

УДК 663/664

БЕЛОКСОДЕРЖАЩЕЕ РАСТИТЕЛЬНОЕ СЫРЬЕ КАК ОСНОВА КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ И НАПИТКОВ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

© **В.В. Колпакова^{1*}, И.С. Гайворонская¹, Г.М. Арбеков²**

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала
и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал ФИЦ картофеля
им. А.Г. Лорха, ул. Некрасова 11, Красково, Московская область, 140051,
Россия, val-kolpakova@rambler.ru*

² *Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,
Миусская площадь, 9, Москва, 125047, Россия*

Введение. Молочные продукты являются важнейшей частью рациона человека, так как содержат белки, липиды, витамины, пробиотики и другие соединения, обеспечивающие жизнедеятельность организма. Однако существует и асортимент, который предназначен для вегетарианцев, веганов и лиц, ограничивающих потребление лактозы, казеина, холестерина. В основе производства таких продуктов лежат биотехнологические процессы переработки растительного сырья. Цель обзора – анализ и обобщение результатов исследований, направленных на изучение свойств белоксодержащего растительного сырья, превращение его соединений, прежде всего белковых веществ, в производстве кисломолочных продуктов и напитков для совершенствования качества продукции с биологически активными веществами.

Материал и методы – публикации, большая часть которых издана в 2019–2024 годах и отобрана в библиографических базах eLIBRARY.RU, RSCI, Article, CAS, Crossref, Google Scholar, Scopus, Web of Science, Elsevier, PubMed, Search Report. Анализ данных выполнен методами систематизации, обобщения, промежуточных выводов и общего заключения.

Результаты и их обсуждение. Охарактеризованы биохимические особенности растительного сырья, функциональные свойства белков, способы получения кисломолочных продуктов и напитков, включая их ферментацию и показатели качества. Рассмотрены микроорганизмы, вызывающие накопление ароматических и биологически активных веществ, повышающих пищевую, биологическую ценность и влияющих на пробиотические свойства продуктов при хранении.

Выводы. На рынок все в большем количестве поступают напитки и продукты с «двойными» молочными и растительными белками: кисломолочные, сырные, творожные. Выявлены ограничивающие факторы производства: сложности технологий, некачественный сенсорный профиль сырья, трудности адаптации микроорганизмов к сырью при ферментации, недостаточное изучение функциональных свойств белков. Факторы направляются на новые более эффективные решения производства функциональных продуктов питания.

Ключевые слова: бобовые, зерновые культуры, белки, функциональные свойства, ферментация, пищевая ценность, биологически активные вещества.

Для цитирования: Колпакова В.В., Гайворонская И.С., Арбеков Г.М. Белоксодержащее растительное сырье как основа кисломолочных продуктов и напитков. Обзор предметного поля // Химия растительного сырья. 2025. №4. С. 41–66. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250416871>.

Введение

Во всем мире растет забота о состоянии здоровья людей, поэтому расширяется и уточняется информация о роли белков как одних из обязательных компонентов пищи людей, включая лица с различными заболеваниями [1]. Белки участвуют в поддержании нормального роста, обмена веществ и иммунной регуляции организма. В выявлении роли белков в организме достигнуты значительные успехи, но не менее важные достижения имеются по использованию белков как ингредиентов пищевых продуктов, включая молочные. При использовании животных белковых продуктов увеличивается потребление насыщенных жиров, повышается уровень холестерина, возможна и аллергия, например, к казеину [1]. С растительными белками

* Автор, с которым следует вести переписку.

холестерин не поступает, а ресурсы их большие и относительно дешевые [2]. Удовлетворение растущего спроса людей в пище за счет растительного сырья перспективно, так как до 2050 года, по прогнозам экспертов, на планете будет насчитываться более 2 миллиардов человек, для которых увеличение продуктов питания должно быть не менее 60% [3]. Важную роль в рационе человека играют ферментированные продукты питания [4]. В настоящее время в мире насчитывается более 3500 таких продуктов, многие из которых производятся в небольших количествах, но потребление их постепенно увеличивается [5]. При этом уделяется внимание разработкам в области микробиологии, биохимическим изменениям в процессе ферментации и терапевтическим эффектам использования продуктов.

Необходимость в разработке продуктов, альтернативных молочным продуктам, существует из-за аллергенности некоторых их белков, непереносимости лактозы [6] или увеличения численности веганов, не употребляющих животную пищу. Еще в 2006 г. на «Второй китайской выставке соевых бобов» была принята Шанхайская декларация, в которой озвучена концепция «двойного белка» для удовлетворения потребностей в комбинированных продуктах питания [7]. В странах с ограниченными ресурсами молока и относительно низкими доходами людей у продуктов с «двойным» содержанием белка особенно большое будущее. К таким продуктам относятся кисломолочные продукты типа йогуртов, сырные и творожные продукты, растительные напитки, кисломолочное мороженое, продукты для младенцев и детей раннего возраста [8]. В состав одних из них могут входить и молочные, и растительные белки, в состав других – только растительные, как, например, в растительные напитки.

Кисломолочные продукты являются одними из наиболее распространенных продуктов с растительными белками. Для ферментации сложного по составу сырья, включая нетрадиционное, используют как индивидуальные закваски из микроорганизмов, так и комбинации различных культур. При этом для растительного сырья существует проблема относительно медленного роста бактерий для достижения количества клеток не менее 10^7 КОЕ/мл, чтобы отнести изделия к функциональным. Часто применяют и дополнительные стимулирующие соединения, что указывает на необходимость проведения углубленных исследований по их превращениям и роли. В биотехнологических процессах с растительными белками существует проблема и нивелирования относительно низких функциональных свойств их [1, 7]. Для улучшения последних применяют физико-химические, физические и другие виды предварительной обработки белков. Особенности структуры и свойств белков сырья различной химической природы часто недостаточно изучены, что требует специальных приемов для разработки технологий с параметрами, придающими ферментированным продуктам и растительным напиткам надлежащие технологические свойства, конкретную пищевую и биологическую ценность. К сожалению, такие подходы и приемы малоизвестны, как и до конца не расшифрованы, например, механизмы превращения компонентов под влиянием энзимов микроорганизмов с образованием различных биологически активных соединений.

Цель данного обзора – анализ и обобщение результатов исследований, направленных на изучение свойств белоксодержащего растительного сырья, превращение его соединений, прежде всего белковых веществ, в производстве кисломолочных продуктов и напитков для совершенствования качества продукции с биологически активными веществами.

Материалы и методы

Объектом исследования служили научные публикации, большая часть которых издана в 2019–2025 годах с характеристикой свойств растительного белоксодержащего сырья, функциональных свойств его компонентов, прежде всего белков, и способов получения, включая ферментацию кисломолочных продуктов и напитков с образованием биологически активных соединений. Поиск, извлечение и отбор статей осуществлялся в библиографических базах eLIBRARY.RU, RSCI, Article, CAS, Crossref, Google Scholar, Scopus, Web of Science, Elsevier, PubMed, Search Report, после чего выполнен анализ данных с их систематизацией, обобщением, промежуточными выводами и заключением. При отборе публикаций приоритет отдавался высокоцитируемым источникам в открытой публикации. Для обзора предметного поля использован алгоритм в соответствии с протоколом PRIZMA и составлена схема его выполнения.

Заквасочные микроорганизмы

Одними из наиболее распространенных продуктов с растительными белками являются ферментированные продукты. Для ферментации сырья с «двойными» и индивидуальными белками используют как одноконтинентные закваски, например, из *Streptococcus thermophilus* [8] или *Streptococcus faecalis* [9], *Bifidobacterium bifidum* [10], так и комбинацию штаммов, продуцирующих различные виды энзимов. Примером может служить классический йогурт с *Lactobacillus bulgaricus*, *S. thermophilus* [11]. Для ферментации, например, соевых белков с молочными белками использовали комбинацию *Lactobacillus acidophilus* La5 и йогуртовую культуру YF-L811 [12], арахисовых белков – *Lactobacillus plantarum* fs-4 и *Lactobacillus casei* [13], рисовых – *L. bulgaricus*, *L. casei* и *L. acidophilus* [14], кокосовых – *L. casei* с *L. plantarum* [15], белков соевого шрота – *Lactobacillus johnsonii* и *Bacillus coagulans* [16], подсолнечных, рисовых, тыквенных, овсяных – комбинацию заквасочных культур *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* [17]. Ферментация сырья, как и побочных продуктов его переработки, вызывает появление противовоспалительной, антиоксидантной или противомикробной активности [18, 19]. Но при этом, чтобы изделия отнести к функциональным продуктам с пробиотиками, часто решают проблему исключения относительно медленного роста бактерий на растительном сырье для достижения количества клеток не менее 10^6 КОЕ/мл [9]. С этой целью применяют либо стимулирующие добавки, как, например, для комбинации *L. bulgaricus* и *S. thermophilus* при изготовлении ферментированных арахисового, кокосового и овсяного напитков – 10% сахарозы [20], либо используют дополнительную физико-химическую обработку сырья, как, например, высокоинтенсивный ультразвук при производстве ферментированных напитков из сыворотки и овса [21]. Пробиотический напиток из 50% сыворотки и 50% овса, обработанный ультразвуком в течение 3 минут, наряду с антиоксидантной активностью обеспечивал и высокий уровень роста *L. casei* 431, равный $10^{7-8.6}$ КОЕ/мл.

Функциональные свойства белков

В технологических процессах с растительными белками существует проблема нивелирования относительно низких функциональных свойств [1, 7]. Эффективность протекания различных технологических стадий (суспензирование, растворение, гомогенизация, стерилизация, сушка, ферментация) обеспечивается надлежащими функциональными свойствами белков: растворимость, водосвязывающая способность, жируммульгирующая способность, пенообразующая способность, стабилизация эмульсий, пен, суспензий, гелеобразующая способность, вязкость, эластичность [22]. Для обеспечения качественной продукции функциональные свойства белков целесообразно определять не только в численных значениях, но и в профилях зависимостей их от температуры, pH, времени обработки и т.д., чтобы выбрать наиболее эффективные или оптимальные значения [23, 24], что в практике подобных продуктов практически не делается. Наличие в одной цепи полярных и неполярных групп позволяет растительным белкам взаимодействовать с молочными белками, полисахаридами, липидами, минеральными веществами и т.д., и тем самым повысить влияние на качество изделий. Свойства белков могут зависеть и от последовательности остатков аминокислот, и от соотношения гидрофобные/гидрофильные группы, наличия реакционных групп, например, S-S связей [25], количества спиральных участков [26], а если используется зерновое, фруктовое и ягодное сырье, то и от присутствия пектина [17], антоцианов, флавоноидов, каротиноидов и других биологически активных соединений. На функциональные свойства растительных белков, помимо pH среды и температуры [23, 24], оказывает влияние ультразвуковая обработка [27], влаготепловая обработка, сверхвысокая температура, гомогенизация под высоким давлением, импульсное электрическое поле [28], замораживание, лазерное облучение, ИК-обработка, CO₂-экстракция, и другие технологические факторы, используемые при их выделении и обработке. Особенности структуры и свойств белков сырья различной химической природы требуют специальных подходов для разработки технологий с параметрами, придающими и кисломолочным продуктам, и растительным напиткам стабильность белковых эмульсий, технологические свойства, конкретную пищевую ценность, увеличение срока годности с сохранением сенсорной приемлемости конечного продукта. К сожалению, такие подходы и приемы малоизвестны, как и до конца не расшифрованы, например, механизмы превращения под влиянием ферментов различных микроорганизмов таких биологически активных соединений, как флавоноиды, нерастворимые и растворимые волокна, β -глюкан и т.д., антипитательные факторы растительного сырья (фитиновая кислота, ингибиторы ферментов, сапонины, гликозиды, лектины

и т.д.) [29], и участие последних в формировании пищевой ценности и органолептических свойств продуктов. Поэтому исследования по использованию белоксодержащего сырья с расшифровкой механизма превращений его соединений и с учетом функциональных свойств белков в качественные кисломолочные молочные продукты и напитки остаются актуальными.

Так, при разработке кисломолочных продуктов с «двойными» молочными и растительными белками использовали белковые и липидные компоненты *амарантовой* муки [30] и белковый *гороховый* концентрат [31]. В обоих случаях продукты, созданные на основе жироэмульгирующих свойств белков, содержали повышенное количество полноценного белка (до 70–80%). В первом случае продукт был обогащен ненасыщенными жирными кислотами, фосфатидами, скваленом, кальцием, железом, калием, по сравнению с молочным йогуртом, во втором – железом, и предназначались они для функционального и геронтологического питания. В работе [18] при разработке растительных напитков предварительно исследовали растворимость белков, которая, как известно, может изменяться от 1–3 до 86–90% и более [22] и также играть важную роль для обеспечения однородности и стабильности продуктов при хранении. Показано, что рисовые и овсяные белки лучше растворялись, например, чем подсолнечные или молочные, однако стабильная смесь разработана и с подсолнечными белками путем добавления к ним пектина и овсяных белков и последующей ферментации молочнокислыми бактериями *S. salivarius subsp. thermophilus* и *L. delbrueckii subsp. bulgaricus* [18]. Изучение физико-химических, структурно-механических и органолептических свойств напитков показало, что с увеличением массовой доли пектина от 0.5 до 1.5% прочность и вязкость их повышались, как непосредственно после сквашивания компонентов, так и при хранении готовых напитков в холодильнике. Продукты имели однородную структуру и низкую степень синерезиса.

Кисломолочные и неферментированные продукты и напитки

Ассортимент молочных продуктов в мире оценивается в более чем в пять тысяч, но *растительные кисломолочные и неферментированные продукты и напитки* также пользуются большим спросом [32, 33]. Мировой выпуск такой продукции оценивается в количестве 15% от общего объема молочной продукции [34]. Коровье молоко на растительные напитки активно заменяют веганы и вегетарианцы из-за низкой их аллергенности, калорийности [35], отсутствия лактозы [28, 36, 37] или холестерина [38]. Напитки из бобовых, орехов или иных семян часто бывают или несбалансированными по составу, или с низкими вкусовыми свойствами, поэтому их питательные, сенсорные свойства, текстуру и даже микробиологическую безопасность улучшают ферментацией. Пробиотики в них, как правило, стабильные, нетоксичные и положительно действуют на организм человека [31–42]. Продукты из белоксодержащего растительного сырья принято характеризовать в зависимости от вида культур: овсяные, рисовые, соевые, люпиновые, арахисовые, миндальные, кокосовые, картофельные и т.д. [43]. В технологических процессах и свойствах белков и других компонентов для каждого из них отмечены свои особенности и отличия.

Из *зерновых культур* для производства ферментированных продуктов и растительных напитков наиболее широко используются овес и рис. Зерно *овса и продукты его переработки* для зерновых культур содержат относительно высокое количество белка (12–15%) и имеют относительно сбалансированный состав аминокислот, поэтому они часто служат сырьем для получения ферментированных продуктов, в частности, молочнокислым брожением [44, 45]. При подкислении овсяный белок способен образовывать гелевые агрегаты, которые плохо включаются в казеиновую сеть продукта типа йогурта, приготовленную из коровьего молока. Несовместимость казеина и овсяных белков с массовой долей 28.29% авторы работы [45] компенсировали добавлением клейстеризованного крахмала. Кисломолочный продукт готовили с *L. Delbrueckii subsp. bulgaricus* и *S. thermophilus* до достижения конечного pH 4 при температуре 42 °C в течение 24 ч с последующим нагреванием при 90 °C и охлаждением до 4–6 °C. Продукт с гелевой текстурой, высоким содержанием белка и требуемым качеством в итоге рекомендован для функционального питания. Известен и синбиотический продукт, приготовленный с *овсяной мукой*, содержащий количество клеток *L. acidophilus* и *Lactobacillus brevis*, равное 10⁸ КОЕ/г [46]. При этом мучная каша обеспечивала дополнительный антибактериальный эффект патогенным бактериям, таким как *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enteritidis* и *Listeria monocytogenes*, вызывающим пищевое отравление. Напиток обладал устойчивостью к пищеварительным сокам и проявлял антиоксидантную активность за счет присутствия фенольных соединений [46].

С учетом растущего интереса к ферментированным овсяным напиткам известны исследования по изучению влияния заквасок на показатели их качества не только с молочнокислыми бактериями *S. thermophilus*+*L. delbrueckii subsp bulgaricus* и бифидобактериями *Bifidobacterium animalis. subsp lactis* Bb-12, но и пропионовокислыми бактериями *Propionibacterium freudenreichii subsp. shermanii* PS-4 [47]. Напитки получали из овсяных хлопьев водной экстракцией с последующим снятием кривых подкисления в процессе ферментации и хранением их при температуре 6 °С в течение 35 дней. Через каждые 7 дней определяли кислотность, популяцию бактерий и адгезивные свойства. Бактерии ускоряли подкисление, повышали водосвязывающую способность, снижали клейкость продукта. В процессе ферментации усваивались углеводы и, прежде всего, сахароза. Бактерии повышали качество овсяного напитка и удлинляли срок годности. Для овсяного напитка, как рисового и соевого, доказано и то, что пастеризация, являясь санитарным способом обработки, исключала их токсичность, включая химическую, обусловленную пестицидами [48].

