756.21-89 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения жира». Массовая доля клетчатки была определена по ГОСТ 31675-2012 «Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации». Массовая доля углеводов определялась расчетным методом. Содержание полифенолов определялось колориметрическим методом с применением реактива Фолина-Чокальтеу и пересчетом на галловую кислоту по Р 4.1.1672-03 «Руководство по методам контроля качества и

безопасности биологически активных добавок к пище».

Антиоксидантная активность определялась спектрофотометрическим модифицированным методом с использованием DPPH [36]. Для подготовки образца 2,5 г исследуемой дисперсии экстрагировали в 10,0 мл этанола путем добавления в центрифужную пробирку с последующим центрифугированием в течение 10 минут при 6000 об/мин. Для исследования 250 мкл полученного экстракта образца смешивали с 2,250 мл этанола и 1,0 мл свежеприготовленного 0,1 мМ этанольного раствора реактива DPPH. В качестве контроля использовали смесь 1,5 мл пустого образца и 1,5 мл 0,1 мМ этанольного раствора реактива DPPH. Подготовленные образцы хорошо перемешивали и оставляли в темноте на 30 минут, после чего измеряли оптическую плотность при 517 нм. Результаты выражали в % активности по удалению свободных радикалов (FRSA) [37].

Оценивание органолептических показателей проводилось согласно ГОСТ ISO 4121–2016 «Органолептический анализ. Руководящие указания по применению шкал количественных характеристик» и ГОСТ ISO 6658–2016 «Органолептический анализ. Методология. Общее руководство». Дисперсии оценивали по нескольким критериям: вкус, послевкусие, запах ферментации и гомогенность. Оценки составлялись по 7 балльной шкале, где 1 балл означает, что критерий не был выявлен, 7 – критерий интенсивно выражен.

Микроорганизмы *Bifidobacterium bifidum* были подсчитаны по ГОСТ 33924-2016 «Молоко и молочная продукция. Методы определения бифидобактерий». Для ферментации получали биомассу микроорганизмов путем культивирования на питательных средах в течение 48-96 ч. и последующим центрифугированием при 5000 об/мин в течение 10 мин. К отделенной биомассе добавляли криопротектор и использо-

вали для ферментирования образцов. Выживаемость микроорганизмов определяли методом серийных разведений в стерильном 0,9% растворе хлорида натрия и посевом на питательную среду [38,39].

Все исследования были проведены в трехкратной повторности. Статистическую обработку результатов проводили с использованием общепринятых методов. Для

оптимизации расчетов использовалось программное обеспечение Microsoft Excel, результаты считали достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение. Рекомендуемая технологическая схема производства растительной основы для изготовления ферментированного продукта представлена на рисунке 1.

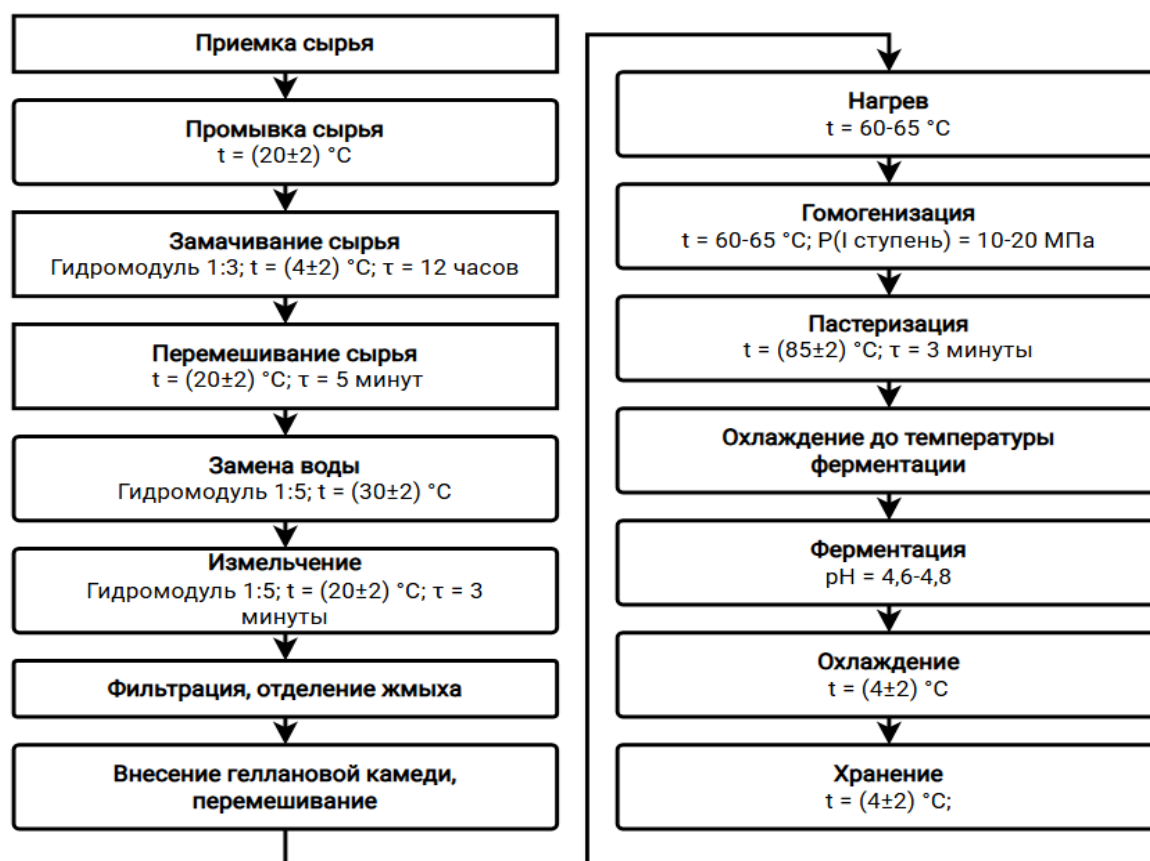


Рис. 1. Технологическая схема производства ферментированной гороховой дисперсии

Fig. 1. Process chart of fermented pea dispersion production

Растительная основа для изготовления ферментированного продукта на основе гороха представляет собой водорастворимую дисперсию, которая по внешнему виду напоминает молоко. Для получения дисперсии горох промывали в воде при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, а затем замачивали в соотношении 1:3 (сырье:вода) при температуре $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 12 часов. Замачивание позволяет размягчить клеточные

стенки бобов для облегчения их измельчения.

