

УДК 663.05

Характеристика ферментированных овощей и фруктов, их пищевая ценность и влияние на здоровье. Обзор предметного поля

Л. Ч. Бурак

Общество с ограниченной ответственностью "БЕЛПРОСАКВА", г. Минск, Республика Беларусь;
e-mail: leonidburak@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
29.09.2025;

принята
к публикации
12.05.2026

Ключевые слова:

ферментация,
фрукты,
овощи,
биологически активные
соединения,
пищевая ценность,
микроорганизмы,
бактерии,
грибы,
токсины,
антиоксидантная
активность,
здоровье

В последние годы значительно возрос интерес производителей продуктов питания к разработке немолочных пробиотических продуктов на основе фруктов и овощей, что связано с изменениями в образе жизни и увеличением популярности вегетарианства и веганства. Цель исследования – анализ и обзор результатов исследований роли микроорганизмов в процессе естественной ферментации и искусственной инокуляции ферментированных фруктов и овощей с точки зрения пользы для здоровья, формирования вкуса и влияния на изменения биологически активных веществ. В качестве источников использованы научные публикации на русском и английском языках, опубликованные в 2010–2025 гг. Поиск зарубежных работ проводился в базах данных Scopus, PubMed и Web of Science; русскоязычные источники отбирались в системе РИНЦ по релевантным ключевым словам. Отобранные источники были подвергнуты систематизации, критическому анализу и обобщению. Технология ферментации является методом переработки, сочетающей традиции и инновации и использующей микробную биотрансформацию для значительного улучшения химического состава и биологической активности фруктов и овощей. Ферментация не только продлевает срок годности пищевых продуктов, но и повышает их пищевую ценность и пользу для здоровья. Обзор научных исследований показывает, что влияние ферментированных фруктов и овощей на здоровье в значительной степени зависит от микроорганизмов, участвующих в процессе ферментации, и биоактивных компонентов, которые они производят. Польза ферментированных фруктов и овощей для здоровья в основном обусловлена образованием в процессе ферментации биологически активных соединений, таких как фенолы, витамины, минералы и органические кислоты. Эти соединения образуются в результате сложных биохимических реакций, катализируемых микроорганизмами, и взаимодействуют друг с другом, оказывая антиоксидантное и противовоспалительное действие, что приводит к таким полезным для здоровья свойствам, как снижение риска хронических заболеваний. Биологически активные соединения ферментированных фруктов и овощей обладают антиоксидантным, противовоспалительным и гипогликемическим действиями. Разработка ферментированных продуктов на основе фруктов и овощей представляет собой перспективное направление для удовлетворения запросов современного потребителя, сокращения отходов растительного сырья, расширения ассортимента функциональных пищевых продуктов, способствующих улучшению здоровья населения. Дальнейшие исследования должны быть направлены на углубленное изучение взаимодействия микроорганизмов с плодовоовощным сырьем и оптимизацию процесса ферментации с целью повышения их пищевой ценности и благотворного влияния на здоровье.

Для цитирования

Бурак Л. Ч. Характеристика ферментированных овощей и фруктов, их пищевая ценность и влияние на здоровье. Обзор предметного поля. Вестник МГТУ. 2026. Т. 29, № 3. С. 452–478. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2026-29-3-452-478>.

Characteristics of fermented vegetables and fruits, their nutritional value and impact on health. A review of the subject field

Leonid Ch. Burak

Limited Liability Company "BELROSAKVA", Minsk, Republic of Belarus;
e-mail: leonidburak@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>

Article info

Received
29.09.2025;

accepted
12.05.2026

Key words:

fermentation,
fruits,
vegetables,
bioactive compounds,
nutritional value,
microorganisms,
bacteria,
fungi,
toxins,
antioxidant activity,
health

Abstract

In recent years, food manufacturers have shown significant interest in developing non-dairy probiotic products based on fruits and vegetables, driven by lifestyle changes and the increasing popularity of vegetarianism and veganism. The aim of this study is to analyze and review research on the role of microorganisms in the natural fermentation and artificial inoculation of fermented fruits and vegetables in terms of health benefits, flavor formation, and influence on changes in biologically active substances. The sources used are scientific publications in Russian and English published between 2010 and 2025. A search for international publications has been conducted in Scopus, PubMed, and Web of Science; Russian-language sources have been selected using the Russian Science Citation Index (RSCI) system with the help of relevant keywords. The selected sources are systematized, critically analyzed, and summarized. Fermentation technology is a processing method that combines tradition and innovation, using microbial biotransformation to significantly improve the chemical composition and biological activity of fruits and vegetables. Fermentation not only extends the shelf life of foods but also enhances their nutritional value and health benefits. A review of scientific research shows that the health effects of fermented fruits and vegetables depend largely on the microorganisms involved in the fermentation process and the bioactive components they produce. The health benefits of fermented fruits and vegetables are primarily due to the formation of bioactive compounds during fermentation, such as phenols, vitamins, minerals, and organic acids. These compounds are formed through complex biochemical reactions catalyzed by microorganisms and interact with each other, exerting antioxidant and anti-inflammatory effects, resulting in health benefits such as a reduced risk of chronic diseases. Bioactive compounds in fermented fruits and vegetables exhibit antioxidant, anti-inflammatory, and hypoglycemic effects. The development of fermented fruit and vegetable products represents a promising approach to meeting the needs of modern consumers, reducing waste of plant materials, and expanding the range of functional foods that contribute to improved public health. Further research should be aimed at in-depth study of the interaction of microorganisms with fruit and vegetable raw materials and optimization of the fermentation process, with the aim of increasing their nutritional value and beneficial effects on health.

For citation

Burak, L. Ch. 2026. Characteristics of fermented vegetables and fruits, their nutritional value and impact on health. A review of the subject field. *Vestnik of MSTU*, 29(3), pp. 452–478. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2026-29-3-452-478>.

Введение

В настоящее время на мировом рынке продуктов питания представлено около 5000 ферментированных пищевых продуктов и наблюдается значительный ежегодный рост. Ферментированные фруктовые и овощные продукты составляют значительную часть этих продуктов, они популярны благодаря своей уникальной текстуре, вкусу и пользе для здоровья. История ферментированных продуктов насчитывает тысячи лет, и некоторые традиционные ферментированные продукты по-прежнему пользуются популярностью у потребителей во многих странах (Burak, 2023; Chen et al., 2024). Ферментированные фрукты и овощи богаты фенольными соединениями, минералами и витаминами, которые имеют потенциальную пользу для здоровья, способствуя предотвращению многих заболеваний, таких как сердечно-сосудистые заболевания и диабет 2 типа (Abdelshafy et al., 2024; Eroglu et al., 2023).

Хотя молочные и мясные продукты представляют собой две основные категории ферментированных продуктов, растет потребность в исследованиях и разработках немолочных пробиотических продуктов на основе фруктов и овощей в свете изменения образа жизни (например, вегетарианства и веганства), а также роста аллергии и непереносимости лактозы на молочные продукты (Burak, 2025b). Технология ферментации привлекает внимание как потенциальный способ обработки продуктов питания с целью увеличения срока годности, питательных свойств и пользы для здоровья. Ферментированные фрукты и овощи могут быть получены естественными или искусственно контролируемыми процессами ферментации с участием микроорганизмов, в основном из групп бактерий и грибов (Burak, 2025b; Cai et al., 2022; Pérez-Armendáriz et al., 2020). Преобразование и высвобождение биоактивных соединений во фруктах и овощах в процессе ферментации увеличивает пищевую ценность и благотворное влияние ферментированных продуктов на здоровье (Burak, 2024; Fahey et al., 2021). Микробная ферментация увеличивает во фруктах и овощах содержание полифенолов, таких как фенольные кислоты, флавоноиды и антоцианы, которые обладают высокой антиоксидантной способностью, снижая окисление липидов и риск атеросклероза. Некоторые молочнокислые бактерии (МКБ) способны продуцировать γ -аминомасляную кислоту (ГАМК), нейротрансмиттер со свойствами снижения кровяного давления и потенциальной регуляции липидов (Ali et al., 2021; Wang et al., 2023). Короткоцепочечные жирные кислоты (КЦЖК), такие как уксусная, пропионовая и масляная кислоты, получаемые в процессе ферментации, не только полезны для здоровья кишечника, но и могут косвенно регулировать уровень липидов в крови, влияя на баланс кишечной флоры (Shin et al., 2020).

Микробная активность может увеличить содержание витаминов во фруктах и овощах, особенно витаминов С и В, которые обладают антиоксидантными свойствами и помогают поддерживать здоровье сосудов (Burak, 2024; da Silva et al., 2023b). Кроме того, пробиотики, используемые в процессе ферментации, такие как *Lactobacillus* spp., *Pediococcus* spp., способны положительно влиять на уровень липидов в крови как напрямую, так и через свои метаболиты (Chai et al., 2022; Wang et al., 2023). Следует отметить, что для создания продуктов, положительно влияющих на здоровье организма, исследователи отбирают пробиотики из натурально ферментированных продуктов и используют их для производства ферментированных фруктов и овощей в промышленных условиях (Burak, 2025a; Grujovic et al., 2022). Например, *Lactobacillus plantarum*, который широко встречается в естественно ферментированных продуктах, используется в производстве коммерческих ферментированных фруктов и овощей из-за его способности к ферментации и пробиотических свойств, таких как улучшение здоровья кишечника и повышение иммунитета (Burak, 2025a).