Другие авторы [49] в течение 12 ч при температуре 38–40 °С ферментировали продукт с предварительным добавлением овсяного напитка, в количестве от 0.25 до 0.75 частей, к коровьему молоку с массовой долей жира 1.5%. Напиток охлаждали 24 ч и получали белковые сгустки комбинированных кисломолочных продуктов. Массовая доля белка в процессе ферментации под влиянием заквасок (Vivo, Россия) понижалась в среднем с 4.5 до 3.0%, как в варианте, приготовленном из одного овсяного напитка. Возможно, что протекал гидролиз белков под действием протеаз бактерий с последующим превращением аминокислот в органические кислоты, в том числе и в молочную кислоту [49]. Кислотность продуктов изменялась от 58°Т до 72°Т, в зависимости от вида закваски. Сделан вывод, что для получения кисломолочных функциональных продуктов целесообразно использовать овсяный напиток и коровье молоко при соотношениях 50 : 50 и 75 : 25 с заквасками «ПроБиЙ-огурт» или «Йогурт», а для безлактозных продуктов – 100% овсяный напиток [49].

Продукты, приготовленные на основе зерновых культур, часто имеют некачественную текстуру и низкие сенсорные свойства из-за недостаточно высокого содержания белков. Для улучшения качества ферментированного напитка из овсяной муки в работе [50] исследовано влияние добавления к нему арахисового белкового изолята (АИ), полученного авторами, и коммерческого горохового изолята (ГБ). При этом установили, что если при высоких концентрациях овсяные белки и склонны к гелеобразованию, то при подкислении данное свойство исчезает. Белковые изоляты исправляли данный недостаток. Если АИ обладал более высокой ЖЭС и растворимостью в кислой и нейтральной средах, по сравнению с ГИ, то он имел меньшую ВСС, поэтому на 21-й день хранения у напитка с АИ наблюдался больший синерезис, чем у напитка с ГИ. Однако у обогащенных белками напитков была одинаковая скорость подкисления, вязкость и более высокого качества текстура, чем у овсяного напитка. При употреблении ферментированных напитков с улучшенными аминокислотными профилями у пациентов повышалась активность ангиотензинпревращающего фермента (АПФ), уменьшающего кровяное давление и сердечную недостаточность. Одновременно повышалась ингибирующая способность фермента α -глюкозидазы, а переваривание таких напитков *in vitro* продемонстрировало преимущества ферментации и в отношении биологической активности [50].

Для лиц, чей организм не может усваивать клейковинные белки, в частности их глиадиновые фракции (болезнь целиакия), обоснованным является использование белоксодержащих *рисовых* зернопродуктов в составе ферментированных и неферментированных продуктов и напитков. Из обезжиренного коровьего молока с добавлением 6% рисового напитка разработан кисломолочный продукт с «двойными» белками с использованием трех штаммов культуры *L. bulgaricus*, *L. casei* и *L. acidophilus* [14]. Молоко с напитком сбраживали в течение 8 ч до жизнеспособных клеток $10^{8.5}$ КОЕ/мл и снижения pH до 4.3. Сделан вывод о перспективах дальнейшего изучения токсикологического воздействия продукта на нормальные и злокачественные клетки человека [14]. С «двойными» белками риса и белками *черной сои* разработан напиток, в котором рисовый крахмал предварительно гидролизуют ферментом амилазой [51]. Ферментацию сырья проводили молочнокислыми бактериями, выделенными из кимчи, в течение 12 ч при pH 4.05–4.20 до содержания клеток $10^{9.37-9.54}$ КОЕ/г. В ферментации кимчи участвуют молочнокислые бактерии, в том числе из родов *Leuconostoc*, *Weissella*, *Lactobacillus* и *Pediococcus* [52]. Напиток наряду с положительной оценкой вкуса, сладости и приятного ощущения во рту обладал и высокой способностью (41.86%) удалять свободные радикалы [51]. На состав летучих соединений и сенсорный профиль рисового напитка подробно исследовано влияние молочнокислых бактерий в работе [53]. Если профили контрольного молочного йогурта включали кетоны, лактоны и кислоты, характерные в том числе и для сыров, то ферментированный рисовый напиток содержал карбонильные соединения и орехов, и зерновых, и бобовых культур, которые придавали ему

приятный специфический аромат и вкус. Выполнено исследование и по сравнению химического состава и органолептических показателей напитков, полученных из полированного (белого) и коричневого риса одного и того же сорта, и напитка из сои. Все были приготовлены по одному и тому же способу. Показана пригодность напитков для людей с непереносимостью лактозы животного молока и/или аллергией на соевый белок [54].

Продукты с повышенным содержанием белка являются одной из быстрорастущих категорий, ориентированных на здоровье людей [55], поэтому для производства такой продукции чаще используются бобовые культуры. Соя (*Glycine max*) и соевые продукты – распространенное пищевое сырье для производства аналогов молочных продуктов не только благодаря высокому содержанию белка, но и наличию биологически активных соединений и их приемлемости [56]. Сырье в технологических процессах производства кисломолочных продуктов и напитков используется прежде всего благодаря функциональным свойствам белков (растворимость, эмульгирование, удерживание жира, гелеобразование, связывание воды). Учитывается, что аллергия на компоненты сои широко не распространена и клиника ее совпадает с аллергией на коровье молоко [57]. Коммерческие кисломолочные продукты с соевым шротом, ферментированные с помощью *L. plantarum*, *Bifidobacterium lactis* и *Saccharomyces cerevisiae*, показали очень низкую иммунореактивность [58], а ферментация соевого напитка штаммом *Lactobacillus rhamnosus* C 25 обеспечивала эффективное поглощение более 60% гидроксильных радикалов, ABSH и DPPH, которые образовывались в моделях *in vitro* и придавали ему антиоксидантные свойства. В аналогичном напитке [59] при ингибировании роста штамма *E. coli* появлялись и антибактериальные свойства, а соевый напиток, обогащенный пробиотиком *L. plantarum* A7, улучшал работу почек у пациентов с диабетической нефропатией за счет снижения уровня гормона програнулина [60]. Напиток из сои, приготовленный даже без ферментации, обеспечивал пациентам противовоспалительные свойства, выявленные на основании определения С-реактивного белка, фактора некроза опухоли- α , интерлейкина-1 β и гамма-интерферона, улучшал микробиоту кишечника и снижал симптомы язвенного колита [61].

Все эти положительные свойства соевых продуктов продолжают привлекать внимание исследователей и производителей для разработок новых рецептур и технологических процессов. Так, из коровьего молока и соевого напитка при соотношениях 25 : 75; 50 : 50 и 75 : 25 с ферментацией культурой *L. Acidophilus* La5 при 43 °C получены кисломолочные напитки с высокими микробиологическими и сенсорными показателями [12]. Количество клеток штамма La5 в напитках составляло $10^{7.52}$ – $10^{8.20}$ КОЕ/см³, что было выше минимума для пробиотиков (10^6 КОЕ/мл). Массовая доля ненасыщенных жирных кислот равнялась 22.3–77.8%, насыщенных кислот – 22.2–82.7%, стахиозы и раффинозы – в количествах 80 и 50%, соответственно, от первоначального уровня. Вероятно, частично последние превращались в молочную кислоту. Комбинация молочных и соевых белков улучшила запах, вкус и цвет изделий. Известно [62] и то, что ферментация смеси коровьего молока с соевым напитком, при использовании последнего в количестве 25, 50 и 75% с *L. rhamnosus* GR-1, обеспечивала приготовление продукта с высокими пробиотическими свойствами (10^8 КОЕ/мл) и хорошим вкусом. С другой культурой *S. faecalis* из соевого напитка получен высококачественный продукт, для которого параметры ферментации оптимизированы по методологии получения поверхностей отклика в зависимости от переменных величин (концентрация инокулянта 1–3% об./об., температура инкубации – 37–43 °C, продолжительность процесса – 12–16 ч) [9]. Оптимальные параметры для получения напитка – 1.78%; 41 °C и 16 ч соответственно. В другой работе [63] установлено положительное влияние белков 3.3% соевого изолята на реологические и текстурные характеристики напитка, полученного с классической йогуртной закваской. Напитку с *S. thermophilus* и *L. bulgaricus*, как и белки соевого изолята, функциональную направленность и улучшенные технологические показатели придавали и белки муки [64]. По сравнению с молочным йогуртом напиток имел более низкую степень синерезиса, более яркий желтый цвет и большее количество полифенолов, придающих ему высокую антиоксидантную активность.

Нут (*Cicer arietinum* L.) – одна из важнейших бобовых культур, так как является не только ценным источником белка (15–30%) [65, 66], углеводов, минеральных веществ [66], но и усиливает рост микроорганизмов [67] и проявляет антиоксидантные свойства [68]. Известные работы с нутом большей частью посвящены получению ферментированных напитков на основе одного его или с комбинированными белками молока («двойные белки»). Для получения ферментированного напитка, например, первоначально получали экстракт, который стерилизовали 20 мин при давлении 7.7 кг/см² [69], затем инокулировали смесью культур 5% *L. casei* и 5% *L. plantarum* в течение 6 часов, что было меньше, чем по отдельности для каждой из

бактерий. Продукт по вкусовым характеристикам был аналогичен молочному йогурту. Также разработана рецептура кисломолочного продукта на основе обезжиренного коровьего молока и экстракта нута, которые ферментировали бактериями *S. thermophilus* и *L. bulgaricus* при соотношении сырьевых компонентов 80 : 20 [70]. Продукт с модифицированным набухающим крахмалом из восковидной кукурузы (Ultra-Sperce M) не подвергался синерезису, обладал вкусом и текстурой, как молочный йогурт. Изучение влияния водного экстракта нута в составе продуктов, приготовленных из коровьего и верблюжьего молока, на кислотообразующую и антиоксидантную активность, содержание фенолов и жизнеспособность микрофлоры в течение 0, 7, 14 и 21 дней хранения при температуре 4 °C [71] показало, что значение pH к концу хранения в напитках с экстрактом было меньше, чем в образцах без экстракта, а титруемая кислотность, содержание фенольных соединений и антиоксидантная активность обоих ферментированных напитков, наоборот, выше ($p < 0.05$), чем в образцах без нута. Продукты готовили добавлением нутевого экстракта к пастеризованному молоку с жирностью 3–4%, при соотношении, соответственно, 10 : 85 и 5 частей закваски. Последняя состояла из культур *L. acidophilus* LA-5, *B. bifidum* Bb-12, *L. casei* LC-01 и *S. thermophilus* Th-4, взятых в соотношении 4 : 4 : 1 : 1, и пробиотической смеси из *L. bulgaricus*, *L. rhamnosus*, *Bifidobacterium infantis* и *Bifidobacterium longum* (соотношение 1 : 1 : 1 : 1). Продукты гомогенизировали, инкубировали при 41 °C до pH 4.5 и охлаждали. Анализы показали, что продукты проявляли питательные и биологические качества, характерные для функциональных напитков [71].

Доказано, что в процессе пробиотической ферментации напитков из нута под влиянием молочнокислых бактерий *L. plantarum* 299 в течение 24 ч происходил гидролиз белков: β -конглицинина (7S) и глицинина (11S) [72], которые являются потенциальными пищевыми аллергенами у сои [73]. Электрофоретическое разделение белков в SDS-PAAG показало, что главные субъединицы неферментированного напитка были идентичны по ММ субъединицам соевой муки: 7S (β -конглицинин) – 52–70 кДа и 11S (глицинин) – 24.3–45.5 кДа. Под влиянием ферментации с *L. plantarum* 299 белки с ММ в диапазоне 38–98 кДа [72], а с *L. rhamnosus* CICC 20257 с ММ 94.3 кДа в напитках практически отсутствовали [74]. Биотехнологический процесс снижал содержание потенциально аллергенных компонентов и тем самым повышал биодоступность питательных веществ. Белки и пептиды в напитке коррелировали с протеолитической активностью, высокой восстанавливающей способностью, захватом свободных радикалов и содержанием полифенолов, обеспечивая тем самым антиоксидантную активность. Ферментированные продукты характеризовались высокой сенсорной оценкой с значениями pH от 4.46 до 5.64 [72]. Аромат продукта, как и его реологические свойства, улучшались в процессе протеолиза глобулинов 7S и 11S, в большей степени с ферментом папайном, за счет дополнительного образования свободных аминокислот, включая гидрофобные [75]. В исследовании [76] детально изучено влияние ферментации *L. plantarum* на ароматические соединения, органические кислоты, витамины и другие метаболиты нутевого напитка. Всего в нутевоом напитке методом твердофазной микроэкстракции с газовой хроматографией/масс-спектрометрией (HS-SPME-GC-MS) идентифицировали 77 ароматических веществ, 43 из которых синтезировались после ферментации со значительным уменьшением бобового привкуса. Всего же обнаружено 218 метаболитов с одновременным улучшением цвета, вкуса, увеличением фенолов, флавоноидов, молочной кислоты и витамина B₆ и усилением антиоксидантных свойств.

Белки бобов маша (*Vigna radiata*), наряду с белками других бобовых, используются для производства кисломолочных продуктов повышенной пищевой и биологической ценности [77, 78]. Маш содержит и биологически активные вещества, обладающие противовоспалительным, противораковым, противомикробным и противоязвенным действием [79]. Однако он имеет неприятный бобовый привкус и содержит антипитательные вещества (фитиновая кислота, дубильные вещества, сапонины), ограничивающие потребление продуктов на его основе. Технологии ферментации нутевоых продуктов исключали эти недостатки. В работе [77] изучено влияние ферментации кисломолочного продукта с *Lactococcus lactis* RQ1066 на его физико-химические и сенсорные свойства и установлено повышение степени гидролиза и растворимости белков (92.62%), изменение аминокислотного состава, усиление антиоксидантной способности и уменьшение количества антипитательных факторов. Аромат, вкус, консистенция улучшались, по сравнению с неферментированным напитком. Через 12 ч роста количество жизнеспособных клеток в продукте увеличилось с $10^{6.05}$ КОЕ/мл до $10^{8.42}$ КОЕ/мл, в течение 24 ч хранения он оставался стабильным.

При сравнении физико-химических свойств и состава летучих ароматических соединений ферментированных напитков, полученных на основе белков маша и белков гороха с коммерческими заквасками VEGE022 и YF-L904, установлено, что продукт с белками маша имел более высокую твердость и

водосвязывающую способность, по сравнению с продуктом из гороховых белков (90.57% против 87.55%) [78]. Основными химическими силами, поддерживающими гелевую структуру, были гидрофобные взаимодействия и дисульфидные связи, а основными ароматическими соединениями – альдегиды и кетоны. Для уменьшения бобового привкуса более эффективным был штамм VEGE022.

