




Тенденции в разработке пищевых добавок и биологически активных добавок к пище

Мария В. Лукьяненко	¹	niibiotechn@mail.ru	 0000-0002-2842-3713
Людмила В. Донченко	¹	niibiotechn@mail.ru	 0000-0002-1468-4808
Артём А. Васильев	¹	vasilevaa@kuban-vino.ru	 0009-0004-6926-6090
Ирина В. Соболев	¹	iv-sobol@mail.ru	 0000-0003-0641-6261
Альбина А. Варивода	¹	albin2222@mail.ru	 0000-0002- 5931-2119
Екатерина Ю. Устюгова	¹	gr.ekaterina.1710@yandex.ru	 0009-0004-4366-4808

¹ Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, ул. им. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Россия

Аннотация. Развитие пищевой промышленности в комплексе с изменением структуры питания и энергозатрат организма привело к созданию новых направлений. Так, для решения задач снижения потерь от социально значимых заболеваний может быть использовано персонализированное питание. В частности, в персонализированном питании могут применяться пищевые добавки (ПД) как обогатители пищевых продуктов, придающие им функциональные свойства. Биологически активные добавки (БАД) к пище могут рассматриваться как самостоятельные продукты, активизирующие определённые процессы в организме, обладая регуляторными свойствами. Статья посвящена перспективам в области создания ПД и БАД к пище для персонализированного питания. В исследовании применены теоретические методы исследований (мета-анализ) на основе PRISMA. Отбор научных достижений производился на платформе Google Scholar по поисковым запросам «омикс-подходы», «пищевые добавки», «перспективные технологии», «эффективность применения», «персонализированное питание» с временным охватом 5 лет с 2020 года по 2024 год. Выявлено, что исследования ведутся как в отношении влияния ПД и БАД к пище и их компонентов на фокус-группах (например, спортсменах), так и лабораторных животных. Отдельные исследования посвящены влиянию технологических этапов на эффективность биологической активности продукта. По существующим представлениям в схему этапов разработки ПД и БАД к пище могут быть включены: выбор целевой патологии; целевой эффект разрабатываемого продукта; конкретизация выбранного эффекта; выбор нутрицевтика-кандидата; выбор наилучшей комбинации; проведение исследований по биодоступности; тестирование на животных; тестирование на людях для установления дозировки; определение срока годности. Омикс-подходы могут быть применены на этапе выбора целевой патологии (через ген-маркер), с которой будет работать разрабатываемая добавка. Омикс-подходы в целях реализации персонализированного питания могут изменить структуру разработки технологий добавок, использованные для доказательной базы эффективности и безопасности добавок, исключая тестирование на животных при выбранном профилактическом эффекте.

Ключевые слова: омикс-подход, персонализированное питание, здоровье, регуляторные свойства, нормализация обменных процессов.

Trends in the development of dietary supplements and biologically active food additives

Mariya V. Lukyanenko	¹	niibiotechn@mail.ru	 0000-0002-2842-3713
Ludmila V. Donchenko	¹	niibiotechn@mail.ru	 0000-0002-1468-4808
Artem A. Vasilev	¹	vasilevaa@kuban-vino.ru	 0009-0004-6926-6090
Irina V. Sobol	¹	iv-sobol@mail.ru	 0000-0003-0641-6261
Albina A. Varivoda	¹	albin2222@mail.ru	 0000-0002- 5931-2119
Ekaterina Yu. Ustyugova	¹	gr.ekaterina.1710@yandex.ru	 0009-0004-4366-4808

¹ Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 13 Kalinin Street, Krasnodar, 394036, Russia

Abstract. The development of the food industry in combination with a change in the structure of nutrition and energy consumption of the body led to the creation of new directions. So, to solve the problems of reducing losses from socially significant diseases, personalized nutrition can be used. In particular, in personalized nutrition, food additives (PD) can be used as food enrichers that give them functional properties. Biologically active food additives can be considered as independent products that activate certain processes in the body, having regulatory properties. The article is devoted to the prospects in the field of creating food additives and biologically active food additives for personalized nutrition. The study applied theoretical research methods (meta-analysis) based on PRISMA. The selection of scientific achievements was carried out on the Google Scholar platform for search queries "omix approaches," "food additives," "promising technologies," "application efficiency," "personalized nutrition" with a time span of 5 years from 2020 to 2024. It was revealed that research is underway both in relation to the effect of food additives and dietary supplements and their components on focus groups (for example, athletes), and laboratory animals. Separate studies are devoted to the effect of technological steps on the effectiveness of the biological activity of the product. According to existing ideas, the following can be included in the scheme of the stages of development of food additives and dietary supplements: the choice of target pathology; target effect of the developed product; concretizing the selected effect; selection of a nutraceutical candidate; selection of the best combination; conducting bioavailability studies; animal testing; human testing to establish dosage; determination of shelf life. Omix approaches can be applied at the stage of choosing the target pathology (through the marker gene), with which the developed supplement will work. Omix approaches in order to implement personalized nutrition can change the structure of the development of supplement technologies, used for the evidence base of the effectiveness and safety of supplements, excluding testing on animals with the chosen preventive effect.

Keywords: omix approach, personalized nutrition, health, regulatory properties, normalization of metabolic processes.