После гидратации размягченный горох с водой перемешивали, а затем оставшуюся воду сливали для удаления водорастворимых олигосахаридов и ферментов [12], а на ее место наливали свежую в том же объеме, что был слит. Набухший горох измельчали в блендере (Philco®, модель PH900) со свежей водой в течение 3 минут, после чего от

дисперсии отделялся жмых путем отжима через лавсановые мешки (плотность 140 г/м²). При гидромодуле 1:3 консистенция дисперсии получалась достаточно густой и плотной для изготовления дисперсии, что было особенно ярко выражено после высокотемпературной обработки, пастеризации. Поэтому опытным путем был подобран гидромодуль 1:5, при котором консистенция растительной основы получалась как у коровьего молока. При гидромодуле свыше 1:5 дисперсия приобретает чрезмерно жидкую, водянистую консистенцию, слабый вкус и запах.

Крахмалистые вещества, содержащиеся в горохе, большая часть которых представлена амилозой и амилопектином, при отстое выпадают в осадок, а при нагревании образуют резиноподобный комок. Это связано с реакцией желатинизации крахмала при нагреве, пиковая температура которого составляет 64,2-70,1 °С, что ниже температуры пастеризации [40]. Также дисперсия склонна к расслоению через 24 часа после выработки. Поэтому для увеличения стабильности системы и для равномерного распределения веществ в состав был добавлен стабилизатор. На основе литературных источников была выбрана геллановая камедь, так как она отлично стабилизирует твердые частицы и придает дисперсии при-

ятную консистенцию «текучего геля». Камедь добавляли в дисперсию в количестве 0,03% в соответствии с рекомендациями производителя перед пастеризацией [41].

После отделения жмыха и добавления стабилизатора дисперсию нагревали до температуры 60-65 °С и гомогенизировали при давлении на первой ступени 10-20 МПа (Лабораторный гомогенизатор GEA Niro Soavi NS2002H, Twin Panda 400, GEA Mechanical Equipment Italia S.p.A., Италия). Гороховую дисперсию пастеризовали при температуре (85±2) °С в течение 3 минут в термомиксе (Thermomix® TM5-1, Vorwerk Elektrowerke GmbH&Co., Германия) для обеспечения микробиологической безопасности и стабильности дисперсии. В охлажденной пастеризованной дисперсии были определены физико-химические показатели, в том числе показатели пищевой ценности, представленные в таблице 1.

Полученные значения титруемой и активной кислотности приближены к коровьему молоку. Содержание сухих веществ достаточно невысокое, большую часть которых представляют углеводы, преимущественно крахмал, пищевые волокна, и некрахмальные полисахариды [23, 42, 43]. Содержание клетчатки в растительной дисперсии низкое, так как нерастворимые пищевые волокна остались в жмыхе.

Таблица 1. Физико-химические показатели гороховой дисперсии
Table 1. Physical and chemical properties of pea dispersion

Наименование показателя	Значение показателя
Титруемая кислотность, °Т	15,0±0,75
Активная кислотность	6,59±0,33
Содержание сухих веществ, %	5,73±0,28
Массовая доля золы, %	0,30±0,05
Массовая доля белка, %	1,58±0,08
Массовая доля жира, %	0,12±0,02
Массовая доля углеводов, %	3,73 ±0,37
Массовая сырой клетчатки, %	менее 0,1
Массовая доля фенольных соединений, мг/100 мл	55,33±2,77
АОА, % активности по удалению свободных радикалов	42,93±1,29

Жир в гороховой дисперсии практически отсутствует, в отличие от другого представителя бобовых – сои. Однако при производстве продуктов на основе гороховой дисперсии, в том числе ферментированных, возможно рассмотреть дополнительное внесение жировой фракции, богатой полиненасыщенными жирными кислотами, в частности, омега-3 и омега-6.

Содержание белка в полученной дисперсии также довольно невысокое, почти в 2 раза меньше, чем в коровьем молоке. Содержание золы составило 0,30 %. Фенольные соединения являются одними из основных антиоксидантов растительного происхождения. В 100 мл образца содержится достаточно высокое содержание фенольных соединений в пересчете на галловую кислоту 110,66 % от адекватного уровня потребления для взрослых согласно МР 2.3.1.0253-21 «Нормы в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» и 55,33% от адекватного уровня потребления согласно Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) (с изменениями на 22 февраля 2022 года).

Пастеризованную гороховую дисперсию охлаждали до температуры ферментации: до 32 °С для ферментации культурой *Propionibacterium freudenreichii subsp. shermani* KM-186; до 37 °С для ферментации культурами *Lactobacillus acidophilus* 57S, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium longum* B379M; до 40 °С для ферментации культурой *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*; до 45 °С для ферментации культурами *Streptococcus thermophilus* и *Bacillus coagulans* MTCC 5856. Культуры микроорганизмов вносили в виде концентрата из расчета 100 мкл на 100 мл дисперсии и ферментировали до значения pH 4,6-4,8.

Для изучения процесса ферментации гороховой дисперсии различными культурами микроорганизмов отслеживалась динамика накопления молочной и пропионовой кислот, изменение активной кислотности и прирост биомассы, результаты представлены на рисунках 2-5.

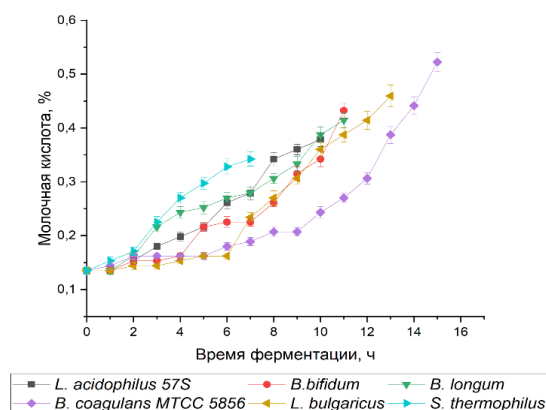


Рис. 2. Динамика накопления молочной кислоты в процессе ферментации гороховой дисперсии, % молочной кислоты

Fig. 2. Dynamics of lactic acid accumulation during the fermentation of pea dispersion, % of lactic acid

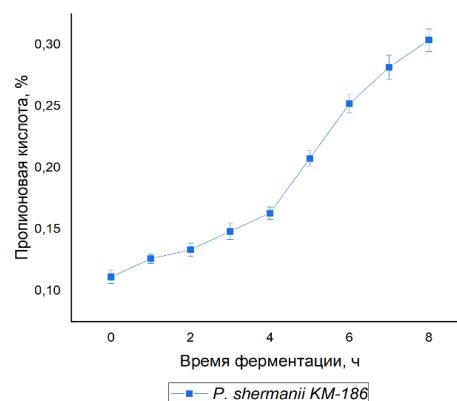


Рис. 3. Динамика накопления пропионовой кислоты в процессе ферментации гороховой дисперсии, % пропионовой кислоты