Таким образом, совершенствование методов выделения и очистки, а также оптимизация процесса ферментации стали ключевыми направлениями и задачами современных исследований по переработке ферментированных фруктов и овощей. В последние годы ассортимент ферментированных фруктов и овощей расширяется за счет растительного сырья с высокой пищевой ценностью и профилактическим действием (Burak et al., 2021). Лекарственное растительное сырье обладает как терапевтическими свойствами, так и может использоваться в качестве повседневной пищи, например, черная шелковица (Liu et al., 2023b; Lv et al., 2023). Целью добавления лекарственных продуктов в ферментированные фрукты и овощи является достижение биотрансформации и обогащение биологически активных ингредиентов в сырье посредством процессов ферментации, чтобы придать продуктам более существенные преимущества для сохранения здоровья. При этом активно изучается вариативность биоактивных ингредиентов в ферментированных фруктах и овощах и их пищевая ценность.

Цель обзора – дать всестороннее представление роли микроорганизмов в процессе естественной ферментации и искусственной инокуляции ферментированных фруктов и овощей с точки зрения пользы для здоровья, формирования вкуса, влияния на пищевую ценность, органолептические показатели, изменения биологически активных соединений в процессе ферментации, включая образование и накопление органических кислот, витаминов, полифенолов и других биологически активных вторичных метаболитов.

Материалы и методы исследования

В качестве источников использованы научные публикации на русском и английском языках, опубликованные в 2010–2025 гг. Поиск зарубежных работ проводился в базах данных Scopus, PubMed и Web of Science; русскоязычные источники отбирались в системе РИНЦ по релевантным ключевым словам. Изначально в результате научного поиска проанализировано 672 научные статьи. В результате детального анализа для настоящего обзора были отобраны 174 научные публикации.

Критерии включения для статей, подлежащих анализу:

- 1) статья написана в период 2010–2025 гг.;
- 2) статья соответствует теме исследования;
- 3) типы анализируемых статей – оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи и краткие отчеты.

Критерии исключения для статей, подлежащих анализу:

- 1) статья не соответствует теме данного обзора: не касается тематики ферментации плодоовощного сырья, микробиологической характеристики процесса, качественных показателей ферментированных продуктов и их влияния на здоровье потребителя;
- 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.

Отобранные источники были подвергнуты систематизации, критическому анализу и обобщению.

Результаты и обсуждение

1. Роль микроорганизмов в процессах ферментации

1.1. Бактерии в ферментированных фруктах и овощах

Микроорганизмы, обычно используемые в ферментированных продуктах, это бактерии, актиномицеты, дрожжи и плесень, из которых наиболее широко применяются бактерии, такие как *Lactobacillus* spp., *Pediococcus* spp., *Bacillus* spp. и *Zygomonas* spp. Бактериальная ферментация представляет собой сложный механизм биотрансформации, включающий микробные метаболические пути, которые преобразуют биоактивные молекулы в метаболиты во фруктах и овощах (Burak, 2025a; Liu et al., 2011). Процессы ферментации должны быть настроены для достижения целей продукта. При построении системы ферментации необходимо учитывать потребности в питательных веществах для роста микробов и соотношение каждого компонента в субстрате.

Некоторые исследования по бактериальной ферментации овощей и фруктов обобщены в табл. 1. Muhiyaldin et al. (2021) показали потенциал ферментированного сока канталупы (FFCJ) в качестве натурального консерванта путем добавления *L. plantarum* FBS05-FFCJ (мускатной дыни) к свежему соку канталупы в различных пропорциях. Ферментированный сок значительно улучшил антимикробную активность против *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Aspergillus flavus* и *Penicillium* spp. Срок годности ферментированного сока, при соотношении 20 : 80, был продлен до 6 месяцев с сохранением органолептических показателей качества. Wang et al. (2022d) получили выжимку из плодов розы роксбурга, ферментированную с помощью *Bacillus natto* (F-RRP), путем оптимизации инокулята, начального pH и т. д. Установлено, что ферментированный сок содержит высокое содержание растворимых пищевых волокон с рыхлой и пористой структурой, которая обладает сильной адсорбционной способностью к холестерину (ACX) (Wang et al., 2022e). Zhao и др. скорректировали содержание жира в матрице ферментации кокосового молока (КМ). Исследование показало, что использование смеси обезжиренного и жирного КМ в соотношении 3 : 2 или 2 : 3 для ферментации может дать более приятный на вкус продукт. КМ, ферментированный с использованием *L. plantarum* MWLp-4 и коммерческих штаммов, превосходил КМ, ферментированный с использованием только коммерческих штаммов с точки зрения текстуры и усвояемости, о чем свидетельствует сниженное выделение сыворотки, повышенное содержание экзополисахаридов и ферментативно усиленный гидролиз белка (Zhao et al., 2023b). Аналогичным образом Lan et al. (2023) использовали соотношение 1 : 2 *L. plantarum* CICC 20265 к *Levilactobacillus brevis* CICC 20269 для ферментации сока киви в течение 36 ч при 37 °C и получили ферментированный продукт с улучшенными вкусовыми свойствами.

Таблица 1. Характеристика биологически активных веществ в бактериально ферментированных фруктах и овощах
Table 1. Characteristics of biologically active substances in bacterially fermented fruits and vegetables

Род бактерий	Характеристика	Наименование сырья для ферментации и штаммы бактерий	Эффективность процесса ферментации	Источник
<i>Lactobacillus</i> spp.	Вырабатывает молочную кислоту. Подкисляет и благоприятно влияет на вкус продукта. Эффективный рост в анаэробных условиях	Яблочный сок. <i>Limosilactobacillus reuteria</i>	Изменения количественного и качественного содержания летучих веществ и органических кислот в ферментированных яблочных соках, приводящие к улучшению вкуса и аромата, а также увеличению антиоксидантной активности	<i>Ji et al., 2023</i>
		Манго. <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> NCU116, <i>Lactobacillus acidophilus</i> NCU402 и <i>Lactobacillus casei</i> NCU215	Ферментация <i>LAB</i> оказала значительное влияние на уровень свободных аминокислот, нитритов и летучих соединений в соке манго	<i>Liu et al., 2023a</i>
		Сок облепихи. <i>Lactobacillus acidophilus</i> La-26, <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>Bulgaricus</i> Lb-57, <i>Lactobacillus casei</i> Lc-630, <i>Lactobacillus plantarum</i> Lp-56	Снижение содержания сахара ↓, содержания титруемой кислоты ↑, количество жизнеспособных бактерий превысило 7 Log КОЕ/мл, а значения реакции на кислый вкус значительно увеличились ↑, в то время как горечь и терпкость значительно уменьшились ↓	<i>Liu et al., 2022</i>
		Яблочный сок и сок серебристого миндаля <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Количество лактобацилл, содержание тритерпеноидов, общее содержание фенолов и способность ABTS поглощать свободные радикалы ↑ (сок серебристого миндаля); летучие соединения вкуса, антиоксидантная активность и органолептические качества улучшились (яблочный сок)	<i>Saud et al., 2024</i>
<i>Lactocaseibacillus</i> spp.	Демонстрирует сильную кислотоустойчивость во время ферментации и может обладать противовоспалительными свойствами и иммуномодулирующим потенциалом	Сок манго. <i>Lactobacillus paracasei</i> OR1 (МК252696), PP1 (МК253713) и <i>Lactobacillus rhamnosus</i> MA3 (МК253673) и PP3 (МК253673)	Уровень восстанавливающих сахаров и полифенолов, а также антиоксидантная активность в мякоти манго ↑	<i>Laophongphit et al., 2023</i>
		Чеснок. <i>Lactobacillus casei</i> ATCC334	Антиоксидантная и антимикробная активность ферментированного чеснока ↑. Маринованная в чесноке баранина значительно улучшила влагоудерживающую способность, текстуру, сочность и общую усвояемость	<i>Hajar-Azhari et al., 2023</i>
		<i>Lactobacillus casei</i> SJRP38; молоко, маракуйя и бурити	Общее содержание фенолов и антиоксидантная активность ↑	<i>Borgonovi et al., 2021</i>
<i>Lactiplantibacillus</i> spp.	Ранее известный как <i>Lactobacillus plantarum</i> , он отличается быстрым ростом и способностью к ферментации, хорошей	<i>Lactobacillus plantarum</i> ; имбирь	Уровни летучих соединений, таких как зингиберен, α-куркумен, β-сесквифелландрен ↑, и изменение численности бактерий, улучшение его летучих вкусовых соединений	<i>Chen et al., 2023</i>
		<i>Lactobacillus plantarum</i> ; яблоко, груша, гранат и морковь	Улучшилась антиоксидантная активность, вкусовые и органолептические качества	<i>Saud et al., 2024</i>

