

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 664.3

ВЛИЯНИЕ ВАЛОРИЗОВАННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ БЕЛКОВ И ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПИЩЕВУЮ ЦЕННОСТЬ И УСВОЯЕМОСТЬ. ОБЗОР ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ

Бурак Л.Ч., Карбанович В.И.

ООО «БЕЛПРОСАКВА», Минск, e-mail: leonidburak@gmail.com, info@belrosakva.by

Аннотация. Влияние фенольных соединений растительного происхождения на пищевую ценность продуктов в последние десятилетия вызывает повышенный интерес со стороны как потребителей, так и научного сообщества. Цель статьи – обзор результатов научных исследований извлечения растительных белков и фенольных соединений из отходов растительного сырья с целью устойчивого развития, ресурсосбережения и создания продуктов с высокой пищевой ценностью. В качестве материалов исследования послужили научные статьи, опубликованные в период с 2015 по 2024 гг. Научный поиск провели в научных базах данных PubMed, Scopus и Web of Science. Поиск проводился с применением дескрипторов: «фенолы, фенольные соединения», «извлечение», «усвояемость», «белки», «углеводы», «пищевая ценность», «биодоступность». Среди статей, соответствующих критериям включения, для составления данного обзора было выбрано 48 исследований. Критический обзор результатов научных исследований показал, что последние тенденции в валоризации пищевых продуктов из отходов подчеркивают возможность использования соединений, полученных из побочных продуктов жизнедеятельности, во время переработки и производства, для создания новых продуктов питания с высокой пищевой ценностью и благотворно влияющих на организм. Валоризация растительной пищи для получения фенольных соединений включает в себя оптимизацию методов экстракции, максимальное использование побочных продуктов растительного происхождения и изучение различных способов применения в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности. Дальнейшие научные исследования должны быть сосредоточены на оптимизации методов извлечения фенольных соединений, белков и других функциональных ингредиентов из отходов пищевой промышленности с целью максимального применения, обеспечивая ресурсосбережение и дальнейшее устойчивое развитие. Данный обзор может быть использован в качестве материала для дальнейших исследований по извлечению фенольных соединений и их применению в создании функциональных продуктов.

Ключевые слова: валоризация, овощи, фрукты, отходы, фенольные соединения, растительные белки, усвояемость, пищевая ценность, устойчивое развитие

INFLUENCE OF VALORIZED PLANT PROTEINS AND PHENOLIC COMPOUNDS ON NUTRITIONAL VALUE AND DIGESTIBILITY. REVIEW OF RECENT ADVANCES

Burak L.Ch., Karbanovich V.I.

BELROSAKVA Limited Liability Company, Minsk, e-mail: leonidburak@gmail.com, info@belrosakva.by

Annotation. The influence of plant phenolic compounds on the nutritional value of foods has attracted increased interest from both consumers and the scientific community over the past decade. The purpose of the article is to review the results of scientific research on the extraction of plant proteins and phenolic compounds from waste plant materials, with the aim of sustainable development, resource conservation and the creation of products with high nutritional value. The research materials were scientific articles published between 2015 and 2024. A scientific search was conducted in scientific databases PubMed, Scopus and Web of Science. The search was carried out using the following descriptors: «phenols, phenolic compounds», «extraction», «digestibility», «proteins», «carbohydrates», «nutritional value», «bioavailability». Among the articles meeting the inclusion criteria, 48 studies were selected for this review. A critical review of scientific research has shown that recent trends in waste-to-food valorization highlight the potential for using compounds derived from waste by-products during processing and production to create new food products with high nutritional value and beneficial effects on the body. Valorization of plant foods for phenolic compounds involves optimizing extraction methods, maximizing the use of plant by-products, and exploring various applications in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. Further research should focus on optimizing methods for extracting phenolic compounds, proteins and other functional ingredients from food processing waste, with the aim of maximizing utilization, ensuring resource conservation and further sustainable development. This review can be used as material for further research on the extraction of phenolic compounds and their use in the creation of functional products.