Fig. 3. Dynamics of propionic acid accumulation during the fermentation of pea dispersion, % of propionic acid

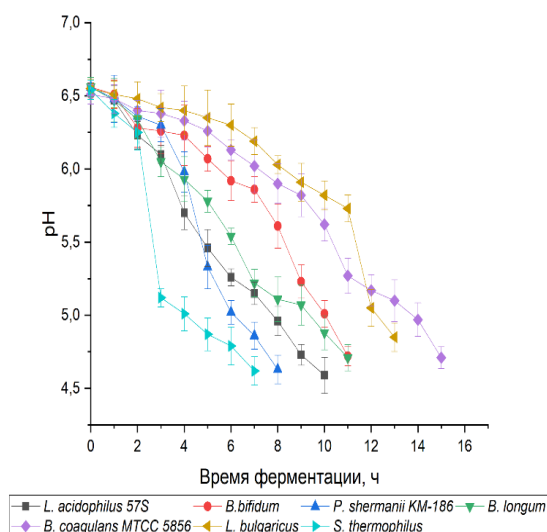


Рис. 4. Изменение активной кислотности в процессе ферментации растительной дисперсии из гороха

Fig. 4. Change in active acidity during the fermentation of pea dispersion

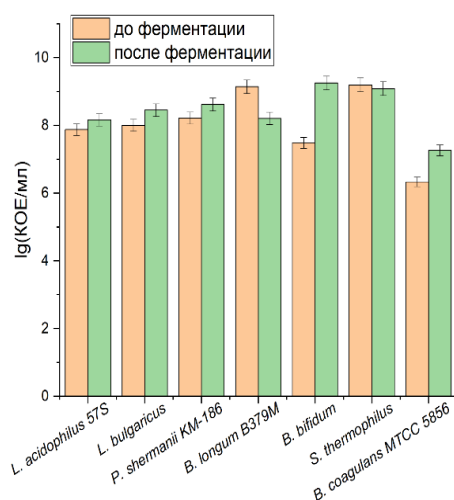


Рис. 5. Прирост биомассы пробиотических микроорганизмов в процессе ферментации гороховой дисперсии, lg(KOE/мл)

Fig. 5. Biomass growth of probiotic microorganisms during the fermentation of pea dispersion, lg(CFU/mL)

Культуры микроорганизмов демонстрируют различную интенсивность кислотообразования при ферментации горохо-

вой дисперсии в зависимости от используемого штамма молочнокислых и бифидобактерий.

Первые 2-4 часа накопление молочной и пропионовой кислот и снижение pH незначительно для всех штаммов, что может быть обусловлено адаптацией микроорганизмов к питательной среде и активацией метаболических путей брожения.

По мере увеличения времени ферментации наблюдается постепенное уменьшение pH, отражающее накопление органических кислот (молочной, пропионовой и других метаболитов брожения).

После 2-6 часов ферментации скорость накопления кислот возрастает, что свидетельствует о переходе культур в экспоненциальную фазу роста, сопровождающуюся интенсивным метаболизмом, причем наиболее выраженное кислотонакопление отмечается у *P. shermanii* KM-186, *S. thermophilus* и *L. acidophilus* 57S, что согласуется с их высокой метаболической активностью. Штаммы, *B. bifidum* и *B. longum* демонстрируют умеренный рост уровня молочной кислоты, что может быть связано с их физиологическими особенностями и возможной задержкой в активации метаболических путей. *B. coagulans* MTCC 5856 и *L. bulgaricus* характеризуются наименьшей скоростью кислотообразования на протяжении всего эксперимента, что может указывать на их специфические кинетические параметры ферментации.

Максимальная скорость снижения pH отмечается в интервале 4-8 часов, наиболее выраженная у *S. thermophilus*, *L. acidophilus* 57S и *P. shermanii* KM-186, что согласуется с высокой продукцией молочной кислоты термофильным стрептококком и ацидофильной палочкой. *P. shermanii* KM-186 продуцирует пропионовую кислоту умеренно, его метаболическая активность ниже, чем у молочнокислых бактерий по накоплению кислых метаболитов.

тов. Однако стабильный рост концентрации пропионовой кислоты свидетельствует о потенциале данного штамма для биотехнологических применений.

Наиболее активно процесс ферментации проходит при использовании *S. thermophilus* и *P. shermanii* КМ-186, за 7 и 8 часов ферментации соответственно, рН достигло 4,62-4,63, а содержание молочной и пропионовой кислот составляло 0,342 % и 0,304 % соответственно. Наиболее длительный процесс ферментации протекает при ферментации *B. coagulans* MTCC 5856 и *L. bulgaricus* – 15 и 13 часов соответственно, до достижения рН 4,71-4,85. К концу периода ферментации максимальные значения концентрации молочной кислоты достигают 0,52 % у *B. coagulans* MTCC 5856 и 0,41-0,46 % у *L. bulgaricus*, *B. bifidum* и *B. longum*, тогда как остальные штаммы демонстрируют более низкие уровни кислотонакопления. Данный результат может быть связан с различиями в катаболизме углеводов, продуктивностью молочнокислого и пропионовокислого брожения, и адаптацией микроорганизмов к субстрату. Следует отметить, что на момент окончания ферментации динамика накопления сохраняет восходящий характер, указывая на дальнейшую возможность увеличения кислотообразования при prolongации времени ферментации.

Большинство штаммов демонстрируют увеличение биомассы после ферментации, что указывает на их рост в среде гороховой дисперсии. Наибольший прирост биомассы наблюдается при ферментации бифидобактериями штамма *B. bifidum* – прирост составил 23,64 % до 9,25 lg(КОЕ/мл) и *B. coagulans* MTCC 5856 – с приростом в 14,68% до 7,26 lg(КОЕ/мл). Исключением являются штаммы *L. acidophilus* 57S и *P. shermanii* КМ-186, при ферментации которыми наблюдается незначительное увеличение биомассы, и штамм *S. thermophilus*, при использовании которого содержание

микроорганизмов до и после ферментации осталось практически на неизменном уровне. При ферментации гороховой дисперсии штаммом *B. longum* наблюдается гибель 10,26 % микроорганизмов до 8,20 lg(КОЕ/мл), что возможно связано с его недостаточной способностью утилизировать источники углерода или азота в гороховой дисперсии.