По сравнению с молочными белками в растительных напитках часто наблюдается дефицит незаменимых аминокислот. Метионин и цистеин являются лимитирующими аминокислотами для белков гороха и сои, для белков злаковых культур, включая рис и овес, – лизин, часто треонин [79]. Если показатель биологической ценности для молочных белков с учетом их усвояемости составляет 104, то для соевого и горохового – 74 и 65, соответственно. Аминокислотный скор для молочных белков равняется 115–111%, то для соевых и гороховых – 89 и 80% соответственно [80]. Следовательно, ферментация для модификации биологической ценности является актуальной не только для соевых белков, но и для гороховых. *Желтый горох* (*Pisum L.*) содержит до 18–30% белка с присущими последнему высокими функциональными свойствами (гелеобразование, растворимость, пенообразующая, эмульгирующая, жиросвязывающая способность) [81]. Неприятный вкус гороховых напитков обуславливают такие ароматические соединения, как 2-метокси-3-изопропил-(5 или 6)-метилпиразин, гексаналь, (E,E)-2,4-нонадиеналь и (E,E)-2,4-декадиеналь, нонаналь и 1-гексаноль, тогда как соевых – 1-октен-3-он, гексаналь, (E,E)-2,4-нонадиеналь и (E,E)-2,4-декадиеналь [82]. Летучие соединения являлись продуктами ферментативных реакций и меньше зависели от фракции липидов. Однако в процессе ультравысокотемпературной обработки и последующего хранения напитка из горохового белка, например, идентифицированы ароматические соединения, образованные и за счет окисления липидов, и за счет неферментативной реакции Майяра [83]. Влияние способа приготовления кисломолочного продукта из аналогичного напитка на сенсорные и физико-химические характеристики описано и в работе [84]. Вкус и запах продукта из напитка, полученного из бланшированного в кипящей воде зерна с удалением шелухи и вымачиванием в кислоте, были наилучшие, при этом более чем на 96.86% уменьшилось количество 2-метокси-3-изопропил-(5 или 6)-метилпиразина. Ферментация напитка, приготовленного с экстракцией замоченного зерна в воде при температуре 25 °C, обеспечила высокую скорость накопления кислот, а напитка, полученного с бланшированием зерна, очисткой и вымачиванием в щелочи – лучшую текстуру [84]. Среди методов предварительной обработки водной суспензии размолотого зерна с содержанием белка 24.05% и гидромодуле 1 : 10 наиболее эффективным для снижения содержания, например, гексаналя в неферментированном напитке оказался вакуум при давлении 0.08 МПа при 50 °C [85]. Для регулирования вкуса горохового напитка использовали и аскорбиновую кислоту, кверцетин, эпигаллокатехин-3-галлат, восстановленный глутатион и высокое давление [86]. Содержание гексаналя при этом положительно коррелировало с активностью липоксигеназы и отрицательно – с содержанием линолевой и α -линоленовой кислот. При уменьшении содержания гексаналя, пентанола и 2-пентилфурана сенсорные свойств горохового напитка улучшались, а если эпигаллокатехин-3-галлат и высокое давление сочетались с кверцетином, то уменьшался и «жирный» привкус напитка. Таким образом, и вид сырья, и технологические приемы требуют специальных исследований объяснения и регулирования аромата и вкуса напитков.

Фасоль (*Phaseolus vulgaris L.*) является богатым источником белков (20–30%), витаминов K₁, фолиевой кислоты, молибдена, железа, меди, марганца, калия, фосфора [87], фенолов (45.7 мг/г на сухую массу), полифенолов, цианидов, цианидинов и фитостеролов [88]. Раффиноза и стахиоза зерна фасоли действуют в кишечнике для бифидобактерий и лактобактерий как пребиотики. Фасоль, как и другие бобовые культуры, содержит и антипитательные вещества, такие как фитиновая кислота, пептиды, лектины, ингибитор трипсина, ингибитор профермента α -амилазы, снижающие усвояемость пищевых компонентов [89]. Для их исключения зерно промывали, замачивали, размалывали, дисперсию кипятили, центрифугировали и супернатант принимали за напиток [90]. Для инактивации ингибиторов напитков ферментировали штаммами *B. subtilis* с одновременным обеспечением антиоксидантной активности за счет уменьшения количества изофлавоновых агликонов и увеличения содержания γ -аминомасляной кислоты. Последняя обладает свойством предотвращать хронические заболевания и понижать артериальное давление [91]. С ферментацией напитка возможно уменьшение и содержания таких антипитательных факторов, как α -галактозида, вицин, ингибиторы трипсина и повышение тем самым его пищевой ценности [92].

Для приготовления альтернативных продуктов и напитков широко используется *люпин* (*Lupinus campestris*), содержание белков в котором может достигать 32.0–56.0%. В зерне обнаружены витамины B₁, B₂, полифенолы, каротиноиды, фитостерины, токоферолы, пептиды с антиоксидантной, противомикробной,

противораковой и противовоспалительной активностью [93]. Так, известен напиток, полученный тепловой обработкой семян при 93 °С в 0.5% растворе NaHCO_3 с последующим охлаждением, шелушением и измельчением при гидромодуле с водой 1 : 9 [94]. Напиток при pH 6.5–7.0 с содержанием белков 6.3% обрабатывали термически для инактивации липоксигеназы, пастеризовали и охлаждали до 45 °С. В напиток добавляли 3% сахарозы, 1.5% лактозы, 3% закваски из культур *S. thermophilus* и *L. delbrueckii subsp bulgaricus* и инкубировали в течение 8 часов до pH 4.02. Вязкость продукта была аналогичной вязкости йогурту из коровьего молока, содержание молочной кислоты – 0.87%, количество бактерий – 3.2×10^8 КОЕ/мл. Аминокислотный состав белков был сбалансированный, за исключением серосодержащих аминокислот, как и у других бобовых культур [93]. Такие продукты полезны для людей с ожирением, диабетом, гипертонией [94]. Люпиновый напиток использован для получения сырного продукта [95] и мороженого [96]. Мороженое готовилось с добавлением арахисового напитка, сухого молока и пробиотических бактерий *L. acidophilus* и *B. lactis*. Другими авторами [97] для эффективного использования люпинового напитка в растительных продуктах исследовано влияние сорта зерна и способов выделения белков центрифугированием и фильтрацией экстрактов. Двумерным электрофорезом с последующей масс-спектроскопией идентифицировано 230 компонентов, 60 из которых отличались по количеству белков. При сравнении способов получения экстрактов и сортов наибольшие отличия были характерны для 20 белков β -конглобулина (7S глобулин) с ММ 30–35 кДа. Два компонента α -конглобулина и один компонент β -конглобулина с ММ 15–25 кДа обнаружили только в экстракте обоих сортов зерна, полученном фильтрацией через ткань. С помощью фильтрации белки экстрагировались полнее, чем при центрифугировании, что могло послужить основой для разработки более эффективных способов использования белков с конкретной ММ при производстве кисломолочных и сырных продуктов из люпина.

Арахис (*Arachis hypogaea* L.), также относящийся к семейству бобовых, наряду с белками богат пищевыми волокнами, минеральными веществами, линолевой, олеиновой и п-кумаровой кислотой с антиоксидантными свойствами [98]. Он не содержит натрия и трансжиров, но в его состав входят фосфор, магний, флавоноиды и фитостерол, последние предотвращают излишнее усвоение холестерина пищи [98, 99]. Арахисовый напиток, как правило, – это желтая жидкость с высоким содержанием белка. Его готовят путем измельчения сырого арахиса с водой (1 : 6) в течение 30 мин, а затем доводят pH до 9.0 и удаляют жир с помощью сепаратора [98]. В арахисе высокое содержание ресвератрола, который является средством против старения, рака и профилактики сердечно-сосудистых заболеваний [99]. Для повышения его содержания разработан ферментированный продукт из зерна, проросшего 4 дня [99]. Математическими методами обработки данных определены оптимальные условия для ферментации напитка: количество инокулята *L. plantarum* – 3.26%, ксилита – 6.2%, время ферментации – 15 ч, соотношение материал : вода – 1 : 5. Содержание ресвератрола в напитке увеличилось с 674.22 ± 2.47 мкг/л до 815.82 ± 4.53 мкг/л. В предыдущих исследованиях изучено влияние ферментации напитка на антиоксидантную активность, содержание фенольных соединений [100] и оптимальные условия для достижения максимального количества пробиотиков [101]. Условия ферментации оптимизированы с помощью методологии планирования эксперимента изучением взаимодействующих эффектов трех переменных: концентрация инокулята – 1.9%, температура инкубации – 38 °С и время инкубации – 12 ч. Напиток ферментировали семью штаммами молочнокислых бактерий (*L. brevis* MTCC № 1750, *L. casei* MTCC № 1423, *Lactobacillus fermentum* MTCC № 903 и 21 MTCC № 1745, *L. plantarum* MTCC № 6160 и № 1407, *S. faecalis* T110) без стимуляторов роста – ксилита [99] или сахарозы [102]. Оценка физико-химических свойств кисломолочных продуктов, приготовленных с арахисовым напитком (0–30%), обезжиренным молоком (60–90%), сухим молоком (9%), сахарозой (1%), *L. bulgaricus* и *S. thermophilus*, хранившихся 15 дней при 4 °С, показала, что между содержанием белка, жира, сухих веществ и степенью отделения сыворотки от сгустка и pH наблюдалась корреляция [103]. К концу хранения скорость синерезиса увеличивалась, содержание белка, жира и зольность уменьшались. Чем меньше содержалось арахисового напитка (10%), тем выше твердость продукта, с 30% арахисового напитка наблюдался наименьший показатель твердости [103].

Миндаль (*Prunus dulcis*) – род растений семейства розоцветных, относящийся к орехоплодным растениям, часто рассматривается как матрица для ферментированных продуктов, альтернативных молочным йогуртам [104]. При изучении совместного влияния термической обработки (85 и 121 °С) и гомогенизации под высоким давлением (62–172 МПа) достигнута повышенная стабильность напитка с *Lactobacillus reuteri* и *S. thermophilus* и улучшение его показателей при хранении в течение 28 дней. Сенсорные характеристики и

содержание пробиотиков, превышающее минимальный уровень, указывали на пользу для здоровья, поэтому напиток рассматривался как функциональный для лиц с непереносимостью лактозы или аллергией на коровье молоко. Смесь миндального и соевого напитков, приготовленная после оптимизации параметров для каждого из них, при соотношениях, соответственно, 60 : 40, 50 : 50, 40 : 60, по содержанию белка, кальция, железа и сухих веществ, из-за отсутствия лактозы и аллергенов, также хорошо подходила для использования в качестве альтернативных продуктов [105]. Смесь, приготовленная из 60% миндального напитка и 40% соевого, получила наивысшую оценку по содержанию белка. Однако исходя из общей питательной ценности, органолептических и реологических показателей, все варианты смеси рекомендовали для использования.

Ядра кешью (Anacardium occidentale) – концентрированное сырье из-за высокого содержания белка (21.3–36.3%) и жира 48.3–49.1% [106, 107]. В орехах присутствовали все девять незаменимых аминокислот, включая лизин (6.09 г/100 г), гистидин (1.70 г/100 г), треонин (3.42 г/100 г), валин (3.63 г/100 г), лимитирующие – метионин, цистин [108]. Орехи – источник ненасыщенных жирных кислот, клетчатки, стеролов, витаминов, в частности, Е, минеральных веществ (калий, кальций, фосфор, натрий, магний), независимо от региона их произрастания [106].

Методом электрофореза (SDS-PAGE) показано, что белки кешью представлены полипептидами (ММ 53 кДа), состоящими из двух компонентов с ММ 32 и 21 кДа [107]. Они богаты β-складчатыми слоями с гидрофобными и гидрофильными свойствами. Белки, как и их фракции (альбумин, глобулин, глютелин), обладали способностью растворяться, водоудерживающей, пенообразующей и эмульгирующей способностью. Свойства белков кешью положительно отражались на качестве напитков [109–111]. Для их приготовления замоченное ядро, при соотношении с водой 1 : 6, гомогенизировали, превращали в кашу, фильтровали через ткань, пастеризовали 10 мин при температуре 82 °С и охлаждали [109]. В напитке содержался кальций (4.75 мг/100 г), калий (7.15 мг/100 г), железо (3.00 мг/100 г), магний (2.00 мг/100 г), фосфор (2.00 мг/100 г). Наиболее приемлемым по органолептическим показателям был напиток с добавлением сахара. Изучено влияние трех штаммов пробиотических бактерий, таких как *L. rhamnosus* (Lr), *L. casei* (Lc) и *L. plantarum* (Lp), с культурами *S. thermophilus* (St) и *L. delbrueckii subsp. lactis* (Ll) на физико-химические и биохимические показатели напитков в течение 0, 7, 14 и 21 дня хранения [110]. Установлено, что добавление Lr интенсивнее снижало pH продукта, увеличивало количество молочнокислых бактерий, содержание фенолов, флавоноидов и повышало антиоксидантную способность, по сравнению с контрольным с St и Ll. Рекомендованы все три штамма в качестве закваски при производстве ферментированных напитков из кешью. Влияние этих же штаммов бактерий в сочетании с St и Ll изучено и другими авторами [111] на содержание фенолов, флавоноидов и антиоксидантную активность ферментированного продукта, приготовленного из напитка кешью, смешанного с коровьим или верблюжьим молоком (75 : 25 по объему), на показатели продукта в течение 0, 7, 14 и 21 дня хранения. Самое высокое содержание фенолов и флавоноидов к концу хранения было у продуктов с Lr, активность по связыванию свободных радикалов была выше для всех штаммов бактерий у продукта с верблюжьим молоком, по сравнению с образцом, содержащим только St и Ll. Все стартовые культуры повышали ($p < 0.05$) хелатирующую способность продукта, по сравнению с контролем, на 7-й и 14-й день хранения. Ферментированные продукты из напитка кешью, смешанного с коровьим/верблюжьим молоком, целесообразны для укрепления здоровья, так как обладали полезными свойствами.

С закваской из *L. rhamnosus* и *L. casei* на базе 2–6% кокосовой муки, содержащей 50.50% клетчатки, 18.99% жира, 10.67% белка, 79.99% антиоксидантов и 154.4 мг г⁻¹ фенолов, разработан кисломолочный продукт с антибактериальной активностью относительно патогенных плесеней и дрожжей [15]. Муку смешивали с обезжиренным молоком буйволицы после обработки при 90 °С/3 мин, смесь охлаждали и по отдельности при 42 °С засевали 2% йогуртовой закваски (1 : 1) и 2% пробиотических бактерий *L. casei* и *L. rhamnosus*. Продукт содержал повышенное количество белка (7%), клетчатки (до 4,78%), фенолов, лауриновую (45.91%), олеиновую (4.38%), линолевою (1.34%) кислоты. Он обладал улучшенными вкусовыми, реологическими свойствами и более высокой антиоксидантной активностью, по сравнению с молочным йогуртом [15]. Ранее [112] с добавлением 25–100% кокосового напитка к обезжиренному коровьему молоку ферментацией с закваской получен комбинированный продукт до конечного pH 4.2–4.4 при температуре 43 °С в течение 5 ч. Для стабилизации и эмульгирования использовали крахмал, для подслащивания системы – сахарозу. В качестве нового метода стабилизации качества и безопасности кокосового напитка для промышленности предложена [113] комбинированная вакуумно-микроволновая обработка (26.7 МПа 5 мин при температуре 30 °С и 720 Вт 10 мин при температуре 80 °С), при которой в процессе хранения в напитке

меньше изменялся цвет и меньше потери сухих веществ (8.04%), сахаров (10.67%), белка (34.25%), калия (1.43%), кальция (12.93%), магния (51.93%) и железа (6.97%).

С использованием *картофельного порошка* с массовой долей белка 8.6% и сухого молока при соотношении 1 : 3 (м/м) с добавлением крахмала, гидролизованного α -амилазой, приготовлен кисломолочный продукт с культурами *L. bulgaricus* и *S. thermophilus* [114]. Смесь компонентов перемешивалась, нагревалась при 42 °С до коагуляции белков и хранилась в течение 28 дней при 4 °С. В процессе хранения продукт сохранял сенсорные свойства, высокую способность связывать воду и антиоксидантную активность, измеренную по улавливанию свободных радикалов 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилом и по снижению количества железа. Потери сухих веществ были более низкие, по сравнению с йогуртом из сухого молока, в результате сделан вывод о картофельном сырье как ингредиенте, улучшающем качество и стабильность промышленного продукта [114].

Для получения альтернативных продуктов продолжается поиск *нового белоксодержащего растительного сырья*. Так, например, получен напиток из семян *аденантеры павиньей* (*Adenantha pavonina*) – культуры из семейства бобовых [115], с показателями качества выше, чем у соевого напитка. Среднее содержание белка в напитке составляло 36.14%, Са – 440 мг/л, Mg – 96.69 мг/л, К – 190.41 мг/л, Na – 64.24 мг/л и Си – 0.55 мг/л. У лиц с неврологическими заболеваниями напиток понижал активность ацетилхолинэстеразы в печени, кишечнике, сердце, почках, что указывало на активизацию транспорта ионов через мембрану клеток, следовательно, и на сохранение здоровья.

Популярным становится *конопляный* напиток, сырье которого (конопля – *Cannabis*) характеризуется не только большим содержанием белка (20–25% и более) [116], но и ненасыщенных жирных кислот, снижающих риск сердечно-сосудистых заболеваний [117]. Авторами работы [118] показано, что в напитке содержалось и мало тетрагидроканнабинола, который мог бы отрицательно влиять на психику людей. Для конопляного, как и для кокосового напитков, ферментированных бактериями *L. casei subsp. rhamnosus* и хранившихся в течение 21 дня, показана хорошая выживаемость микроорганизмов [119]. Значение pH при хранении в напитках снижалось с 6.15–6.81 до 4.77, массовая доля белка в конопляном напитке уменьшалась с 6.96 до 5.78% на сухое вещество, в кокосовом – с 5.61 до 4.81%, что взаимосвязано с гидролизом высокомолекулярных белков под влиянием протеаз. Количество липидов изменялось незначительно, численность бактерий соответствовала терапевтическому критерию (больше 10⁶ КОЕ/мл), отсюда оба напитка отнесли к функциональным. В то же время при переработке конопли остается необходимость строгого соблюдения нормативных требований безопасности из-за возможного присутствия нежелательных соединений, определяющих у людей психоактивные свойства [120].