Для цитирования

Лукьяненко М.В., Донченко Л.В., Васильев А.А., Соболев И.В., Варивода А.А., Устюгова Е.Ю. Тенденции в разработке пищевых добавок и биологически активных добавок к пище // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 4. С. 165–172. doi:10.20914/2310-1202-2025-4-165-172

For citation

Lukyanenko M.V., Donchenko L.V., Vasilyev A.A., Sobol I.V., Varivoda A.A., Ustyugova E.Yu. Trends in the development of dietary supplements and biologically active food additives. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 4. pp. 165–172. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-4-165-172

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Разработка биологически активных добавок (БАД) к пище и пищевых добавок (ПД) в разных странах имеет неподдельный интерес уже несколько десятилетий. Пристальное внимание к этим продуктам связано с необходимостью купирования увеличивающейся распространённости таких патологий как сердечно-сосудистые заболевания, диабет, онкология, нарушение пищеварения и другие. Многими исследованиями отмечено существенное влияние не только БАД к пище, но и ПД на изменение состояния здоровья человека [1–7]. В этой связи они могут быть использованы в дополнение к основной терапии, обладая направленным действием по отношению к тем или иным симптомам [8–13].

Так, например, пищевые волокна – балластные вещества, представленные клетчаткой, лигнином, гемицеллюлозами, пектиновыми веществами и другими, одновременно могут влиять на углеводный обмен, работу желудочно-кишечного тракта, а также выводить из организма тяжёлые металлы и радионуклиды [14].

В особую группу веществ выделяют нутрицевтики – соединения, обладающие профилактической и терапевтической активностью в отношении хронических дегенеративных заболеваний. К физиологически активным веществам нутрицевтиков относятся такие группы веществ как производные изопреноидов, фенольные соединения, углеводные вещества, структурные липиды, производные аминокислот, микроорганизмы и связанные с ними соединения и минералы [15, 16].

Тем не менее, любое физиологически активное вещество может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на организм, что связано с индивидуальными особенностями организма, дозировкой потребляемого продукта, сочетанием с другими веществами, условиями и качеством производства.

По существующему законодательству ряда стран применяются различные принципы оценки позиционирования направленности, качества и безопасности БАД к пище. Так, в Румынии законодательство о БАД к пище предусматривает исключение введение потребителя в заблуждение об эффективности продукта, а эффективность должна быть обоснована для возможности свободного выбора подходящего продукта. В США предусмотрен сбор информации о нежелательных явлениях в схему взаимодействия между потребителями FDA MedWatch, производителями, фармацевтами и другими участниками рынка; в Чехии – созданы центры мониторинга

нежелательных явлений БАД к пище с последующим созданием базы данных и соблюдение строгого контроля качества готового продукта [11, 17].

С развитием персонализированного питания общих представлений о влиянии физиологически активных веществ на организм человека недостаточно. Важно учитывать их влияние, например, в пределах одного генотипа или для населения, проживающего в пределах одной территории. Частота распространения генотипа, отвечающего за непереносимость лактозы для белорусов, украинцев, мордвы, удмуртов, коми, французов и русских Волго-Уральского региона находится на уровне 38%, у башкир, казахов, бурят – 76%, у татар – 55% [17, 18]. Если говорить о географических особенностях, то жители Республики Беларусь имеют до – 90% дефицит витамина С, до 80% – витаминов группы В и до 60% – каротиноидов, включая бета-каротин, до 30% – дефицит витамина Е в сочетании с недостаточным поступлением микро- и макронутриентов в присутствии заражения экологически вредными веществами [19].

В этой связи актуальным является аналитическое исследование в области определения механизма влияния БАД к пище, ПД или отдельных компонентов растительного сырья на микробиом человека, взаимовлияние физиологически активных компонентов и особенности отклика на воздействие у разных групп населения с целью создания эффективных комплексов.

Цель работы – выявление тенденций в области разработки ПД и БАД к пище для персонализированного питания.

Материалы и методы

В качестве объектов исследований были использованы имеющиеся научные публикации по оценке эффективности и безопасности БАД к пище и ПД и подходам в их создании с применением омикс-технологий. При проведении исследования был использован теоретический метод – мета-анализ. Мета-анализ осуществлялся на основе метода PRISMA [20, 21]. Поиск литературы производили на платформе Google Scholar. В качестве поискового запроса применены следующие термины: «омикс-подходы», «пищевые добавки», «перспективные технологии», «эффективность применения», «персонализированное питание». Среди источников информации рассматривались научные статьи в периодических изданиях; рукописи, принятые к опубликованию; статьи, опубликованные в конференциях и книги. Ретроспектива научных публикаций выбрана в пределах 5 лет: 2020–2024 гг.

По исковому запросу в базе данных было отобрано 67 публикаций. Дополнительно, по списку литературы в найденных публикациях, обнаружено 19 статей. В результате изучения материала было исключено 28 публикаций, относящихся к глубоко медицинским исследованиям или исследованиям, проводившимся на сельскохозяйственных животных.

Результаты

Проведя аналитическое исследование современных научных достижений в области персонализированного питания с применением омикс-подходов и оценки эффективности, мы выбрали, на наш взгляд, наиболее интересные результаты, помогающие в выборе ключевых маркеров определения эффективности применения ПД и БАД к пище.