	устойчивостью к кислотам, улучшает вкус и текстуру пищевых продуктов, а также стимулирует пищеварение	<i>Lactobacillus plantarum</i> D, <i>Lactobacillus plantarum</i> F; сок годжи	Общая кислотность, значительное снижение общего содержания сахара и pH ↑, содержание фенолов и флавоноидов ↑, что привело к повышению антиоксидантной активности ↑. Накопление индол-3-молочной кислоты	<i>Xie et al., 2023</i>
		<i>Lactobacillus plantarum</i> LpAv, <i>Lactobacillus plantarum</i> 73a; смузи из черники и арбуза	pH значительно ↓, в то время как общее содержание фенолов, антоцианов и показатели антиоксидантной активности (ABTS, DPPH) существенно не изменились. Кроме того, была отмечена продукция ГАМК штаммами с подтвержденной активностью гидролазы желчных солей	<i>Méndez-Galarraga et al., 2023</i>
<i>Pediococcus</i> spp.	Вырабатывает особые вкусовые вещества и способен вырабатывать антимикробные вещества, которые помогают подавлять рост нежелательных микроорганизмов	<i>Pediococcus ethanolidurans</i> M1117; перец	Содержание солености, нитритов и условно-патогенных микроорганизмов ↓ в ферментированном перце чили, а также его способность созревать быстрее, сохранять хрустящую текстуру и обеспечивать хорошую защиту цвета. Содержание капсаициноидов ↓, органических кислот, сладких аминокислот и летучих соединений, особенно сложных эфиров и терпенов ↑	<i>Li et al., 2023e</i>
		<i>Pediococcus pentosaceus</i> CCTCC AB2019253, <i>Pediococcus pentosaceus</i> CICC 21862; Брокколи (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Italica</i>)	Общее содержание глюकोзинолатов и сульфорафанила значительно ↓, содержание сульфорафана значительно ↑, активность мирозиназы значительно ↓, а содержание органических кислот, витаминов и β-каротина варьировалось	<i>Xu et al., 2021b</i>
		<i>Pediococcus pentosaceus</i> CCTCC AB2019253, <i>Pediococcus pentosaceus</i> CICC 21862; Брокколи. <i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>	Концентрация одорантов, включая гексаналь, значительно изменилась, включая (E)-2-гексеналь и (Z)-3-гексен-1-ол. Относительная экспрессия пяти нелетучих метаболитов значительно изменилась. Сенсорная приемлемость и вкусовые характеристики ↑	<i>Xu et al., 2021a</i>
<i>Staphylococcus</i> spp.	Обеспечивает эффективное преобразование сахара в спирт и углекислый газ, улучшает здоровье кишечника хозяина	<i>Staphylococcus lactis</i> ATCC 11454, <i>Pediococcus pentosaceus</i> ATCC 10791; черничный сок	Антиоксидантная способность ↑, биодоступность и биоприемлемость фенолов ↑, содержание специфических фенолов (например, катехинов, кофейной кислоты, феруловой кислоты, популина, кумаровой кислоты и эруковой кислоты) ↑	<i>Gao et al., 2022</i>
		<i>Staphylococcus succinus</i> CICC 24360; перец чили	Образование аминокислот ↑, уровней органических кислот ↑, способствовало образованию уникальных вкусовых соединений, а также вкусу и качеству маринованного перца ↑	<i>Li et al., 2023e</i>

Примечание. ГАМК – гамма-аминомасляная кислота; МКБ – молочнокислые бактерии; ↑ – увеличение; ↓ – снижение.

Кроме того, оптимизация предварительной обработки сырья может быть более благоприятной для микробной ферментации, тем самым улучшая качество и пищевую ценность ферментированных продуктов. Wang et al. (2021b) использовали ультрафиолетовое излучение (УЗ-УФ) для предварительной обработки манго, а затем инокулировали молочнокислые бактерии (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* S1, *Streptococcus thermophilus* 6063 и *L. plantarum* Lp-115) с манго для ферментации и приготовления сока. Результаты показали, что предварительная обработка УЗ-УФ может значительно улучшить качество продуктов ферментации сока манго, а также эффективно влияет на стабильность при хранении и срок годности ферментированного сока в условиях охлаждения по сравнению со свежим соком и традиционной тепловой обработкой. Кроме того, добавление ингредиентов в матрицу ферментации, таких как необходимый микроэлемент селен, увеличивает потребление питательных веществ организмом, антиоксидантную активность и повышает иммунитет. Ферментированные фруктовые соки (ФФС) с добавлением селенита натрия (Na_2SeO_3), особенно виноградный сок, ферментированный с *Fructobacillus tropaeoli* CRL 2034 (штамм LAB), накапливали наибольшее количество селена и производили органические кислоты, такие как молочная кислота, маннит и уксусная кислота (Gaglio et al., 2021). Akter et al. (2022) ферментировали гранатовый сок с использованием ацилгидролазы танина и *Lactobacillus vespulae* DCY75, что значительно увеличило содержание эллаговой кислоты, общих флавоноидов (ОФВ) и фенолов. Ферментированный сок обладал более выраженными антиоксидантными свойствами и экспрессией рецепторов эстрогена. Добавление других продуктов питания или экстрагированных биоактивных веществ в матрицу ферментации также является перспективным для разработки функциональных продуктов питания. Lv et al. (2023) смешивали ферментированный сок черной шелковицы с молоком для приготовления ароматизированного напитка. Органолептическая оценка показала, что 25 % содержания молока в ферментированном соке была оптимальной, а антиоксидантная активность значительно увеличилась ($p < 0,01$), но биоактивные вещества и антиоксидантные свойства снижались в процессе хранения. Добавление молока увеличивало фенольную стабильность и генерировало новые терпеноиды и альдегиды, такие как 1-гептен, 6-метил и мезитилен. Однако в исследовании не проводился глубокий анализ белок-фенольных взаимодействий (Lv et al., 2023). Вместе с тем da Silva et al. (2023b) добавили пребиотические фруктоолигосахариды (включая 28 % трисахаридов 1-сахарозы и 27 % трисахаридов сахарозы) к соку, ферментированному *Lactocaseibacillus casei* В-442. Образцы из ферментированных соков самопроизвольного брожения, хранившихся в холодильнике в течение 0 дней, содержали более высокие уровни масляной кислоты, а через 30 дней в образцах были установлены и более высокие уровни пропионовой, изомасляной и уксусной кислот, а также снижение относительного количества *Firmicutes* и увеличение количества *Proteobacteria* и *Actinobacteria*. Это означает, что функциональные соки могут оказывать благотворное влияние и улучшать микробиоту кишечника.

Необходимо отметить, что при добавлении любого питательного вещества необходимо соблюдать правила безопасности для пищевых продуктов, чтобы гарантировать безопасность, эффективность и пользу для целевой группы населения. Кроме того, добавление питательных веществ не должно влиять на общий вкус и качество продукта, также необходимо учитывать pH продукта, совместимость ферментирующих микроорганизмов и стабильность питательных веществ в процессе производства и хранения. При этом ферментация используемого в лекарственных целях растительного сырья является еще одним способом производства функциональных продуктов питания. Плоды облепихи богаты питательными веществами и имеют высокую лекарственную ценность, так как эффективны для укрепления иммунитета, что может использоваться в процессе лечения заболеваний (Burak, 2021). В ходе исследования использовались смешанные штаммы для ферментации облепихи с целью получения облепихового сока с антиоксидантными свойствами и менее кислым вкусом. Смешанные штаммы состояли из 30 % *Zymomonas mobilis*, 5 % *L. casei*, 13,75 % *L. plantarum*, 31,25 % *Pediococcus acidilactici*, 12,5 % *Ligilactobacillus animalis* и 7,5 % *Pediococcus pentosaceus*. Оптимальный процесс ферментации составлял 20 ч (37 °C), объем инокулята $4,08 \times 10^6$ КОЕ/мл и добавление сахара 2,98 %. Биоферментативная активность и содержание ОФК ферментированном соке были выше по сравнению с неферментированным соком облепихи (Liu et al., 2023b).

1.2. Грибы в ферментированных фруктах и овощах

В процессе переработки пищевых продуктов грибы могут расщеплять такие компоненты, как целлюлоза, в процессе переработки пищевых продуктов. Исследования по ферментации овощей и фруктов грибами кратко представлены в табл. 2.

Таблица 2. Характеристика грибов и изменения в процессе ферментации
Table 2. Characteristics of fungi and changes during fermentation