Гороховая дисперсия имеет характерный вкус и запах растительного сырья, а также умеренную горечь. Было предположено, что процесс ферментации должен улучшить органолептические показатели гороховой дисперсии, в связи с чем была проведена органолептическая оценка полученных ферментированных дисперсий и неферментированной дисперсии в качестве контроля. Результаты органолептической оценки представлены на рисунке 6.

Все штаммы усиливали запах ферментации, что может быть связано с образованием летучих метаболитов (например, органических кислот и эфиров) в процессе ферментации. Наиболее интенсивный запах проявляется при использовании штаммов *B. coagulans* MTCC 5856, *P. shermanii* КМ-186 и *B. longum* B379M.

Было отмечено, что ферментация улучшает гомогенность консистенции, что свидетельствует о стабилизации структуры под действием микроорганизмов. Наиболее стабильная консистенция без расслоения, комков и хлопьев наблюдалась при использовании штаммов *P. shermanii* КМ-186 и *B. coagulans* MTCC 5856.

Ферментация любой из культур снижает горький вкус и послевкусие гороховых дисперсий. Наибольшее снижение горького вкуса и послевкусия было выявлено в дисперсии ферментированной *P. shermanii* КМ-186.

Вкус и послевкусие растительного сырья, гороха, также уменьшалось при ферментации, за исключением штамма *P. shermanii* КМ-186, который не влиял на вкус

растительного сырья и незначительно увеличивал послевкусие растительного сырья.

Ферментация влияет на усиление кислого вкуса в дисперсиях, причем наиболее сильный кислый вкус приобрела дисперсия, ферментированная штаммом *B. bifidum*, а дисперсия, ферментированная *B.*

coagulans MTCC 5856, стала незначительно кислее неферментированной дисперсии. При ферментации также усиливалось кислое послевкусие дисперсий, за исключением образца, ферментированного *B. coagulans* MTCC 5856, где кислое послевкусие не было выявлено.

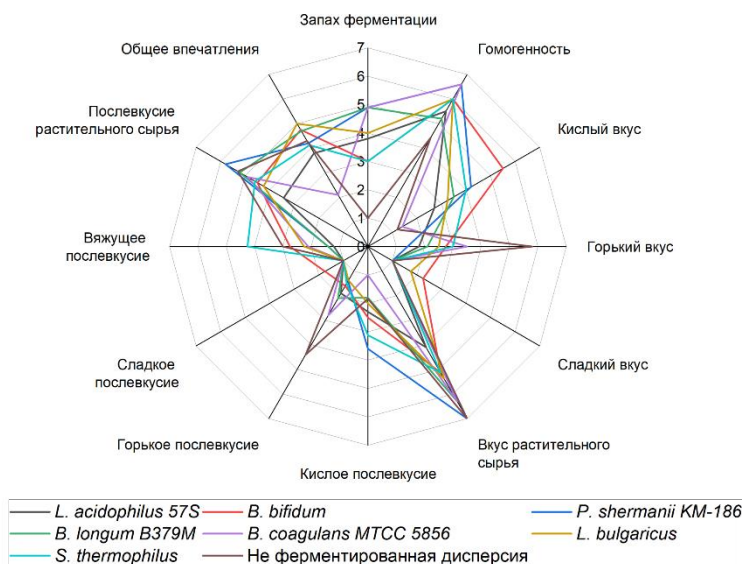


Рис. 6. Изменение органолептических показателей ферментированных гороховых дисперсий

Fig. 6. Changes in organoleptic characteristics of fermented pea dispersions

Было выявлено, что ферментация уменьшала вяжущее послевкусие в ферментированных дисперсиях, за исключением образца, ферментированного *S. thermophilus*. Слабый сладкий вкус проявлялся при ферментации штаммами *B. bifidum* и *L. bulgaricus*, однако легкое сладкое послевкусие было выявлено только у штамма *B. bifidum*.

Образцы, ферментированные штаммами *B. bifidum*, *B. longum* B379M и *L. Bulgaricus*, получили наивысшую оценку по общему впечатлению, в то время как образцы, ферментированные *B. coagulans* MTCC 5856 и *L. acidophilus* 57S, оказывали сильное негативное влияние на общее впечатление. В образцах, ферментированных *B. coagulans* MTCC 5856, респонденты отмечали появление неприятного вкуса и

запаха. Дисперсии, ферментированные *P. shermanii* KM-186 и *S. thermophilus*, по общему впечатлению, были незначительно хуже неферментированной дисперсии, которая выступала в качестве контроля.

В связи с тем, что ферментация может увеличивать антиоксидантную активность, были проведены исследования по определению активности по удалению свободных радикалов (FRSA) в течение срока хранения, результаты представлены на рисунке 7.

В большинстве образцов в первый день после ферментации наблюдается увеличение антиоксидантной активности, что может быть связано с интенсивным накоплением метаболитов в начальные этапы хранения. Так, при ферментации штаммами *L. bulgaricus*, *P. shermanii* KM-186, *B. bifidum* и *B. coagulans* MTCC 5856 антиоксидант-

ная активность в первый день после ферментации увеличилась на 14,88 %, 21,64 %, 9,30 % и 29,79% соответственно по сравнению с образцом до ферментации, антиоксидантная активность которого составляет 42,93 % (FRSA).

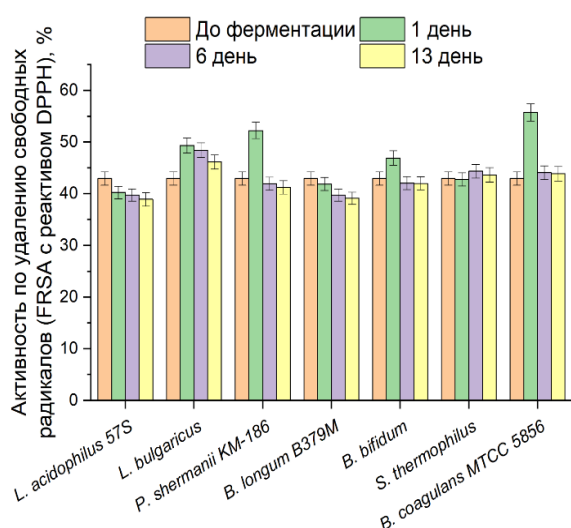


Рис. 7. Изменение антиоксидантной активности ферментированной гороховой дисперсии в процессе хранения, %

Fig. 7. Changes in antioxidant activity of fermented pea dispersion during storage, %

После ферментации штаммами *L. acidophilus* 57S и *B. longum* B379M было выявлено незначительное уменьшение антиоксидантной активности, причем в процессе хранения наблюдается тенденция к дальнейшему снижению антиоксидантной активности до 38,91 % и 39,11% (FRSA) соответственно.