Влияние БАД к пище и ПД для устранения нарушения метаболизма липидов и глюкозы можно рассмотреть на примере введения в рацион арабиноксиланов (АК). АК – один из основных видов пищевых волокон в рационе человека, продуктом ферментативного гидролиза [22, 23] которых являются арабиноксиланоолигосахариды (АКОС) и ксиланоолигосахариды (КОС), проявляющие пребиотические свойства, повышая численность бифидобактерий и микрофлоры бутирата в кишечнике. Бифидогенный эффект олигосахаридов может наблюдаться уже при длительности приёма от 3 недель при дозировке 4 г/сутки, что подтверждается исследованиями фекалий. Данный анализ является частью мультиомического подхода, включающего метагеномное секвенирование ДНК образца фекалий, метаболомику ядерного магнитного резонанса в фекалиях, плазме и моче, липодомику в плазме и моче. Таксономический анализ, проведенный на основе данных метагеномного секвенирования образца, показывает, что потребление АКОС увеличивает численность актинобактерий ($P = 0,0481$), *Bifidobacteriaceae* ($P = 0,0316$) и группы таксономии *Bifidobacterium* ($P = 0,0317$), сравнивая исходные образцы с образцами после вмешательства. Потребление АКОС привело к расширению коллекции генов, ответственных за биосинтез витаминов и кофакторов, а также генов, специализирующихся на транспорте, биосинтезе и деградации гликанов.

Потребление АКОС может улучшать метаболизм глюкозы посредством модификации метагеномных функций, увеличивает количество генов, участвующих в углеводном обмене. Подход метаболомики был полезен для отслеживания использования АКОС кишечной микробиотой по присутствию в моче гиппуровой кислоты, микробного метаболита, в результате

деградации полифенолов, связанных с пищевыми волокнами [22, 23]. Также АКОС снижает уровень церамидов в плазме через независимый от микробиома механизм [24].

При профилактике и лечении хронических дегенеративных заболеваний может применяться редуционистский метод, включающий идентификацию биологически активных экстрактов, в том числе из растений, с последующим выделением основного действующего вещества. После этого активный компонент производится непосредственно из исходного организма или синтезируется *de novo*, с возможной модификацией для повышения безопасности и эффективности. Однако редуционистский подход медицины является не самым удачным, так как не учитывает всего многообразия симптомов, в частности, метаболического синдрома.

Преимуществом будут обладать БАД к пище или ПД, включающие комбинацию активных соединений [25]. В этом случае необходимо оценивать комбинированный эффект, который может быть рассчитан по изоболограмме – графическому методу, используемому для бинарных смесей, и комбинированному индексу – математическому индексу.

Комбинированный эффект может быть: 1) равен сумме эффектов отдельных соединений (аддитивный), 2) меньше суммы эффектов отдельных соединений (антагонистический); 3) значительно выше суммы эффектов отдельных соединений (синергетический) [25].

Комбинации нутрицевтиков обладают рядом достоинств: позволяют снизить дозу каждого из соединений, снизить сразу несколько параметров по сравнению с любым отдельным компонентом, уменьшение побочных эффектов одного нутрицевтика за счёт другого [26, 27]. Сочетание нутрицевтиков из разных категорий, таких как фрукты и бобовые, повышает вероятность синергетического эффекта, в сравнении с сочетанием нутрицевтиков одной категории (фрукты с фруктами или бобовые с бобовыми).

Между тем, синергетический эффект заключается в воздействии на различные механизмы или активации новых механизмов. Куркумин и докозагексаеновая кислота продемонстрировали синергетический антипролиферативный эффект против клеток рака молочной железы SK-BR-3 [25].

Доза каждого нутрицевтика в комбинации может изменить эффект при сохранении пропорции, но разные пропорции каждого нутрицевтика в комбинации могут вызывать разные эффекты. Таким образом, важно составлять смеси, в которых концентрация каждого соединения может быть достигнута в организме человека

применением всех компонентов. Введение каждого компонента в разное время и последовательности может привести к разным эффектам.

Для максимизации эффективности комбинированных нутрицевтиков необходимо учитывать несколько факторов: пищеварение, всасывание и метаболизм, биодоступность. Так, диализированные экстракты лука и томата не показали различий в антиоксидантной активности по сравнению с расщепленными экстрактами, но у салата она была значительно ниже. Хотя переваренный экстракт чеснока показал значительно более высокую активность по сравнению с сырым экстрактом, диализированный экстракт имел значительно более низкую активность, чем сырой экстракт [28, 29].

Под биодоступностью понимается сколько соединения может быть высвобождено из пищевой матрицы в желудочно-кишечном тракте и быть доступным для использования организмом. Соединения в напитках более биодоступны, чем твёрдые продукты, поскольку пищевая матрица в напитках распадается, облегчая организму доступ к питательным веществам и нутрицевтикам [30]. На биодоступность может влиять физическая и химическая обработка компонентов пищи, что влияет на взаимодействие и активность нутрицевтиков [31, 32].