Keywords: valorization, vegetables, fruits, waste, phenolic compounds, vegetable proteins, digestibility, nutritional value, sustainable development

В последние десятилетия внимание научного сообщества, потребителей и производителей направлено на важнейшие вопросы устойчивости в сельском хозяйстве

и продовольственных системах. Результаты многочисленных научных публикаций показывают значительные потери продуктов питания по всей цепочке поставок пищевой

промышленности и за ее пределами. Последние тенденции в валоризации пищевых продуктов из отходов подчеркивают возможность использования соединений, полученных из побочных продуктов жизнедеятельности, во время переработки и производства, с целью создания новых продуктов с высокой пищевой ценностью и оказывающих благотворное влияние на здоровье человека. Говоря о больших потерях пищевых продуктов в гостиничном и потребительском секторах, необходимо отметить глобальную парадигму как избытка продуктов питания, так и многочисленного количества отходов в пищевой промышленности, что оказывает значительное негативное влияние на экологию, связанное с устойчивым развитием, а также на безопасность продуктов питания для потребителя [1]. Образование большого количества пищевых отходов провоцирует экологические и социальные проблемы, такие как проблемы социальной структуры, чрезмерная эксплуатация земель, экономические проблемы, а также проблемы продовольственной безопасности, парниковый эффект и неравномерное глобальное распределение продовольствия. Существует острая необходимость в разработке глобального соглашения о стратегиях, обеспечивающих устойчивость в пищевой промышленности, для определения национальных и региональных проблем продовольственной безопасности [2]. Следует отметить работу ученых Martindale и соавторов, которые в своем последнем обзоре возможных решений расширили это требование, которое нужно соблюдать для повышения устойчивости и достижения целей устойчивого развития. К активным действиям перед лицом глобальных кризисов, связанных с изменением климата, призывают авторы Jagar et al. в своем недавнем сборнике научных статей, посвященном продовольственной безопасности и устойчивости [3, 4]. Потенциальная возможность заключается в извлечении биологически активного материала из отходов и путем тщательного отбора компонентов – использовании этих восстановленных продуктов для повышения пищевой ценности пищевых продуктов и удовлетворения растущего спроса на такие продукты со стороны потребителя [5]. Как отмечают многие исследователи, существует потенциал в извлечении активных ингредиентов из потоков отходов при производстве продуктов питания, например в производстве продуктов переработки плодоовощного сырья [6–9]. Это обусловило цель статьи – обзор результатов научных исследований извлечения растительных белков и фенольных соединений

из отходов растительного сырья с целью устойчивого развития, ресурсосбережения и создания продуктов с высокой пищевой ценностью

Материалы и методы исследования

В качестве материалов исследования послужили научные статьи, опубликованные в период с 2015 по 2024 гг. Научный поиск провели в научных базах данных PubMed, Scopus и Web of Science. Поиск проводился с применением дескрипторов: «фенолы, фенольные соединения», «извлечение», «усвояемость», «белки», «углеводы», «пищевая ценность», «биодоступность». Среди статей, соответствующих критериям включения, для составления данного обзора было выбрано 48 исследований.

Критерии включения:

1) Статья написана в период 2015–2024 гг.

2) Статья соответствует теме исследования.

3) Типы анализируемых статей – оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи, материалы конференций, краткие отчеты.

Критерии исключения:

1) Статья не соответствует теме данного обзора: извлечения растительных белков и фенольных соединений из отходов растительного сырья, ресурсосбережения и создания продуктов с высокой пищевой ценностью.

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

Результаты исследования и их обсуждение

Валоризация растительной пищи для получения фенольных соединений включает в себя оптимизацию методов экстракции, максимальное использование побочных продуктов растительного происхождения и изучение различных вариантов применения в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности. Нет сомнения в том, что инновации в методах экстракции, способах устойчивого развития и изучение новых источников фенольных соединений будут стимулировать будущие достижения в этой области. Существует необходимость в решении проблем, связанных со стоимостью, масштабируемостью и безопасностью, что будет способствовать широкому использованию фенольных соединений, полученных из растительных источников, их применению в различных отраслях про-

мышленности и продвижению устойчивых практик в сельском хозяйстве и производстве продуктов питания.