На 13 день хранения антиоксидантная активность образца, ферментированного штаммом *L. bulgaricus*, была выше, чем у дисперсии до ферментации - 46,14 %. У остальных образцов, за исключением образца ферментированного штаммом *B. longum* B379M и *L. acidophilus* 57S, на 13 день хранения не было статистически значимых различий в антиоксидантной активности по сравнению с дисперсией до ферментации.

В ходе исследования из нескольких пробиотических культур микроорганизмов была подобрана оптимальная культура микроорганизмов для получения ферментированного продукта с достойными органолептическими свойствами. Полученные ферментированные продукты можно использовать в качестве как самостоятельных продуктов, так и в качестве основы для приготовления различных десертов, в том числе мороженого.

Закключение. В данной работе были представлены результаты, которые показывают, что гороховая дисперсия является подходящей основой для производства ферментированного продукта. Эффективность ферментации гороховой дисперсии различными штаммами значительно варьируется, что следует учитывать при разработке функциональных ферментированных продуктов с оптимальными органолептическими и биотехнологическими характеристиками. Однако в целом все использованные штаммы микроорганизмов могут ферментировать гороховую дисперсию. Длительность ферментации зависит от вида и штамма микроорганизма и составляет от 7 до 15 часов.

В большинстве образцов был отмечен прирост биомассы при ферментации гороховой дисперсии. Наибольшее увеличение численности микроорганизмов было отмечено в образцах, ферментированных *B. bifidum* и *B. coagulans* MTCC 5856. Однако эффективность роста и продуцирования продуктов метаболизма, в том числе молочной и пропионовой кислот, различается между штаммами.

В первый день после ферментации у большинства образцов отмечается повышение антиоксидантной активности, у образца, ферментированного *L. bulgaricus*, антиоксидантная активность была выше, чем у дисперсии до ферментации на 13 день хранения. У остальных образцов на 13 день хранения либо не было статистически

значимых различий в антиоксидантной активности по сравнению с дисперсией до ферментации, либо антиоксидантная активность была ниже, чем у дисперсии до ферментации.

Ферментация гороховой дисперсии приводит к значительному изменению органолептических свойств продукта, улучшая гомогенность, снижая горечь и усиливая кислотность. Наилучшую органолептическую оценку получили образцы, ферментированные штаммами *B. bifidum*, *B. longum* B379M и *L. bulgaricus*. Образцы, ферментированные *L. acidophilus* 57S и *B. coagulans* MTCC 5856, имеют наихудшую органолептическую оценку, в том числе из-за появления неприятного вкуса и запаха у последнего. Поэтому использование данных штаммов в качестве монокультур для ферментации не рекомендуется, но их влия-

ние на органолептические показатели гороховой дисперсии может отличаться при использовании в составе консорциума микроорганизмов.

Таким образом, гороховая дисперсия представляет собой перспективную основу для производства как самостоятельных ферментированных продуктов, так и в качестве ферментированного компонента десертов, в том числе замороженных. Технология получения гороховой дисперсии и ферментированных продуктов на ее основе не требует дорогостоящего оборудования, так как для большей части операций могут использоваться уже существующие на производстве линии и единицы оборудования для производства напитков. В связи с этим продукты на растительной основе из гороха могут быть легко внедрены на предприятии любой мощности.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflict of interests

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Medici E., Craig W.J., Rowland I.A Comprehensive Analysis of the Nutritional Composition of Plant-Based Drinks and Yogurt Alternatives in Europe // *Nutrients*. 2023. Vol. 15, No.15. P. 3415. DOI: 10.3390/nu15153415.
2. Plant-Based Milk Alternatives: Types, Processes, Benefits, and Characteristics / Reyes-Jurado F. [et al.] // *Food Reviews International*. 2021. Vol. 16, No. 39(4). P. 1-32. DOI: 10.1080/87559129.2021.1952421.
3. Catanzaro R., Sciuto M., Marotta F. Lactose intolerance: an update on its pathogenesis, diagnosis, and treatment // *Nutrition Research*. 2021. Vol. 89. P. 23-34. DOI: 10.1016/j.nutres.2021.02.003.
4. Lactase deficiency in Russia: multiethnic genetic study / Kovalenko E. [et al.] // *European Journal of Clinical Nutrition*. 2023. Vol. 77, No. 8. P. 803-810. DOI: 10.1038/s41430-023-01294-8.
5. Cow's milk protein allergy, quality of life and parental style / Korz V. [et al.] // *Journal of Human Growth and Development*. 2021. Vol. 31, No. 1. P. 28-36. DOI: 10.36311/jhgd.v31.11077.
6. The natural history of IgE-mediated cow's milk allergy / Skripak J.M. [et al.] *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2007. Vol. 120, No. 5. P. 1172-1177. DOI: 10.1016/j.jaci.2007.08.023