Температура, pH, активность воды, содержание микроорганизмов, ферментативная активность, солнечный свет и материал упаковки, могут влиять на длительность активности нутрицевтиков в продукте. К методам продления срока годности причисляют: пастеризацию, бланширование, стерилизацию, термическую дегидратацию, подкисление и добавление сахаров, солей или консервантов, за счет ингибирования микроорганизмов и инактивации ферментов, но могут ухудшить качество нутрицевтиков и изменить органолептические характеристики продукта или быть негативно восприняты потребителями (например, искусственные консерванты). Перспективными технологиями, увеличивающими срок годности за счет уничтожения микроорганизмов и инактивации ферментов, сохраняя при этом органолептические характеристики продукта, являются ультразвук, ультрафиолетовое облучение, холодная плазма и облучение [33].

Для демонстрации влияния нутрицевтиков как нельзя лучше подходят исследования, проведённые с участием спортсменов, так как их организм подвергается повышенным нагрузкам. Добавки спортсменами используются для компенсации дефицита питательных веществ и достижения оптимальной потребности в энергии. Так в исследовании [34] с применением метабомики при ретроспективном подходе установлено,

что у легкоатлетов в числе ксенобиотиков (веществ, не образующихся естественным способом в организме) выявлены эвгенол (антиоксидант) и стахидрин (противовоспалительное и антиокислительное действие). У футболистов – кофейная кислота (защита от гипертермического стресса – антиоксидант); у боксёров – ретинол и тиопролин (антиоксиданты), а также 2-пирролидинон (противоэпилептическое средство).

Эти эффекты, в том числе, можно объяснить и межиндивидуальной вариабельностью реакций на одно и то же диетическое воздействие, что обеспечивает биологическое обоснование концепции: при лучшем понимании основы этой изменчивости можно разработать рекомендации по питанию (продуктам питания), адаптированному для конкретного человека [35, 36]. Секвенирование генома человека и развитие постгеномных технологий привело к быстрому изменению ситуации: диетические рекомендации могут быть адаптированы к индивидуальному генотипу, что приведёт к улучшению здоровья. Стоит отметить, что получение индивидуальных оценок риска заболевания на основе генетики может не влиять на ключевые модели поведения того или иного человека в отношении здоровья своего здоровья – данные могут носить рекомендательный характер, а пищевое поведение выбирает непосредственно человек [37]. Например, при информировании испытуемых о наличии рискованного варианта гена ACE (повышенная чувствительность к неблагоприятным последствиям высокого потребления соли), ими может быть принято решение о снижении потребления натрия, что даёт ощутимый результат уже через 12 месяцев после изменения рациона. Однако испытуемые могут остаться с прежними пищевыми привычками даже при информировании о наличии у них вариантов риска в генах CYP1A2, GSTM1 и GSTT1 и TAS1R2, оказывающих влияние при потреблении, соответственно, кофеина, витамина С или сахаров [37].

Использование омических подходов потребует крупномасштабный сбор личных физиологических и других данных, которые можно использовать для поддержки персонализированного питания. Так называемые «большие данные» были использованы в оздоровительном проекте Pioneer 100 [38, 39], предусматривающем объединение: лабораторных измерений с использованием омических подходов на биологических образцах (щечных клетках, крови, волосах, моче, стуле, выдыхаемом воздухе и т. д.), собранных физическими лицами в домашних условиях с использованием простых, безопасных

и недорогих технологий; часто отбираемых экологических, физиологических, носимых или других устройств с доступом в Интернет, находящихся во владении или поблизости каждого человека; данных о потребляемой пище; данных медицинской карты (наличие заболеваний). В этой области исследований появляются как концептуальные проблемы исследований – какая общая модель позволяет интегрировать набор динамических данных, так и практические – как эти данные получить и структурировать без потери достоверности и информативности.

Для упрощения сложных и динамичных биологических задач до более понятных формул разработано много интересных стратегий, таких как теория сетей. Теория была применена к клеточным регуляторным сетям, раскрывающим ключевые гены-драйверы или модули патогенеза заболевания [40] – [42]. Метаболическое моделирование в масштабе генома может использоваться для объяснения метаболических фенотипов в живых системах, например, тканях и органах человека, микробиоме кишечника человека и бактерии [43, 44].

Сообщество системной биологии создана вычислительная «карта» для изучения сложности метаболизма с помощью генома, она показывает связь всех метаболитов через реакции, которые контролируются ферментами. С помощью генома можно изучить функциональную роль микробиома кишечника человека, вклад в метаболизм хозяина. Метаболические изменения, вызванные диетой, вызванные микробиомом [45, 46, 47] могут быть изучены с помощью современных алгоритмов моделирования микробного сообщества с использованием микробных геномов, известных как набор инструментов интерактивной оптимизации на уровне сообщества и систем [42].

Если далее переходить к части разработки технологии ПД и БАД к пище для коммерческого применения, то на основании выбранных маркеров и получения данных о влиянии указанных добавок на организм требуется применение определённого алгоритма (схемы). Разработка БАД к пище и ПД может быть представлена по следующей схеме: 1) выбор целевой патологии / хронического дегенеративного заболевания или другой эффект; 2) целевой эффект разрабатываемого продукта (профилактический, лечебный, профилактико-лечебный); 3) конкретизация выбранного эффекта (антиоксидантный, противовоспалительный, противораковый и т. д.); 4) выбор нутрицевтика-кандидата; 5) выбор наилучшей комбинации; 6) проведение исследований по биодоступности; 7) тестирование на животных; 8) тестирование на людях для установления дозировки; 9) определение срока годности [48].