В последнее время извлечение этих веществ из многочисленных отходов в основном сосредоточено на возможности извлекать фенольные соединения из отходов кофе, а также овощных и фруктовых выжимок [10–12]. Эти выжимки также являются богатым источником фитохимических веществ и соединений пищевых волокон, использование которых благотворно влияет на здоровье [13, 14]. Разработка инновационных систем доставки для повышения стабильности и биодоступности фенольных соединений и волокон в различных областях применения в пищевой промышленности потребует понимания их функциональности, а также их роли в изменении физиологического пищевого статуса людей. Многие полезные свойства биологически активных ингредиентов с точки зрения здоровья и питательности обусловлены связью между фенольными соединениями и белками. Связь между вторичными метаболитами в растениях, обладающими разнообразной химической структурой, антиоксидантными и биологически активными свойствами, и белками основана на понимании структуры и функциональных взаимосвязей этих соединений. Так, например, Zhang et al. показали значение роли пищевых белково-фенольных взаимодействий в изменении молекулярных конфигураций биологически активных ингредиентов и, следовательно, их опосредующего влияния на питание и благополучие с клеточной точки зрения. Часть этих процессов связана как с ковалентной, так и с нековалентной связью между биологически активными ингредиентами и функциональными макромолекулами в пищевых продуктах [15]. Примером этого также являются интенсивные исследования роли пищевых волокон в укреплении здоровья потребителей в возможностях управления усвояемостью углеводов [16–18], а также сделан акцент на роли данных соединений в изменении ферментативного поведения микробиоты кишечника [19]. Связывание фенольных соединений с белковыми компонентами может влиять на усвояемость белков и, следовательно, на их доступность с точки зрения клеточного поглощения. Фенольные соединения также могут воздействовать на переваривание белка, ингибируя протеолитические ферменты (например, трипсин и пепсин), которые играют важную роль в изменении расщепления белка в пищеварительной системе. Некоторые фенольные соединения вместе с белками могут служить пребиотиками, способ-

ствуя росту полезных кишечных бактерий и улучшая здоровье кишечника. Установлено, что катехины, антоцианы и проантоцианидины обладают выраженным пребиотическим действием [20]. Исследователи показали, что фенольные соединения во время ферментации увеличивают количество *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Akkermansia*, *Roseburia* и *Faecalibacterium spp.*, что, в свою очередь, приводит к увеличению производства и высвобождению вторичных метаболитов, таких как короткоцепочечные жирные кислоты (КЦЖК), включая бутират. С этим наблюдением связано исследование, которое достоверно показывает потенциал фенольных соединений в регулировании кардиометаболических заболеваний, а также в снижении частоты воспаления [21, 22]. Как уже отмечалось ранее, влияние фенольных соединений на усвояемость компонентов пищи было изучено на молекулярной основе, также определено, что эти процессы связаны с интерференцией фенольных соединений на расщепляющие ферменты во время пищеварения [23, 24].

Установлено, что фенольные соединения из жмыха черной смородины могут быть включены в пасты, богатые углеводами, и влиять на усвояемость этих паст, управляя активностью в отношении альфа-амилазы и альфа-глюкозидазы. В то же время было показано, что фитохимические вещества черной смородины взаимодействуют с молочными белками, такими как сывороточный белок в печенье, тем самым воздействуя на структуру белковых и фитохимических компонентов, а также изменяя общую усвояемость продуктов. Понимая молекулярные взаимодействия между фенольными соединениями и белками и углеводами, исследователи смогли смоделировать меж- и внутримолекулярные взаимодействия, которые являются мощным ресурсом для определения стратегий управления усвояемостью и ферментируемостью биологически активных соединений из ряда растительных источников [25]. Исследование Нао и соавторов продемонстрировало это при обсуждении роли молекулярной конформации полифенолов в их потенциальной пользе для здоровья, такой как антиоксидантная активность и взаимодействие с метаболитическими ферментами, участвующими в переваривании пищи после приема внутрь [26]. Н. Kaur, Н. Bobade, R. Sharma, S. Sharma оценили влияние фенольных соединений на усвояемость богатых углеводами продуктов, таких как макароны, и то, как различные операции обработки могут также влиять на процесс взаимодействия фенольных соединений, особенно при использо-