На рынке пищевых продуктов присутствуют напитки и кисломолочные продукты из *какао* [121] и *киноа* [122, 123]. Какао снижает риск сердечнососудистых заболеваний, рака, нейродегенеративных расстройств, предотвращает агрегацию тромбоцитов, замедляет всасывание углеводов в кишечнике, улучшает секрецию инсулина [124], исключает аллергию [125]. Употребляют какао в виде напитков с высокими антиоксидантными свойствами, обусловленных присутствием полифенолов (флаван-3-олы, антоцианы, флавонолы, фенольные кислоты) (12–18%) [121, 122]. Кисломолочные продукты с добавлением 0.5; 1 и 1.5% муки киноа получены из молока буйволицы с 6.5% жирности [122]. Муку получали из семян киноа семейства амарантовых (*Chenopodium quinoa*) с содержанием безглютенового белка 14%, витаминов группы В, включая фолиевую кислоту, магний, марганец, фосфор, цинк. Напиток нагревали при 90 °С в течение 10 мин, охлаждали до 42 °С и ферментировали. Контролем служил образец без муки с 2% йогуртовой закваски (*S. thermophilus* и *L. bulgaricus* (1 : 1)). В опытных образцах использовали *S. thermophilus*, а при добавлении 0.5% муки киноа дополнительно – *L. brevis* NRRLB 4527, при 1% муки – *Lactobacillus reuteri* NRRLB-14171 и при 1.5% – *Lactobacillus urvatus* NBIMCC 3452 (1 : 1). Ферментацию проводили до pH 4.6–4.7 при 42 °С. С увеличением срока хранения при 5 °С вязкость напитка повышалась, увеличивалось количество диацила, пробиотиков, а содержание ацетальдегида, наоборот, уменьшалось. Больше всего бактерий содержалось в образце с 1.5% муки при органолептической оценке его 96 баллов, против 94 балла у контрольного. Результаты определили как перспективные для промышленности [122]. Из коровьего молока «Rayeb» и напитка киноа разработан и кисломолочный продукт «Rayeb» [123]. Приготовление молока «Rayeb» предусматривает доение коров в стерилизованные глиняные горшки, пропитку маслом их внутренних поверхностей и запекание в печи. Семена киноа замачивали в течение 24 ч в кипяченой воде при гидромодуле 1 : 6 при температуре 25 °С. Молоко и напиток киноа нагревали при 90 °С в течение 10 мин, охлаждали до 42 °С,

смешивали при соотношениях 75 : 25, 50 : 50 25 : 75 соответственно и культивировали с закваской АВТ-5, состоящей из *S. thermophilus*, *L. acidophilus* и *B. bifidum*. Содержание сухих веществ, белка, жира, ацетальдегида, диацетила, фенолов, минеральных веществ и сумма незаменимых аминокислот в напитках, по сравнению с молочным йогуртом, увеличивались. В продуктах из смеси наблюдали высокий рост *L. acidophilus* и *B. bifidum*, повышенную антиоксидантную активность и на 3.15; 1.31 и 8.99% (в зависимости от дозировки киноа) большее содержание незаменимых аминокислот, среди которых были лизин и лейцин [123].

Использование вторичных продуктов переработки растительного сырья

Проводятся исследования по переработке *вторичных продуктов использования растительного сырья*. Так, льняной жмых применили для получения пробиотического напитка с *L. rhamnosus* GG (LGG), 1% глюкозой, 1% фруктозой и без углеводных добавок [126]. Исходные напитки контаминировали болезнетворными бактериями и оценивали их консервирующий эффект. По ходу ферментации в продуктах увеличивалось количество полифенолов, флавоноидов, повышалась антиоксидантная активность. При температуре 6 °С в течение 48 ч хранения жизнеспособность LGG, которая усиливалось под влиянием сахаров в процессе подкисления, превышала требуемый минимальный уровень (10^6 КОЕ/мл). LGG оказывали консервирующее действие на грамотрицательные возбудители, что указывало на потенциал использования льняного жмыха. Льняной жмых в качестве субстрата одобрен и для производства напитка, похожего на кефир [127]. Образцы с добавлением 5–15% жмыха ферментировали кефирными зернами и инкубировали при 25 °С в течение 24 ч. Напитки хранили 21 день при 6 °С, оценивали pH, содержание белков, полифенолов, флавоноидов, аскорбиновой кислоты, сахаров, вязкость и цвет продукта. Жизнеспособность микроорганизмов с антиоксидантной активностью превышала минимальный уровень для таких продуктов, поэтому жмых также рекомендован в качестве немолочного сырья для роста полезной микрофлоры. Авторы работы [128] ферментировали обезжиренное молоко с *L. Bulgaricus* и *L. bulgaricus/L. Plantarum* AG9 и добавлением 0.2% льняной слизи (ЛС). ЛС состояла из арабиноксилана, рамногалактуронана, белковых веществ и минералов. Продукты хранили при температуре 4 °С в течение 14 дней. Сочетание заквасочных культур с ЛС способствовало образованию твердой, эластичной, упругой казеиновой матрицы. Вязкость, синерезис, влагоудерживающая способность, текстура ферментированного молока были улучшены. Антиоксидантные свойства обусловлены высоким содержанием полифенольных соединений, которые стимулировали синтез ингибитора липазы и α - глюкозидаз.

Жмых из семян рыжика (*Camelina sativa* L.) с содержанием белка 34.95%, взятый в количестве 15 и 20% от общей массы продукта, подвергали ферментации с йогуртовой закваской из *S. salivarius subsp. thermophilus* и *L. delbrueckii subsp. bulgaricus* [129]. В ходе ферментации в течение 28 ч и хранения в холодильнике количество клеток достигало не менее 10^{10} КОЕ/г. Подкисление, уменьшение восстанавливающих сахаров, увеличение свободных аминокислот и полифенолов сопровождалось появлением высоких антиоксидантных свойств. Текстурные и органолептические характеристики продукта были похожие на аналогичные свойства молочного йогурта, что указывало на возможность использования жмыха из семян рыжика для таких продуктов. Аналогичные исследования проведены и для жмыха из конопли с йогуртовой и кефирной закваской [130].

Сырные и творожные продукты

В последние годы часть молока в традиционных сырах заменяется на растительное сырье до достижения общего содержания белков в них 35–40%. Исследования, как правило, направляются на определение количества растительного белка для получения качественной продукции. Наиболее хорошо изучены сырные продукты, в которых текстура и вкус формировались с белками бобовых культур. Еще в 2004 году было исследовано влияние *соевого изолята* на протеолиз белков при созревании продукта типа Чеддер и его органолептические свойства [131]. Сырный продукт готовили из коровьего молока, 5% соевого напитка из изолята белка и закваски из *S. thermophilus* и *L. delbrueckii subsp. bulgaricus*. К концу созревания продукта при температуре 12 °С (3 и 5 месяцев) молекулярные массы белков уменьшались с 9.94 кДа до 6.95 кДа. Горький и соевый привкус отсутствовали, органолептические свойства продукта улучшались. Хорошей растяжимостью, упругостью, микроструктурой и способностью плавиться характеризовался и сырный продукт типа Моцареллы, полученный с соевыми белками, предварительно гидролизованнными с 0.5% ферментного

препарата Флаворзим в течение 6 ч [132]. Гидролизаты содержали пептиды с молекулярными массами менее 31 кДа и степенью протеолиза белков 15.1%. Этот же фермент использовали и другие авторы [133] для гидролиза белков соевого напитка с последующим добавлением его в обезжиренное коровье молоко с сычужным ферментом и получением смешанного гелевого сгустка. Показатели продукта определяли сразу после его приготовления и через 30 сут хранения при 4 °С. Соевый напиток предотвращал агрегацию белков молока и снижал упругость белковой массы, тогда как тот же напиток, но с гидролизованными белками, наоборот, повышал упругость и прочность геля за счет новой пептидной структуры.

В работе [134] показана целесообразность включения в состав сырных продуктов 3% экструдированной муки из семян *нута*. При этом увеличивался выход готового продукта, повышалась массовая доля жира на 1.4% и белка – на 7.4%. Сырный продукт обогащался витаминами, минеральными соединениями, пищевыми волокнами, что важно для проявления функциональных свойств. Исследованы биохимические и органолептические показатели свежих и выдержанных (75 дней) мягких сыров, приготовленных из коровьего молока с люпиновым напитком при 0, 25, 50 и 75 мл/100 мл [94]. При увеличении доли люпинового молока увеличивался выход сырного продукта. По сравнению с сыром из коровьего молока содержание белка повышалось. Если в люпиновом напитке содержание белка было 4.90 ± 0.10 г/100 г, в коровьем молоке – 3.90 ± 0.08 , то в опытных образцах 4.10 ± 0.06 , 4.50 ± 0.09 , 4.70 ± 0.10 , соответственно. Общее количество бактерий находилось в пределах нормы, нежелательные микроорганизмы отсутствовали. Добавление люпинового напитка при концентрации 25 мл/100 мл значительно ($P \leq 0.05$) улучшило вкус, текстуру, аромат и общую приемлемость как свежего, так и зрелого сырного продукта.

С гидролизатами *соевых и гороховых белков* разработан нежирный сырный продукт типа Моцареллы для пиццы [135]. Под влиянием пептидов сенсорные свойства продукта улучшались, твердость и липкость снижались, в результате гидролизаты определены как перспективные источники азотистых веществ, а сырные продукты – продуктами улучшенного качества. Сырный продукт с соевым напитком и коровьим молоком, белки и жиры которых подвергались гидролизу, разработаны и другим авторами [136]. Соевые бобы с содержанием белка 36.3% и жира 18.4% промывали, замачивали в воде, удаляли оболочки, измельчали при температуре 95 °С и скорости вращения 11000 об/мин в течение 4 мин. Фильтрат с содержанием 4.94% белка нагревали при 95 °С и принимали за соевый напиток. В обезжиренное коровье молоко вносили сухое молоко до общего количества белков 4%, смесь объединяли с соевым напитком (1 : 1) и получали комбинированную смесь с 4.5% белка. К смеси добавляли молочный жир до 1.5%, нагревали при 40 °С и гомогенизировали. Для гидролиза белков использовали протеиназы ферментных препаратов Нейтраза и Флаворзим, полученные соответственно из *B. subtilis* и *Aspergillus oryzae*, и карбоксиаминопептидазы препарата из *Rhizopus oryzae*. Источником липаз и липолиза жира для синтеза ароматических соединений служили препараты из *Candida cylindracea* и *R. oryzae*. Пептидазы уменьшали горечь и индуцировали активность глутаминазы и выработку усилителя вкуса – глутаминовую кислоту. Ферменты увеличивали количество свободных аминокислот, жирных кислот, летучих веществ, в результате чего улучшались сенсорные свойства продукта, особенно с липазами штаммов AY30 и DF15 [100]. Вкус продуктов был менее горьким, острым, но более сливочным и маслянистым с ореховым привкусом, на что влияли высокие концентрации аспарагиновой и глутаминовой кислот, лизина, пролина, бутановой и гексановой кислот. Комбинированная матрица сырья из молочных и соевых белков, таким образом, предназначалась для нового ассортимента ароматизированных сырных продуктов.

Проблема создания натуральных сырных ароматизаторов из растительных белков решалась другими авторами [102, 103]. Так, аромат, напоминающий аромат сыров Пармезан и Эмменталь, получен при ферментации *соевого* напитка с использованием *Agroclybe aegerita* [102]. Методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии-ольфактометрии в качестве основы аромата обнаружены короткоцепочечные жирные кислоты. Из белков соевого напитка синтезировалась 3-метилбутановая кислота, из масляной фракции – бутановая кислота, на основании чего сделан вывод, что возможен синтез ароматических веществ для сырных продуктов и сыров. Из работы [103] известно, что из смеси *соевого, подсолнечного белков* и кокосового масла (15 г/л) формировался сырный аромат через 72 и 56 ч после ее ферментации с базидиомицетами *Cyclocybe aegerita* и *Trametes versicolor* соответственно. Ключевыми соединениями при этом были изовалериановая и бутановая кислоты, этилбутаноат, 1-октен-3-ол и кетоны, что указывало на сходство с ароматами сыров из молока. Таким образом, показана возможность производства натуральных ароматизаторов из растительного сырья для комбинированных сырных продуктов.

Известны пастообразные мягкие сырные продукты из обезжиренного коровьего молока с соевыми белковыми концентратами. Концентраты получали ультрафильтрацией и добавляли их к молоку в количестве 5, 10 и 15 г/л [104]. Смеси нагревали до 85 °С и вносили лимонную кислоту для достижения изoeлектроической точки белков (рН 5). Около 60 мин смеси выдерживали, отделяли их от сыворотки и добавляли хлорид натрия. Творожные продукты, содержащие белковые матрицы с вкрапленными в них жировыми шариками, имели более гладкую кремовую гелевую текстуру, чем контрольный продукт. Массовая доля белков в продуктах достигалась 6.8–17 г/100 г, жира – 22–32 г/100 г. Продукты считались функциональными, так их как белки имели высокую биологическую ценность, а жиры содержали ненасыщенные жирные кислоты.

Добавление *фруктов и овощей*, несмотря на низкое содержание в них белков, в сырные или кисломолочные продукты также оказывало положительное влияние на физико-химические свойства, текстуру, цвет, аромат продукции, содержание аминокислот, витаминов, красителей, минеральных веществ, клетчатки, полифенолов, каротиноидов [105]. Благодаря водосвязывающей, гелеобразующей и жиросвязывающей способности, различные соединения указанного вида сырья играли роль стабилизаторов белков молочных систем. В рационе питания за счет таких продуктов возможно повышение доли изделий с полезными функциональными и биологическими свойствами.

Преимуществом всех видов продуктов и напитков с растительным белоксодержащим сырьем являются более низкие энергозатраты на их производство, по сравнению с молочным, и то, что есть возможность регулирования их химического состава различными приемами или добавками. Однако часто ограничивающим фактором производства таких продуктов являются невысокие органолептические свойства сырья, что характерно, например, для продуктов из бобовых культур, специфический вкус и запах которых понижают качество [86] или трудности адаптации к сырью заквасочных культур. Возможно и излишнее образование горьких пептидов при гидролизе белков протеазами заквасок или усложнение технологии из-за специальных приемов обработки сырья. Так, например, во избежание прогоркания белково-жировой эмульсии в составе конопляного напитка требовалась гомогенизация [93], а для полной экстракции антиоксидантов из конопли, льна или рапса – обработка сырья ультразвуком [94]. Все приемы направлялись, как правило, на обеспечение технологических показателей качества функциональных напитков и их пищевой ценности для конкретного их применения. Обеспечение микробиологической безопасности кисломолочных продуктов и напитков имеет первостепенное значение для его качества, поскольку включает в себя как предотвращение присутствия вредных патогенов, так и борьбу с порчей для сохранения свежести [137]. Антибактериальные стратегии включают использование натуральных консервантов, усовершенствование упаковки и соблюдение строгих гигиенических норм в производстве. Помимо функциональности и органолептической оценки, по-прежнему имеет решающее значение популярность среди потребителей, которая оценивается натуральными ингредиентами, органическим происхождением и качественной упаковкой [137].

По сравнению с коровьим молоком напитки на растительной основе иногда могут содержать меньше минеральных веществ (кальций, цинк, магний, железо, селен) и витаминов D и B₁₂ [95]. Однако несмотря на дисбаланс некоторых питательных веществ, напитки на растительной основе содержат значительное количество функционально активных компонентов со свойствами, способствующими укреплению здоровья, что привлекает внимание многих потребителей, заботящихся о своем здоровье. Инновационные технологии, такие как 3D-печать, и прогресс в области цифровизации могут стать эффективным решением для обработки результатов процессов производства, включая ферментацию, чтобы имитировать структуру и текстуру традиционных продуктов [138].