Род	Характеристика	Виды грибов и матрица для ферментации	Установленные изменения и эффективность процесса ферментации	Источник
<i>Aspergillus</i> spp.	Способен вырабатывать различные ферменты, такие как протеаза, амилаза и целлюлаза, которые помогают расщеплять белки и углеводы. Обладает высокой устойчивостью к воздействию тепла и соли	<i>Aspergillus oryzae</i> KCCM 60241; соя, молотый красный перец	Активность амилазы и протеазы в соевой пасте и пасте из красного перца ↑, уровень азота аминотипа и антиоксидантная активность в соевых продуктах ↑	<i>Kim et al., 2022a</i>
		<i>Aspergillus oryzae</i> ; мука из семян финиковой пальмы	Содержание белка и сырого жира ↑. Содержание золы, клетчатки и антипитательных веществ ↓. Активность липазы, амилазы и протеазы в пищеварительном тракте значительно ↑. Количество гемоглобина, эритроцитов и лейкоцитов в крови значительно ↑	<i>Dawood et al., 2020</i>
		<i>Aspergillus niger</i> , <i>Trichoderma viride</i> ; апельсиновая корка	Активность комплексной целлюлазы значительно ↑. Растворимые пищевые волокна ↑. Адсорбция глюкозы и холестерина ↑. Ингибирующая активность α-амилазы ↑	<i>Yang et al., 2024</i>
<i>Saccharomyces</i> spp.	В основном используется в спиртовом брожении для превращения сахаров в спирт и углекислый газ. Характеризуется быстрым размножением и высокой толерантностью, способен выживать в средах с высоким содержанием сахара	<i>Saccharomyces boulardii</i> , <i>Saccharomyces bayanus</i> ; мякоть маракуйи и сметанного яблока	Содержание биоактивных соединений, таких как полифенолы, витамин С и каротиноиды, значительно изменилось. Мякоть кислых фруктов проявила значительную противовоспалительную активность и эффективно подавляла тепловой гемолиз	<i>Martinez-Mendoza et al., 2023</i>
		<i>Saccharomyces bayanus</i> Lalvin EC1118; киви, гранат и хурма	Вина из граната и киви оказались более полезными с точки зрения содержания полифенолов и противовоспалительного потенциала	<i>Paško et al., 2024</i>
		<i>Saccharomyces cerevisiae</i> J2861, <i>Kluyveromyces marxianus</i> J2853, <i>Bacillus rhamnosus</i> LG0262, <i>Pediococcus lactis</i> LG0259, и некоторые другие LAB. Экстракт киви	Антиоксидантная активность ↑, содержание полисахаридов, ГАМК и органических кислот ↑, а также типы и концентрации летучих соединений ↑	<i>Cai et al., 2022</i>
<i>Pichia</i> spp.	Применение не столь широко распространено, но их также можно использовать в спиртовом брожении и производстве некоторых органических кислот	<i>Pichia kudriavzevii</i> HDX1, HDY1 and HDA2; манго	pH ↓. Уровни сахарозы, фруктозы и глюкозы значительно ↓. Общее содержание органических кислот ↑. Общее содержание полифенолов и антиоксидантная активность значительно ↑	<i>Bao et al., 2021</i>
		<i>Pichia fermentans</i> , <i>Pichia manshurica</i> ; перец чили	pH ↓. Уровень нитритов был ниже, чем в группе с естественной ферментацией. Образцы, ферментированные тремя штаммами, различались по количеству летучих соединений и характерным соединениям ароматических компонентов	<i>Xiao et al., 2023</i>

		<i>Pichia kudriavzevii</i> Z03M; драконий фрукт	рН ↓. Было идентифицировано тридцать девять летучих соединений. Ферментированные вина обладали выраженными фруктовыми, сладкими и медовыми нотками. В группе с инокулированной ферментацией было обнаружено больше типов и количества метаболитов, чем в группе с естественной ферментацией. Максимальное количество жизнеспособных клеток было достигнуто через 4,5 дня	Wang et al., 2024
<i>Rhizopus</i> spp.	Вырабатывает протеазы и амилазы для расщепления белков и полисахаридов. Обладает хорошей устойчивостью к солям и кислотам. Производит некоторые особые ароматические соединения, такие как сложные эфиры и кетоны	<i>Rhizopus oryzae</i> , <i>Aspergillus ibericus</i> ; апельсиновые и банановые корки	Содержание общего белка и липидов значительно ↑. Содержание углеводов и растворимых сахаров значительно ↓. Антиоксидантная активность ↑. Богат клетчаткой и минералами	Araújo et al., 2024
<i>Wickerhamomyces</i> spp.	Хорошая устойчивость к высокой температуре и спирту	<i>Wickerhamomyces anomalus</i> , <i>Candida tropicalis</i> , и <i>Pichia guilliermondii</i> ; <i>Rosa roxburghii</i> Tratt (Поза)	Характеристики летучих ароматов были смодулированы, а ароматические вкусы обогащены и улучшены	Li et al., 2023c
		<i>Wickerhamomyces subpelliculosus</i> DFNb6, <i>Saccharomyces cerevisiae</i> DDNd10, <i>Pichia kudriavzevii</i> DCNa1; кизил	Термоустойчив. dFNb6 обладал самой высокой скоростью самоагрегации. dCNa1 и DFNb6 демонстрировали более высокую плотность клеток биопленки. dFNb6 обладал самой высокой антиоксидантной активностью. Чувствительность к антибиотикам. Изменился состав летучих органических соединений, особенно спиртов и сложных эфиров ↑	Di Cagno et al., 2020

Примечание. ГАМК – гамма-аминомасляная кислота; МКБ – молочнокислые бактерии.

Основные исследования по ферментации с использованием дрожжей в основном посвящены производству вина и напитков. Текущие исследования больше фокусируются на ферментации дрожжей для приготовления вин и напитков, в основном на *Saccharomyces* spp., *Rhizopus* spp., *Aspergillus* spp. и *Pichia* spp. Свойства дрожжей, не относящиеся к *Saccharomyces*, такие как *Torulaspora* spp., представляют интерес для улучшения вкуса и аромата при ферментации вина, пива или хлебного теста. Красная питахайя (драконий фрукт) редко используется в качестве напитка из-за высокого содержания пектина. Jiang et al. (2020) ферментировали вино из красной питахайи путем предварительной обработки пектиназой с последующей инокуляцией *Torulaspora delbrueckii* Biodiva. Ферментированное вино показало увеличение выхода на 16 %, улучшение вкусовых и ароматических профилей (более высокое содержание эфиров и терпенов, более низкое содержание высших спиртов) и увеличение общего содержания фенолов. Однако применение пектиназы также увеличило выработку уксусной кислоты и ухудшило способность дрожжей метаболизировать азотистые соединения. Необходимо учитывать баланс между эффективностью ферментации и вкусовым профилем конечного продукта. T. delbrueckii также значительно увеличил содержание флаванолов нарингетина, гесперидина и каротиноидов при спиртовом брожении цитрусовых (ЦФ) (Multari et al., 2021). Qin et al. (2021) установили, что вина, сброженные не-*Saccharomyces* дрожжами с активностью β -глюкозидазы, такими как *Pichia kudriavzevii* F2-24 и *P. kudriavzevii* F2-16, имели более высокие органолептические оценки, чем вина, сброженные дрожжами *Saccharomyces*. Более того, Bi et al. (2024) раскрыли потенциал не-*Saccharomyces* дрожжей в производстве слабоалкогольных ферментированных напитков (СФН) с различными исследовательскими целями. В исследовании использовались 16 штаммов не-*Saccharomyces* дрожжей из 9 видов без добавления сахара для СФН. Большинство СФН содержали больше витамина С и полифенолов по сравнению с не-ферментированными соками. Некоторые штаммы показали превосходную способность к образованию приятного аромата, причем *Wickerhamomyces anomalus* имел повышенную способность к производству витамина В₃ и мономерных фенолов. Что касается *Saccharomyces* spp., он обычно отличается высокой толерантностью к алкоголю и быстрой скоростью брожения и в процессе метаболизма производит в основном этанол и углекислый газ, а также некоторые вторичные метаболиты, такие как глицерин и летучие соединения (Burak, 2025b). Patil et al. (2021) получили вино из сахарного тростника и папайи, ферментированное *Saccharomyces cerevisiae* EC1118, где оптимальное соотношение сока сахарного тростника и папайи составляло 60 : 40. Увеличение количества летучих соединений в ферментированном вине, таких как 1-пентанол, этандойковая кислота и бис(1-метилпропиловый) эфир, оказало положительное влияние на вкус. Ферментированное вино содержало множество минералов и фенольных соединений. Аналогичным образом, яблочный сок, инокулированный 0,2 г/л *S. cerevisiae* WET 136, подавлял рост бактерий, особенно *Leuconostoc pseudomesenteroides*, *Acetobacter malorum*, *Gluconobacter oxydans*, *Gluconobacter cerinus* и *Komagataeibacter saccharivorans*, по сравнению с неинокулированным соком, что привело к снижению содержания винной кислоты, уксусной кислоты, молочной кислоты, этилацетата и этилдеcanoата (Han et al., 2023).

Исследователи уделяют большое внимание разработке и использованию фруктовых выжимок. Благодаря ферментации грибами побочные продукты переработки растительного сырья, такие как фруктовые выжимки, могут быть преобразованы в ценные продукты, включая молочную кислоту и богатые белком корма. Для сырья из выжимок обычно выбирают такие виды предварительных обработок, как тепловая обработка, ферментативное расщепление и кислотное расщепление (Burak et al., 2024). Ajala et al. (2021) использовали гидролизат кожуры ямса, полученный в результате кислотного гидролиза с H₂SO₄ и имеющий высокое содержание редуцирующих сахаров (глюкозу, ксилозу, рибозу и другие). Для ферментации гидролизата использовали *Rhizopus oryzae*, что способствовало высокой чистоте и выходу молочной кислоты из-за улучшенного массопереноса и пониженной вязкости. Необходимо отметить, что при использовании пищевых отходов для производства молочной кислоты гриб *R. oryzae* устойчив к высокой концентрации молочной кислоты лучше, чем обычно употребляемые бактериальные продуценты, также берутся среды с гораздо более низкими концентрациями питательных веществ, чем те, которые требуются бактериям (Ajala et al., 2021). Ibarruri et al. (2021) использовали *Rhizopus* spp. для твердой и жидкой ферментации фруктовых и овощных отходов, что значительно увеличило содержание белка и долю незаменимых аминокислот. Причем доля мононенасыщенных жирных кислот увеличилась, тогда как доля полиненасыщенных жирных кислот снизилась после ферментации. Более того, в ферментированных выжимках была увеличена концентрация фенольных соединений и антиоксидантная активность. Результаты исследования подтвердили, что сочетание твердой и жидкой ферментации является эффективным способом преобразования фруктовых и овощных отходов в альтернативный кормовой ингредиент с высоким содержанием белка, сбалансированным жирно-кислотным и аминокислотным составом (Ibarruri et al., 2021). Использование твердых частиц отходов непосредственно для ферментации исключает этап предварительной обработки и упрощает промышленную переработку. Апельсиновые и виноградные отходы измельчали и инокулировали *Aspergillus niger* CBMAI 2084 для твердофазной ферментации без добавления воды. Ферментированные отходы имели более высокое содержание золы (≤ 49 %), сырого протеина (около 40 %) и растворимой и нерастворимой клетчатки (≤ 51 %), чем неферментированные отходы, что могло способствовать росту

и выработке ферментов грибами в субстрате. Среди них ферментированные апельсиновые отходы имели высокую активность фитазы и липазы, а ферментированные виноградные отходы имели высокую активность протеазы, что может быть использовано в качестве источника выработки ферментов (Camargo et al., 2022). Более того, Alkalbani et al. (2024) использовали *Pichia cecembensis* и *P. kudriavzevii* для приготовления ферментированных отходов финикового сиропа (ФФС). Результаты показали, что ФФС обладал значительным ингибирующим действием на α -амилазу и противоопухолевым потенциалом, о чем свидетельствует значительная цитотоксичность в отношении линий раковых клеток Caco2 и MCF-7.