7. National prevalence and risk factors for food allergy and relationship to asthma: Results from the National Health and Nutrition Examination Survey 2005-2006 / Liu A.H. [et al.] // *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2010. Vol. 126, No. 4. P. 798-806.e14. DOI: 10.1016/j.jaci.2010.07.026.
8. Senaratne-Lenagala L., Stube A., Brackenridge A. Protein demand: review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production / Ismail B.P. // *Animal Frontiers*. 2020. Vol. 10, No. 4. P. 53-63. DOI: 10.1093/af/vfaa040.
9. Cheng M., McCarl B., Fei C. Climate Change and Livestock Production: A Literature Review. *Atmosphere*. 2022. Vol. 13, No. 1. P. 140. DOI: 10.3390/atmos13010140.
10. Park Y.W. The impact of plant-based non-dairy alternative milk on the dairy industry. *Food Science of Animal Resources*. 2020. Vol. 41, No. 1. DOI: 10.5851/kosfa.2020.e82
11. Etter B., Michel F., Siegrist M. Consumers' Categorizations of Dairy Products and Plant-Based Milk, Yogurt, and Cheese Alternatives. *Appetite*. 2024. Vol. 203, No. 1. P. 107658-8. DOI: 10.1016/j.appet.2024.107658
12. Sethi S., Tyagi S.K., Anurag R.K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *Journal of Food Science and Technology*. 2016. Vol. 53, No. 9. P. 3408-23. DOI: 10.1007/s13197-016-2328-3
13. Llobell F., Giacalone D., Roigard C.M., Jaeger S.R. Plant-based alternatives vs. dairy milk: Consumer segments and their sensory, emotional, cognitive and situational use responses to tasted products / Cardello A.V. [et al.] // *Food Quality and Preference*. 2022. Vol. 100. P. 104599. DOI: 10.1016/j.foodqual.2022.104599
14. Падерина Е.Е. Оценка эффективности ферментации растительного молока для снижения антипитательных факторов // *Экологические проблемы региона и пути их разрешения: материалы XVIII Международной научно-практической конференции (Омск, 16-18 мая 2024 г.)*. Омск: Омский государственный технический университет, 2024. С. 119-125.
15. Dhankhar J.A Perspective on the Pros and Cons, Manufacturing Aspects, and Recent Advances in Nondairy Milk Alternatives. *Journal of Microbiology, Biotechnology & Food Sciences*. 2023. Vol. 12, No. 5. P. 1-11. DOI: 10.55251/jmbfs.9543.
16. Application of legumes in plant-based milk alternatives: a review of limitations and solutions / Xiong X. [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2024. P. 1-17. DOI: 10.1080/10408398.2024.2365353.
17. Silva A.R.A., Silva M.M.N., Ribeiro B.D. Health issues and technological aspects of plant-based alternative milk. *Food Research International*. 2020. Vol. 131. P. 108972. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108972.
18. Aydar E.F., Tutuncu S., Ozcelik B. Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects // *Journal of Functional Foods*. 2020. Vol. 70. P. 103975. DOI: 10.1016/j.jff.2020.103975.
19. Aydar A.Y., Mataracı C.E., Sağlam T.B. Development and modeling of a novel plant-based yoghurt produced by Jerusalem artichoke and almond milk using l-optimal mixture design // *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2021. Vol. 15, No. 4. P. 3079-87. DOI: 10.1007/s11694-021-00884-z.
20. Сельское хозяйство в России. 2021: статистический сборник / Росстат. М., 2021. 100 с.
21. Kumari T., Deka S.C. Potential health benefits of garden pea seeds and pods: A review // *Legume Science*. 2021. Vol. 3, No. 2. DOI: 10.1002/leg3.82.

22. The Current Situation of Pea Protein and Its Application in the Food Industry / Shanthakumar P. [et al.] // *Molecules*. 2022. Vol. 27, No. 16. P. 5354. DOI: 10.3390/molecules27165354.
23. A Comprehensive Review of Pea (*Pisum sativum* L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications / Wu D [et al.] // *Foods*. 2023. Vol. 12, No. 13. P. 2527-7. DOI: 10.3390/foods12132527.
24. A review on nutritional composition, health benefits and potential applications of by-products from pea processing / Nasir G. // *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2022. No. 6(14). P. 10829-10842. DOI: 10.1007/s13399-022-03324-0.
25. Ability of (extruded) pea protein products to partially replace pork meat in emulsified cooked sausages / Broucke K. [et al.] // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2022. Vol. 7. P. 102992. DOI: 10.1016/j.ifset.2022.102992.
26. Boukid F., Rosell C.M., Castellari M. Pea protein ingredients: A mainstream ingredient to (re)formulate innovative foods and beverages. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 110. P. 729-42. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.02.040.
27. Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value / Tangyu M. [et al.] // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019. Vol. 103(23/24). P. 9263-75. DOI: 10.1007/s00253-019-10175-9.
28. Трансформация технологических свойств и органолептических характеристик растительного сырья в получении ферментированных аналогов молочных продуктов / Галочкина Н.А. [и др.] // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*. 2023. № 4. С. 92-99. DOI: 10.24412/2311-6447-2023-4-92-99.
29. Stobiecka M., Król J., Brodziak A. Antioxidant Activity of Milk and Dairy Products. *Animals*. 2022. No. 12(3). P. 245. DOI: 10.3390/ani12030245.
30. Fermentation Affects the Antioxidant Activity of Plant-Based Food Material through the Release and Production of Bioactive Components / Zhao Y.S. [et al.] // *Antioxidants*. 2021. No. 10(12). P. 2004. DOI: 10.3390/antiox10122004.
31. Mondragon A.C., Miranda J.M., Lombardo M., Koch W., Raposo A., et al. The Impact of Fermentation on the Antioxidant Activity of Food Products / Sümeyye S. [et al.] // *Molecules*. 2024. Vol. 29, No. 16. P. 3941-1. DOI: 10.3390/molecules29163941.
32. Alam S., Begum R.A., Shahjahan R.M., Khandaker A.M. The role of probiotics on animal health and nutrition / Anee I.J. [et al.] // *The Journal of Basic and Applied Zoology*. 2021. Vol. 82, No. 1. DOI: 10.1186/s41936-021-00250-x.
33. In-Vitro Antibacterial Activity of Probiotic Against Human Multidrug Resistant Pathogens / Saud B. [et al.] // *Archives of Veterinary Science and Medicine*. 2020. No. 03(01). DOI: 10.26502/avsm.013.
34. Zahrani A.J., Shori A.B. Viability of probiotics and antioxidant activity of soy and almond milk fermented with selected strains of probiotic *Lactobacillus*. spp // *LWT*. 2023. Vol. 176. P. 114531. DOI: 10.1016/j.lwt.2023.114531.
35. Batch Fermentation Model of Propionic Acid Production by *Propionibacterium acidipropionici* in Different Carbon Sources / Coral J. [et al.] // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2008. Vol. 151, No. 2/3. P. 333-41. DOI: 10.1007/s12010-008-8196-1.
36. Antioxidant activity of raw milk and dairy products commonly consumed in Fars province, Iran / Jafari M. [et al.] // *J Food Safe & Hyg*. 2017. No. 3(1/2).
37. Huo C., Yang X., Li L. Non-beany flavor soymilk fermented by lactic acid bacteria: Characterization, stability, antioxidant capacity and in vitro digestion. *Food Chemistry X*. 2023. No. 17. P. 100578-8. DOI: 10.1016/j.fochx.2023.100578.

38. Яковченко Н.В., Анцыперова М.А. Перспективы применения пробиотических микроорганизмов при производстве ферментированных продуктов на соевой основе // Аграрная наука. 2024. № 3. С. 149-156. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-380-3-149-156.

39. Перспективы применения пробиотических микроорганизмов при производстве ферментированных продуктов на гречневой основе / Гелазов Р.Х. [и др.] // Аграрная наука. 2024. № 4. С. 138-145. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-138-145.

40. Developments in the isolation, composition, and physicochemical properties of legume starches / Ashogbon A.O. [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020. P. 1-22. DOI: 10.1080/10408398.2020.1791048.

41. Егорова, Е.Ю. «Немолочное молоко»: обзор сырья и технологий // Ползуновский вестник. 2018. № 3. С. 25-34.