Персонализированное питание – отрасль, требующая глубоких исследований в области влияния как монокомпонентных ПД и БАД к пище, так и комплексных составов (комбинированных составов). При этом учёными ряда стран не поставлена точка в понимании выбора тех или иных маркеров, на которые стоит опираться при оценке влияния указанных добавок на отклик организма и сам метод оценки. Кроме этого по данным [44] определённую сложность вызывает накопление массива данных о состоянии испытуемых, условиях получения этих данных и объективности оценки состояния.

В случае разработки технологии ПД и БАД к пище в Российской Федерации, алгоритм, предложенный Vlaicu P.A. et al. [48], можно адаптировать, отталкиваясь от имеющихся ресурсов и задач по их использованию. Например, реализуя Программу развития сельского хозяйства, где предусмотрено развитие селекции отечественных сортов сахарной свёклы и наращивание производства сахара. В результате достижения индикаторных показателей неизбежен рост объёмов производства и побочного продукта свеклосахарного производства – свекловичного жома. В данном случае первым этапом при разработке ПД или БАД к пище будет конкретизация выбранного эффекта или выбор наилучшей комбинации (если нужно усилить достигаемый эффект), а этап выбора нутрицевтика-кандидата, как в исследовании [10, 30], может быть опущен. Так, зная что свекловичный жом богат спектром пищевых волокон: пектиновыми веществами, гемицеллюлозами, целлюлозой, лигнином, а также макро- и микронутриентами, обладающими свойствами нормализации углеводного и липидного обмена – целевая патология, выбранный эффект и конкретизация выбранного эффекта уже известны. В данном случае можно работать с метаболическим синдромом (патологией) [45, 13] для достижения нормализации липидного обмена (конкретизация выбранного эффекта) как профилактическая или лечебно-профилактическая мера (выбранный эффект). Исследовать синергетические и антагонистические эффекты с другими добавками, указанными в [4, 25, 10], а также исследовать биодоступность, согласно [28, 30].

В схеме [44] не предусмотрено исследование персонального влияния с применением омикс-подходов, оно вскользь упоминается как выбор целевой патологии. Вот на этом этапе появляется самый важный выбор – подбор маркеров, позволяющих всесторонне охватить исследование причинно-следственных связей. Этап доказывания эффективности и безопасности разрабатываемого продукта тестированием на

лабораторных животных может быть опущен для определённого генотипа или для нейтрализации негативного влияния экологической обстановки, как в случае [17, 19], а клинические испытания на фокус-группе потребуются в обязательном порядке.

Заключение

Мировая научная мысль в области разработки ПД и БАД к пище для персонализированного питания на сегодняшний день ограничена существующими представлениями о разнонаправленности их действия – как положительном, так и отрицательном; законодательной базой каждого отдельного государства, требующей прохождения определённых этапов для производства коммерческого продукта и его продвижения на рынке. Эти ограничения также связаны с необходимостью длительных и дорогостоящих клинических испытаний, как на лабораторных животных, так и на людях. Снятием одного из существующих ограничений является применение омикс-подходов, позволяющих подготовить предложение ПД и / или БАД к пище для определённой группы людей, с одинаковым генотипом.

Скорее всего, применение омикс-подходов приведёт к необходимости не только существенно изменить количество этапов разработки технологии ПД и БАД к пище, но и нормативную базу для их введения на рынок для коммерческого использования. Количество и последовательность этапов также может зависеть от начальной задачи, поставленной перед учёными – работа с определёнными сырьевыми источниками или работа с целевой патологией и желаемый эффект.

Таким образом, применение омикс-подходов открывает новый этап в подходе к разработке технологий пищевых добавок и биологически активных добавок в пищу и позволяет исключить этап тестирования на животных.

Благодарности

Работа выполнена с использованием оборудования НИИ Биотехнологии и сертификации пищевой продукции ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ. Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда, ООО «БИОДИНАМИКА» в рамках проекта № НТИП-24.1/4 «Разработка технологии продуктов здорового питания из вторичных сырьевых ресурсов переработки яблок».