Проводимые исследования показывают, что процесс ферментации может снизить нагрузку на окружающую среду, уменьшить количество захоронений и сжигания фруктовых выжимок. Однако при работе с большими количествами выжимок нельзя не учитывать потребление энергии и утилизацию отходов в процессе ферментации, также выжимки могут содержать антипитательные факторы, такие как танины, количество которых необходимо снизить в процессе ферментации.

1.3. Изменение микробного разнообразия в ферментированных продуктах

Присутствие микроорганизмов в ферментированных продуктах может дать двоякий результат. Токсины, продуцируемые некоторыми грибами, такими как афлатоксин, охратоксин и патулин, могут загрязнять фрукты и овощи, а их длительное употребление – увеличить риск заболеваний (Küçük et al., 2023; Meira et al., 2024; Turna et al., 2023). Также широко изучалась эффективность микроорганизмов, способных к детоксикации микотоксинов (Cheng et al., 2023; Peng et al., 2023). Хотя для ферментированных овощей максимальное содержание биогенных аминов (БА) неограниченно, для максимальной эффективности процесса и для мониторинга и оптимизации условий микробной ферментации были проведены исследования количественной оценки содержания биогенных аминов в ферментированных овощах (Jastrzebska et al., 2023; Rózsanska et al., 2022; Zhao et al., 2021c). Кроме того, несоблюдение санитарных правил и норм в процессе ферментации может способствовать росту во фруктах и овощах вредных бактерий, таких как *Salmonella* spp., что может представлять угрозу для здоровья человека (Lee et al., 2021). Поэтому проводились исследования по изучению микробных систем ферментации, которые подавляют токсичные бактерии (Balyan et al., 2024; Van Beeck et al., 2020). Следует отметить, что хотя большинство бактерий безвредны (например, *Bacillus* spp.), существуют некоторые виды, которые могут быть патогенными для человека и животных, например, *Bacillus cereus*, который может вызывать пищевое отравление (Shiota et al., 2010). Поэтому перед использованием этих микроорганизмов в целях пищевой ферментации необходимо убедиться в безопасности используемых штаммов и надлежащей оценке риска. В целом, микроорганизмы играют важную роль в процессе ферментации, и рациональное использование технологии микробной ферментации может обеспечить человека питательной и здоровой пищей. Однако необходимо контролировать процесс ферментации, чтобы избежать образования вредных веществ.

Микробные сообщества напрямую влияют на вкусовой профиль ферментированных фруктов и овощей. Анализируя микробный состав, можно выявить механизм специфических вкусовых соединений, чтобы оптимизировать условия ферментации для получения желаемого вкуса. Поддержание разнообразия и стабильности микробных сообществ является центральной задачей в производстве ферментированных фруктов и овощей, на которое влияют факторы окружающей среды и выбор сырья (Burak, 2025b). Выявление микроорганизмов, которые играют доминирующую роль в процессе ферментации, таких как молочнокислые бактерии и дрожжи, и изучение их метаболических путей находятся в центре исследований. Метаболическую активность *L. plantarum* рода молочнокислых бактерий можно в целом разделить на три метаболических пути, которые влияют на вкус фруктовых продуктов: метаболизм сахара, метаболизм белка и метаболизм липидов. *L. plantarum*, потребляя восстанавливающие сахара во фруктах, производит компоненты вкуса, такие как летучие вещества и органические кислоты; таким образом, эти сахара участвуют в метаболизме сахара *L. plantarum* (Burak, 2025a).

Ферментация фруктовых продуктов с помощью МКБ не только приводит к более насыщенным ароматам, но и маскирует или уменьшает некоторые посторонние привкусы. *L. plantarum* NCU116 усиливал аромат сока манго, увеличивая содержание спирта, который является основным ароматическим соединением в соке манго (Burak, 2025a; Liu et al., 2023a). Это означает, что контроль микробных сообществ в системе ферментации является ключом к качеству вкуса ферментированных фруктов и овощей. Самое главное, необходимо изучить взаимосвязь между составом микробного сообщества и сенсорными свойствами, пищевой ценностью и сроком годности ферментированных фруктов и овощей. Для анализа корреляции и причинно-следственной связи между микробными сообществами и характеристиками продукта использовали статистические и биоинформатические методы. Wang et al. (2022a) установили, что бактерии (включая *Lactiplantibacillus*, *Halanaerobium* и *Halomonas*) оказывают большее влияние на вкус ферментированных продуктов, чем грибы (например, *Debaryomyces hansenii*). Среди них, *Halanaerobium* и *Halomonas* были положительно коррелированы с образованием ключевых вкусовых соединений, таких как масляная кислота, гексановая кислота и 4-этилфенол в паокаи, тогда как *Enterobacteriaceae* отрицательно коррелировали с этими вкусовыми соединениями. Salas-Millan et al. (2022) обнаружили, что содержание *Lactobacillus* в ферментированном стебле брокколи оставалось стабильным после 6 дней хранения в холодильнике при

4 °C, что указывает на хороший срок годности ферментированного продукта. Присутствие молочнокислых бактерий, в частности *Latilactobacillus sakei*, оказало положительное влияние на иммуномодулирующие и метаболические преимущества продукта, что может положительно сказаться на продлении срока годности. Наконец, крайне важно исследовать, как микробные сообщества можно модулировать, регулируя условия обработки или используя другие средства (Salas-Millan *et al.*, 2022). При проведении анализов для более глубокого понимания состава и функций микробных сообществ можно использовать современные методы молекулярной биологии, такие как секвенирование гена 16S рРНК, макрогеномика и макротранскриптомика.

Таким образом, изучение формирования и механизмов регуляции микробных сообществ имеет ключевое значение для повышения качества и безопасности продукции. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на применении микробного разнообразия и современных биотехнологий в микробной регуляции для содействия развитию индустрии ферментированных фруктов и овощей.

2. Изменение биологически активных соединений в процессе ферментации

Биоактивные соединения, такие как фенолы и полифенольные соединения, витамины, минеральные вещества в процессе ферментации фруктов и овощей подвержены значительным изменениям. Эти изменения обусловлены главным образом микробной метаболической активностью, действием эндогенных или экзогенных ферментов во фруктах и овощах, условиями ферментации (например, твердофазная ферментация, предварительная обработка сырья, образование кислоты для снижения pH системы) и взаимодействием между микроорганизмами (Burak, 2025a).