Выводы

Спрос на ферментированные кисломолочные молочные продукты и напитки с растительными белками сегодня возрастает. Белоксодержащие компоненты ферментированных продуктов и растительных напитков – это экстракты или дисперсии бобовых, злаковых, масличных, псевдозлаковых культур, орехов и другого вида сырья. Компоненты производятся путем его размола, экстрагирования соединений, гомогенизации, отделения жидкости, модификации химического состава, при необходимости – и термического воздействия для обеспечения микробиологической безопасности. Различные способы обработки сырья, такие как, например, гомогенизация под давлением или обработка импульсным электрическим полем, применяются с целью увеличения сроков хранения, стабильности, улучшения сенсорных свойств продукции с сохранением нативных качеств. Пищевая ценность продуктов в значительной степени зависит количества белковых веществ, их природы,

свойств, способов обработки, а также присутствия углеводов, масел, ароматизаторов, полисахаридов, флавоноидов и т.д., влияющих на свойства полипептидов. Однако несбалансированный состав и невысокие органолептические свойства белоксодержащего сырья ограничивают иногда потребление данных видов продукции. Тогда используется его ферментация с индивидуальными или смешанными культурами микроорганизмов для улучшения питательных, органолептических свойств, показателей безопасности продуктов и накопления компонентов для придания им функциональной направленности.

При изготовлении сыров, йогуртов и других известных продуктов в процессах ферментации с различными видами микроорганизмов хорошо изучены процессы протеолиза молочных белков, в частности, казеина, превращения углеводов, аминокислот и липолиза с образованием жирных кислот, молочной кислоты, олигосахаридов, карбонильных соединений, тогда как аналогичные процессы в продуктах с растительными белками до конца не изучены. До конца остается не исследован и подбор штаммов с синергетическими эффектами, с их клеточными и молекулярными процессами, раскрывающих геномику, протеомику и экспрессию энзимов для понимания белок-белковых, белок-углеводных, белок-минеральных и других видов взаимодействий, обеспечивающих качество изделий из конкретного вида сырья. Производство растительных напитков из некоторых видов культур, в частности, бобовых, сдерживается наличием специфического привкуса и запаха из-за образования таких летучих соединений, как гексаналь, пентанол, гексанол, этилвинилкетон и т.д., а продуктов из другого вида сырья – и не всегда надлежащей текстурой или присутствием антипитательных веществ. Не до конца расшифрованы и механизмы превращения белков, липидов, фитиновой кислоты, дубильных веществ, сапонинов, гликозидов под влиянием молочнокислых и других видов бактерий при участии последних в формировании питательных и функциональных качеств продуктов. Особенности структуры и физико-химических свойств растительных белков, взаимодействующими с молочными белками, требуют новых знаний, специальных методик и подходов для разработки технологий с параметрами, придающими таким продуктам требуемые функциональные и технологические свойства.

Производство растительных напитков и комбинированных ферментированных молочных продуктов, по прогнозам экспертов, будет возрастать, о чем свидетельствуют тенденции увеличения объемов продукции, произведенной на основе риса, сои, нута, гороха, конопли, миндаля, кокоса и других источников, при среднегодовых приростах на 1–6%. Данной тенденции будет способствовать и стремление людей вести здоровый образ жизни в отношении питания с исключением лактозы, холестерина, аллергенных компонентов, но присутствием пробиотиков, антиоксидантов, ненасыщенных жирных кислот, клетчатки, пребиотиков, в частности, растворимых волокон, модуляторов иммунитета и биологически полноценных белков с незаменимыми аминокислотами. Такая продукция и ее разработки продолжают оставаться инновационными в области пищевой науки и технологий.

Финансирование

Работа финансировалась за счет средств бюджета ВНИИ крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» в рамках задания FGGM-2022-00006.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Sagis L.M.C., Yang J. Protein-stabilized interfaces in multiphase food: comparing structure-function relations of plant-based animal-based proteins // *Current Opinion in Food Science*. 2016. Vol. 43. Pp. 3–60. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.11.003>.
2. Sharma H., Singh A.K., Deshwal G.K., Rao P.S., Kumar M.D. Functional *Tinospora cordifolia* (giloy) based pasteurized milk beverage: impact of milk protein-polyphenol interaction on bioactive compounds, anti-oxidant activity and microstructure // *Food Bioscience*. 2021. Vol. 42(6). 101101. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2021.101101>.
3. Aimutis W.R. Plant-based proteins: the good, bad, and ugly // *Annual Review of Food Science and Technology*. 2022. Vol. 13(10). Pp. 1–17. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-092221-041723>.

4. Ismail T., Layla A., Akhtar S. Fermented plant protein products // Plant Protein Foods. Springer Cham; Switzerland, 2022. Pp. 197–222. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91206-2_7.
5. Sankaranarayanan A., Amaresan N., Dhanasekaran D. Fermented food products. Boca Raton: CRC Press, 2020. 430 p. <https://doi.org/10.1201/9780429274787>.
6. Małecki J., Muszyński S., Sołowiej B. Proteins in food systems-bionanomaterials, conventional and unconventional sources, functional properties, and development opportunities // Polymers. 2021. Vol. 13. 2506. <https://doi.org/10.3390/polym13152506>.
7. Hu G.-G., Liu J., Wang Y.-H., Yang Z.-N., Shao H. Applications of plant protein in the dairy industry // Foods. 2022. Vol. 11(8). 1067. <https://doi.org/10.3390/foods11081067>.
8. Champagne C., Tompkins T., Buckley N., Green-Johnson J. Effect of fermentation by pure and mixed cultures of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus helveticus* on isoflavone and B-vitamin content of fermented soy beverage // Food microbiology. 2010. Vol. 27. Pp. 968–972. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.06.003>.
9. Bansal S., Mangal M., Sharma S.K., Yadav D.N., Gupta R.K. Optimization of fermentation conditions for probiotic soy yoghurt using response surface methodology // Journal of Food Processing and Preservation. 2015. Vol. 39(6). Pp. 1809–1816. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12415>.
10. Havas P., Kun S., Perger-Meszaros I., Rezessy-Szabo J.M., Nguyen Q.D. Performances of new isolates of *Bifidobacterium* fermentation of soymilk // Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica. 2015. Vol. 62(4). Pp. 463–475. <https://doi.org/10.1556/030.62.2015.4.10>.
11. Rahman S.R., Alam M.Z., Mukta S. Studies on yogurt production using *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* isolated from market yogurt // J. Sylhet Agricultural University. 2016. Vol. 3(2). Pp. 307–313.
12. Sertovic E., Saric Z., Barac M. Physical, chemical, microbiological and sensory characteristics of a probiotic beverage prod from different mixtures of cow's milk and soy beverage by *Lactobacillus acidophilus* La5 and yoghurt culture // Food Technology and Biotechnology. 2019. Vol. 57(4). Pp. 461–471. <https://doi.org/10.17113/ftb.57.04.19.6344>.
13. Li B., Gu X., Lu H., Li C., Tian H., Luo Y. Screening of probiotic *Lactobacillus* strains for peanut yoghurt fermentation and its protease activities // Journal of Chinese Institute Food Science and Technology. 2017. Vol. 17(4). Pp. 272–279. <https://doi.org/10.16429/j.1009-7848.2017.04.033>.
14. Hozzein W., Khalaf S., Alkhalifah D. A sustainable method: production of the fermented rice milk yogurt by using three efficient lactic acid bacteria // Applied Sciences. 2023. Vol. 13. 907. <https://doi.org/10.3390/app13020907>.
15. Salama H.H., Abdelhamid S.M., Eldairouty R.M.K. Coconut bio-yoghurt phytochemical-chemical and antimicrobial-microbial activities // Pakistan Journal of Biological Sciences. 2019. Vol. 22(11). Pp. 527–536. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2019.527.536>.
16. Chakraborty R., Dutta A. Comparison of optimization approaches (response surface methodology and artificial neural network-genetic algorithm) for a novel mixed culture approach in soybean meal fermentation // Journal of Food Process Engineering. 2019. Vol. 42(37). 13124. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13124>.
17. Альшевская М.Н., Анистратова О.В., Кочина А.А. Технологические особенности изготовления растительного продукта с использованием микроорганизмов *Streptococcus Salivarius subsp. Thermophilus* и *Lactobacillus Delbrueckii subsp. Bulgaricus* // Вестник Международной академии холода. 2022. №3. С. 39–48. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2022-21-3-39-48>.
18. Lerouzie M., Bruniaux P., Raveschot C. et al. *Lactobacillus* use for plant fermentation: New ways for plant-based product valorization // *Lactobacillus – a multifunctional genus*. London: IntechOpen, 2023. <https://doi.org/10.5772/intechopen.104958>.
19. Yu M., Ma J., Wang X. et al. Peanut sprout yogurt: increased antioxidant activity and nutritional content and sensory evaluation by fuzzy mathematics // Journal of Food Processing and Preservation. 2022. Vol. 46(6). 16663. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16663>.
20. Baskar N., Varadharajan S., Rameshbabu M., Ayyasamy S., Velusamy S. Development of plantbased yogurt // Foods and Raw Materials. 2022. Vol. 10(2). Pp. 274–282. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-2-537>.
21. Herrera-Ponce A.L., Salmeron-Ochoa I., Rodriguez-Figueroa J.C., Santellano-Estrada E., Garcia-Galicia I.A., Alarcon-Rojo A.D. High-intensity ultrasound as pre-treatment in the development of fermented whey and oat beverages: effect on the fermentation, antioxidant activity and consumer acceptance // Journal of Food Science and Technology. 2022. Vol. 59(2). Pp. 796–804. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05074-9>.
22. Колпакова В.В., Бызов В.А. Функциональные характеристики и молекулярно-структурная модификация растительных белков. Обзор // Пищевые системы. 2024. Т. 7, №3. С. 324–335. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-324-335>.
23. Колпакова В.В., Нечаев А.П. Растворимость и водосвязывающая способность белковой муки из пшеничных отрубей // Известия вузов. Пищевая технология. 1995. №1-2. С. 31–33.
24. Колпакова В.В., Волкова А.Е., Нечаев А.П. Эмульгирующие и пенообразующие свойства белковой муки из пшеничных отрубей // Известия вузов. Пищевая технология. 1995. №1-2. С. 34–37.
25. Kolpakova V.V., Lukin N.D., Gaivoronskaya I.S. Interrelation of functional properties of protein products from wheat with the composition and physicochemical characteristics of their protein // Global wheat production. London: IntechOpen, 2018. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75803>.
26. Kolpakova V.V., Fan Q.Ch., Gaivoronskaya I.S., Chumikina L.V. Properties and structural features of native and modified proteins of concentrates from white and brown rice // Food systems. 2023. Vol. 6(3). Pp. 317–328. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-317-328>.

27. Бурак Л.Ч., Сапач А.Н. Влияние действия ультразвука на функциональные свойства растительных белков. Обзор предметного поля // Химия растительного сырья. 2024. №4. С. 5–23. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240413599>.
28. 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(9). Pp. 3408–3423. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3>.
29. Стрижко М.Н. Антинутриенты в растительных напитках на зерновом сырье: обзор предметного поля // Food Metaengineering. 2023. Т. 1, №1. С. 63–89. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.1.3>.
30. Kolpakova V.V., Tichomirova N.A., Gaivoronskaya I.S., Lukin N.D. Fermented dairy product for gerontological appointments based on amaranth processed products // Food systems. 2018. Vol. 1(1). Pp. 35–45. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-1-35-45>.
31. Колпакова В.В., Куликов Д.С., Гулакова В.А., Уланова П.В., Бессонов В.В. Кисломолочный продукт функционального назначения с гороховым концентратом // Пищевая промышленность. 2024. №6. С. 126–132. <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.6.6.026>.
32. Sanne K.M., Camilla P., Anders P.W., Süleyman Ø., Mohammad A.M., Claus H.B.-B. Development of a yoghurt alternative, based on plant-adapted lactic acid bacteria, soy drink and the liquid fraction of brewers' spent grain // FEMS Microbiology Letters. 2021. Vol. 368(15). fnab093. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnab093>.
33. Harper A.R., Dobson R.C.J., Morris V.K., Moggré G.J. Fermentation of plant-based dairy alternatives by lactic acid bacteria // Microbial Biotechnology. 2022. Vol. 15(5). Pp. 1404–1421. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14008>.
34. Balthazar C.F., Moura N.A., Romualdo G.R. et al. Synbiotic heap milk ice cream reduces chemically induced mouse colon carcinogenesis // Journal of Dairy Science. 2021. Vol. 104(7). Pp. 7406–7414. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19979>.
35. Reese I., Schäfer C., Ballmer-Weber B. et al. Vegan diets from an allergy point of view – position paper of the DGA KI working group on food allergy // Allergologie Select. 2023. Vol. 7(1). Pp. 57–83. <https://doi.org/10.5414/ALX02400E>.
36. Xie A., Dong Y., Liu Z. et al. A review of plant-based drinks addressing nutrients, flavor, and processing technologies // Foods. 2023. Vol. 12(21). 3952. <https://doi.org/10.3390/foods12213952>.
37. Mäkinen O.E., Wanhalinna V., Zannini E., Arendt E.K. Foods for special dietary needs: non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2016. Vol. 56(3). Pp. 339–349. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761950>.
38. Craig W. Health effects of vegan diets // The American journal of clinical nutrition. 2009. Vol. 89(5). Pp. 1627–1633. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.26736N>.
39. Pena F.L., Souza M.C., Valle M.C.P., Bezerra R.M., Rostagno M.A., Antunes A.E. Probiotic fermented milk with high content of polyphenols: study of viability and bioaccessibility after simulated digestion // International Journal of Dairy Technology. 2021. Vol. 74(1). Pp. 170–180. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12735>.
40. Shori A.B. Application of Bifidobacterium spp. in beverages and dairy food products: an overview of survival during refrigerated storage // Food Science and Technology. 2021. Vol. 42. 41520. <https://doi.org/10.1590/fst.41520>.
41. Jena R., Choudhury P.K. Bifidobacteria in fermented dairy foods: a health beneficial outlook // Probiotics and Antimicrob. Proteins. 2025. Vol. 17. Pp. 1–22. <https://doi.org/10.1007/s12602-023-10189-w>.
42. Zendeboodi F., Khorshidian N., Mortazavian A.M., Cruz A.G. Probiotic: conceptualization from a new approach // Current Opinion in Food Science. 2020. Vol. 32. Pp. 103–123. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.03.009>.
43. Shori A.B., Zahrani A.J.A.L. Non-dairy plant-based milk products as alternatives to conventional dairy products for delivering probiotics // Food Science and Technology. 2022. Vol. 42(3). 101321. <https://doi.org/10.1590/fst.101321>.
44. Mäkinen O., Ercili-Cura D., Poutanen K., Holopainen-Mantila U., Lehtinen P., Sözer N. Protein from oat: structure, processes, functionality, and nutrition // Sustainable protein sources. Elsevier, 2024. Pp. 121–141. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91652-3.00006-X>.
45. Brückner-Gühmann M., Banović M., Drusch S. Towards an increased plant protein intake: rheological properties, sensory perception and consumer acceptability of lactic acid fermented, oat-based gels // Food Hydrocolloids. 2019. Vol. 96(3). Pp. 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.016>.
46. Lim E.S. Preparation and functional properties of probiotic and oat-based synbiotic yogurts fermented with lactic acid bacteria // Applied Biological Chemistry. 2018. Vol. 61. Pp. 25–37. <https://doi.org/10.1007/s13765-017-0333-5>.
47. Ziarno M., Zaręba D., Scibisz I., Kozłowska M. Texture and water holding capacity of oat drinks fermented with lactic acid bacteria, bifidobacteria and propionibacterium // International Journal of Food Properties. 2023. Vol. 27(1). Pp. 106–122. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2294704>.
48. Giugliano R., Musolino N., Ciccotelli V. et al. Soy, rice and oat drinks: investigating chemical and biological safety in plant-based milk alternatives // Nutrients. 2023. Vol. 15(10). 2258. <https://doi.org/10.3390/nu15102258>.
49. Khrundin D., Miassarova D. Plant-based fermented product manufacture using lactic acid bacteria cultures // Food Industry. 2022. Vol. 7(4). Pp. 59–66. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-4-7>.
50. Demir H., Aydemir L.Y., Özel M.Ş., Koca E., Aslanoglu M.Ş. Application of plant-based proteins for fortification of oat yogurt storage stability and bioactivity // Journal of Food Science. 2023. Vol. 88(10). Pp. 4079–4096. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16729>.
51. Choi Y.H., Han M.J. Rice yogurt with various beans fermented by lactic acid bacteria from kimchi // Food Science and Biotechnology. 2022. Vol. 31(4). Pp. 819–825. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01096-x>.