References

- 1 El-Saadony M.T., Yang T., Korma S.A., Sitohy M. et al. Impacts of turmeric and its principal bioactive curcumin on human health: Pharmaceutical, medicinal, and food applications: A comprehensive review. *Frontiers in Nutrition*. 2023. no. 9. article 1040259. doi: 10.3389/fnut.2022.1040259.
- 2 Ganesan K., Du B., Chen J. Effects and mechanisms of dietary bioactive compounds on breast cancer prevention. *Pharmacological Research*. 2022. no. 178. article 105974. doi: 10.1016/j.phrs.2021.105974.
- 3 Stubbs R.J., Horgan G., Robinson E., Hopkins M. et al. Diet composition and energy intake in humans. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2023. no. 378(1888). article 20220449. doi: 10.1098/rstb.2022.0449.
- 4 Joshi T., Deepa P.R., Sharma P.K. Effect of different proportions of phenolics on antioxidant potential: Pointers for bioactive Synergy/Antagonism in foods and nutraceuticals. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*. 2022. no. 92(4). pp. 939–946. doi: 10.1007/s40011-022-01396-6.
- 5 Berillo D., Ermukhambetova A. The review of oral adsorbents and their properties. *Adsorption*. 2024. no. 30(6). pp. 1505–1527. doi: 10.1007/s10450-024-00515-1.
- 6 Bortolini D.G., Maciel G.M., Fernandes I.D.A.A., Pedro A.C. et al. Functional properties of bioactive compounds from *Spirulina* spp.: Current status and future trends. *Food Chemistry: Molecular Sciences*. 2022. no. 5. article 100134. doi: 10.1016/j.fochms.2022.100134.
- 7 Shyam S., Lee K.X., Tan A.S.W., Khoo T.A. et al. Effect of personalized nutrition on dietary, physical activity, and health outcomes: a systematic review of randomized trials. *Nutrients*. 2022. no. 14(19). article 4104. doi: 10.3390/nu14194104.
- 8 Chen X., Zhang J., Yin N., Wele P. et al. Resveratrol in disease prevention and health promotion: A role of the gut microbiome. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2024. no. 64(17). pp. 5878–5895. doi: 10.1080/10408398.2022.2159921.
- 9 Jaskulski S., Nuszbaum C., Michels K.B. Components, prospects and challenges of personalized prevention. *Frontiers in Public Health*. 2023. no. 11. article 1075076. doi: 10.3389/fpubh.2023.1075076.
- 10 Mecca M., Sichetti M., Giuseffi M., Giglio E. et al. Synergic Role of Dietary Bioactive Compounds in Breast Cancer Chemoprevention and Combination Therapies. *Nutrients*. 2024. no. 16(12). article 1883. doi: 10.3390/nu16121883.
- 11 Pandey D., Nandave M., Kumar A. Pharmacovigilance System in the USA. In *Pharmacovigilance Essentials: Advances, Challenges and Global Perspectives*. 2024. pp. 183–197. Singapore: Springer Nature Singapore. doi: 10.1007/978-981-99-8949-2_9.
- 12 Pandey H., Tang D.W., Wong S.H., Lal D. Gut microbiota in colorectal cancer: biological role and therapeutic opportunities. *Cancers*. 2023. no. 15(3). article 866. doi: 10.3390/cancers15030866.
- 13 Thomas M.S., Blesso C.N., Calle M.C., Chun O.K. et al. Dietary influences on gut microbiota with a focus on metabolic syndrome. *Metabolic Syndrome and Related Disorders*. 2022. no. 20(8). pp. 429–439. doi: 10.1089/met.2021.0131.
- 14 Ugwu E.I., Karri R.R., Nnaji C.C., John J. et al. Application of green nanocomposites in removal of toxic chemicals, heavy metals, radioactive materials, and pesticides from aquatic water bodies. In *Sustainable Nanotechnology for Environmental Remediation*. 2022. pp. 321–346. Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-824547-7.00018-7.
- 15 Mikhaylovsky S., Voytko A., Demchenko V., Demchenko P. Enterosorption in the treatment of heavy metal poisoning. *Chemistry Journal of Moldova*. 2021. no. 16(2). pp. 9–27. doi: 10.19261/cjm.2021.852.
- 16 Muela-Molina C., Perelló-Oliver S., García-Arranz A. False and misleading health-related claims in food supplements on Spanish radio: an analysis from a European Regulatory Framework. *Public Health Nutrition*. 2021. no. 24(15). pp. 5156–5165. doi: 10.1017/S1368980021002007.