2.1. Гидролиз фенолов

Фенольные соединения во фруктах и овощах можно разделить на растворимые (извлекаемые или свободные), связанные формы (связанные с компонентами клеточной стенки растений) и нерастворимые связанные формы (прикрепленные к структурным компонентам клеточной стенки). Полифенолы в основном включают соединения фенольных кислот и флавоноиды, из которых флавоноиды представляют собой большую группу соединений в растительном мире, включая флавоноиды, флавонолы, изофлавоноиды и антоцианы (Burak, 2025b; Kūçükgöz *et al.*, 2023). Увеличение содержания полифенолов положительно влияет на антиоксидантную активность, цвет и вкус ферментированных фруктов и овощей. Ферменты (эндогенные или экзогенные), такие как полифенолоксидаза (ПФО), танназа, декарбоксилаза фенольной кислоты и гликозидаза, во время ферментации высвобождают связанные фенольные соединения. Li *et al.* (2020) установили, что оптимальными фенольными субстратами ПФО в корне лотоса, ферментированном *L. plantarum* LH-B02, были хлорогеновая кислота, галловая кислота и катехин. LH-B02 активно рос во время ферментации и смог преобразовать 84,17 % катехина, 90,75 % хлорогеновой кислоты и 91,07 % галловой кислоты в течение 30 ч, что еще больше замедлило окислительное потемнение. В смузи из черники и арбуза, ферментированных с использованием *L. plantarum* LpAv и 73a, общее содержание фенолов и антоцианов составило 0,68–0,73 мг/г и 0,16–0,17 мг/г соответственно, что обусловлено высокой активностью *L. plantarum* LpAv и 73a, обладающих высокой активностью ферментов, например, β-галактозидазы и β-глюкозидазы (Méndez-Galarraga *et al.*, 2023). Аналогичным образом, ферментация с использованием *L. fermentum* 252 значительно ($p < 0,05$) оказала влияние на увеличение общего содержания жирных кислот (ОЖК) в цитрусовом соке и способствовала образованию фенилмолочной кислоты. *L. fermentum* 252 способствовал значительному увеличению содержания флавоноидов и флавонолов, таких как нарингенин-7-глюкозид, гесперидин и номилин, посредством гидролиза (Xu *et al.*, 2023). Чтобы подавить потемнение кожуры провели опрыскивание плодов личи штаммом *P. pentosaceus* SSC12 в виде мелкодисперсного тумана, что привело к снижению активности ПФО, пероксидазы в образцах. Кроме того, штамм SSC12 повышал активность фенилаланиндезаминазы и активность генов, связанных с биосинтезом антоциана и транспортерами, одновременно снижая активность генов, связанных с деградацией антоциана, что улучшало стабильность антоциана (Shen *et al.*, 2024). Помимо ферментативных реакций, микробный метаболизм также может преобразовывать некоторые нерастворимые фенолы в более растворимые формы посредством метилирования, карбоксилирования, сульфатирования, гидроксирования и окисления, например, превращая фенолы в их гликозидные формы (Gulsunoglu-Konuskan *et al.*, 2022). Инокуляция сока яблок сорта Фуджи 1 % *Limosilactobacillus reuteri* CTCF-L3 значительно увеличила содержание галловой кислоты и протокатеховой кислоты, что было связано с преобразованием ризофорина и эпикатехина *L. reuteri*. Между тем, содержание кофейной кислоты, которая обладает антимикробной активностью и повышает стабильность сока, было значительно повышено после 12 ч ферментации (Ji *et al.*, 2023). В присутствии гликозидазы кверцетин-3-О-глюкозид может гидролизиться до кверцетина и глюкозы. Соки капусты кале (кудрявая капуста), ферментированные с *L. reuteri* EFEL6901 или *L. fermentum* EFEL6800, показали значительное увеличение содержания кверцетина и кемпферола и высокий уровень антиоксидантной и противовоспалительной активности (Kim *et al.*, 2023). Изменения в среде ферментации, такие как образование органических кислот, которые снижают pH системы, или температура ферментации, также могут влиять на изменения фенольных соединений. De Oliveira *et al.* (2020) ферментировали плоды ацеролы и гуавы в смешанном ферментере с *Lactobacillus* spp. Результаты показали, что снижение содержания

растворимых сухих веществ и pH сопровождалось увеличением TFC и общего количества фенолов, а также увеличением антиоксидантной активности. В мякоти мангабы, ферментированной с *L. casei* 01, установлен более низкий pH и более высокие концентрации биодоступных фенолов во время хранения, чем в неферментированной мякоти (*de Assis et al.*, 2024). Кроме того, полифенольные компоненты фруктов и овощей, такие как гидроксикоричная кислота, дигидрохалкон, флавонолы и антоцианы, оказывают важное влияние на вкус и пищевую ценность. В частности, гидроксикоричная кислота в форме эфира является распространенным фенолом в этих продуктах питания (*da Silva et al.*, 2023a).

Содержание флавоноидов оказывает значительное влияние на вкус продукта (*Chiorcea-Paquim*, 2023). Пробиотическая ферментация увеличивает содержание растворимых фенолов и флавоноидов. Ферментация с помощью *L. fermentum* 252 значительно ($p < 0,05$) увеличила содержание TFC в цитрусовом соке и способствовала образованию фенилмолочной кислоты. *L. fermentum* 252 способствовала значительному увеличению флавоноидов и флавонолов, таких как нарингенин-7-глюкозид, гесперидин и номилин, посредством гидролиза (*Xu et al.*, 2023). Инокуляция яблочного сока сорта Фуджи 1 % *L. reuteri* CTCF-L3 значительно увеличила содержание галловой и протокатеховой кислот, что объясняется преобразованием ризофорина и эпикатехина *L. reuteri*. При этом содержание кофейной кислоты, обладающей антимикробной активностью и повышающей стабильность сока, значительно возросло после 12 ч ферментации (*Ji et al.*, 2023). Микробная ферментация способствует увеличению концентрации фенольных соединений, тем самым усиливая их антиоксидантную активность. В яблочных выжимках, ферментированных грибами (*Actinomucor elegans* ATCC-22963 и *Umbelopsis isabellina* ATCC-36671), значительно увеличивалось в начале ферментации количество многих веществ, включая хлорогеновую кислоту, гиперозид, изокверцитрин, рутин, кверцитрин и флоридзин, вероятно, из-за способности целлюлазы, лигниназы и пектиназы гидролизовать эфирные или сложнэфирные связи между компонентами растительной клеточной стенки и фенолами, высвобождая таким образом большие количества свободных фенольных соединений (*Dulf et al.*, 2023). Однако жидкостная ферментация обычно имеет более быструю кинетику ферментации в среде, которая благоприятствует переносу питательных веществ и метаболитов. Это может привести к быстрому преобразованию фенольных соединений. *Ramires et al.* (2024) использовали *S. cerevisiae* для ферментации целых плодов и мякоти плодов земляничного дерева. Липазная и эстеразная активность обоих образцов значительно возросла в процессе ферментации, тогда как активность ксиланазы снизилась. Кроме того, увеличилось общее содержание фенолов, содержание ТФК и общее содержание антоцианов. Эффективность экстракции полифенолов также значительно повысилась, особенно для таких соединений, как галловая кислота, эллаговая кислота и гликозиды кверцетина.

Микробная ферментация не только высвобождает и преобразует существующие фенольные соединения, но и потенциально способна производить новые фенольные соединения посредством вторичных метаболических путей микроорганизмов (*Burak*, 2022). В заключение следует отметить, что микробная ферментация является эффективным методом увеличения содержания фенольных соединений из фруктов, овощей и отходов и может быть источником новых природных антиоксидантов и других ресурсов для пищевой промышленности.

2.2. Биогенные амины, витамины и минеральные вещества

Биогенные амины (БА) – это азотистые соединения, продуцируемые микроорганизмами и катализируемые декарбоксилазами аминокислот. БА полезны в умеренных количествах, а в избыточных могут нанести вред. Ферментированные продукты с высоким содержанием биогенных аминов могут вызывать аллергические реакции, такие как респираторный дистресс, рвота и лихорадка (*Zhang et al.*, 2021). *Świder et al.* (2020) обнаружили, что среди ферментированных овощей брюссельская капуста и брокколи имеют самый высокий риск для здоровья (индекс биогенных аминов более 400 мг/кг). Среди них концентрации путресцина и тирамина были особенно высоки в ферментированной брюссельской капусте, а брокколи также демонстрировали высокий уровень кадаверина. Это может быть связано с высоким содержанием в них свободных аминокислот, которые обеспечивают потенциал для образования большого количества БА. Уровень свободных аминокислот в ферментированном чесноке достигал $3\,917,42 \pm 1\,528,73$ мг/кг, что подразумевает риск образования чрезмерного количества БА.

Контроль уровня биогенных аминов в ферментированных фруктах и овощах важен для безопасности пищевых продуктов и здоровья потребителей. Сравнивая повторно используемый рассол с уменьшенным количеством микроорганизмов и пресный солевой рассол *Zhao et al.* (2021b) определили, что капуста кимчи, ферментированная в повторно используемом рассоле (ПР), имела самое высокое содержание азота-предшественника аминокислоты и самые низкие уровни нитрита (1,10 мг/кг), гистамина (0,29 мг/кг), тирамина (0,79 мг/кг) и путресцина (ниже предела обнаружения). Это указывает на то, что кимчи, ферментированная в ПР, эффективно подавляла накопление БА и нитритов, вероятно, потому, что ПР содержит исходные микроорганизмы (молочнокислые бактерии и дрожжи), которые растут и формируют стабильные микробные сообщества при повторном использовании, дополнительно генерируя полезные метаболиты и подавляя вредные микроорганизмы. Кроме того, подкисление свежего рассола устраняло путресцин из кимчи и снижало содержание гистамина на 33,93 % (*Zhao et al.*, 2021b).

Недавно были установлены значительные различия в содержании биогенных аминов в смешанных овощных соках, полученных путем ферментации различных органических овощей. Среди них ферментированный огуречный сок имел самое высокое содержание биогенных аминов (116,52 мг/л), тогда как томатный сок – самое низкое (6,36 мг/л). Доли гистамина, тирамина, путресцина и кадаверина различались в разных овощных соках: с самыми низкими долями (0,44 %) гистамина и тирамина в ферментированном соке краснокочанной капусты и самыми высокими (68 %) в ферментированном соке брокколи. Это может быть связано с сырьем и типами микроорганизмов, участвующих в процессе ферментации (*Jastrzebska et al.*, 2023). БА могут представлять риск для здоровья для определенных групп населения (например, пациентов, принимающих ингибиторы моноаминоксидазы). Таким образом, мониторинг содержания БА в ферментированных овощных соках (ФОС) имеет важное значение для защиты здоровья потребителей и безопасности пищевых продуктов.