вании цельного зерна [27]. Аналогичным образом Chang и соавторы оценили способность фенольных соединений из нетрадиционных злаков (в данном случае проса) регулировать усвояемость пищи и общее восстановление питательных веществ [28]. Данные процессы, в сущности, основаны на предыдущей работе ученых Kataria et al., которые определили взаимосвязь фенольных соединений в теффе, в частности роль термической обработки в изменении антиоксидантных свойств и пищевой ценности продуктов из этих соединений при рассмотрении чувствительности этих материалов к теплу во время обработки [29]. Совсем недавно Huang и соавторы исследовали роль фенольных соединений в сочетании с традиционно рассматриваемыми непищевыми компонентами при исследовании биологической активности опосредованного биосинтеза наночастиц золота на здоровье человека. Это показывает, что положительная роль фенольных соединений может выходить далеко за рамки обычных пищевых взаимодействий [30]. То, как эти фенольные соединения изменяют микробиоту кишечника и ее функциональность, представляет интерес при рассмотрении здоровья кишечника и ферментационного расщепления продуктов [31, 32]. В работе Loo в соавторстве с другими учеными проведена оценка модуляции микробиоты кишечника человека фенольными веществами и продуктами, богатыми фенольной клетчаткой. Один из вопросов, связанных с ролью фенольных соединений, изменяющих популяцию микробиоты во время пищеварения, заключается в том, что фенольные соединения в растениях, как правило, неразрывно связаны с клеточными компонентами фруктов и семян и, следовательно, связаны с пищевыми волокнами. Взаимосвязь этих фенольных соединений с волокнами и белками может придать им некоторые свойства с точки зрения усвояемости и ферментации. Ученые Matsumura и соавторы связали эту функциональность и проиллюстрировали, что, например, фенольные соединения из чая (и их метаболиты) в процессах пищеварения проявляют антибактериальные свойства, которые защищают микробиоту кишечника от патогенных бактерий (*Clostridium perfringens*, *Escherichia coli*, *Salmonella* и *Pseudomonas*) [33]. Такая защита системы микробиоты кишечника может помочь в поддержании и улучшении общего баланса кишечных микробов. Таким образом, катехиновые соединения и их димеры, такие как теафлавины и теазинензины, могут быть полезны для изменения динамической популяции в кишечнике. Аналогичным об-

разом флаван-3-олы в продуктах какао могут оказывать непосредственное влияние на распределение микробиоты кишечника по всему кишечнику, что, в свою очередь, влияет на общее состояние кишечника.

Данные результаты научных исследований, основанные на традиционном использовании растительных ингредиентов, важно учитывать при оценке потенциальных преимуществ обогащенных растительных продуктов пищевой промышленности [34]. Ликопин, который извлекают из отходов при переработке томатов, уже давно ассоциируется с рядом эффективных свойств, способствующих укреплению здоровья. Вместе с тем он может быть восприимчив к термическому разложению, поэтому для его извлечения необходимо использовать процессы нетермической экстракции для извлечения функциональных биологически активных веществ [35, 36].

В последние несколько лет внимание было сосредоточено на определении того, какие пищевые отрасли могут обеспечить наилучшую отдачу от инвестиций с точки зрения валоризации отходов. Особое внимание было обращено к четырем отраслям, а именно: производство соков, маслоперерабатывающая промышленность, винодельческая промышленность и, в более широком смысле, бродильная или ферментативная промышленность, а также отходы, образующиеся на линиях по переработке свежих фруктов и овощей. В связи с этим возник значительный интерес к процессам производства цитрусового сока и восстановлению флавоноидных и волокнистых компонентов [9, 37, 38]. Они используются в различных продуктах питания, таких как экструдированные закуски, хлебобулочные изделия, макаронные изделия и напитки в целях увеличения антиоксидантной способности обработанных пищевых продуктов, а также для роста их влияния на метаболические функции, такие как гликемическое воздействие. При переработке цитрусовых пектин, каротиноиды и другие природные соединения, содержащиеся в кожуре и мякоти, могут быть использованы в функциональных продуктах питания. В последнее время многие исследования сосредоточены на оливковой промышленности и на том, как переработка растительного материала для масла приводит к производству большого количества излишков жмыха и мякоти – богатых источников высокофункциональных биологически активных ингредиентов. Отходы, образующиеся в процессе экстракции оливкового масла, даже если они оказывают негативное воздействие на окружающую среду, содер-