- 17 Volobuev A., Romanchuk N., Bulgakova S. Brain Neurogenetics: Human Sleep and Longevity. *Bulletin of Science and Practice*. 2021. no. 7(3). pp. 93–135. doi: 10.33619/2414-2948/64/12 (in Russian).
- 18 Kovalenko E., Vergasova E., Shoshina O., Popov I. et al. Lactase deficiency in Russia: multiethnic genetic study. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2023. no. 77(8). pp. 803–810. doi: 10.1038/s41430-023-01294-8 (in Russian).
- 19 Morgunova E.M. Scientific and methodological approaches to the creation of the concept of personalized nutrition. *Food Industry: Science and Technology*. 2020. no. 13(2). pp. 6–13. (in Russian).
- 20 O'Dea R.E., Lagisz M., Jennions M.D., Koricheva J. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses in ecology and evolutionary biology: a PRISMA extension. *Biological Reviews*. 2021. no. 96(5). pp. 1695–1722. doi: 10.1111/brv.12721.
- 21 Sarkis-Onofre R., Catalá-López F., Aromataris E., Lockwood C. How to properly use the PRISMA Statement. *Systematic Reviews*. 2021. no. 10. article 1. doi: 10.1186/s13643-021-01671-z.
- 22 Lin S., Agger J.W., Wilkens C., Meyer A.S. Feruloylated arabinoxylan and oligosaccharides: chemistry, nutritional functions, and options for enzymatic modification. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2021. no. 12(1). pp. 331–354. doi: 10.1146/annurev-food-032818-121443.
- 23 Polo A., Albiac M.A., Da Ros A., Ardévol V.N. et al. The Effect of Hydrolyzed and Fermented Arabinoxylan-Oligo Saccharides (AXOS) Intake on the Middle-Term Gut Microbiome Modulation and Its Metabolic Answer. *Nutrients*. 2023. no. 15(3). article 590. doi: 10.3390/nu15030590.
- 24 Nie Q., Hu J., Chen H., Geng F., Nie S. Arabinoxylan ameliorates type 2 diabetes by regulating the gut microbiota and metabolites. *Food Chemistry*. 2022. no. 371. article 131106. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.131106.
- 25 Slavova-Kazakova A., Janiak M.A., Sulewska K., Kancheva V.D., Karamać M. Synergistic, additive, and antagonistic antioxidant effects in the mixtures of curcumin with (–)-epicatechin and with a green tea fraction containing (–)-epicatechin. *Food Chemistry*. 2021. no. 360. article 129994. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129994.
- 26 Quaglio A.E.V., Grillo T.G., De Oliveira E.C.S., Di Stasi L.C., Sasaki L.Y. Gut microbiota, inflammatory bowel disease and colorectal cancer. *World Journal of Gastroenterology*. 2022. no. 28(30). pp. 4053–4060. doi: 10.3748/wjg.v28.i30.4053.
- 27 Roux A., Cholerton R., Sicsic J., Moumjid N. et al. Study protocol comparing the ethical, psychological and socio-economic impact of personalised breast cancer screening to that of standard screening in the “My Personal Breast Screening” (MyPeBS) randomised clinical trial. *BMC Cancer*. 2022. no. 22(1). article 507. doi: 10.1186/s12885-022-09484-6.
- 28 Das A., Bhattacharya S., Jawed J.J. Enzymatically Digested Garlic Waste Conserved Most of Its Polyphenols and Contributed to Nrf2 Activation: Bio-accessibility, Bioactivity, Gene Expression, and Genotoxicity Analysis. *Waste and Biomass Valorization*. 2024. [Online first]. doi: 10.1007/s12649-024-02476-6.
- 29 Zhao R., Qiu Z., Bai X., Xiang L. et al. Digestive properties and prebiotic activity of garlic saccharides with different-molecular-weight obtained by acidolysis. *Current Research in Food Science*. 2022. no. 5. pp. 2033–2044. doi: 10.1016/j.crf.2022.10.022.
- 30 Kamiloglu S., Tomas M., Ozdal T., Capanoglu E. Effect of food matrix on the content and bioavailability of flavonoids. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. no. 117. pp. 15–33. doi: 10.1016/j.tifs.2020.10.030.
- 31 Li L., Li D. Inter-individual variability and non-linear dose-response relationship in assessing human health impact from chemicals in lca: addressing uncertainties in exposure and toxicological susceptibility. *Frontiers in Sustainability*. 2021. no. 2. article 648138. doi: 10.3389/frsus.2021.648138.
- 32 Shahidi F., Pan Y. Influence of food matrix and food processing on the chemical interaction and bioaccessibility of dietary phytochemicals: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022. no. 62(23). pp. 6421–6445. doi: 10.1080/10408398.2021.1901650.
- 33 Alieozaman Md S., Chwdhury M., Fatima A., Dev M. An overview of spices and herbs as natural antioxidant sources. *Journal of Current Research in Food Science*. 2024. no. 5(1). pp. 31–35. doi: 10.22271/foodsci.2024.v5.i1a.119.
- 34 Malsagova K.A., Kopylov A.T., Stepanov A.A., Enikeev D.V. et al. Molecular profiling of athletes performing high-intensity exercises in extreme environments. *Sports*. 2023. no. 11(2). article 36. doi: 10.3390/sports11020036 (in Russian).
- 35 Chen R., Pearson V., Suebkinorn O., Bulto L.N. et al. Impact of Genetic Risk Information for Cardiovascular Disease on Behavioural, Psychological Responses, and Risk Factor Modification: A Systematic Review. *European Journal of Preventive Cardiology*. 2024. [Online first]. doi: 10.1093/eurjpc/zwae362.
- 36 Guo L., Cao J., Hou J., Li Y. et al. Sex specific molecular networks and key drivers of Alzheimer's disease. *Molecular Neurodegeneration*. 2023. no. 18(1). article 39. doi: 10.1186/s13024-023-00624-5.
- 37 Hood L. Adventures Leading to a Paradigm Shift in Healthcare: Advances in sequencing, big data technology, systems biology, and blood analysis open new paths to wellness. *Genetic Engineering & Biotechnology News*. 2021. no. 41(10). pp. 48–50. doi: 10.1089/gen.41.10.16.
- 38 Marcos-Zambrano L.J., López-Molina V.M., Bakir-Gungor B., Frohme M. et al. A toolbox of machine learning software to support microbiome analysis. *Frontiers in Microbiology*. 2023. no. 14. article 1250806. doi: 10.3389/fmicb.2023.1250806.
- 39 Karatas M., Eriskin L., Deveci M., Pamucar D., Garg H. Big Data for Healthcare Industry 4.0: Applications, challenges and future perspectives. *Expert Systems with Applications*. 2022. no. 200. article 116912. doi: 10.1016/j.eswa.2022.116912.
- 40 Ma Z., Zuo T., Frey N., Rangrez A.Y. A systematic framework for understanding the microbiome in human health and disease: from basic principles to clinical translation. *Signal Transduction and Targeted Therapy*. 2024. no. 9(1). article 237. doi: 10.1038/s41392-024-01946-6.
- 41 Kundu P., Beura S., Mondal S., Das A.K., Ghosh A. Machine learning for the advancement of genome-scale metabolic modeling. *Biotechnology Advances*. 2024. no. 74. article 108400. doi: 10.1016/j.biotechadv.2024.108400.
- 42 Park S.H., Choi H.K., Park J.H., Hwang J.T. Current insights into genome-based personalized nutrition technology: a patent review. *Frontiers in Nutrition*. 2024. no. 11. article 1346144. doi: 10.3389/fnut.2024.1346144.
- 43 Sudhakar P., Verstockt B., Cremer J., Verstockt S. et al. Understanding the molecular drivers of disease heterogeneity in Crohn's disease using multi-omic data integration and network analysis. *Inflammatory Bowel Diseases*. 2021. no. 27(6). pp. 870–886. doi: 10.1093/ibd/izaa281.