Витамины необходимы для здоровья человека и подразделяются на водорастворимые (например, витамин С) и жирорастворимые (например, витамины А, D и Е) (*Burak*, 2024; *Fan et al.*, 2023). Организм человека не способен синтезировать большинство необходимых витаминов. Поэтому увеличение их потребления с пищей является приоритетной задачей исследований. Показано, что микробная ферментация оказывает значительное влияние на увеличение биодоступности витаминов во фруктах и овощах. Витамин С, также известный как аскорбиновая кислота, является водорастворимым витамином. Витамин С обладает антиоксидантными свойствами, но склонен к деградации при хранении и переработке из-за плохой стабильности (*Burak*, 2025b; *Burak* 2025a; *Li et al.*, 2023a). Ферментированный сок манго, предварительно обработанный ультразвуком и ультрафиолетовым излучением (УЗ-УФ), улучшил стабильность и биодоступность каротиноидов и витамина С, хотя количество растворимых пищевых волокон было снижено, а его антиоксидантные свойства были выше, чем у свежего сока манго, особенно после 30 дней хранения в холодильнике (*Wang et al.*, 2021b). Аналогичным образом *Cai et al.* (2022) ферментировали сок киви с добавлением сахарозы и установили, что *L. plantarum* LG1034 и *Pediococcus lactis* LG0259 в большей степени способствовали стабилизации витамина С в кислой среде, тогда как группа с дрожжевой ферментацией ускорила деградацию витамина С. Кроме того, *Xu et al.* (2023) исследовали инокулированный цитрусовый сок с *LAB* и установили, что содержание витамина С в ферментированном соке изначально ниже, а затем происходит увеличение в течение 96 ч, при этом *L. brevis* 182 и *Lacticaseibacillus paracasei* 502 сохранили значительное количество аскорбиновой кислоты (более 300 мг/л), тогда как *L. fermentum* 252 показал непрерывное снижение содержания витамина С во время ферментации. Эти результаты свидетельствуют о том, что характеристики различных штаммов оказывают существенное влияние на выработку и стабильность витамина. Однако ферментационная обработка определенных штаммов может замедлить потерю витамина С. Микробная ферментация может положительно влиять на содержание минеральных веществ во фруктах и овощах, повышая их пищевую ценность и биодоступность, тем самым положительно влияя на здоровье человека и потребление питательных веществ (*Burak*, 2025b).

Процесс ферментации не только помогает продлить срок годности и улучшить сенсорные свойства фруктов, но и повышает их ценность как функционального продукта питания, например, обеспечивая необходимым селеном (Se). Se является важным микроэлементом, дрожжи (*L. brevis* CRL2051 и *F. Tropaeoli* CRL2034) преобразуют неорганический Se в органическую форму и накапливают ее (*Burak*, 2025a). Ферментация маракуйи и манго с добавлением Na_2SeO_3 показала значительное увеличение концентрации Se. Процесс дрожжевой ферментации потребляет углеводы и преобразует Se в наночастицы селена и селеноаминокислоты, влияя при этом на выработку молочной кислоты, уксусной кислоты и маннита. *F. Tropaeoli* CRL2034 увеличил выработку маннита, что способствует снижению сахара в соке и образованию низкокалорийного подсластителя (*Crespo et al.*, 2021).

2.3. Деградация антипитательных факторов

Антипитательные факторы (АПФ) – это вредные вещества, которые мешают усвоению питательных веществ и снижают биодоступность. Процесс ферментации снижает или устраняет антипитательные факторы, присутствующие во фруктах и овощах, такие как фитиновая кислота и танины, что способствует пищеварению и усвоению питательных веществ, а также придает фруктам и овощам антиоксидантные, противовоспалительные и другие полезные для здоровья свойства (*Burak*, 2025b).

Фитиновая кислота – это природное соединение, содержащееся в семенах и листьях растений, которое связывает минералы, такие как железо, цинк и кальций, тем самым снижая биодоступность этих минералов (*Wang et al.*, 2021a). В ходе исследования замачивали листья *Cucurbita* sp. в 3 % сахарозы и 3 % NaCl для анаэробной ферментации. Снижение содержания фитиновой кислоты в ферментированных листьях может быть связано с метаболизмом молочнокислых бактерий, особенно *Lactobacillaceae*, для производства ферментов (например, фитазы), которые могут расщеплять фитиновую кислоту, а также с выработкой молочной кислоты для снижения pH окружающей среды и активации активности фитазы (*Misci et al.*, 2021). Ферментационные обработки также уменьшили количество патогенов, таких как *E. coli* и *Enterococcaceae*, что может способствовать снижению риска желудочно-кишечных заболеваний. Распад фитиновой кислоты высвобождает связанные минералы, которые облегчают ее усвоение организмом.

Аналогичным образом, содержание фитиновой кислоты в листьях *Amaranthus* sp., естественным образом ферментированных в 3 % сахарозы и 3 % NaCl, претерпело схожие изменения. Бактерии *Lactobacillaceae* также доминировали на поздних стадиях ферментации. Обработка ферментацией значительно увеличила содержание тиамин (витамина B1), рибофлавина (витамина B2), витамина B6, β -каротина и лютеина в листьях, что увеличило пищевую ценность ферментированных листьев (*Misci et al.*, 2022).

К антипитательным факторам также относятся танины, которые представляют собой класс полифенольных соединений в растениях с сильным вяжущим вкусом и способностью связываться с белками и пищеварительными ферментами, влияя на переваривание и усвоение белков (*Burak*, 2024a; *Wu et al.*, 2022). Во время ферментации танины могут разрушаться, тем самым уменьшая их воздействие на белки и другие питательные вещества. *Akter et al.* (2022) добавили в гранатовый сок ацилгидролазу танина (ТАН) в процессе ферментации для преобразования гидролизуемых танинов в эллаговую кислоту, фенольное соединение с антиоксидантной и противовоспалительной активностью. Ферментированный гранатовый сок *L. vespulae* DCY75 с добавлением ТАН содержал до 70 % эллаговой кислоты, обладал большим количеством общего содержания фенолов и более высокой антиоксидантной активностью. Ферментированный сок граната также увеличивал пролиферацию клеток в линии клеток рака молочной железы (MCF-7) и повышал экспрессию генов – факторов регуляции эстрогена, таких как рецептор эстрогена альфа, рецептор эстрогена бета и pS2. Более того, PG-F обладал противовоспалительной эффективностью, что было продемонстрировано его способностью ингибировать выработку NO и снижать экспрессию основного провоспалительного цитокина iNOS в клетках RAW 264.7 (*Akter et al.*, 2022). Ферментированные фрукты и овощи ориентированы на преобразование антипитательных факторов, улучшают пищеварение и всасывание, одновременно обладая антиоксидантной, противовоспалительной активностью и другими преимуществами для благотворного влияния на организм.

Технология микробной ферментации не только снижает концентрацию природных антипитательных факторов, но и уменьшает остатки пестицидов во фруктах и овощах, тем самым повышая их пищевую ценность и безопасность. Остатки пестицидов во фруктах и овощах также представляют угрозу для здоровья человека. Исследования показали, что микробная ферментация фруктов и овощей может в определенной степени снизить остатки пестицидов, например, посредством микробной адсорбции и деградации (*Burak*, 2025b; *Azam et al.*, 2020). Карбендазим – это бензимидазольный фунгицид широкого спектра действия, обычно встречающийся в коровьем горохе. В ходе исследования установлено, что во время естественной ферментации маринованного коровьего гороха константа скорости деградации карбендазима составляла 0,9945 с периодом полураспада $14,06 \pm 0,82$ дня (*Jin et al.*, 2023). Примечательно, что микроорганизмы (например, *Lactobacillus*) в маринованном коровьем горохе преобразуют карбендазим в метаболиты, такие как TP188, TP222 и TP211 (TP), и хотя остатки исходных опасных веществ были снижены, некоторые TP показали более высокую токсичность для развития и мутагенность, чем карбендазим, особенно TP134, что представляет риск для здоровья потребителя.

Хотя микробная ферментация может в определенной степени снизить остатки пестицидов, она не устраняет полностью риск их присутствия. Поэтому в сельскохозяйственном производстве следует принимать комплексные меры, включая рациональное использование пестицидов, использование методов биологического контроля и физическую и химическую обработку, чтобы обеспечить безопасность фруктов и овощей. Кроме того, потребители также должны минимизировать попадание в организм остатков пестицидов с фруктами и овощами путем тщательной мойки и надлежащих методов обработки.

3. Влияние ферментированного плодоовощного сырья на здоровье

Ферментированные фрукты и овощи, содержащие многие питательные вещества, обладают множеством полезных для здоровья свойств. Они защищают клетки от повреждения свободными радикалами, усиливая антиоксидантную активность. Более того, ферментированные фрукты и овощи обладают противовоспалительными свойствами, помогая уменьшить воспалительные реакции в организме, а также помогают контролировать вес и бороться с ожирением. Ферментированные фрукты и овощи действуют как антимикробные средства, подавляя рост вредных бактерий и помогая снизить кровяное давление, уровень сахара в крови, тем самым поддерживая здоровье сердечно-сосудистой системы и баланс сахара в крови.

3.1. Антиоксидантная активность и противовоспалительные свойства ферментированных фруктов и овощей

Поддержание баланса свободных радикалов и антиоксидантной способности в организме имеет решающее значение, поскольку избыток свободных радикалов может вызвать воспаление, повреждение ДНК и нарушение липидного обмена, что приводит к повреждению клеток. Свободные радикалы – это молекулы с неспаренными электронами, которые стремятся обрести стабильность, отнимая электроны у других молекул, что приводит к окислительному стрессу. Антиоксиданты способны отдавать электроны свободным радикалам, нейтрализуя их реакционную способность и таким образом защищая клетки от повреждения (*Liu et al.*, 2024). Биоактивные ингредиенты в ферментированных фруктах и овощах

положительно влияют на антиоксидантную систему организма, усиливая общую антиоксидантную активность посредством различных механизмов, таких как увеличение содержания антиоксидантных соединений, усиление активности антиоксидантных ферментов, смягчение перекисного окисления липидов и регуляция сигнального пути (Liu et al., 2024; Girotto et al., 2024; Pi et al., 2023).