жат несколько биологически активных соединений, которые приносят значительную пользу для здоровья. После соответствующей экстракции и очистки эти соединения можно использовать в качестве пищевых антиоксидантов или в качестве активных ингредиентов в нутрицевтических и косметических продуктах [39]. В прикладном плане следует отметить исследования, связанные с извлечением ингредиентов из отходов производства таких видов, как оливки, зерновые и другие семенные культуры [40–42]. А. Vaiano и А. Fiore продемонстрировали большой потенциал зерна для получения биологически активных ингредиентов, которые могут быть восстановлены после первичной обработки, и объяснили, как, например, дробина может служить богатым источником клетчатки, фенольных соединений и белков при правильном использовании [43]. Пивная дробина является хорошим сырьем для извлечения фенольных соединений либо путем экстракции, либо с помощью новых ультразвуковых или микроволновых технологий. Дробина богата белками, поэтому в этой области также проводились исследования. Экстракция белка была эффективной при использовании гидротермической предварительной обработки (60°C) ферментной протеазой. Экстрагировали полифенолы с помощью ультразвука, а с помощью ферментов в качестве конечного продукта получили белковый гидролизат, в котором преобладали глутаминовая кислота и пролин [44]. Фенольные соединения, содержащиеся в зернах масличных культур, эффективно извлекаются из отходов после прессования масличного масла. Эти соединения, извлеченные из множества отходов, включают изофлавоны, феруловую кислоту, *p*-кумариновую кислоту, хлорогеновую кислоту, кофейную кислоту, сиринговую кислоту, ванилиновую кислоту, салициловую кислоту, протокатеховую кислоту, антоцианы и связанные с ними полифенольные соединения. Было показано, что все они имеют ценность с точки зрения метаболической функциональности в клеточной функции и, таким образом, представляют собой потенциально важные ценные продукты для питания человека. Уи и соавторы, используя побочные продукты моркови, кормили мышей ферментированной мякотью моркови (оставшейся после производства сока) и измеряли микробные популяции, которые развились после таких вмешательств. Полифенолы и флавоноиды в материале оказывали непосредственное влияние на популяционную динамику микробных сообществ в кишечнике мышей (наблюдалось увеличение *Bacteroidetes*,

Proteobacteria, *Firmicutes*), что повышало эффективность абсорбции и утилизации фенольных соединений [45]. При воздействии антибиотиков ферментированные выжимки, содержащие фенольные соединения, показали устойчивость к микробному восстановлению и сохраняли разнообразный микробиологический баланс. Исследование показало, что фенольные соединения из компонентов ягод усиливают антиоксидантную активность *in vitro* и снижают активные формы кислорода в стимулированных липополисахаридами макрофагах Raw264.7, и это, в свою очередь, можно постулировать как связь с изменениями в микробном сообществе и регуляцией клеточной активности [46]. Проведены многочисленные исследования по оценке эффективности применения экстрактов полифенолов яблока. В этих исследованиях доказано, что различные продукты, такие как хлеб, мясо, рыба, печень и сок, произведенные с добавлением яблочного порошка или яблочного экстракта, улучшили как антиоксидантный статус, так и окислительную стабильность во время хранения [47].

Заключение

С целью создания экономики замкнутого цикла, достижения устойчивого развития и снижения нагрузки на экологию необходимо обеспечить максимальное использование отходов пищевой промышленности. Отходы переработки плодоовощной, бродильной, маслоперерабатывающей и других отраслей являются хорошими источниками биоактивных соединений, которые в большей своей части не извлекаются и не используются. Неправильное обращение с отходами пищевой промышленности приводит к выбросу CO₂, который вызывает парниковый эффект и потребность в энергоемких и дорогостоящих методах утилизации отходов. Поэтому для извлечения биоактивных компонентов из этих отходов целесообразно использовать экологически чистые и экономичные подходы, современные нетермические и термические технологии. Извлекаемые фенольные и другие биологически активные соединения обладают высокой антиоксидантной активностью и проявляют лечебные и функциональные свойства. Следовательно, эти соединения могут быть использованы в пищевой и фармацевтической промышленности в процессе производства новых продуктов профилактического и функционального назначения. Будущие исследования могут быть сосредоточены на повышении ценности отходов молочной, зерновой, плодоовощной и винодельческой отраслей пищевой промышленности.

