

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 663.481

**ВАЛОРИЗАЦИЯ ПИВНОЙ ДРОБИНЫ
И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ****Бурак Л.Ч., Сапач А.Н.***ООО «БЕЛПРОСАКВА», Минск, e-mail: leonidburak@gmail.com*

Основной побочный продукт пивоваренной промышленности пивная дробина представляет собой лигноцеллюлозный материал, богатый белками, волокнами, минералами и витаминами. Цель статьи – обзор научных исследований в области валоризации соединений, полученных из пивной дробины в результате переработки, и их использования в производстве продуктов питания. В обзор включены статьи, опубликованные на английском и русском языке за 2015–2025 год. Поиск научной литературы по данной теме проводили по ключевым словам в библиографических базах Scopus, Web of science, Google Scholar и научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU. Среди статей, соответствующих критериям включения, для составления данного обзора было выбрано 46 исследований. Результаты исследования показали, что соединения, полученные из пивной дробины, используются в различных пищевых продуктах, таких как хлеб, печенье, выпечка, макароны, лапша, кексы, молочные йогурты, кондитерские изделия, колбасы и майонез. Основная проблема использования пивной дробины в качестве добавки в производстве пищевых продуктов заключается в том, что она оказывает существенное влияние на состав, что может негативно изменять физические, реологические и текстурные свойства продукта, а также их органолептические показатели качества. С целью улучшения качества пивной дробины предложены различные методы предварительной обработки и модификации, такие как ферментация, экстракция необходимых соединений, экструзия, сушка и изменения состава. Несмотря на значительное количество исследований по потенциальному применению пивной дробины, следует отметить, что результатов исследования механизмов формирования текстуры, цвета и запаха пищевых продуктов, а также их полезных свойств при внесении пивной дробины незначительно. Необходимы дальнейшие научные исследования, направленные на изучение взаимодействия пивной дробины и продуктов ее переработки с другими пищевыми ингредиентами, определение технологических параметров смешивания, механических свойств и энергоэффективности процесса переработки самой пивной дробины.

Ключевые слова: пивная дробина, сушка, пищевая ценность, обработка, экструдирование, мука, белковый гидролизат, текстура, водопоглощающая способность

**VALORIZATION OF BREWER'S GRAINS
AND PROSPECTS FOR USE IN FOOD PRODUCTION****Burak L.Ch., Sapach A.N.***Limited Liability Company «BELROSAKVA», Minsk, e-mail: leonidburak@gmail.com*

The main by-product of the brewing industry, brewer's grains, are a lignocellulosic material rich in proteins, fibers, minerals, and vitamins. The aim of the article is to review scientific research in the field of valorization of compounds obtained from brewer's grains as a result of processing and their use in food production. The review includes articles published in English and Russian in 2015–2025. The search for scientific literature on this topic was carried out, using keywords, in the bibliographic databases Scopus, Web of Science, Google Scholar, and Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU. Among the articles that met the inclusion criteria, 46 studies were selected for this review. The results of the study showed that compounds obtained from brewer's grains are used in various food products, such as bread, cookies, pastries, pasta, noodles, muffins, milk yogurts, confectionery, sausages, and mayonnaise. The main problem with the use of brewer's grain as an additive in food production is that it has a significant effect on the composition, which can negatively change the physical, rheological and textural properties of the product, as well as their organoleptic quality indicators. In order to improve the quality of brewer's grain, various methods of pre-treatment and modification have been proposed, such as fermentation, extraction of the necessary compounds, extrusion, drying and composition changes. Despite the significant number of studies on the potential use of brewer's grain, it should be noted that the results of studying the mechanisms of formation of texture, color and smell of food products, as well as their beneficial properties when adding brewer's grain are insignificant. Further scientific research is needed to study the interaction of brewer's grain and its processed products with other food ingredients, the technological parameters of mixing, the mechanical properties and energy efficiency of the processing of brewer's grain itself.

Keywords: brewer's grain, drying, nutritional value, processing, extrusion, flour, protein hydrolysate, texture, water absorption capacity

Введение

Создание устойчивых продовольственных систем является основополагающим аспектом для обеспечения глобальной продовольственной безопасности, а также для максимального снабжения продуктами

питания, что обусловлено требованиями к их качеству и безопасности. Комплексный подход к устойчивости позволяет не только обеспечить стабильность производства и поставок, но и снизить количество отходов, минимизировать нагрузку на природные

ресурсы и поддержать биоразнообразие. Побочные продукты переработки пищевых продуктов, часто рассматриваемые как отходы, могут быть преобразованы в ценные продукты, способствующие экономике замкнутого цикла за счет снижения воздействия на окружающую среду и увеличения рентабельности [1]. Пивная дробина (ПД), основной побочный продукт пивоваренной промышленности, является примером отходов агропромышленного производства, которые постоянно исследуются в качестве потенциального источника биологически активных соединений. Объем производства пива во всем мире ежегодно возрастает, достигнув 1,9 миллиарда в 2023 году [2]. В процессе производства 100 л пива образуется 20 кг ПД. Если мировое производство пива оценивается примерно в 1,9 миллиарда в год, то это означает, что во всем мире было образовано примерно 41,9 миллиона тонн ПД [3]. В 2022 году наибольшее производство пива в Европе было произведено в Германии, за ней следуют Испания и Польша, где общий объем производства составил около 166,73 млн гектолитров. При этом в Европе было произведено около 3,67 млн тонн ПД [3]. В России объём производства пива в 2024 году составил 78,89 млн гектолитров, что предполагает образование 1,74 млн тонн пивной дробины. Как было установлено результатами исследований, ПД содержит значительное количество питательных веществ, таких как биологически активные пищевые волокна (целлюлоза 28,7%, гемицеллюлоза 17,5% и лигнин 16,9%), полифенольные соединения (протокатеховая, кофейная, кумаровая, феруловая кислоты, катехин и производные), белки (хордеин, глютелин, глобулин и альбумин), аминокислоты (глутамин, пролин и лейцин), жирные кислоты (пальмитиновая, линолевая, олеиновая и стеариновая кислоты), макро- и микроэлементы, которые оказывают благотворное влияние на здоровье организма [4]. Кроме того, ПД и продукты ее переработки обладают биологической активностью, что позволяет использовать их в качестве пищевого и/или нутрицевтического ингредиента. В ходе исследований установлено, что они обладают антиоксидантными свойствами, а также могут оказывать противомикробное, антимуtagenное и противовоспалительное действие [4]. В целях максимального использования пивной дробины и продуктов ее переработки в качестве ингредиента с добавленной стоимостью было проведено значительное количество научных исследований и практических экспериментов, направленных на улучшение биологически активных соединений как в ко-