52. Cha J., Kim Y.B., Park S.E. et al. Does kimchi deserve the status of a probiotic food? // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. Vol. 64(19). Pp. 6512–6525. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2170319>.
53. Diez-Ozaeta I., Vázquez-Araújo L., Estrada O., Puente T., Regefolk J. Exploring the role of lactic acid bacteria blends in shaping the volatile composition of fermented dairy and rice-based beverages: a step towards innovative plant-based alternatives // *Foods*. 2024. Vol. 13(5). 664. <https://doi.org/10.3390/foods13050664>.
54. Soares J.M., Bassinello P., Caliar M., Velasco P., Velasco P., Reis R., Carvalho W. Flavored drinks obtained from extracts of broken rice and brown rice // *Ciência e Agrotecnologia*. 2010. Vol. 34(2). Pp. 407–413.
55. Banovic M., Arvola A., Pennanen K. et al. Foods with increased protein content: a qualitative study on European consumer preferences and perceptions // *Appetite*. 2018. Vol. 125. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.01.034>.
56. Rizzo G., Baroni L. Soy, soy foods and their role in vegetarian diets // *Nutrients*. 2018. Vol. 10(1). 43. <https://doi.org/10.3390/nu10010043>.
57. Cordle C.T. Soy protein allergy: incidence and relative severity // *The Journal of Nutrition*. 2004. Vol. 134(5). Pp. 1213S–1219S. <https://doi.org/10.1093/jn/134.5.1213S>.
58. Song Y.S., Frias J., Martinez-Villaluenga C., Vidal-Valverde C., Demejia E.G. Immunoreactivity reduction of soybean meal by fermentation, effect on amino acid composition and antigenicity of commercial soy products // *Food Chemistry*. 2008. Vol. 108(2). Pp. 571–581. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.013>.
59. Singh B.P., Bhushan B., Vij S. Antioxidative, ACE inhibitory and antibacterial activities of soy milk fermented by indigenous strains of lactobacilli // *Legume Science*. 2020. Vol. 2(4). 54. <https://doi.org/10.1002/leg3.54>.
60. Miraghajani M., Zaghian N., Dehkohne A., Mirlohi M., Ghiasvand R. Probiotic soymilk consumption and renal function among Type 2 diabetic patients with nephropathy: a randomized controlled clinical trial // *Probiotics and antimicrobial Proteins*. 2019. Vol. 11(1). Pp. 124–132. <https://doi.org/10.1007/s12602-017-9325-3>.
61. Sadeghi O., Milajerdi A., Siadat S.D. et al. Effects of soy milk consumption on gut microbiota, inflammatory markers, and disease severity in patients with ulcerative colitis: a study protocol for a randomized clinical trial // *Trials*. 2020. Vol. 21(1). 565. <https://doi.org/10.1186/s13063-020-04523-8>.
62. Fatima S.M., Hekmat S. Microbial and sensory analysis of soy and cow milk-based yogurt as a probiotic matrix for *Lactobacillus rhamnosus* GR-1 // *Fermentation*. 2020. Vol. 6(3). 74. <https://doi.org/10.3390/FERMENTATION6030074>.
63. Gurskiy I.A. The texture of non-fat yogurt with proteins isolates and concentrates // *Food Systems*. 2023. Vol. 6(1). Pp. 29–35. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-29-35>.
64. Vital A.C., Itoda C.T.Y., Crepaldi Y.S., Saraiva B.R., Rosa C.I.L.F., Matumoto-Pinto P.T. Use of soy as a source of protein in low-fat yogurt production: microbiological, functional and rheological properties // *Research, Society and Development*. 2020. Vol. 9(11). e779119472. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9472>.
65. Fernandez M.L., Berry J.W. Nutritional evaluation of chickpea and germinated chickpea flours // *Plant Foods for Human Nutrition*. 1988. Vol. 38(2). Pp. 127–134. <https://doi.org/10.1007/BF01091717>.
66. Iqbal A., Khalil I., Ateeq N., Khan M. Nutritional quality of important food legumes // *Food Chemistry*. 2006. Vol. 97(2). Pp. 331–335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.011>.
67. Hatzikamari M., Yiangou M., Tzanetakis N., Litopoulou-Tzanetaki E. Changes in numbers and kinds of bacteria during a chickpea submerged fermentation used as a leavening agent for bread production // *International Journal of Food Microbiology*. 2007. Vol. 116(1). Pp. 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.12.030>.
68. Fernandez-Orozco R., Frias J., Zielinski H. et al. Evaluation of bioprocesses to improve the antioxidant properties of chickpeas // *LWT-Food Science and Technology*. 2009. Vol. 42(4). Pp. 885–892. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2008.10.013>.
69. Morales de León J., Cassís Nosthas M.L., Cecin Salomón P. Obtaining a fermented chickpea extract (*Cicer arietinum* L.) and its use as a milk extensor // *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 2000. Vol. 50(2). Pp. 157–163.
70. Morales de León J.C., Cassís Nosthas M.L., Cortés Penedo E. Elaboration of an yogurt made of a milk and chickpea (*Cicer arietinum*) mixture // *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 2000. Vol. 50(1). Pp. 81–86.
71. Shori A.B. Nutritional and therapeutical values of chickpea water extract enriched yogurt made from cow and camel milk // *American Journal of Drug Discovery and Development*. 2013. Vol. 3(2). Pp. 47–59. <https://doi.org/10.3923/ajdd.2013.47.59>.
72. Skrzypczak K., Jablonska-Rys E., Gustaw K. et al. Reinforcement of the antioxidative properties of chickpea beverages through fermentation carried out by probiotic strain *Lactobacillus plantarum* 299v // *Journal of Pure and Applied Microbiology*. 2019. Vol. 13(1). Pp. 1–12. <https://doi.org/10.22207/JPAM.13.1.01>.
73. Krishnan H.B., Kim W.S., Jang S., Kerley M.S. All three subunits of soybean beta-conglycinin are potential food allergens // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009. Vol. 57(3). Pp. 938–943. <https://doi.org/10.1021/jf802451g>.
74. Zhang X., Zhang S., Xie B., Sun Z. Influence of lactic acid bacteria fermentation on physicochemical properties and antioxidant activity of chickpea yam milk // *Journal of Food Quality*. 2021. Vol. 2. Pp. 1–9. <https://doi.org/10.1155/2021/5523356>.
75. Zhang X., Zhang S., Xie B., Sun Z. Review: regulation on structure, rheological properties and aroma volatile compounds of fermented chickpea milk by enzymatic catalysis // *International Journal of Food Science and Technology*. 2022. Vol. 57(6). Pp. 3665–3680. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15692>.

76. Zhang P., Tang F., Cai W., Zhao X., Shan C. Evaluating the effect of lactic acid bacteria fermentation on quality, aroma, and metabolites of chickpea milk // *Frontiers Nutrition*. 2022. Vol. 9. 1069714. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1069714>.
77. Liang Z., Jinwei S., Sen Y. Fermentation of mung bean milk by *Lactococcus lactis*: focus on the physicochemical properties, antioxidant capacities and sensory evaluation // *Food Bioscience*. 2022. Vol. 48(1). 101798. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101798>.
78. Yang M., Li N., Tong L. et al. Comparison of physicochemical properties and volatile flavor compounds of pea protein and mung bean protein-based yogurt // *LWT*. 2021. Vol. 152. 112390. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112390>.
79. Venkidasamy B., Dhivya S., Arti S.N., Sathishkumar R., Guoyin K., Shivraj H.N. Indian pulses: A review on nutritional, functional and biochemical properties with future perspectives // *Trends in Food Science & Technology*. 2019. Vol. 88. Pp. 228–242. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.03.012>.
80. Boye J., Wijesinha-Bettoni R., Burlingame B. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method // *British Journal of Nutrition*. 2012. Vol. 108(S2). Pp. S183–S211. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002309>.
81. Колпакова В.В., Уланова Р.В., Куликов Д.С., Гулакова В.А., Семёнов Г.В., Шевякова Л.В. Показатели качества гороховых и нуттовых белковых концентратов // *Техника и технология пищевых производств*. 2022. Т. 52, №4. С. 650–664. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2394>.
82. Zhang C., Hua Y., Li X., Kong X., Chen Y. Key volatile off-flavor compounds in peas (*Pisum sativum* L.) and their relations with the endogenous precursors and enzymes using soybean (*Glycine max*) as a reference // *Food Chemistry*. 2020. Vol. 333. 127469. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127469>.
83. Trikusuma M., Paravisini L., Peterson D.G. Identification of aroma compounds in pea protein UHT beverages // *Food Chemistry*. 2019. Vol. 312(1). 126082. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126082>.
84. Ma W., Zhang C., Kong X., Li X., Chen Y., Hua Y. Effect of pea milk preparation on the quality of non-dairy yoghurts // *Food Bioscience*. 2021. Vol. 44(9). 01416. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101416>.
85. Andaç A.E., Tuncel N.B., Tuncel N.Y. Characterisation of pea milk analogues using different production techniques // *Food Technology and Biotechnology*. 2024. Vol. 62(2). Pp. 177–187. <https://doi.org/10.17113/ftb.62.02.24.8356>.
86. Bi S., Lao F., Pan X., Shen Q., Liu Y., Wu J. Flavor formation and regulation of peas (*Pisum sativum* L.) seed milk via enzyme activity inhibition and off-flavor compounds control release // *Food Chemistry*. 2022. Vol. 380. 132203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132203>.
87. Jayamanohar J., Devi P.B., Kavitate D., Priyadarisini V.B., Shetty P.H. Prebiotic potential of water extractable polysaccharide from red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) // *LWT-Food Science and Technology*. 2019. Vol. 101. Pp. 703–710. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.089>.
88. Singh B., Singh J.P., Shevkani K., Singh N., Kaur A. Bioactive constituents in pulses and their health benefits // *Journal of Food Science and Technology*. 2017. Vol. 54(4). Pp. 858–870. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2391-9>.
89. Los F.G.B., Zielinski A.A.F., Wojeicichowski J.P., Nogueira A., Demiate I.M. Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): whole seeds with complex chemical composition // *Current Opinion in Food Science*. 2018. Vol. 19. Pp. 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.010>.
90. Chen Y., Zhang H., Liu R. et al. Antioxidant and anti-inflammatory polyphenols and peptides of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) milk and yogurt in Caco-2 and HT-29 cell models // *Journal of Functional Foods*. 2019. Vol. 53(2). Pp. 125–135. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.12.013>.
91. Inoue H., Higuchi K., Takahashi M., Nakanishi H., Mori S., Nishizawa N.K. Three rice nicotianamine synthase genes, OsNAS1, OsNAS2, and OsNAS3 are expressed in cells involved in long-distance transport of iron and differentially regulated by iron // *The Plant Journal*. 2003. Vol. 36(3). Pp. 366–381. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.2003.01878.x>.
92. Boeck T., Sahin A.W., Zannini E., Arendt E.K. Nutritional properties and health aspects of pulses and their use in plant-based yogurt alternatives // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2021. Vol. 20(4). Pp. 3858–3880. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12778>.
93. Khan M.K., Karnpanit W., Nasar-Abbas S.M., Huma Z.E., Jayasena V. Phytochemical composition and bioactivities of lupin: a review // *International Journal of Food Science & Technology*. 2015. Vol. 50(9). Pp. 2004–2012. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12796>.
94. Jiménez-Martínez C., Hernández-Sánchez H., Dávila-Ortiz G. Production of a yogurt-like product from lupinus campestris seeds // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2003. Vol. 83(6). Pp. 515–522. <https://doi.org/10.1002/jsfa.138>.
95. Elsamani M.O., Habbani S.S., Babiker E.E., Ahmed I.A.M. Biochemical, microbial and sensory evaluation of white soft cheese made from cow and lupin milk // *Lebensmittel-Wissenschaft+Technologie*. 2014. Vol. 59(1). Pp. 553–559. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.027>.
96. Elsamani M.O. Probiotics, organoleptic and physicochemical properties of vegetable milkbased bio-ice cream supplemented with skimmed milk powder // *International Journal of Nutrition and Food Sciences*. 2016. Vol. 5(5). Pp. 361–366. <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20160505.17>.
97. Al-Saedi N., Agarwal M., Ma W., Islam S., Ren Y. Proteomic Characterisation of Lupin (*Lupinus angustifolius*) Milk as Influenced by Extraction Techniques, Seed Coat and Cultivars // *Molecules*. 2020. Vol. 25(8). 1782. <https://doi.org/10.3390/molecules25081782>.

98. Arya S.S., Salve A.R., Chauhan S. Peanuts as functional food: a review // *Journal of Food Science and Technology*. 2016. Vol. 53(1). Pp. 31–41. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2007-9>.
99. Uh S., Kim I., Kim K. et al. Improvement the resveratrol content of grminated peanut drink by lactic acid fermentation // *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*. 2021. Vol. 8 (1). Pp. 262–273. <https://doi.org/10.32628/IJSRSET218>.
100. Bensmira M., Jiang B. Total phenolic compounds and antioxidant activity of a novel peanut based kefir // *Food Science Biotechnology*. 2015. Vol. 24. Pp. 1055–1060. <https://doi.org/10.1007/s10068-015-0135-7>.
101. Bansal S., Mangal M., Sharma S.K., Yadav D., Gupta R. Optimization of process conditions for developing yoghurt like probiotic product from peanut // *LWT - Food Science and Technology*. 2016. Vol. 73(4). Pp. 6–12. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.059>.
102. Isanga J., Zhang G.N. Production and evaluation of some physicochemical parameters 14 of peanut milk yoghurt // *LWT - Food Science and Technology*. 2009. Vol. 42. Pp. 1132–1138. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2009.01.014>.
103. Abbas N., Sharmeen Z., Bashir S. Effect of storage on physio-chemical properties of peanut yogurt // *Pakistan Bio-Medical Journal*. 2020. Vol. 3(1). Pp. 13–18. <https://doi.org/10.52229/pbmj.v3i1.3>.
104. Bernata N., Cháfera M., Chiralt A., Gonzalez-Martinez Ch. Probiotic fermented almond "milk" as an alternative to cow-milk yoghurt // *International Journal of Food Studies*. 2015. Vol. 4(2). Pp. 201–211. <https://doi.org/10.7455/ijfs/4.2.2015.a8>.
105. Kundu P., Dhankhar J., Sharma A. Development of non dairy milk alternative using soymilk and almond milk // *Curr Res Nutr Food Science*. 2018. Vol. 6(1). Pp. 203–208. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.6.1.23>.
106. Rico R., Bulló M., Salas-Salvadó J. Nutritional composition of raw fresh cashew (*Anacardium occidentale* L.) kernels from different origin // *Food Science and Nutrition*. 2015. Vol. 4(2). Pp. 329–338. <https://doi.org/10.1002/fsn3.294>.
107. Liu C.M., Peng Q., Zhong J.Z., Liu W., Zhong Y.J., Wang F. Molecular and functional properties of Protein fractions and isolate from cashew nut (*Anacardium occidentale* L.) // *Molecules*. 2018. Vol. 23(2). 393. <https://doi.org/10.3390/molecules23020393>.
108. Olawale P., Olatidoye O., Shittu T., Awonorin S., Sunday E., Ajisegiri E. Nutritional profile, protein quality, and biological value of raw and roasted cashew kernels (*Anacardium occidentale*) grown in southwest Nigeria // *Croatian Journal of Food Science and Technology*. 2020. Vol. 12(1). Pp. 11–19. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2020.12.1.02>.
109. Tamuno E.N.J., Monday A.O. Physicochemical, mineral and sensory characteristics of cashew nut milk // *International Journal of Food Science and Biotechnology*. 2019. Vol. 4(1). Pp. 1–6. <https://doi.org/10.11648/j.ijfsb.20190401.11>.
110. Shori A.B., Aljohani G.S., Zahrani A.J., Al-sulbi O.S., Hj Baba A.S. Viability of probiotics and antioxidant activity of cashew milk-based yogurt fermented with selected strains of probiotic *Lactobacillus* spp. // *LWT*. 2021. Vol. 153(1). 112482. <https://doi.org/10.016/j.lwt.2021.112482>.
111. Shori A.B., Al-Sulbi O.S. Antioxidant activity of labneh made from cashew milk and its combination with cow or camel milk using different starter cultures // *Journal of Food Science and Technology*. 2023. Vol. 60(2). Pp. 701–709. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05655-2>.
112. Sanful R.E. Promotion of coconut in the production of yoghurt // *African Journal of Food Science*. 2009. Vol. 3 (5). Pp. 147–149.
113. Juli A.A., Sarkar S., Khatun A.A., Roy J. Evaluation of quality characteristics of coconut drinks during refrigerated storage // *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023. Vol. 13. 100661. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100661>.
114. Ahmad I., Xiong Z., Xiong H. et al. Physicochemical, rheological and antioxidant profiling of yogurt prepared from non-enzymatically and enzymatically hydrolyzed potato powder under refrigeration // *Food Science and Human Well-ness*. 2023. Vol. 12(1). Pp. 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.024>.
115. Afolabi I.S., Nwachukwu I.C., Ezeoke C.S. et al. Production of a new plant-based milk from *adenanthera pavonina* seed and evaluation of its nutritional and health benefits // *Frontiers in Nutrition*. 2018. Vol. 5. 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00009>.
116. Farinon B., Molinari R., Costantini L., Merendino N. The seed of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.): Nutritional quality and potential functionality for human health and nutrition // *Nutrients*. 2020. Vol. 12(7). 1935. <https://doi.org/10.3390/nu12071935>.
117. Petrović M., Debeljak Ž., Kezić N., Džidara P. Relationship between cannabinoids content and composition of fatty acids in hempseed oils // *Food Chemistry*. 2015. Vol. 170. Pp. 218–225. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.039>.
118. Curl S., Rivero-Mendoza D., Dahl W.J. Plant-based milks: hemp // *EDIS*. 2020. Vol. 5. <https://doi.org/10.32473/edis-fs420-2020>.
119. Szparaga A., Sylwester T., Kocira S. et al. Survivability of probiotic bacteria in model systems of non-fermented and fermented coconut and hemp milks // *Sustainability*. 2019. Vol. 11(21). 6093. <https://doi.org/10.3390/su11216093>.
120. Aloo S.O., Mwit G., Ngugi L., Oh D-H. Uncovering the secrets of industrial hemp in food and nutrition: the trends, challenges, and new-age perspectives // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022. Vol. 64(11). Pp. 1–20. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2149468>.
121. Paul A.A., Kumar S., Kumar V., Sharma R. Milk analog: plantbased alternatives to conventional milk, production, potential and health concerns // *Critical Reviews In Food Science and Nutrition*. 2020. Vol. 60(18). Pp. 3005–3023. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1674243>.