Список литературы

1. Huang C.-H., Liu S.-M., Hsu N.-Y. Understanding global food surplus and food waste to tackle economic and environmental sustainability // *Sustainability*. 2020. V. 12. P. 2892. DOI: 10.3390/su12072892.
2. Martindale W., Swainson M., Choudhary S. The impact of resource and nutritional resilience on the global food supply system // *Sustainability*. 2020. V. 12. P. 751. DOI: 10.3390/su12020751.
3. Martindale W., Hollands T. Æ., Jagtap S., Hebshy E., Duong L. Turn-key research in food processing and manufacturing for reducing the impact of climate change // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2023. V. 58. P. 5568–5577. DOI: 10.1111/ijfs.16543.
4. Jagtap S., Litos L., Raut R., Gupta S., Grover A. Ensuring food security and sustainability in the face of crises // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2023. V. 58. P. 5430–5432. DOI: 10.1111/ijfs.16630.
5. Villacis-Chiriboga J., Elst K., Van Camp J., Vera E., Ruales J. Valorization of byproducts from tropical fruits: extraction methodologies, applications, environmental and economic assessment – a Review (Part I: general overview of the byproducts, traditional biorefinery practices and possible applications) // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2020. V. 19. P. 405–447. DOI: 10.1111/1541-4337.12542.
6. Leichtweis M.G., Oliveira M.B.P.P., Ferreira I.C.F.R., Pereira C., Barros L. Sustainable recovery of preservative and bioactive compounds from food industry bioresidues // *Antioxidants*. 2021. V. 10. P. 1827. DOI: 10.3390/antiox10111827.
7. Bhatkar N.S., Shirkole S.S., Brennan C., Thorat B.N. Pre-processed fruits as raw materials: part I – different forms, process conditions and applications // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2022. V. 57. P. 4945–4962. DOI: 10.1111/ijfs.15891.
8. Bhatkar N.S., Shirkole S.S., Brennan C., Thorat B.N. Pre-processed fruits as raw materials: part II—process conditions, demand and safety aspects // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2022. V. 57. P. 4918–4935. DOI: 10.1111/ijfs.15887.
9. Romano R., De Luca L., Aiello A., Rossi D., Pizzolongo F., Masi P. Bioactive compounds extracted by liquid and supercritical carbon dioxide from citrus peels // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2022. V. 57. P. 3826–3837. DOI: 10.1111/ijfs.15712.
10. Beltrán-Medina E.A., Guatemala-Morales G.M., Padilla-Camberos E., Corona-González R. I., Mondragón-Cortez P.M., Arriola-Guevara E. Evaluation of the use of a coffee industry by-product in a cereal-based extruded food product // *Foods*. 2020. V. 9. P. 1008. DOI: 10.3390/foods9081008.
11. Бурак Л.Ч., Сапач А.Н. Биологически активные вещества бузины: свойства, методы извлечения и сохранения // *Пищевые системы*. 2023. Т. 6, № 1. С. 80–94. DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-1-80-94.
12. Бурак Л.Ч. Использование выжимок бузины в пищевой промышленности // *Новые технологии*. 2020. Т. 16, № 5. С. 20–27. DOI: 10.47370/2072-0920-2020-16-5-20-27.
13. Wu G., Hui X., Stipkovits L., Rachman A., Tu J., Brennan M. A., et al. Whey protein-blackcurrant concentrate particles obtained by spray-drying and freeze-drying for delivering structural and health benefits of cookies // *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.* 2021. V. 68. P. 102606. DOI: 10.1016/j.ifset.2021.102606.
14. Pop C., Suharoschi R., Pop O.L. Dietary fiber and prebiotic compounds in fruits and vegetables food waste // *Sustainability*. 2021. V. 13. P. 7219. DOI: 10.3390/su13137219.
15. Zhang Q., Cheng Z., Wang Y., Fu L. Dietary protein-phenolic interactions: characterization, biochemical-physiological consequences, and potential food applications // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2021. V. 61. P. 3589–3615. DOI: 10.1080/10408398.
16. Tu J., Brennan M.A., Hui X., Wang R., Peressini D., Bai W., et al. Utilisation of dried shiitake, black ear and silver ear mushrooms into sorghum biscuits manipulates the predictive glycaemic response in relation to variations in biscuit physical characteristics // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2022. V. 57. P. 2715–2728. DOI: 10.1111/ijfs.15500.