личественном, так и в качественном отношении, а также их применение в пищевых продуктах [5-7]. В целом, включение ПД в пищевые продукты повышает их пищевую ценность, биологическую активность, антиоксидантные свойства [8; 9]. Решение проблем, связанных с освоением промышленного производства продуктов питания с добавлением ПД, может быть реализовано за счет разработки инновационных продуктов и эффективных технологических процессов. Исследования и разработка новых и инновационных продуктов во многом важны и необходимы по причине негативного влияния добавок ПД на формирование текстуры, цвет и приемлемость продукта покупателями [8; 10]. До настоящего времени значительных исследований и фундаментальных данных о влиянии соединений, полученных из ПД, на качество пищевых продуктов не установлено. Анализ опубликованных научных исследований показал, что в них в основном рассматривались вопросы повышения качества пивной дробины традиционными методами, в частности такие, как технологическая обработка, пищевая ценность, приемлемость и стабильность качества, но при этом не исследовали, какие процессы и изменения биологически активных соединений происходят во время обработки, какое влияние они оказывают на качество пищевых продуктов. В течение последнего десятилетия использование ПД в производстве продуктов питания было ограничено только несколькими пищевыми продуктами, такими как хлеб и тесто, экструдированные продукты, печенье и выпечка, макароны, сыр и йогурт. В последние несколько лет исследования валоризация ПД и его производных в качестве пищевого ингредиента значительно увеличились. В связи с этим **цель данной работы** – обзор научных исследований в области валоризации соединений, полученных из пивной дробины в результате переработки, и их использование в производстве продуктов питания.

Материалы и методы исследования

Поиск научной литературы на английском языке по исследованию валоризации пивной дробины и ее производных, методов обработки, модификации и потенциального использования в производстве продуктов питания проводили в библиографических базах Scopus и Web of Science. Для отбора научных статей на русском языке провели поиск по ключевым словам в Google Scholar и научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU.

В качестве временных рамок для обзора научных публикаций принят период с 2015 по 2025 год. При выполнении ра-

боты использованы научные методы: поиск и скрининг научной литературы, извлечение данных, их анализ, систематизация и обобщение. При отборе публикаций для обзора приоритет отдавали высокоцитируемым источникам. Для обзора предметного поля проведенного исследования использовали алгоритм в соответствии с протоколом PRISMA и составляли схему проведения исследования.

Критерии включения и исключения источников

Для поисковых запросов в зарубежных базах данных базах Scopus, Web of Science и PubMed были использованы следующие ключевые слова и словосочетания на английском языке: valorization of brewer's grain, processing and extraction methods, extrusion, extraction, drying, brewer's grain flour, protein hydrolysate, food additive from brewer's grain. Ключевые слова на русском языке в базе данных Google Scholar и научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU: валоризация пивной дробины, методы обработки и извлечения, экструзия, экстракция, сушка, мука из пивной дробины, гидролизат белка, пищевая добавка из пивной дробины.

Представим критерии включения и исключения для статей, подлежащих анализу.

Критерии включения:

(1) статья написана в период с 2015 по 2025 год;

(2) статья соответствует теме исследования;

(3) типы анализируемых статей – оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи, краткие отчеты.

Критерии исключения:

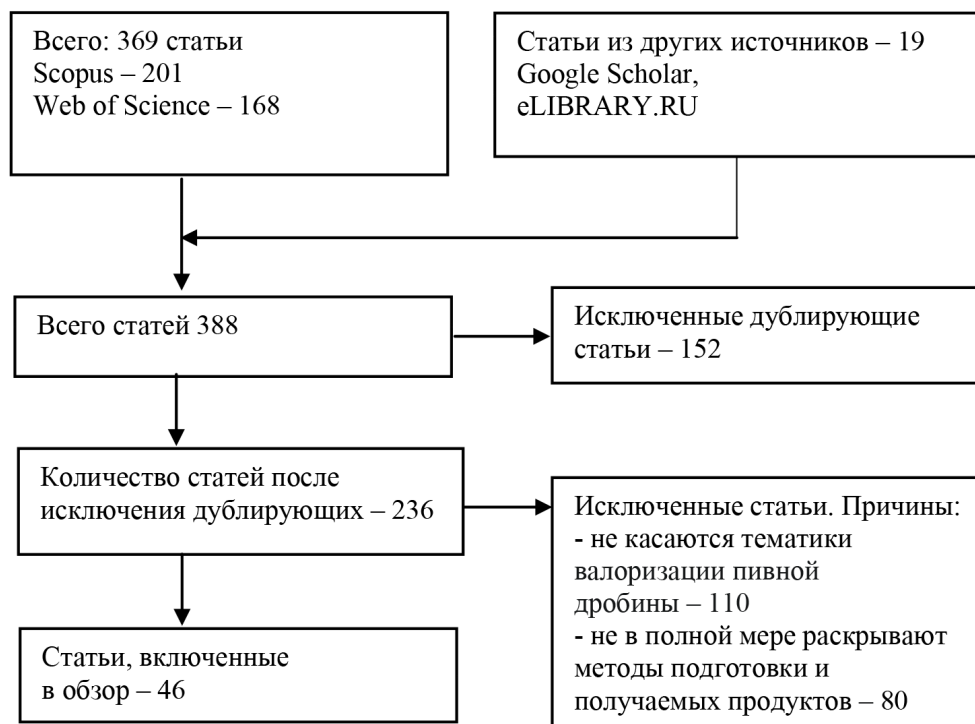
(1) статья не соответствует теме данного обзора – не касается тематики валоризации пивной дробины и потенциального использования в пищевой промышленности;

(2) статья написана не на английском языке, статья на русском языке не входит в РИНЦ;

(3) содержание статьи дублируется. Если из разных баз данных или разных электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, их классифицировали только один раз.

Анализ и систематизация данных

Для визуализации данных результаты анализа были представлены в виде таблиц и диаграмм. Для обзора предметного поля проведенного исследования использовали алгоритм в соответствии с протоколом PRISMA и составили схему проведения исследования (рисунок).