44 Wu S., Chen D., Snyder M.P. Network biology bridges the gaps between quantitative genetics and multi-omics to map complex diseases. *Current Opinion in Chemical Biology*. 2022. no. 66. article 102101. doi: 10.1016/j.cbpa.2021.102101.

45 Dey P., Chaudhur S.R., Efferth T., Pal S. The intestinal 3M (microbiota, metabolism, metabolome) zeitgeist—from fundamentals to future challenges. *Free Radical Biology and Medicine*. 2021. no. 176. pp. 265–285. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2021.09.026.

46 Zhang B., Zhang Y., Xing X., Wang S. Health benefits of dietary polyphenols: Insight into interindividual variability in absorption and metabolism. *Current Opinion in Food Science*. 2022. no. 48. article 100941. doi: 10.1016/j.cofs.2022.100941.

47 Zhang R., Li Q., Gu Y., Liao W. Harnessing the Power of Fermented Tea to Improve Gut Microbiota and Combat Obesity Epidemic. *Biology*. 2024. no. 13(10). article 779. doi: 10.3390/biology13100779.

48 Vlaicu P.A., Untea A.E., Varzaru I., Saracila M., Oancea A.G. Designing Nutrition for Health-Incorporating Dietary By-Products into Poultry Feeds to Create Functional Foods with Insights into Health Benefits, Risks, Bioactive Compounds, Food Component Functionality and Safety Regulations. *Foods*. 2023. no. 12. article 4001. doi: 10.3390/foods12214001.

Сведения об авторах

Мария В. Лукьяненко к.т.н., НИИ Биотехнологии и сертификации пищевой промышленности, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, ул. им. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Россия, niibiotechn@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2842-3713>

Людмила В. Донченко д.т.н., профессор, НИИ Биотехнологии и сертификации пищевой продукции, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, ул. им. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Россия, niibiotechn@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1468-4808>

Артём А. Васильев аспирант, кафедра технологии хранения и переработки растениеводческой продукции, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, ул. им. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Россия, vasilevaa@kuban-vino.ru

<https://orcid.org/0009-0004-6926-6090>

Ирина В. Соболев к.т.н., доцент, заведующая, кафедра технологии хранения и переработки растениеводческой продукции, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, ул. им. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Россия, iv-sobol@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0641-6261>

Альбина А. Варивода к.т.н., доцент, кафедра технологии хранения и переработки растениеводческой продукции, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, ул. им. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Россия, albin2222@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5931-2119>

Екатерина Ю. Устюгова аспирант, кафедра технологии хранения и переработки растениеводческой продукции, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, ул. им. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Россия, gr.ekaterina.1710@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0004-4366-4808>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Mariya V. Lukyanenko Cand. Sci. (Engin.), Research Institute of Biotechnology and Food Certification, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 13, Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia, niibiotechn@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2842-3713>

Ludmila V. Donchenko Dr. Sci. (Engin.), professor, Research Institute of Biotechnology and Food Certification, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 13, Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia, niibiotechn@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1468-4808>

Artem A. Vasilev graduate student, storage and processing of plant products department, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 13, Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia, vasilevaa@kuban-vino.ru

<https://orcid.org/0009-0004-6926-6090>

Irina V. Sobol Cand. Sci. (Engin.), associate professor, storage and processing of plant products department, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 13, Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia, iv-sobol@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0641-6261>

Albina A. Varivoda Cand. Sci. (Engin.), associate professor, storage and processing of plant products department, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 13, Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia, albin2222@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5931-2119>

Ekaterina Yu. Ustyugova graduate student, storage and processing of plant products department, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 13, Kalinina str., Krasnodar, 350044, Russia, gr.ekaterina.1710@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0004-4366-4808>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 10/11/2025	После редакции 25/11/2025	Принята в печать 08/12/2025
Received 10/11/2025	Accepted in revised 25/11/2025	Accepted 08/12/2025