17. Tu J.C., Adhikari B., Brennan M.A., Cheng P., Bai W.D., Brennan C.S. Shiitake polysaccharides acted as a non-competitive inhibitor to α -glucosidase and inhibited glucose transport of digested starch from Caco-2 cells monolayer // *Food Res. Int.* 2023. V. 173. P. 113268. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.113268.
18. He M., Condict L., Richardson S.J., Brennan C.S., Kasapis S. Molecular characterization of interactions between lectin – a protein from common edible mushroom (*Agaricus bisporus*) – and dietary carbohydrates // *Food Hydrocoll.* 2023. V. 146. P. 109253. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2023.109253.
19. Ratanpaul V., Stanley R., Brennan C., Eri R. Manipulating the kinetics and site of colonic fermentation with different fibre combinations – a review // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2023. V. 58. P. 2216–2227. DOI: 10.1111/ijfs.16373.
20. Alves-Santos A.M., Sugizaki C.S.A., Lima G.C., Naves M.M.V. Prebiotic effect of dietary polyphenols: a systematic review // *J. Funct. Foods*. 2020. V. 74. P. 104169. DOI: 10.1016/j.jff.2020.104169.
21. Paquette M., Larqué A.S.M., Weisnagel S.J., Desjardins Y., Marois J., Pilon G., et al. Strawberry and cranberry polyphenols improve insulin sensitivity in insulin-resistant, non-diabetic adults: a parallel, double-blind, controlled and randomised clinical trial // *Br. J. Nutr.* 2017. V. 117 (4). P. 519–531. DOI: 10.1017/S0007114517000393.
22. Chai S. C., Davis K., Zhang Z., Zha L., Kirschnner K.F. Effects of tart cherry juice on biomarkers of inflammation and oxidative stress in older adults // *Nutrients*. 2019. V. 11. P. 228–310. DOI: 10.3390/nu11020228.
23. Huang Y., He M., Kasapis S., Brennan M., Brennan C. The influence of the fortification of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) powder on the in vitro digestion, physical parameters, nutritional profile, polyphenols and antioxidant activity in the oat-wheat bread // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2022. V. 57. P. 2729–2738. DOI: 10.1111/ijfs.15530.
24. Hui X., Wu G., Han D., Stipkovits L., Wu X., Tang S., et al. The effects of bioactive compounds from blueberry and blackcurrant powders on the inhibitory activities of oat bran pastes against α -amylase and α -glucosidase linked to type 2 diabetes // *Food Res. Int.* 2020. V. 138. P. 109756. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109756.
25. Guan H., Zhang W., Sun-Waterhouse D., Jiang Y., Li F., Waterhouse G.I.N., et al. Phenolic-protein interactions in foods and post ingestion: switches empowering health outcomes // *Trends Food Sci Technol.* 2021. V. 118. P. 71–86. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.08.033.
26. Hao L., Sun J., Pei M., Zhang G., Li C., Li C., et al. Impact of non-covalent bound polyphenols on conformational, functional properties and in vitro digestibility of pea protein // *Food Chem.* 2022. V. 383. P. 132623. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132623.
27. Kaur H., Bobade H., Sharma R., Sharma S. Influence of extruded whole wheat flour addition on quality characteristics of pasta // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2023. V. 59. P. 1129–1137. DOI: 10.1111/ijfs.16697.
28. Chang L., Liu Y., Niu R., Yang Q., Liang J., Li R., et al. Antioxidant activities, structure, physicochemical properties and in vitro digestibility of different millets (foxtail and proso) // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2023. V. 58. P. 5017–5026. DOI: 10.1111/ijfs.16597.
29. Kataria A., Sharma S., Dar B.N. Changes in phenolic compounds, antioxidant potential and antinutritional factors of Teff (*Eragrostis tef*) during different thermal processing methods // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2022. V. 57. P. 6893–6902. DOI: 10.1111/ijfs.15210.
30. Huang H., Devi S., Bordiga M., Brennan K.S., Xu B. Phenolic compounds mediated biosynthesis of gold nanoparticles and assessment of their biological activity: a review // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2023. V. 58. P. 1673–1694. DOI: 10.1111/ijfs.16346.