Блок-схема, описывающая процесс выбора исследования, в соответствии с протоколом PRISMA
Примечание: PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation, 2018
(<https://www.acpjournals.org/doi/10.7326/M18-0850>). In the public

Результаты исследования и их обсуждение

1. Использование пивной дробины в производстве пищевых продуктов

Количество исследований пищевых продуктов, в процессе производства которых использовали пивную дробину, за период с 2020 по 2025 год значительно возросло. Более ранние исследования были ограничены только такими видами продуктов, как хлеб и печенье, а за последние пять лет в ходе исследований установлена потенциальная возможность использования пивной дробины и в других видах пищевой продукции [11]. Результаты данных исследований показали, что валоризации пивной дробины в качестве пищевого ингредиента уделяется значительное внимание. Необходимо выделить несколько проблем, включая технологическую модификацию обработки, приемлемость этих продуктов, уровень технологической и системной готовности, эффективность производства и экономическую эффективность. В целом, эти исследования показали, что ПД оказывает значительное влияние на текстуру и увеличение кажущейся плотности, что, таким образом, влечет за собой рост потребления энергии для обработки, а также препятствует объемному расширению. Результаты влияния ПД на качественные показатели пищевых продуктов подробно описаны в исследованиях Anisha et al., Ginindza et al. и Torbica et al. [12-14].

1.1. Хлеб

Как уже отмечалось, наиболее изученным пищевым продуктом, в состав которого вносили ПД, является хлеб. В процессе хлебопечения для изменения свойств хлеба использовали муку, изготовленную различными способами, включая традиционные методы и технологические модификации. Результаты исследования Naibaho J., Korzeniowska M показали, что добавление ПД изменило технологические и физическо-химические свойства, приемлемость, текстурные свойства и запах [11]. В данном исследовании приготовление хлеба с добавлением ПД анализируют в комплексе с предварительной обработкой пивной дробины. Пивную дробину подвергали сушке и измельчению для достижения определенной влажности и размера частиц. Размер частиц оказывал влияние на его функциональность при замешивании теста, воздействуя, таким образом, на формирование структуры теста и готового хлеба. ПД добавляют в хлеб в различных модификациях продуктов переработки, включая необработанную

муку ПД, обработанную ПД и извлекаемые из ПД экстракты необходимых веществ, таких как белок и/или клетчатка.

1.1.1. Хлеб, обогащенный необработанной мукой ПД

Традиционные методы исследования включали количества вносимой муки ПД при выпечке хлеба в различные периоды ферментации [15] и композитных рецептов, объединяющих муку ПД с другими ингредиентами [13], при этом исследований по определению биологически активных соединений разработанных видов хлеба практически не установлено. По результатам органолептической оценки, наиболее приемлемым был образец хлеба, в рецептуре которого 10% муки ПД [15]. Данное количество муки ПД увеличивало время готовности теста в два раза, стабильность теста и степень размягчения теста. По сравнению с контролем хлеб с 10% муки ПД имел больший вес буханки (10%) и содержал в своем составе на 42% больше белка, а макроэлементов Ca, Mg и P больше на 25–51%. Кроме того, в данном образце, по сравнению с контролем, увеличение составило: золы в 1,7 раза, сырого жира в 1,4 раза и клетчатки в 4,8 раза [15]. Следует отметить, что состав муки пивной дробины может отличаться, так как в процессе пивоварения в затор вносят насоложенные материалы, такие как кукуруза, гречиха, рожь и др. В связи с этим, с учетом различного состава муки из ПД, проводились исследования по их влиянию на качество готового продукта [16-18]. Так, например, результаты исследования влияния ПД, содержащей ячмень, и ПД, содержащей рожь, на реологические свойства пищи показали, что оба вида муки ПД увеличивали твердость на 10%, липкость на 9% и жевательность на 12% [18]. Однако сравнение других показателей, таких как пищевая ценность и органолептические свойства, не проводили. Наличие гречихи в ПД влияет как на свойства теста, так и на свойства готового хлеба [17]. По сравнению с содержащим гречиху, тесто без гречихи имело более высокое водопоглощение (на 3% выше) и индекс размягчения (на 23% выше); меньшее время созревания теста и его стабильность (на 22% и 50% ниже соответственно); но при этом она создавала тот же уровень температуры желатинизации, что и в ПД, содержащем гречиху. При оценке качества хлеба установлено, что присутствие гречихи снижает выход хлеба, удельный объем, пористость мякиша, содержание белка, крахмала, липидов и золы. Хотя оба вида

муки ПД (добавка 10%) по-разному влияют на смесь и готовый хлеб, они имеют тот же уровень приемлемости, что и контрольный образец [17].

1.1.2. Хлеб, обогащенный обработанной ПД

В качестве методов предварительной обработки пивной дробины в ходе исследований использовали термическую обработку и сушку [19], экструзию [14], ферментативную обработку и ферментацию [20-22]. Термическая обработка (100 °С; 20 мин.) ПД проводилась с целью подготовки водной фракции в качестве готового к употреблению напитка, в то время как остаток применяется при выпечке хлеба [19]. Наиболее значимым от внесения подготовленной таким способом ПД было увеличение содержания клетчатки с 1,5% до 3,2%. За исключением того, что в процессе обработки водная фракция снижает содержание растворимого сахара и белка в оставшемся жмыхе ПД, что может оказывать значительное влияние на функциональность теста и качество хлеба, оценка влияния на физико-химические показатели и пищевую ценность в данном исследовании не проводилась [19]. В исследовании, где в качестве обработки ПД использовали экструзию, кроме ПД использовали жом сахарной свеклы и яблочные выжимки. Выбранные побочные продукты смешивались с кукурузной крупой, экструдировались и использовались для замены 10% или 20% цельнозерновой пшеничной муки в рецептурах хлеба. В ходе данного исследования провели анализ реологических свойств теста и определили физико-химические свойства хлеба (пищевой профиль, цвет, текстура и объем), сенсорные характеристики, а также предпочтения и принятие хлеба потребителями. Разработанные виды хлеба характеризовались повышенным общим содержанием пищевых волокон, в то время как содержание белка в них оставалось неизменным по сравнению с цельнозерновым пшеничным хлебом [14]. Полученные результаты показали возможность экструзии минимизировать отрицательное влияние ПД на физические и механические свойства хлеба.