42. Comparative study on the chemical composition, anthocyanins, tocopherols and carotenoids of selected legumes / Kan L. [et al.] // Food Chemistry. 2018. Vol. 260. P. 317-26. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.03.148.

43. Impact of molecular structure on the physicochemical properties of starches isolated from different field pea (*Pisum sativum* L.) cultivars grown in Saskatchewan, Canada / Raghunathan R [et al.] // Food Chemistry. 2017. Vol. 221. P. 1514-21. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.10.142.

REFERENCES

1. Medici E., Craig W.J., Rowland I.A Comprehensive Analysis of the Nutritional Composition of Plant-Based Drinks and Yogurt Alternatives in Europe // Nutrients. 2023. Vol. 15, No.15. P. 3415. DOI: 10.3390/nu15153415.

2. Plant-Based Milk Alternatives: Types, Processes, Benefits, and Characteristics / Reyes-Jurado F. [et al.] // Food Reviews International. 2021. Vol. 16, No. 39(4). P. 1-32. DOI: 10.1080/87559129.2021.1952421.

3. Catanzaro R., Sciuto M., Marotta F. Lactose intolerance: an update on its pathogenesis, diagnosis, and treatment // Nutrition Research. 2021. Vol. 89. P. 23-34. DOI: 10.1016/j.nutres.2021.02.003.

4. Lactase deficiency in Russia: multiethnic genetic study / Kovalenko E. [et al.] // European Journal of Clinical Nutrition. 2023. Vol. 77, No. 8. P. 803-810. DOI: 10.1038/s41430-023-01294-8.

5. Cow's milk protein allergy, quality of life and parental style / Korz V. [et al.] // Journal of Human Growth and Development. 2021. Vol. 31, No. 1. P. 28-36. DOI: 10.36311/jhgd.v31.11077.

6. The natural history of IgE-mediated cow's milk allergy / Skripak J.M. [et al.] Journal of Allergy and Clinical Immunology. 2007. Vol. 120, No. 5. P. 1172-1177. DOI: 10.1016/j.jaci.2007.08.023

7. National prevalence and risk factors for food allergy and relationship to asthma: Results from the National Health and Nutrition Examination Survey 2005-2006 / Liu A.H. [et al.] // Journal of Allergy and Clinical Immunology. 2010. Vol. 126, No. 4. P. 798-806.e14. DOI: 10.1016/j.jaci.2010.07.026.

8. Senaratne-Lenagala L., Stube A., Brackenridge A. Protein demand: review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production / Ismail B.P. // Animal Frontiers. 2020. Vol. 10, No. 4. P. 53-63. DOI: 10.1093/af/vfaa040.

9. Cheng M., McCarl B., Fei C. Climate Change and Livestock Production: A Literature Review. *Atmosphere*. 2022. Vol. 13, No. 1. P. 140. DOI: 10.3390/atmos13010140.
10. Park Y.W. The impact of plant-based non-dairy alternative milk on the dairy industry. *Food Science of Animal Resources*. 2020. Vol. 41, No. 1. DOI: 10.5851/kosfa.2020.e82
11. Etter B., Michel F., Siegrist M. Consumers' Categorizations of Dairy Products and Plant-Based Milk, Yogurt, and Cheese Alternatives. *Appetite*. 2024. Vol. 203, No. 1. P. 107658-8. DOI: 10.1016/j.appet.2024.107658
12. Sethi S., Tyagi S.K., Anurag R.K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *Journal of Food Science and Technology*. 2016. Vol. 53, No. 9. P. 3408-23. DOI: 10.1007/s13197-016-2328-3
13. Llobell F., Giacalone D., Roigard C.M., Jaeger S.R. Plant-based alternatives vs. dairy milk: Consumer segments and their sensory, emotional, cognitive and situational use responses to tasted products / Cardello A.V. [et al.] // *Food Quality and Preference*. 2022. Vol. 100. P. 104599. DOI: 10.1016/j.foodqual.2022.104599
14. Paderina E.E. Evaluation of the efficiency of plant milk fermentation to reduce antinutritional factors // *Environmental problems of the region and ways to resolve them: Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference (Omsk, May 16-18, 2024)*. Omsk: Omsk State Technical University, 2024. P. 119-125. [In Russ.]
15. Dhankhar J.A Perspective on the Pros and Cons, Manufacturing Aspects, and Recent Advances in Nondairy Milk Alternatives. *Journal of Microbiology, Biotechnology & Food Sciences*. 2023. Vol. 12, No. 5. P. 1-11. DOI: 10.55251/jmbfs.9543.
16. Application of legumes in plant-based milk alternatives: a review of limitations and solutions / Xiong X. [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2024. P. 1-17. DOI: 10.1080/10408398.2024.2365353.
17. Silva A.R.A., Silva M.M.N., Ribeiro B.D. Health issues and technological aspects of plant-based alternative milk. *Food Research International*. 2020. Vol. 131. P. 108972. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108972.
18. Aydar E.F., Tutuncu S., Ozcelik B. Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects // *Journal of Functional Foods*. 2020. Vol. 70. P. 103975. DOI: 10.1016/j.jff.2020.103975.
19. Aydar A.Y., Mataracı C.E., Sağlam T.B. Development and modeling of a novel plant-based yoghurt produced by Jerusalem artichoke and almond milk using l-optimal mixture design // *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2021. Vol. 15, No. 4. P. 3079-87. DOI: 10.1007/s11694-021-00884-z.
20. Agriculture in Russia. 2021: statistical collection / Rosstat. M., 2021. 100 p. [In Russ.]
21. Kumari T., Deka S.C. Potential health benefits of garden pea seeds and pods: A review // *Legume Science*. 2021. Vol. 3, No. 2. DOI: 10.1002/leg3.82.
22. The Current Situation of Pea Protein and Its Application in the Food Industry / Shanthakumar P. [et al.] // *Molecules*. 2022. Vol. 27, No. 16. P. 5354. DOI: 10.3390/molecules27165354.
23. A Comprehensive Review of Pea (*Pisum sativum* L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications / Wu D [et al.] // *Foods*. 2023. Vol. 12, No. 13. P. 2527-7. DOI: 10.3390/foods12132527.
24. A review on nutritional composition, health benefits and potential applications of by-products from pea processing / Nasir G. // *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2022. No. 6(14). P. 10829-10842. DOI: 10.1007/s13399-022-03324-0.