122. Mabrouk A.M.M., Effat D.B. Production of high nutritional set yoghurt fortified with quinoa flour and probiotics // International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology. 2020. Vol. 5(6). Pp. 1529–1537. <https://doi.org/10.22161/ijeab.56.16>.
123. El-Menawy R.K., Mohamed D.M., Ismail M.M., Hassan A.M. Optimal combination of cow and quinoa milk for manufacturing of functional fermented milk with high levels of antioxidant, essential amino acids and probiotics // Scientific Reports. 2023. Vol. 13(1). 20638. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47839-6>.
124. Oracz J., Żyżelewicz D. Antioxidants in Cocoa // Antioxidants. 2020. Vol. 9(12). 1230. <https://doi.org/10.3390/antiox9121230>.
125. Rodríguez-Lagunas M.J., Vicente A., Pereira P., Castell M., Pérez-Cano F.J. Relationship between cocoa intake and healthy status: a pilot study in university students // Molecules. 2019. Vol. 24(4). 812. <https://doi.org/10.3390/molecules24040812>.
126. Łopusiewicz Ł., Drożłowska E., Trocer P., Kostek M., Kwiatkowski P., Bartkowiak A. The development of novel probiotic fermented plant milk alternative from flaxseed oil cake using *Lactobacillus rhamnosus* GG acting as a preservative agent against pathogenic bacteria during short-term refrigerated storage // Emirates Journal of Food and Agriculture. 2021. Vol. 33(4). Pp. 266–276. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2021.v33.i4.2679>.
127. Łopusiewicz Ł., Drożłowska E., Siedleska P. et al. Development, characterization, and bioactivity of non-dairy refir-like fermented beverage based on flaxseed oil cake // Foods. 2019. Vol. 8(11). 544. <https://doi.org/10.3390/foods8110544>.
128. Sungatullina A., Petrova T., Nikitina E. Investigation on fermented milk quality after the addition of flaxseed mucilage and the use of *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* and *Lactiplantibacillus plantarum* AG9 // Front Biosci (Elite Ed). 2024. Vol. 16(2). 11. <https://doi.org/10.31083/j.fbe1602011>.
129. Łopusiewicz Ł., Kwiatkowski P., Drożłowska E. Production and characterization of yogurt-like fermented beverage based on camelina (*Camelina sativa* L.) seed press cake // Applied Sciences. 2022. Vol. 12. 1085. <https://doi.org/10.3390/app12031085>.
130. Łopusiewicz Ł., Waszkowiak K., Polanowska K. et al. The effect of yogurt and kefir starter cultures on bioactivity of fermented industrial by-product from *Cannabis sativa* production – hemp press cake // Fermentation. 2022. Vol. 8(10). 490. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100490>.
131. Atia M., Wenshui X., Guonong Z. Effect of soy protein supplementation on the quality of ripening Cheddar – type cheese // International Journal of Dairy Technology. 2004. Vol. 57(4). Pp. 209–214. <https://doi.org/10.1111/J.1471-0307.2004.00107.X>.
132. Xie D., Gao Y., Du L., Shen Y., Xie J., Wei D. Effect of flavorzyme – modified soy protein on the functional properties, texture and microstructure of Mozzarella cheese analogue // Journal of Food Processing and Preservation. 2021. Vol. 45(11). 15963. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15963>.
133. Li K., Yang J., Tong Q., Zhang W., Wang F. Effect of enzymemodified soymilk on rennet induced gelation of skim milk // Molecules. 2018. Vol. 23(12). 3084. <https://doi.org/10.3390/molecules23123084>.
134. Дзищцоева З.Л., Ибрагимова О.Т., Нартикоева А.О., Тедеева Ф.Л., Цопанова Е.И. Использование растительного белка при реализации ресурсосберегающих технологий при производстве сырных продуктов // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. №2 (116). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.116.2.033>.
135. Zhang D., Ling X., Jiang K., Zhao X., Gan Y. Development of low – fat Mozzarella cheeses enriched with soy or pea protein hydrolysates: composition, texture and functional properties during ageing // International Journal of Dairy Technology. 2023. Vol. 77(1). Pp. 165–182. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.13021>.
136. Ali B., Khan K.Y., Majeed H. et al. Imitation of soymilk-cow's milk mixed enzyme modified cheese: their composition, proteolysis, lipolysis and sensory properties // Journal of Food Science and Technology. 2017. Vol. 54(5). Pp. 1273–1285. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2534-7>.
137. Wang X., Wang L., Wei X. et al. Invited review: Advances in yogurt development-Microbiological safety, quality, functionality, sensory evaluation, and consumer perceptions across different dairy and plant-based alternative sources // Journal of Dairy Science. 2025. Vol. 108(1). Pp. 33–58. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25322>.
138. Boukid F., Hassoun A., Zouari A. et al. Fermentation for designing innovative plant-based meat and dairy alternatives // Foods. 2023. Vol. 12(5). 1005. <https://doi.org/10.3390/foods12051005>.

Поступила в редакцию 4 февраля 2025 г.

Принята к публикации 3 июля 2025 г.

Kolpakova V.V.^{1*}, Gaivoronskaya I.S.¹, Arbekov G.M.² PROTEIN-CONTAINING PLANT RAW MATERIALS AS A BASIS FOR FERMENTED MILK PRODUCTS AND DRINKS. REVIEW OF THE SUBJECT FIELD

¹ All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – branch of the A.G. Lorkh Federal Research Center of Potatoes, st. Nekrasova, 11, Kraskovo, Moscow Region, 140051, Russia, val-kolpakova@rambler.ru

² D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya square, 9, Moscow, 125047, Russia

Introduction. Dairy products are an essential part of the human diet, as they contain proteins, lipids, vitamins, probiotics and other compounds that ensure the vital functions of the human body. However, there are also an assortment that is intended for vegetarians, vegans and people limiting the consumption of lactose, casein, cholesterol. The production of such kind of products is based on biotechnological processes of plant based materials processing. The purpose of this review is to analyze and summarize the results of studies aimed at studying the properties of protein-containing plant materials, the transformation of their compounds, primarily protein substances, in the production of fermented milk products and drinks to improve the quality of products with biologically active substances.

Material and methods - publications, most of which were published in 2019-2024 and selected from the bibliographic databases eLIBRARY.RU, RSCI, Article, CAS, Crossref, Google Scholar, Scopus, Web of Science, Elsevier, PubMed, Search Report. The data were analyzed using the methods of systematization, generalization, intermediate conclusions and general conclusion.

Results and their discussion. The biochemical features of plant based materials, functional properties of proteins, methods of obtaining fermented milk products and beverages, including their fermentation, and quality indicators are characterized. Microorganisms that cause the accumulation of aromatic and biologically active substances that increase the nutritional, biological value and affect the probiotic properties of products during storage are considered.

Conclusions. Beverages and products with "double" milk and vegetable proteins are increasingly entering the market: fermented milk products, cheese, curd. Limiting factors of production have been identified: technological complexity, poor sensory profile of raw materials, difficulties in adapting microorganisms to raw materials during fermentation, insufficient study of the functional properties of proteins. Factors are directed on towards new and more effective solutions for the production of functional food products.

Keywords: legumes, grain crops, proteins, functional properties, fermentation, nutritional value, biologically active substances.

For citing: Kolpakova V.V., Gaivoronskaya I.S., Arbekov G.M. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 4, pp. 41–66. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250416871>.

References

1. Sagis L.M.C., Yang J. *Current Opinion in Food Science*, 2016, vol. 43, pp. 3–60. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.11.003>.
2. Sharma H., Singh A.K., Deshwal G.K., Rao P.S., Kumar M.D. *Food Bioscience*, 2021, vol. 42(6), 101101. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2021.101101>.
3. Aimutis W.R. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2022, vol. 13(10), pp. 1–17. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-092221-041723>.
4. Ismail T., Layla A., Akhtar S. *Plant Protein Foods*. Springer Cham; Switzerland, 2022, pp. 197–222. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91206-2_7.
5. Sankaranarayanan A., Amaresan N., Dhanasekaran D. *Fermented food products*. Boca Raton: CRC Press, 2020. 430 p. <https://doi.org/10.1201/9780429274787>.
6. Małeck J., Muszyński S., Sołowiej B. *Polymers*, 2021, vol. 13, 2506. <https://doi.org/10.3390/polym13152506>.
7. Hu G.-G., Liu J., Wang Y.-H., Yang Z.-N., Shao H. *Foods*, 2022, vol. 11(8), 1067. <https://doi.org/10.3390/foods11081067>.
8. Champagne C., Tompkins T., Buckley N., Green-Johnson J. *Food microbiology*, 2010, vol. 27, pp. 968–972. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.06.003>.
9. Bansal S., Mangal M., Sharma S.K., Yadav D.N., Gupta R.K. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2015, vol. 39(6), pp. 1809–1816. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12415>.
10. Havas P., Kun S., Perger-Meszaros I., Rezessy-Szabo J.M., Nguyen Q.D. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica*, 2015, vol. 62(4), pp. 463–475. <https://doi.org/10.1556/030.62.2015.4.10>.
11. Rahman S.R., Alam M.Z., Mukta S. *J. Sylhet Agricultural University*, 2016, vol. 3(2), pp. 307–313.
12. Sertovic E., Saric Z., Barac M. *Food Technology and Biotechnology*, 2019, vol. 57(4), pp. 461–471. <https://doi.org/10.17113/ftb.57.04.19.6344>.
13. Li B., Gu X., Lu H., Li C., Tian H., Luo Y. *Journal of Chinese Institute Food Science and Technology*, 2017, vol. 17(4), pp. 272–279. <https://doi.org/10.16429/j.1009-7848.2017.04.033>.
14. Hozzein W., Khalaf S., Alkhalifah D. *Applied Sciences*, 2023, vol. 13, 907. <https://doi.org/10.3390/app13020907>.
15. Salama H.H., Abdelhamid S.M., Eldairouty R.M.K. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2019, vol. 22(11), pp. 527–536. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2019.527.536>.
16. Chakraborty R., Dutta A. *Journal of Food Process Engineering*, 2019, vol. 42(37), 13124. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13124>.

* Corresponding author.

17. Al'shevskaya M.N., Anistratova O.V., Kochina A.A. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*, 2022, no. 3, pp. 39–48. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2022-21-3-39-48>. (in Russ.).
18. Lerouzie M., Bruniaux P., Raveschot C. et al. *Lactobacillus – a multifunctional genus*. London: IntechOpen, 2023. <https://doi.org/10.5772/intechopen.104958>.
19. Yu M., Ma J., Wang X. et al. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2022, vol. 46(6), 16663. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16663>.
20. Baskar N., Varadharajan S., Rameshbabu M., Ayyasamy S., Velusamy S. *Foods and Raw Materials*, 2022, vol. 10(2), pp. 274–282. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-2-537>.
21. Herrera-Ponce A.L., Salmeron-Ochoa I., Rodriguez-Figueroa J.C., Santellano-Estrada E., Garcia-Galicia I.A., Alarcon-Rojo A.D. *Journal of Food Science and Technology*, 2022, vol. 59(2), pp. 796–804. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05074-9>.
22. Kolpakova V.V., Byzov V.A. *Pishchevyie sistemy*, 2024, vol. 7, no. 3, pp. 324–335. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-324-335>. (in Russ.).
23. Kolpakova V.V., Nechayev A.P. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 1995, no. 1-2, pp. 31–33. (in Russ.).
24. Kolpakova V.V., Volkova A.Ye., Nechayev A.P. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 1995, no. 1-2, pp. 34–37. (in Russ.).
25. Kolpakova V.V., Lukin N.D., Gaivoronskaya I.S. *Global wheat production*. London: IntechOpen, 2018. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75803>.
26. Kolpakova V.V., Fan Q.Ch., Gaivoronskaya I.S., Chumikina L.V. *Food systems*, 2023, vol. 6(3), pp. 317–328. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-317-328>.
27. Burak L.Ch., Sapach A.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2024, no. 4, pp. 5–23. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240413599>. (in Russ.).
28. Sethi S., Tyagi S.K., Anurag R.K. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, vol. 53(9), pp. 3408–3423. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3>.
29. Strizhko M.N. *Food Metaengineering*, 2023, vol. 1, no. 1, pp. 63–89. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.1.3>. (in Russ.).
30. Kolpakova V.V., Tichomirova N.A., Gaivoronskaya I.S., Lukin N.D. *Food systems*, 2018, vol. 1(1), pp. 35–45. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-1-35-45>.
31. Kolpakova V.V., Kulikov D.S., Gulakova V.A., Ulanova R.V., Bessonov V.V. *Pishchevaya promyshlennost'*, 2024, no. 6, pp. 126–132. <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.6.6.026>. (in Russ.).
32. Sanne K.M., Camilla P., Anders P.W., Süleyman Ö., Mohammad A.M., Claus H.B.-B. *FEMS Microbiology Letters*, 2021, vol. 368(15), fnab093. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnab093>.
33. Harper A.R., Dobson R.C.J., Morris V.K., Moggré G.J. *Microbial Biotechnology*, 2022, vol. 15(5), pp. 1404–1421. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14008>.
34. Balthazar C.F., Moura N.A., Romualdo G.R. et al. *Journal of Dairy Science*, 2021, vol. 104(7), pp. 7406–7414. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19979>.
35. Reese I., Schäfer C., Ballmer-Weber B. et al. *Allergologie Select*, 2023, vol. 7(1), pp. 57–83. <https://doi.org/10.5414/ALX02400E>.
36. Xie A., Dong Y., Liu Z. et al. *Foods*, 2023, vol. 12(21), 3952. <https://doi.org/10.3390/foods12213952>.
37. Mäkinen O.E., Wanhalinna V., Zannini E., Arendt E.K. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2016, vol. 56(3), pp. 339–349. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761950>.
38. Craig W. *The American journal of clinical nutrition*, 2009, vol. 89(5), pp. 1627–1633. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.26736N>.
39. Pena F.L., Souza M.C., Valle M.C.P., Bezerra R.M., Rostagno M.A., Antunes A.E. *International Journal of Dairy Technology*, 2021, vol. 74(1), pp. 170–180. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12735>.
40. Shori A.B. *Food Science and Technology*, 2021, vol. 42, 41520. <https://doi.org/10.1590/fst.41520>.
41. Jena R., Choudhury P.K. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 2025, vol. 17, pp. 1–22. <https://doi.org/10.1007/s12602-023-10189-w>.
42. Zendeboodi F., Khorshidian N., Mortazavian A.M., Cruz A.G. *Current Opinion in Food Science*, 2020, vol. 32, pp. 103–123. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.03.009>.
43. Shori A.B., Zahrani A.J.A.L. *Food Science and Technology*, 2022, vol. 42(3), 101321. <https://doi.org/10.1590/fst.101321>.
44. Mäkinen O., Ercili-Cura D., Poutanen K., Holopainen-Mantila U., Lehtinen P., Sözer N. *Sustainable protein sources*. Elsevier, 2024, pp. 121–141. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91652-3.00006-X>.
45. Brückner-Gühmann M., Banović M., Drusch S. *Food Hydrocolloids*, 2019, vol. 96(3), pp. 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.016>.
46. Lim E.S. *Applied Biological Chemistry*, 2018, vol. 61, pp. 25–37. <https://doi.org/10.1007/s13765-017-0333-5>.
47. Ziarno M., Zareba D., Scibisz I., Kozłowska M. *International Journal of Food Properties*, 2023, vol. 27(1), pp. 106–122. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2294704>.
48. Giugliano R., Musolino N., Ciccotelli V. et al. *Nutrients*, 2023, vol. 15(10), 2258. <https://doi.org/10.3390/nu15102258>.
49. Khrundin D., Miassarova D. *Food Industry*, 2022, vol. 7(4), pp. 59–66. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-4-7>.
50. Demir H., Aydemir L.Y., Özel M.Ş., Koca E., Aslanoğlu M.Ş. *Journal of Food Science*, 2023, vol. 88(10), pp. 4079–4096. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16729>.