Ферментация ПД проводилась с использованием *Lactobacillus plantarum* и *Lactobacillus rhamnosus* в сочетании с процессом осахаривания [21], в то время как в другом исследовании в процессе ферментации ПД для поддержки роста микроорганизмов использовали сахарозу [20]. Хлеб с добавлением ферментированной ПД имел более высокое содержание масляной кислоты

и γ -аминомасляной кислоты, что оказало положительное влияние на микробиоту кишечника во время испытаний *in vitro* [20]. По сравнению с контролем, добавление ферментированного ПД изменяет свойства теста, увеличивает пик вязкости (почти вдвое), максимальный крутящий момент (до 4 раз выше). Также было исследовано и проведено сравнение с хлебом из пекарской муки и цельнозерновой муки влияние порошка ПД (ППД) и ферментированной ПД (ФПД) на хлебное тесто, конечное качество хлеба и его пищевую ценность [21]. Внесение ППД и ФПД привело к более значимому и быстрому развитию клейковины, снижению способности клейстеризации крахмала и повышению сопротивления/ жесткости теста. Вместе с тем ферментация положительно влияла на характеристики хлеба, что привело к увеличению удельного объема, снижению твердости мякиша и микробиологической стабильности. Кроме того, добавление ФПД замедлило высвобождение редуцирующих сахаров с течением времени в процессе *in vitro* переваривания крахмала [21]. Результаты данного исследования показали, что ферментация ПД может улучшить техно-функциональные свойства хлеба и повысить его пищевую ценность. Результаты исследования показали, что ферментация могла изменить белок в ПД и pH с образованием молочной кислоты. Следовательно, это могло способствовать формированию клейковинной сети и гидрофобному взаимодействию которые могут не происходить при добавлении неферментированной ПД. Более низкий pH ослабляет клейковинную сеть, тем самым снижая твердость теста и создавая более мягкую текстуру мякиша [21; 22]. Использование ферментированной ПД в качестве закваски и замена до 10% способствует снижению интенсивности восприятия запаха готового хлеба и в итоге положительной органолептической оценке потребителем [21; 22]. Необходимо также отметить исследование авторов Păcală M.-L., Sîrbu A., Şiroş A., в ходе которого был изучен технологический потенциал вторичной переработки непромытой пивной дробины в хлебопечении и дана сравнительная оценка качества хлеба, обогащенного неферментированными и ферментированными молочной кислотой ПД, полученными из заторов, сваренных с крахмальными добавками гречихи и овса [23]. Наибольшее значение объема буханки (318,68 см³ /100 г) получено при добавлении 5% ферментированной ПД с гречневой крупой. Снижение влажности мякиша составило 22% для всех образцов, причем этот параметр связан

с весом хлеба. Пористость хлеба, эластичность, кислотность и общая сенсорная приемлемость были лучше для ферментированной, чем неферментированной ПД. Результаты доказали, что ПД с добавлением гречихи и овса обладает потенциальной способностью повышения пищевой ценности и расширения ассортимента хлеба, а молочнокислое брожение, примененное к ПД, эффективно также для улучшения органолептических показателей качества готового хлеба [23].

1.2. Печенье и выпечка

Большинство проведенных исследований, относящихся к использованию ПД в качестве ингредиента для печенья или других видов мучных кондитерских изделий, посвящены в основном исследованию улучшения пищевой ценности, при этом исследование по оценке изменения микроструктуры и биологической активности практически отсутствуют. Heredia-sandoval et al. изготавливали образцы печенья с заменой пшеничной муки ПД (0, 10, 20 и 30%) и провели анализ реологических свойств теста, содержание фенольных кислот, антиоксидантную способность, содержание арабиноксианов и общего состава печенья [24]. Результаты показали, что содержание белка и биоактивных соединений (феруловая и *n*-кумаровая кислоты, неизвлекаемые водой арабиноксианов) печенья значительно ($p < 0,05$) увеличивалось с увеличением количества ПД. По сравнению с печеньем, изготовленным только из пшеничной муки, печенье, содержащее 20% ПД, показало более низкий гидролиз и гликемический индекс (ГИ), а также меньшее количество общего крахмала [24]. Необходимо отметить исследование функциональных свойств мучных смесей, состава, калорийности и физико-химических показателей качества полученного печенья, изготовленного из смеси муки пшеничной (70%) и бататовой муки (30%) с добавлением ПД (0-9%) [25]. Обогащение смесей мукой ПД снизило насыпную плотность с 1,24 до 1,08 г/мл и водопоглощающую способность с 1,73 до 1,37 г/г, эмульгирующая способность увеличилась с 76,10 до 83,45%, а маслопоглощающая способность возросла с 2,20 до 3,66 г/г. Содержание белка, клетчатки и золы в печенье увеличилось с 10,10% до 11,32%, с 1,91% до 3,11% и с 3,87% до 5,31% соответственно. Печенье, содержащее 9% муки ПД, имело более высокое содержание клетчатки. Оценка органолептических показателей качества показала, что печенье, обогащенное 3-6% мукой ПД, было более предпочтительным, чем контрольный образец [25].

С целью улучшения сенсорных показателей качества и восприятия потребителями изготавливали овсяное печенье с различными размерами частиц овсяных хлопьев и добавлением разрыхлителя. Результаты органолептической оценки показали, что данный способ позволил минимизировать негативное влияние ПД на вкус печенья [26]. Для улучшения приемлемости печенья, обогащенного ПД, использовали различные подсластители (мед и коричневый сахар). Установлено, что применение подслащивающих веществ позволило до 40% заменять пшеничную муку мукой ПД с сохранением органолептических показателей качества, при этом в составе пивной дробины присутствовала насоложенная пшеница [27]. Исследование печенья, изготовленного с заменой 50% пшеничной муки пивной дробинкой, в составе которой 55% ржи, показало увеличение ломкости готового печенья примерно на 20% [18]. В работе авторов Nicolai M. et al. изучалось влияние замены пшеничной муки на ПД в рецептурах печенья на физико-химические и органолептические показатели качества в соотношении 50% и 75% [28]. Содержание пищевых волокон, липидов и белков в печенье при максимальном внесении ПД значительно возросло с 6,37% до 15,54%, с 9,95% до 13,06% и с 9,59% до 12,29% соответственно. При этом влажность и активность воды снизились с 11,03% до 3,37% и с 0,742 до 0,506 соответственно, что может положительно влиять на снижение микробиологической обсемененности и способствовать увеличению срока годности. Добавление ПД в печенье привело к снижению яркости и повышению твердости с 40 Н до 97 Н. Высокая органолептическая оценка качества печенья с 50% содержанием ПД показала, что ПД обладает значительным потенциалом для дальнейшего использования в производстве печенья [28]. Следует отметить, что ПД улучшает пищевой профиль печенья, не оказывая при этом негативного влияния на органолептические свойства. С целью повышения пищевой ценности пивной дробины использовали различные способы предварительной обработки, такие как автоклавирувание, ферментация и экструзия [29; 30]. По сравнению с автоклавируванием, ферментация ПД с микробной культурой при замене пшеничной муки 30% ПД способствовала увеличению общего содержания фенолов и антиоксидантной активности печенья. Кроме того, было отмечено увеличение активности ингибирования α -глюкозидазы, что подтверждает снижение уровня IC50 с 1 мг/мл до самого низкого уровня 0,5 мг/мл, это означает, что удваивается ак-