25. Ability of (extruded) pea protein products to partially replace pork meat in emulsified cooked sausages / Broucke K. [et al.] // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2022. Vol. 7. P. 102992. DOI: 10.1016/j.ifset.2022.102992.
26. Boukid F., Rosell C.M., Castellari M. Pea protein ingredients: A mainstream ingredient to (re)formulate innovative foods and beverages. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 110. P. 729-42. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.02.040.
27. Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavor and nutritional value / Tangyu M. [et al.] // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019. Vol. 103(23/24). P. 9263-75. DOI: 10.1007/s00253-019-10175-9.
28. Transformation of technological properties and organoleptic characteristics of plant materials in the production of fermented analogues of dairy products / Galochkina N.A. [et al.] // *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products*. 2023. No. 4. P. 92-99. DOI: 10.24412/2311-6447-2023-4-92-99. [In Russ.]
29. Stobiecka M., Król J., Brodziak A. Antioxidant Activity of Milk and Dairy Products. *Animals*. 2022. No. 12(3). P. 245. DOI: 10.3390/ani12030245.
30. Fermentation Affects the Antioxidant Activity of Plant-Based Food Material through the Release and Production of Bioactive Components / Zhao Y.S. [et al.] // *Antioxidants*. 2021. No. 10(12). P. 2004. DOI: 10.3390/antiox10122004.
31. The Impact of Fermentation on the Antioxidant Activity of Food Products / Sümeyye S. [et al.] // *Molecules*. 2024. Vol. 29, No. 16. P. 3941-1. DOI: 10.3390/molecules29163941.
32. The role of probiotics on animal health and nutrition / Anee I.J. [et al.] // *The Journal of Basic and Applied Zoology*. 2021. Vol. 82, No. 1. DOI: 10.1186/s41936-021-00250-x.
33. In-Vitro Antibacterial Activity of Probiotic Against Human Multidrug Resistant Pathogens / Saud B. [et al.] // *Archives of Veterinary Science and Medicine*. 2020. No. 03(01). DOI: 10.26502/avsm.013.
34. Zahrani A.J., Shori A.B. Viability of probiotics and antioxidant activity of soy and almond milk fermented with selected strains of probiotic *Lactobacillus*. spp. L.W.T. 2023. Vol. 176. P. 114531. DOI: 10.1016/j.lwt.2023.114531.
35. Batch Fermentation Model of Propionic Acid Production by *Propionibacterium acidipropionici* in Different Carbon Sources / Coral J. [et al.] // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2008. Vol. 151, No. 2/3. P. 333-41. DOI: 10.1007/s12010-008-8196-1.
36. Antioxidant activity of raw milk and dairy products commonly consumed in Fars province, Iran / Jafari M. [et al.] // *J Food Safe & Hyg*. 2017. No. 3(1/2).
37. Huo C., Yang X., Li L. Non-beany flavor soymilk fermented by lactic acid bacteria: Characterization, stability, antioxidant capacity and in vitro digestion. *Food Chemistry X*. 2023. No. 17. P. 100578-8. DOI: 10.1016/j.fochx.2023.100578.
38. Yakovchenko N.V., Antsyperova M.A. Prospects for the use of probiotic microorganisms in the production of fermented soybean-based products // *Agrarian science*. 2024. No. 3. P. 149-156. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-380-3-149-156. [In Russ.]
39. Prospects for the use of probiotic microorganisms in the production of fermented buckwheat-based products / Gelazov R.Kh. [et al.] // *Agrarian science*. 2024. No. 4. P. 138-145. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-138-145. [In Russ.]
40. Developments in the isolation, composition, and physicochemical properties of legume starches / Ashogbon A.O. [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020. P. 1-22. DOI: 10.1080/10408398.2020.1791048.

41. Egorova E.Yu. «Non-dairy milk»: a review of raw materials and technologies // Polzunovsky Vestnik. 2018. No. 3. P. 25-34. [In Russ.]
42. Comparative study on the chemical composition, anthocyanins, tocopherols and carotenoids of selected legumes / Kan L. [et al.] // Food Chemistry. 2018. Vol. 260. P. 317-26. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.03.148.
43. Impact of molecular structure on the physicochemical properties of starches isolated from different field pea (*Pisum sativum* L.) cultivars grown in Saskatchewan, Canada / Raghunathan R [et al.] // Food Chemistry. 2017. Vol. 221. P. 1514-21. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.10.142.

Информация об авторах / Information about the authors

Самсонова Дарья Андреевна, аспирант факультета биотехнологий, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»; 191002, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1770-4456>, e-mail: dashafom@mail.ru

Баруа Субхраджит, аспирант факультета биотехнологий, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», 191002, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3303-774>, e-mail: sbarua@itmo.ru

Гурда Мария Дмитриевна, аспирант факультета биотехнологий, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», 191002, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6463-8036>, e-mail: marusia-gurda@mail.ru

Яковченко Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент факультета биотехнологий, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», 191002, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5188-5916>, e-mail: nviakovchenko@itmo.ru

Daria A. Samsonova, Postgraduate student, Faculty of Biotechnology, ITMO National Research University, 191002, the Russian Federation, St. Petersburg, 9 Lomonosov str., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1770-4456>, e-mail: dashafom@mail.ru

Subhrajit Barua, Postgraduate student, Faculty of Biotechnology, ITMO National Research University, 191002, the Russian Federation, St. Petersburg, 9 Lomonosov str., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3303-774>, e-mail: sbarua@itmo.ru

Maria D. Gurda, Postgraduate student, Faculty of Biotechnology, ITMO National Research University, 191002, the Russian Federation, St. Petersburg, 9 Lomonosov str., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6463-8036>, e-mail: marusia-gurda@mail.ru

Natalia V. Iakovchenko, PhD (Eng.), Associate Professor, the Faculty of Biotechnology, ITMO National Research University, 191002, the Russian Federation, St. Petersburg, 9 Lomonosov str., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5188-5916>, e-mail: nviakovchenko@itmo.ru

Заявленный вклад авторов

Самсонова Д.А., Баруа С., Гурда М.Д., Яковченко Н.В. – проведение эксперимента
Самсонова Д.А., Баруа С., Гурда М.Д. – подбор литературных источников
Самсонова Д.А. – оформление статьи по требованиям журнала
Самсонова Д.А., Яковченко Н.В. – разработка методики исследования, валидация данных

Claimed contribution of authors

Samsonova D.A., Barua S., Gurda M.D., Yakovchenko N.V. – conducting the experiment
Samsonova D.A., Barua S., Gurda M.D. – selection of literary sources
Samsonova D.A. – article design according to the Journal requirements
Samsonova D.A., Yakovchenko N.V. – development of the research methodology, data validation

Поступила в редакцию 09.01.2025
Поступила после рецензирования 20.02.2025
Принята к публикации 24.02.2025

Received 09.01.2025
Revised 20.02.2025
Accepted 24.02.2025