31. Ashaolu T.J., Suttikhana I. Plant-based bioactive peptides: a review of their relevant production strategies, in vivo bioactivities, action mechanisms and bioaccessibility // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2023. V. 58. P. 2228–2235. DOI: 10.1111/ijfs.16384.
32. Ibrahim S.A., Yeboah P.J., Ayivi R.D., Eddin A.S., Wijemanna N.D., Paidari S., et al. A review and comparative perspective on health benefits of probiotic and fermented foods // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2023. V. 58. P. 4948–4964. DOI: 10.1111/ijfs.16619.
33. Matsumura Y., Kitabatake M., Kayano S-I., Ito T. Dietary phenolic compounds: their health benefits and association with the gut microbiota // *Antioxid.* 2023. V. 12. P. 880. DOI: 10.3390/antiox12040880.
34. Luo J., Lin X., Bordiga M., Brennan C., Xu B. Manipulating effects of fruits and vegetables on gut microbiota – a critical review // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2021. V. 56. P.2055–2067. DOI: 10.1111/ijfs.14927.
35. Szabo K., Cătoi A.-F., Vodnar D. C. Bioactive compounds extracted from tomato processing by-products as a source of valuable nutrients // *Plant. Foods Hum. Nutr.* 2018. V. 73. P. 268–277. DOI: 10.1007/s11130-018-0691-0.
36. Madia V.N., De Vita D., Ialongo D., Tudino V., De Leo A., Scipione L., et al. Recent advances in recovery of lycopene from tomato waste: a potent antioxidant with endless benefits. // *Molecules.* 2021. V. 26. P. 4495. DOI: 10.3390/molecules26154495.
37. Anticona M., Blesa J., Frigola A., Esteve M.J. High biological value compounds extraction from citrus waste with non-conventional methods // *Foods.* 2020. V. 9. P. 811. DOI: 10.3390/foods9060811.
38. Russo C., Maugeri A., Lombardo G.E., Musumeci L., Barreca D., Rapisarda A., et al. The second life of citrus fruit waste: a valuable source of bioactive compounds // *Molecules.* 2021. V. 26. P. 5991. DOI: 10.3390/molecules26195991.
39. Madureira J., Margaça F.M.A., Santos-Buelga C., Ferreira I.C.F.R., Cabo Verde S., Barros L. Applications of bioactive compounds extracted from olive industry wastes: a review // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2022. V. 21. P. 453–476. DOI: 10.1111/1541-4337.12861.
40. Harzalli Z., Willenberg I., Medfai W., Matthäus B., Mhamdi R., Oueslati I. Potential use of the bioactive compounds of the olive mill wastewater: monitoring the aldehydes, phenolic compounds, and polymerized triacylglycerols in sunflower and olive oil during frying // *J. Food Process. Preserv.* 2022. V. 46. P. e17006. DOI: 10.1111/jfpp.17006.
41. Pestana-Bauer V.R., Mendonça C.R., Bruscatto M.H., Krumreich F.D., Otero D.M., Costa I.H., et al. Fatty acid distillation residues from rice oil bran refining as a source of phytochemicals // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2023. V. 58. P. 4627–4637. DOI: 10.1111/ijfs.16567.
42. Yao Z., Huaming X., Xin L., Dan W., Hong C., Fang W. Comprehensive review of composition distribution and advances in profiling of phenolic compounds in oilseeds // *Front. Nutr.* 2022. V. 9. P. 1044871. DOI: 10.3389/fnut.2022.1044871.
43. 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 // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2023. V. 58. P. 5757–5772. DOI: 10.1111/ijfs.16674.
44. Бурак Л.Ч. Использование отходов пивоваренной отрасли // *The Scientific Heritage.* 2022. № 86-1(86). С. 9-20. DOI: 10.12731/WOREPK.
45. Yu C., Liu Y., Xuemei Z., Ma A., Jianxin T., Yiling T. Fermented carrot pulp regulates the dysfunction of murine intestinal microbiota // *Oxidative Med. Cell. Longev.* 2022. P. 2479956. DOI: 10.1155%2F2022%2F2479956.
46. Hui X.D., Wu G., Han D., Gong X., Wu X.Y., Tang S.Z., et al. The effects of bioactive compounds from blueberry and blackcurrant powder on oat bran pastes: enhancing in vitro antioxidant activity and reducing reactive oxygen species in lipopolysaccharide-stimulated Raw264.7 Macrophages // *Antioxidants.* 2021. V. 1. P. 388. DOI: 10.3390/antiox10030388.
47. Бурак Л.Ч., Яблонская В.В. Использование антиоксидантной активности яблок и продуктов их переработки в пищевой промышленности // *Norwegian Journal of Development of the International Science.* 2023. № 115. С. 38-46. DOI: 10.5281/zenodo.8298199.