тивность ингибирования α -глюкозидазы. Замена пшеничной муки 30% ПД значительно снижает твердость и хрусткость, уровень сладости и усвояемость крахмала *in vitro* в печенье [30]. При изготовлении печенья с пониженным содержанием сахара использовали частичную замену муки 17% экструдированной ПД. Результаты показали, что экструдированная ПД обладает потенциалом замены сахара в производстве низкокалорийного печенья [29]. При этом экструдированная ПД оказывает благоприятное действие на кишечную систему, снижает кишечную биодоступность глюкозы с 13,7 до 6,4 мМ и увеличивает кишечную биодоступность фенольных соединений с 1,6 до 2,5 мг Faeq/г. Оценка *in vitro* антиоксидантов в двенадцатиперстной кишке показала увеличение с 18,5 до 23,6 мкмоль Faeq/г и с 7,8 до 9,9 мкмоль Faeq/г для ABTS и ORAC соответственно [29]. Кроме того, использование экструдированной ПД способствовало увеличению эффективности процесса ингибирования образования внутриклеточных АФК (активных форм кислорода) и противовоспалительной активности *in vitro* [29]. Провели сравнение ПД, полученной от двух разных пивоварен (ячменный солод ПД и ПД с овсяными хлопьями) в процессе производства образцов печенья при 30%-ной замене пшеничной муки [31]. Результаты показали, что песочное печенье содержало в 3 раза больше арабиноксилана, который, как принято считать, является потенциальным гипогликемическим соединением [31]. 30%-ная замена пшеничной муки ПД улучшала приемлемость цвета и снизила уровень сладости песочного печенья [31].

1.3. Макаaronные изделия

Потребители, заботящиеся о своем здоровье, все чаще ищут продукты с полезными для здоровья соединениями, что стимулирует растущий интерес к продуктам с высоким содержанием клетчатки и белка. Пищевая промышленность находится в постоянном поиске, связанном с разработкой и выпуском таких продуктов, которые в полной мере удовлетворяют запросы потребителей [32; 33]. Установлено, что ПД оказывает положительное влияние на пищевую ценность макаронных изделий и одновременно изменяет структуру, реологические и кулинарные свойства макаронных изделий. В течение последних пяти лет потенциал муки ПД в качестве пищевого ингредиента в производстве макаронных изделий привлек большое внимание научного сообщества. Пивная дробина содержит 30–70% пищевых волокон и 19–36% белка с незаменимыми аминокислотами, в частности

лизином, которого мало в злаках, что делает его ценным ингредиентом для таких продуктов, как макароны [34]. Чтобы найти оптимальное соотношение муки и ПД, исследовано внесение различных количеств ПД (от 3 до 25 г/100 г с добавлением яичного порошка) [35]. Как и предполагалось, с увеличением содержания ПД в смеси увеличивалось количество нерастворимых пищевых волокон в готовых макаронных изделиях, при этом ухудшались механические свойства и качество макаронных изделий при приготовлении. ПД ослабляет белковую сеть и приводит к набуханию гранул крахмала во время приготовления, тем самым вызывая потерю массы. Однако яичный белок из-за присутствия овальбумина может увеличить прочность и эластичность макаронных изделий [35]. Учитывая функциональность, оптимальные по качеству макаронные изделия были получены при добавлении 6,2% ПД [35]. Результаты исследования Nocente et al. показали, что при оценке пищевой ценности и органолептических показателей образцов макарон, приготовленных с добавлением ПД 5, 10 и 15%, образец с 5% ПД был наиболее приемлем [36], а в исследовании Curutchet et al. по результатам органолептической оценки был выбран образец, обогащенный 2,8% ПД [16]. Для улучшения органолептических свойств макаронных изделий, обогащенных ПД, использовали различные методы обработки. В исследовании Suomo et al. проводили фракционирование размера частиц ПД, с целью получения наименьшего размера (90 и 320 мкм) [37], и установили, что наименьший размер частиц – это фракция, богатая белком, а наибольший размер частиц – это фракция, богатая клетчаткой. Результаты исследования показали, что добавление ПД значительно повышает пищевую ценность, но даже наименьший размер частиц при добавлении 20% ПД неприемлем для изготовления макаронных изделий по причине негативного влияния ПД на реологические свойства макаронных изделий [37]. Neylon et al. провели исследование по изготовлению макарон с использованием ферментированной и неферментированной ПД [22]. Образец с ферментированной ПД показал лучшие техно-обрабатывающие свойства и снижение гликемического индекса [22]. С целью улучшения пищевой ценности и антиоксидантной активности макаронных изделий использовали ПД (11,6%), которая была подвергнута обработке ксиланазой с последующей ферментацией *Lactiplantibacillus plantarum* PU1 [38]. Результаты показали, что в образце с ферментированной ПД увеличение массы составило (14%), снижение

твердости (24%) и жевательности (14%) по сравнению с образцом макаронных изделий с неферментированной ПД, при этом антиоксидантная активность значительно возросла [38]. Использование ферментированной ПД в макаронных изделиях также увеличивает усвояемость белка (*in vitro*) с 78,7% в неферментированной ПД до 88,5% в макаронных изделиях с ферментированной ПД. Количество аминокислот также было выше в макаронных изделиях с использованием ферментированной ПД [38]. Потенциал применения ПД для изготовления лапши был открыт совсем недавно [39; 40]. Использование ПД в количестве 15% оказывает влияние на текстуру лапши, а образец, в котором содержание ПД было 10%, получил самую высокую органолептическую оценку. По сравнению с контролем, замена 10% ПД обеспечивает более высокий уровень свободной фенольной кислоты, содержания флавоноидов, активности DPPH и водоудерживающей способности [39]. Следует отметить, что дальнейшие исследования влияния ПД на физические свойства и качество технологической обработки пока не проводились, и это является областью дальнейших научных исследований.