51. Choi Y.H., Han M.J. *Food Science and Biotechnology*, 2022, vol. 31(4), pp. 819–825. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01096-x>.
52. Cha J., Kim Y.B., Park S.E. et al. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2023, vol. 64(19), pp. 6512–6525. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2170319>.
53. Diez-Ozaeta I., Vázquez-Araújo L., Estrada O., Puente T., Regefalk J. *Foods*, 2024, vol. 13(5), 664. <https://doi.org/10.3390/foods13050664>.
54. Soares J.M., Bassinello P., Caliar M., Velasco P., Velasco P., Reis R., Carvalho W. *Ciência e Agrotecnologia*, 2010, vol. 34(2), pp. 407–413.
55. Banovic M., Arvola A., Pennanen K. et al. *Appetite*, 2018, vol. 125. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.01.034>.
56. Rizzo G., Baroni L. *Nutrients*, 2018, vol. 10(1), 43. <https://doi.org/10.3390/nu10010043>.
57. Cordle C.T. *The Journal of Nutrition*, 2004, vol. 134(5), pp. 1213S–1219S. <https://doi.org/10.1093/jn/134.5.1213S>.
58. Song Y.S., Frias J., Martinez-Villaluenga C., Vidal-Valverde C., Demejia E.G. *Food Chemistry*, 2008, vol. 108(2), pp. 571–581. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.013>.
59. Singh B.P., Bhushan B., Vij S. *Legume Science*, 2020, vol. 2(4), 54. <https://doi.org/10.1002/leg3.54>.
60. Miraghajani M., Zaghian N., Dehkohneh A., Mirlohi M., Ghiasvand R. *Probiotics and antimicrobial Proteins*, 2019, vol. 11(1), pp. 124–132. <https://doi.org/10.1007/s12602-017-9325-3>.
61. Sadeghi O., Milajerdi A., Siadat S.D. et al. *Trials*, 2020, vol. 21(1), 565. <https://doi.org/10.1186/s13063-020-04523-8>.
62. Fatima S.M., Hekmat S. *Fermentation*, 2020, vol. 6(3), 74. <https://doi.org/10.3390/FERMENTATION6030074>.
63. Gurskiy I.A. *Food Systems*, 2023, vol. 6(1), pp. 29–35. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-29-35>.
64. Vital A.C., Itoda C.T.Y., Crepaldi Y.S., Saraiva B.R., Rosa C.I.L.F., Matumoto-Pinto P.T. *Research, Society and Development*, 2020, vol. 9(11), e779119472. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9472>.
65. Fernandez M.L., Berry J.W. Nutritional evaluation of chickpea and germinated chickpea flours // *Plant Foods for Human Nutrition*. 1988, vol. 38(2), pp. 127–134. <https://doi.org/10.1007/BF01091717>.
66. Iqbal A., Khalil I., Ateeq N., Khan M. *Food Chemistry*, 2006, vol. 97(2), pp. 331–335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.011>.
67. Hatzikamari M., Yiangou M., Tzanetakis N., Litopoulou-Tzanetaki E. *International Journal of Food Microbiology*, 2007, vol. 116(1), pp. 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.12.030>.
68. Fernandez-Orozco R., Frias J., Zielinski H. et al. *LWT-Food Science and Technology*, 2009, vol. 42(4), pp. 885–892. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2008.10.013>.
69. Morales de León J., Cassis Nosthas M.L., Cecin Salomón P. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 2000, vol. 50(2), pp. 157–163.
70. Morales de León J.C., Cassis Nosthas M.L., Cortés Penedo E. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 2000, vol. 50(1), pp. 81–86.
71. Shori A.B. *American Journal of Drug Discovery and Development*, 2013, vol. 3(2), pp. 47–59. <https://doi.org/10.3923/ajdd.2013.47.59>.
72. Skrzypczak K., Jablonska-Rys E., Gustaw K. et al. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 2019, vol. 13(1), pp. 1–12. <https://doi.org/10.22207/JPAM.13.1.01>.
73. Krishnan H.B., Kim W.S., Jang S., Kerley M.S. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, vol. 57(3), pp. 938–943. <https://doi.org/10.1021/jf802451g>.
74. Zhang X., Zhang S., Xie B., Sun Z. *Journal of Food Quality*, 2021, vol. 2, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1155/2021/5523356>.
75. Zhang X., Zhang S., Xie B., Sun Z. *International Journal of Food Science and Technology*. 2022, vol. 57(6), pp. 3665–3680. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15692>.
76. Zhang P., Tang F., Cai W., Zhao X., Shan C. *Frontiers Nutrition*, 2022, vol. 9, 1069714. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1069714>.
77. Liang Z., Jinwei S., Sen Y. *Food Bioscience*, 2022, vol. 48(1), 101798. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101798>.
78. Yang M., Li N., Tong L. et al. *LWT*, 2021, vol. 152, 112390. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112390>.
79. Venkidasamy B., Dhivya S., Arti S.N., Sathishkumar R., Guoyin K., Shivraj H.N. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, vol. 88, pp. 228–242. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.03.012>.
80. Boye J., Wijesinha-Bettoni R., Burlingame B. *British Journal of Nutrition*, 2012, vol. 108(S2), pp. S183–S211. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002309>.
81. Kolpakova V.V., Ulanova R.V., Kulikov D.S., Gulakova V.A., Semonov G.V., Shevyakova L.V. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 2022, vol. 52, no. 4, pp. 650–664. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2394>. (in Russ.).
82. Zhang C., Hua Y., Li X., Kong X., Chen Y. *Food Chemistry*, 2020, vol. 333, 127469. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127469>.
83. Trikusuma M., Paravisini L., Peterson D.G. *Food Chemistry*, 2019, vol. 312(1), 126082. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126082>.
84. Ma W., Zhang C., Kong X., Li X., Chen Y., Hua Y. *Food Bioscience*, 2021, vol. 44(9), 01416. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101416>.
85. Andaç A.E., Tuncel N.B., Tuncel N.Y. *Food Technology and Biotechnology*, 2024, vol. 62(2), pp. 177–187. <https://doi.org/10.17113/ftb.62.02.24.8356>.

86. Bi S., Lao F., Pan X., Shen Q., Liu Y., Wu J. *Food Chemistry*, 2022, vol. 380, 132203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132203>.
87. Jayamanohar J., Devi P.B., Kavitate D., Priyadarisini V.B., Shetty P.H. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, vol. 101, pp. 703–710. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.089>.
88. Singh B., Singh J.P., Shevkani K., Singh N., Kaur A. *Journal of Food Science and Technology*, 2017, vol. 54(4), pp. 858–870. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2391-9>.
89. Los F.G.B., Zielinski A.A.F., Wojeicchowski J.P., Nogueira A., Demiate I.M. *Current Opinion in Food Science*, 2018, vol. 19, pp. 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.010>.
90. Chen Y., Zhang H., Liu R. et al. *Journal of Functional Foods*, 2019, vol. 53(2), pp. 125–135. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.12.013>.
91. Inoue H., Higuchi K., Takahashi M., Nakanishi H., Mori S., Nishizawa N.K. *The Plant Journal*, 2003, vol. 36(3), pp. 366–381. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.2003.01878.x>.
92. Boeck T., Sahin A.W., Zannini E., Arendt E.K. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2021, vol. 20(4), pp. 3858–3880. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12778>.
93. Khan M.K., Karnpanit W., Nasar-Abbas S.M., Huma Z.E., Jayasena V. *International Journal of Food Science & Technology*, 2015, vol. 50(9), pp. 2004–2012. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12796>.
94. Jiménez-Martínez C., Hernández-Sánchez H., Dávila-Ortiz G. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2003, vol. 83(6), pp. 515–522. <https://doi.org/10.1002/jsfa.138>.
95. Elsamani M.O., Habbani S.S., Babiker E.E., Ahmed I.A.M. *Lebensmittel-Wissenschaft+Technologie*, 2014, vol. 59(1), pp. 553–559. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.027>.
96. Elsamani M.O. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2016, vol. 5(5), pp. 361–366. <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20160505.17>.
97. Al-Saedi N., Agarwal M., Ma W., Islam S., Ren Y. *Molecules*, 2020, vol. 25(8), 1782. <https://doi.org/10.3390/molecules25081782>.
98. Arya S.S., Salve A.R., Chauhan S. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, vol. 53(1), pp. 31–41. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2007-9>.
99. Uh S., Kim I., Kim K. et al. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 2021, vol. 8 (1), pp. 262–273. <https://doi.org/10.32628/IJSRSET218>.
100. Bensmira M., Jiang B. *Food Science Biotechnology*, 2015, vol. 24, pp. 1055–1060. <https://doi.org/10.1007/s10068-015-0135-7>.
101. Bansal S., Mangal M., Sharma S.K., Yadav D., Gupta R. *LWT - Food Science and Technology*, 2016, vol. 73(4), pp. 6–12. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.059>.
102. Isanga J., Zhang G.N. *LWT - Food Science and Technology*, 2009, vol. 42, pp. 1132–1138. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2009.01.014>.
103. Abbas N., Sharmeen Z., Bashir S. *Pakistan BioMedical Journal*, 2020, vol. 3(1), pp. 13–18. <https://doi.org/10.52229/pbmj.v3i1.3>.
104. Bernata N., Cháfera M., Chiralt A., Gonzalez-Martinez Ch. *International Journal of Food Studies*, 2015, vol. 4(2), pp. 201–211. <https://doi.org/10.7455/ijfs/4.2.2015.a8>.
105. Kundu P., Dhankhar J., Sharma A. *Curr Res Nutr Food Science*, 2018, vol. 6(1), pp. 203–208. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.6.1.23>.
106. Rico R., Bulló M., Salas-Salvadó J. *Food Science and Nutrition*, 2015, vol. 4(2), pp. 329–338. <https://doi.org/10.1002/fsn3.294>.
107. Liu C.M., Peng Q., Zhong J.Z., Liu W., Zhong Y.J., Wang F. *Molecules*, 2018, vol. 23(2), 393. <https://doi.org/10.3390/molecules23020393>.
108. Olawale P., Olatidoye O., Shittu T., Awonorin S., Sunday E., Ajisegiri E. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 2020, vol. 12(1), pp. 11–19. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2020.12.1.02>.
109. Tamuno E.N.J., Monday A.O. *International Journal of Food Science and Biotechnology*, 2019, vol. 4(1), pp. 1–6. <https://doi.org/10.11648/j.ijfsb.20190401.11>.
110. Shori A.B., Aljohani G.S., Zahrani A.J., Al-sulbi O.S., Hj Baba A.S. *LWT*, 2021, vol. 153(1), 112482. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112482>.
111. Shori A.B., Al-Sulbi O.S. *Journal of Food Science and Technology*, 2023, vol. 60(2), pp. 701–709. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05655-2>.
112. Sanful R.E. *African Journal of Food Science*, 2009, vol. 3 (5), pp. 147–149.
113. Juli A.A., Sarkar S., Khatun A.A., Roy J. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2023, vol. 13, 100661. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100661>.
114. Ahmad I., Xiong Z., Xiong H. et al. *Food Science and Human Wellness*, 2023, vol. 12(1), pp. 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.024>.
115. Afolabi I.S., Nwachukwu I.C., Ezeoke C.S. et al. *Frontiers in Nutrition*, 2018, vol. 5, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00009>.
116. Farinon B., Molinari R., Costantini L., Merendino N. *Nutrients*, 2020, vol. 12(7), 1935. <https://doi.org/10.3390/nut12071935>.
117. Petrović M., Debeljak Ž., Kezić N., Džidara P. *Food Chemistry*, 2015, vol. 170, pp. 218–225. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.039>.

118. Curl S., Rivero-Mendoza D., Dahl W.J. *EDIS*, 2020, vol. 5. <https://doi.org/10.32473/edis-fs420-2020>.
119. Szparaga A., Sylwester T., Kocira S. et al. *Sustainability*, 2019, vol. 11(21), 6093. <https://doi.org/10.3390/su11216093>.
120. Aloo S.O., Mwititi G., Ngugi L., Oh D-H. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, vol. 64(11), pp. 1–20. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2149468>.
121. Paul A.A., Kumar S., Kumar V., Sharma R. *Critical Reviews In Food Science and Nutrition*, 2020, vol. 60(18), pp. 3005–3023. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1674243>.
122. Mabrouk A.M.M., Effat D.B. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2020, vol. 5(6), pp. 1529–1537. <https://doi.org/10.22161/ijeab.56.16>.
123. El-Menawy R.K., Mohamed D.M., Ismail M.M., Hassan A.M. *Scientific Reports*, 2023, vol. 13(1), 20638. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47839-6>.
124. Oracz J., Żyżelewicz D. *Antioxidants*, 2020, vol. 9(12), 1230. <https://doi.org/10.3390/antiox9121230>.
125. Rodríguez-Lagunas M.J., Vicente A., Pereira P., Castell M., Pérez-Cano F.J. *Molecules*, 2019, vol. 24(4), 812. <https://doi.org/10.3390/molecules24040812>.
126. Łopusiewicz Ł., Drożdowska E., Trocer P., Kostek M., Kwiatkowski P., Bartkowiak A. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 2021, vol. 33(4), pp. 266–276. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2021.v33.i4.2679>.
127. Łopusiewicz Ł., Drożdowska E., Siedleska P. et al. *Foods*, 2019, vol. 8(11), 544. <https://doi.org/10.3390/foods8110544>.
128. Sungatullina A., Petrova T., Nikitina E. *Front Biosci (Elite Ed)*. 2024, vol. 16(2), 11. <https://doi.org/10.31083/j.fbe1602011>.
129. Łopusiewicz Ł., Kwiatkowski P., Drożdowska E. *Applied Sciences*, 2022, vol. 12, 1085. <https://doi.org/10.3390/app12031085>.
130. Łopusiewicz Ł., Waszkowiak K., Polanowska K. et al. *Fermentation*, 2022, vol. 8(10), 490. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100490>.
131. Atia M., Wenshui X., Guonong Z. *International Journal of Dairy Technology*, 2004, vol. 57(4), pp. 209–214. <https://doi.org/10.1111/J.1471-0307.2004.00107.X>.
132. Xie D., Gao Y., Du L., Shen Y., Xie J., Wei D. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, vol. 45(11), 15963. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15963>.
133. Li K., Yang J., Tong Q., Zhang W., Wang F. *Molecules*, 2018, vol. 23(12), 3084. <https://doi.org/10.3390/molecules23123084>.
134. Dzistsoyeva Z.L., Ibragimova O.T., Nartikoyeva A.O., Tedeyeva F.L., Tsopanov Ye.I. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2022, no. 2 (116). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.116.2.033>. (in Russ.).
135. Zhang D., Ling X., Jiang K., Zhao X., Gan Y. *International Journal of Dairy Technology*, 2023, vol. 77(1), pp. 165–182. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.13021>.
136. Ali B., Khan K.Y., Majeed H. et al. *Journal of Food Science and Technology*, 2017, vol. 54(5), pp. 1273–1285. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2534-7>.
137. Wang X., Wang L., Wei X. et al. *Journal of Dairy Science*, 2025, vol. 108(1), pp. 33–58. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25322>.
138. Boukid F., Hassoun A., Zouari A. et al. *Foods*, 2023, vol. 12(5), 1005. <https://doi.org/10.3390/foods12051005>.

Received February 4, 2025

Accepted July 3, 2025

Сведения об авторах

Колпакова Валентина Васильевна – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующая отделом, val-kolpakova@rambler.ru

Гайворонская Ирина Сергеевна – аспирант, irina_ivahnenko@bk.ru

Арбеков Глеб Максимович – студент, arbekov.gleb@mail.ru

Information about authors

Kolpakova Valentina Vasilievna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Head of Department, val-kolpakova@rambler.ru

Gaivoronskaya Irina Sergeevna – Postgraduate Student, irina_ivahnenko@bk.ru

Arbekov Gleb Maksimovich – Student, arbekov.gleb@mail.ru