1.4. Ферментированное молочные продукты

Муку ПД с размером частиц 0,42 мм в количестве 1% добавляли для выращивания пробиотических микробных заквасок, а полученную культуру использовали для производства пробиотического ферментированного молока [41]. Результаты исследования показали, что добавление ПД не влияет на кинетику ферментации, однако ПД увеличивает выживаемость *Streptococcus thermophilus* в имитированном желудочно-кишечном тракте *in vitro* и сохраняет постоянный уровень до 28 дней [41]. Муку с меньшим размером частиц (0,25 мм) использовали в ферментации йогурта с целью оценки ее влияния на процесс ферментации и микроструктурное образование, а также на консистенцию и выживаемость *L. bulgaricus* и *S. thermophilus* в течение 14 дней хранения [42]. Химический состав ПД, в частности пищевые волокна и белок, значительно влияют на процесс ферментации, формирование текстуры, активность и выживаемость молочнокислых бактерий (*LAB*). ПД (5, 10, 15 и 20%) увеличивают скорость ферментации, установленную сокращением периода ферментации для достижения целевого pH. Это явление может быть связано с высоким содержанием питательных веществ в ПД, которые необходимы для роста *LAB* [42]. Аналогичное

исследование было проведено с использованием 10% гидролизата белка ПД из трех различных ферментативных обработок ПД [43]. Различное содержание белка и пептидный состав в порошковых фракциях оказывали значительное влияние на свойства йогурта. Гидролизаты белка ПД значительно сокращают время ферментации с 4,5 часов в контроле до 2 часов, что показывает быстрый рост *LAB* за счет влияния большего количества белка. Различные количества гидролизата белка ПД по-разному изменяют микроструктуру йогурта, в частности связывание жира и белка в матрице. Это оказывает также различное влияние на выживаемость *L. bulgaricus* и *S. thermophilus*. Гидролизаты белка ПД увеличивают образование молочной кислоты по сравнению с контролем, а также рост и выживаемость *LAB*, реологические свойства и консистенцию во время хранения [43].

1.5. Колбасные изделия

Проведены научные исследования по использованию ПД в производстве колбас, влажной пивной дробины и сухой, в виде порошка [44; 45]. Влажную ПД концентрацией 3, 6 и 9% (по весу) вносили в хорватскую национальную вареную колбасу и проводили оценку физико-химических и потребительских свойств [44]. Результаты исследования показали, что добавление ПД способствует снижению содержания белка и жира, увеличивает содержание воды и не оказывает существенного влияния на цвет колбасы. Хотя микробиологический анализ показал безопасность продукта, органолептическая оценка колбасных изделий с концентрацией ПД была неудовлетворительной. Содержание влаги в ПД, используемой в данном исследовании, не указано, что ставит под сомнение интерпретацию механизма действия ПД и ее влияния на физико-химические свойства колбас. Talens et al. в своём исследовании использовали сушеную ПД (8% влажности) в количестве 5% (мас./мас.) в сочетании с мукой из брокколи и насекомых для изготовления и анализа образцов колбасы [45]. Результаты исследования показали, что 3% ПД является оптимальным, так как не оказывает негативного влияния на органолептические показатели качества, при этом увеличивает твердость и жевательность, содержание белка, клетчатки и микроэлементов, снижает содержание влаги в готовой колбасе и не оказывает отрицательного влияния на цвет [45].

1.6. Майонез

Гидролизаты белка (содержание белка 66%), полученные из ферментированной и

неферментированной ПД, сравнивали по их потенциалу в качестве растительных эмульгаторов для изготовления майонеза [46]. Ферментацию ПД проводили с использованием *Rhizopus oligosporus*, затем экстрагировали этанолом и щелочью. По сравнению с неферментированной обработкой белок, полученный с помощью ферментации, обладал более высокими эмульгирующими свойствами, такими как кремообразование, микроструктура и вязкость. Это можно объяснить различным профилем аминокислот, изменения которых происходят в процессе ферментации. Ферментация увеличивает количество аланина, глицина, аргинина и лизина в белке ПД. Кроме того, она также обеспечивает более высокую растворимость, эмульгирующие свойства, пенообразующие свойства, а также водоудерживающую и маслоудерживающую способность [46].

Закключение

Обзор современных научных исследований показал, что пивная дробина содержит значительное количество пищевых волокон, белков и фенольных соединений, которые могут быть использованы в качестве дополнительного источника биологически активных соединений в процессе производства продуктов питания, таких как хлеб, кондитерские изделия, колбасы, майонез и другие продукты. Использование пивной дробины в производстве продуктов питания способствует повышению их пищевой ценности, антиоксидантной активности, при этом сокращая количество отходов и снижая их воздействие на окружающую среду. Вместе с тем добавление пивной дробины может оказывать негативное влияние на органолептические показатели качества продуктов и их покупательную способность. Поэтому с целью улучшения качества пивной дробины и максимального использования ее пищевой ценности необходимы методы предварительной обработки и модификации, такие как ферментация, экстракция необходимых соединений, экструзия, сушка и изменения состава. Современные методы предварительной обработки, такие как ультразвуковая обработка, микроволновая обработка, наиболее приемлемы для повышения эффективности экстракции, что с учетом значительного количества образования пивной дробины будет способствовать минимизации энергопотребления. С целью широкого промышленного использования пивной дробины необходимы дальнейшие научные исследования, направленные на изучение взаимодействия пивной дробины и продуктов ее переработки с другими пищевыми ингредиентами, определение

технологических параметров смешивания, механических свойств и энергоэффективности процесса переработки самой пивной дробины.

Список литературы

1. Бурак Л.Ч., Ермошина Т.В., Саманкова Н.В. Достижение устойчивого развития за счет использования новых технологий переработки пищевых продуктов // Фундаментальные исследования. 2024. № 10. С. 171-179. <https://doi.org/10.17513/fr.43705>.
2. Conway J. Beer production worldwide from 1998 to 2022. 2023. URL: <https://www.statista.com/statistics/270275/worldwide-beer-production/> (дата обращения: 15.03.2025).
3. Pabbathi N.P.P., Velidandi A., Pogula S., Gandam P.K., Baadhe R.R., Sharma M., Sirohi R., Thakur V.K., Gupta V.K. Brewer's spent grains-based biorefineries: A critical review // Fuel. 2022. V. 317. № 123435. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123435>.
4. Aradwad P., Raut S., Abdelfattah A., Rauh C., Sturm B. Brewer's spent grain: unveiling innovative applications in the food and packaging industry // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2025. V. 24. e70150. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70150>.
5. Agrawal D., Gopaliya D., Willoughby N., Khare S.K., Kumar V. Recycling potential of brewer's spent grains for circular biorefineries // Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry. 2023. V. 40. № 100748. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100748>.
6. De Paula M., Latorres J.M., Martins V.G. Potential valorization opportunities for brewer's spent grain // European Food Research and Technology. 2023. V. 249(10). P. 2471–2483. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04313-x>.
7. Nyhan L., Sahin A.W., Schmitz H.H., Siegel J.B., Arndt E.K. Brewers' spent grain: An unprecedented opportunity to develop sustainable plant-based nutrition ingredients addressing global malnutrition challenges // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2023. V. 71(28). P. 10543–10564. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c02489>.
8. Naik A.S., Brugiare M., Dunne K., Sorohan M., Grasa L., Javed B. Protease hydrolysed brewers' spent grain bioactive extracts for applications in human health // Systems Microbiology and Biomanufacturing. 2024. V. 4(3). P. 1062–1075. <https://doi.org/10.1007/s43393-024-00241-3>.
9. Gutiérrez-Barrutia M.B., del Castillo M.D., Arcia P., Cozzano S. Feasibility of Extruded Brewer's Spent Grain as a Food Ingredient for a Healthy, Safe, and Sustainable Human Diet // Foods. 2022. V. 11. № 1403. <https://doi.org/10.3390/foods11101403>.
10. Oyedele A.B., Wu J. Food-based uses of brewers spent grains: Current applications and future possibilities // Food Bioscience. 2023. V. 54. № 102774. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102774>.
11. Naibaho J., Korzeniowska M. Brewers' spent grain in food systems: Processing and final products quality as a function of fiber modification treatment // J Food Sci. 2021. V. 86. P. 1532–1551. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15714>.
12. Anisha A., Kaushik D., Kumar M., Kumar A., Esatbeyoglu T., Proestos C., Khan M.R., Elobeid T., Kaur J., Oz F. Valorisation of Brewer's spent grain for noodles preparation and its potential assessment against obesity // International Journal of Food Science and Technology. 2023. V. 58(6). P. 3154–3179. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16443>.
13. Ginindza A., Solomon W.K., Shelembe J.S., Nkambule T.P. Valorisation of brewer's spent grain flour (ПДФ) through wheat-maize-ПДФ composite flour bread: Optimization using D-optimal mixture design // Heliyon. 2022. V. 8(6). № e09514. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09514>.
14. Torbica A., Škrobot D., Janić Hajnal E., Belović M., Zhang N. Sensory and physico-chemical properties of wholegrain wheat bread prepared with selected food by-products // Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie. 2019. V. 114. № 108414. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108414>.
15. Yitayew T., Moges D., Satheesh N. Effect of brewery spent grain level and fermentation time on the quality of bread // International Journal of Food Science. 2022. V. 13. P. 1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/8704684>.

16. Curutchet A., Serantes M., Pontet C., Prisco F., Arcia P., Barg G., Menendez J.A., Ta'rraga A. Sensory features introduced by brewery spent grain with impact on consumers' motivations and emotions for fibre-enriched products // *Foods*. 2021. V. 11(1). P. 36. <https://doi.org/10.3390/foods11010036>.
17. Czubaszek A., Wojciechowicz-Budzisz A., Spychaj R., Kawa-Rygielska J. Effect of added brewer's spent grain on the baking value of flour and the quality of wheat bread // *Molecules*. 2022. V. 27(5). № 1624. <https://doi.org/10.3390/molecules27051624>.
18. Ramu Ganesan A., Hoellrigl P., Mayr H., Martini Loesch D., Tocci N., Venir E., Conterno L. The rheology and textural properties of bakery products upcycling brewers' spent grain // *Foods*. 2023. V. 12(19). № 3524. <https://doi.org/10.3390/foods12193524>.
19. Lamas D.L., Gende L.B. Valorisation of brewers' spent grain for the development of novel beverage and food products // *Applied Food Research*. 2023. V. 3(2). № 100314. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100314>.
20. Koirala P., Costantini A., Maina H.N., Rizzello C.G., Verni M., Beni V.D., Polo A., Katina K., Cagno R.D., Coda R. Fermented brewers' spent grain containing dextran and oligosaccharides as ingredient for composite wheat bread and its impact on gut metabolome in vitro // *Fermentation*. 2022. V. 8(10). № 487. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100487>.
21. Neylon E., Arendt E.K., Zannini E., Sahin A.W. Fermentation as a tool to revitalize brewers' spent grain and elevate techno-functional properties and nutritional value in high fibre bread // *Foods*. 2021. V. 10(7). № 1639. <https://doi.org/10.3390/foods10071639>.
22. Neylon E., Arendt E.K., Zannini E., Sahin A.W. Fundamental study of the application of brewers spent grain and fermented brewers spent grain on the quality of pasta // *Food Structure*. 2021. V. 30. № 100225. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2021.100225>.
23. Păcălă M.-L., Sîrbu A., Şipoş A. Non-Conventional Brewers' Spent Grains, an Alternative Raw Material in Bread-Making // *Foods*. 2024. V. 13. № 3442. <https://doi.org/10.3390/foods13213442>.
24. Heredia-sandoval n. G., Granados-Neva'rez M. Del C., Caldero'n de la Barca A.M., Va'squez-Lara F., Malunga L.N., Apea-Bah F.B., Beta T., Islas-Rubio A.R. Phenolic acids, antioxidant capacity, and estimated glycemic index of cookies added with brewer's spent grain // *Plant Foods for Human Nutrition*. 2020. V. 75(1). P. 41–47. <https://doi.org/10.1007/s1130-019-00783-1>.
25. Okpala L.C., Ofoedu P.I. Quality characteristics of cookies produced from sweet potato and wheat flour blend fortified with brewer's spent grain flour // *Current Research in Nutrition and Food Science*. 2018. V. 6(1). P. 113–119. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.6.1.12>.
26. Nguyen Q.C., Castura J.C., Nguyen D.D.L., Varela P. Identifying temporal sensory drivers of liking of biscuit supplemented with brewer's spent grain for young consumers // *Food Research International*. 2023. V. 170. № 113049. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113049>.
27. Baiano A., Fiore A. Sustainable food processing: Single and interactive effects of type and quantity of brewers' spent grain and of type of sweetener on physicochemical and sensory characteristics of functional biscuits // *International Journal of Food Science and Technology*. 2023. V. 58(11). P. 5757–5772. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16674>.
28. Nicolai M., Palma M.L., Reis R., Amaro R., Fernandes J., Gonçalves E.M., Silva M., Lageiro M., Charmier A., Mauricio E. Assessing the Potential of Brewer's Spent Grain to Enhance Cookie Physicochemical and Nutritional Profiles // *Foods*. 2025. V. 14(1). № 95. <https://doi.org/10.3390/foods14010095>.
29. Gutierrez-Barrutia M.B., Cozzano S., Dolores del Castillo M. Assessment of in vitro digestion of reduced sugar biscuits with extruded brewers' spent grain // *Food Research International*. 2023. V. 172. № 113160. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113160>.
30. Wang X., Xu Y., Teo S.Q., Heng C.W., Lee D.P.S., Gan A.X., Kim J.E. Impact of solid-state fermented Brewer's spent grains incorporation in biscuits on nutritional, physical and sensorial properties // *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*. 2023. V. 182. № 114840. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114840>.
31. Sileoni V., Alfeo V., Bravi E., Belardi I., Marconi O. Upcycling of a by-product of the brewing production chain as an ingredient in the formulation of functional shortbreads // *Journal of Functional Foods*. 2022. V. 98. № 105292. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105292>.
32. 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/jcrpm.20240413599>.
33. Бурак Л.Ч., Карбанович В.И. Влияние валоризованных растительных белков и фенольных соединений на пищевую ценность и усвояемость. Обзор последних достижений // *Научное обозрение. Технические науки*. 2024. № 2. С. 35-41.
34. Souza A., Arias E., Arellano V., Macarin G., Varga S., Raggio L.M. Re-evaluating a beer industry by-product towards a sustainable product: pasta from beer by-product // *Frontiers in Food Science and Technology*. 2025. V. 5. № 1491253. <https://doi.org/10.3389/frfst.2025.1491253>.
35. Cappa C., Alamprese C. Brewer's spent grain valorization in fiber-enriched fresh egg pasta production: Modelling and optimization study // *LWT – Food Science and Technology*. 2017. V. 82. P. 464–470. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.068>.
36. Nocente F., Taddei F., Galassi E., Gazza L. Upcycling of brewers' spent grain by production of dry pasta with higher nutritional potential // *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*. 2019. V. 114. № 108421. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108421>.
37. Cuomo F., Trivisonno M.C., Iacovino S., Messina M.C., Marconi E. Sustainable Re-use of brewer's spent grain for the production of high protein and fibre pasta // *Foods*. 2022. V. 11(5). № 642. <https://doi.org/10.3390/foods11050642>.
38. Schettino R., Verni M., Acin-Albiac M., Vincentini O., Krona A., Knaapila A., Cagno R.D., Gobetti M., Rizzello C.G., Coda R. Bioprocessed brewers' spent grain improves nutritional and antioxidant properties of pasta // *Antioxidants*. 2021. V. 10(5). № 742. <https://doi.org/10.3390/antiox10050742>.
39. Anisha A., Kaushik D., Kumar M., Kumar A., Esatbeyoglu T., Proestos C., Khan M.R., Elobeid T., Kaur J., Oz F. Valorisation of Brewer's spent grain for noodles preparation and its potential assessment against obesity // *International Journal of Food Science and Technology*. 2023. V. 58(6). P. 3154–3179. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16443>.
40. Shi P., Ng Yuen Kai R., Vijayan P., Lim S. L., Bhaskaran K. Valorization of spent barley grains: Isolation of protein and fibers for starch-free noodles and its effect on glycemic response in healthy individuals // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2023. V. 7. № 1146614. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1146614>.
41. Battistini C., Herkenhoff M.E., De Souza Leite M., Vieira A.D.S., Bedani R., Saad S.M.I. Brewer's spent grain enhanced the recovery of potential probiotic strains in fermented milk after exposure to in vitro-simulated gastrointestinal conditions // *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 2023. V. 15(2). P. 326–337. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09839-8>.
42. Naibaho J., Butula N., Jonuzi E., Korzeniowska M., Laaksonen O., Fo'ste M., Kütt M.-L., Yang B. Potential of brewers' spent grain in yogurt fermentation and evaluation of its impact in rheological behaviour, consistency, microstructural properties and acidity profile during the refrigerated storage // *Food Hydrocolloids*. 2022. V. 125. № 107412. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107412>.
43. Naibaho J., Jonuzi E., Butula N., Korzeniowska M., Fo'ste M., Sinamo K.N., Chodaczek G., Yang B. Fortification of milk-based yogurt with protein hydrolysates from brewers' spent grain: Evaluation on microstructural properties, lactic acid bacteria profile, lactic acid forming capability and its physical behavior // *Current Research in Food Science*. 2022. V. 5. P. 1955–1964. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.10.016>.
44. Naibaho J., Jonuzi E., Butula N., Korzeniowska M., Yang B. Soy-based yogurt-alternatives enriched with brewers' spent grain flour and protein hydrolysates: Microstructural evaluation and physico-chemical properties during the storage. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*. 2023. V. 178. № 114626. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114626>.
45. Mastanjević K., Perković I., Škrivanko M., Kovačević D., Biondić H., Habschied K. Effect of the Addition of Brewers' Spent Grain (BSG) on the Physicochemical and Consumer Liking Attributes of Croatian Indigenous Cooked Sausage "Bijela Krvavica" // *Appl. Sci*. 2023. V. 13. № 13049. <https://doi.org/10.3390/app132413049>.
46. Chin Y.L., Chai K.F., Chen W.N. Upcycling of brewers' spent grains via solid-state fermentation for the production of protein hydrolysates with antioxidant and techno-functional properties // *Food Chemistry X*. 2022. V. 13. № 100184. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100184>.