Фенольные соединения являются одними из важных антиоксидантных веществ во фруктах и овощах, включая флавоноиды, танины и антоцианы, которые широко встречаются в различных фруктах и овощах и могут повышать их биодоступность и активность во время ферментации (Burak, 2025b; Burak, 2023). Zhao et al. (2021a) установили, что ферментированный сок сельдерея увеличивает содержание активных компонентов, таких как общее количество полифенолов, флавоноидов, витамина С и супероксиддисмутаза (СОД), и помогает снизить окислительный стресс, вызванный диетой с высоким содержанием жиров. Аналогичным образом, общее содержание полифенолов, СОД и витамина С в экстрактах киви, ферментированных *L. paracasei* LG0260, было выше, чем в группе образцов с естественной ферментацией, что говорит о том, что содержание антиоксидантных соединений положительно коррелирует с активностью антиоксидантных ферментов (Cai et al., 2022). В пастеризованных мякоти сметанного яблока и мякоти маракуйи в результате ферментации штаммами дрожжей (*S. cerevisiae* subsp. *boulardii* CNCM I-745 и *Saccharomyces bayanus* *Safceder* AB-1) наблюдалось увеличение содержания полифенолов, спиртов и ненасыщенных жирных кислот, что коррелировало с повышенной активностью удаления свободных радикалов ABTS и FRAP. Кроме того, ферментированные образцы проявили улучшенные противовоспалительные свойства, включая антигемолитическую активность и способность предотвращать денатурацию белка (Martínez-Mendoza et al., 2023). Tang et al. (2023) получили ферментированные соки с высоким общим содержанием фенола и TFC и их высокой активностью по удалению радикалов DPPH и ABTS, а также способность восстанавливать Fe^{3+} путем ферментации яблок и дыни с использованием *Lactobacillus acidophilus* и дрожжей. Кроме того, они установили, что 6,25 % ферментированного сока может продлить жизнь *Caenorhabditis elegans*, повысить активность СОД и глутатионпероксидазы (GSH-Px), снизить содержание малонового диальдегида (МДА – продукт перекисного окисления липидов), что свидетельствует о значительной устойчивости к стрессу без ущерба для роста, размножения и передвижения *C. elegans* (Tang et al., 2023).

Когда клетки подвергаются окислительному стрессу или другим сигналам активации, Nrf2 диссоциирует от связанного Keap1 (Kelch – подобный ECH-ассоциированный белок 1) и переносится в ядро, что, в свою очередь, стимулирует экспрессию ряда антиоксидантных генов, таких как SOD, GSH-Px, глутатион-S-трансфераза и каталаза (CAT), тем самым способствуя удалению активных форм кислорода (ROS). Более того, NF-κB p65 (субъединица p65 ядерного фактора каппа – легкой цепи активированных В-клеток) в первую очередь связан с воспалением и иммунными реакциями, вызывая экспрессию антиоксидантных ферментов и других защитных молекул, чтобы помочь клеткам справиться с окислительным повреждением (Ishii et al., 2022; Mota et al., 2023). Cheng et al. (2022) инокулировали черничные выжимки *L. casei* (CICC 20280) для получения ферментированной жидкости. По сравнению с контрольной группой в ферментированном образце общая антиоксидантная активность (Т-АОС), CAT и активность SOD были увеличены, а уровни MDA снижены. В ходе исследований установлено, что обилие полезной кишечной микробиоты у мышей увеличивалось после кормления ферментированными черничными выжимками. Кроме того, фосфорилирование MAPK p38, NF-κB p65 и легкой цепи миозина (MLCK) и активация киназы легкой цепи миозина (MLCK) были значительно снижены, причем MLC и MLCK были связаны с сокращением гладких мышц сосудов, что может влиять на воспалительную реакцию (Cheng et al., 2022). Аналогичным образом Chai et al. (2024) обнаружили, что у мышей, получавших ферментированный жмых черники, улучшилась активность антиоксидантных ферментов, снизилось перекисное окисление липидов и значительно снизились концентрации воспалительных факторов некроза опухоли-альфа (TNF-α), интерлейкина-1 бета (IL-1β) и интерлейкина-6 (IL-6) на HFD.

Результаты исследования показали смягчающее действие ферментированных выжимок на окислительный стресс и воспаление, вызванные HFD (Chai et al., 2024). Уровни Т-АОС и MDA отражают антиоксидантный статус организма, при этом повышенный уровень MDA указывает на повреждение биоупленки и окислительную атаку на клетки (Dong et al., 2022; Shuai et al., 2023). Инокуляция *L. plantarum* HU-C2 W к соку личи и ферментированному в течение 40 ч, а затем скормливаемому мышам C57BL/6J в течение 8 недель, показал повышенную активность печеночной Т-АОС и сниженные уровни MDA, что указывает на то, что ферментированный сок личи (ФСЛ) усиливает антиоксидантную способность печени и ослабляет повреждение биоупленки (Wang et al., 2023). Ферментация сока облепихи смешанными штаммами эффективно снижает генерацию ROS, вызванную H_2O_2 , и снижает содержание MDA, тем самым усиливая антиоксидантную защитную способность клеток C2C12 (модель клеток миотубов мышей), обычно используемой линии клеток скелетных мышц у мышей, увеличивая активность SOD, CAT и GSH-Px и ослабляя окислительное повреждение (Liu et al., 2023b).

Несмотря на многочисленные исследования антиоксидантных свойств ферментированных фруктов и овощей, экспрессия и активность биологически активных соединений и антиоксидантных ферментов

в различных моделях заболеваний и то, как они реагируют на различные антиоксидантные стимулы, должны быть дополнительно изучены. Кроме того, необходима дальнейшая идентификация и валидация новых биомаркеров окислительного стресса, таких как карбонилирование белков и AGE, для оценки степени окислительного стресса и повреждения клеток. Иммуитет – это защитный механизм организма, и его улучшение помогает блокировать вирусную инвазию и снизить заболеваемость. Иммуные клетки – это клетки, участвующие в иммунном ответе или связанные с ним, которые секретируют цитокины для борьбы с патогенами и вирус-индуцированными инфекционными агентами, включая ИЛ, ФНО- α и моноцитарный хемоаттрактантный белок-1 (МХБ-1) (Surai et al., 2024). Исследования показали, что ферментированные фрукты и овощи оказывают свое противовоспалительное действие, главным образом, за счет увеличения содержания противовоспалительных соединений, модуляции воспалительных цитокинов, ингибирования продукции медиаторов воспаления и подавления сигнальных путей (Surai et al., 2024). В умеренных количествах воспалительные факторы, такие как оксид азота (NO), интерлейкины, TNF- α и интерферон гамма, помогают бороться с инфекцией и способствуют заживлению, но при избытке возникают воспалительные заболевания, поэтому важно поддерживать их баланс (Zeinali et al., 2017). По сравнению с контрольной группой, ферментированные черничные выжимки снизили относительную экспрессию TNF- α , IL-1 β , IL-6 и интерлейкина-8. Уровни MAPK p38, NF- κ B p65 и MLC в группе FBP также были снижены (Cheng et al., 2022). Циклооксигеназа-2 (COX-2) – это фермент, который быстро экспрессируется моноцитами-макрофагами и фибробластами после стимуляции организма воспалительными факторами, известен как индуцируемый фермент, который является одним из ключевых ферментов, вызывающих воспалительные реакции (Karim et al., 2023). Ингибирование продукции COX-2 в экстрактах кожуры ананаса, ферментированных *L. plantarum* 299v (DSMZ 9843) и *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG (ATCC 7469), может быть связано с увеличением содержания феруловой кислоты, которая в высоких концентрациях ингибирует COX-2 и смягчает вызванное острым повреждение почек у мышей (Mir et al., 2018). Противовоспалительные процессы могут снижать продукцию воспалительных медиаторов путем ингибирования активации MAPK p38 и NF- κ B p65. Среди них в ядре NF- κ B p65 может соединяться с промоторными областями генов, связанных с воспалением, и способствовать экспрессии воспалительных цитокинов и ферментов, таких как TNF- α , IL-1 β , IL-6, COX-2 и iNOS (Zhu et al., 2018). Yun et al., (2022) приготовили ферментированный продукт, инокулируя пробиотики в смешанный овощной сок. Обнаружено, что FVJ дозозависимо ослабляет воспалительную реакцию, вызванную бактериальным токсином липополисахаридом (ЛПС), в клетках RAW264.7 и снижает уровни АЛТ (аланинаминотрансфераза) и АСТ (аспартатаминотрансфераза) в сыворотке у мышей с колитом, вызванным декстрансульфатом натрия, улучшая длину толстой кишки и повреждение тканей (Yun et al., 2022). Ферментированный сок также ингибировал экспрессию mPHK iNOS, COX-2 и NF- κ B, что позволяет предположить, что его противовоспалительное действие может осуществляться через NF- κ B, обладающий иммуномодулирующим потенциалом.

Кроме того, известно, что фенолы в ферментированных фруктах и овощах уменьшают воспаление и улучшают иммунитет (Mir et al., 2018). В дополнение к фенольным соединениям ферментация фруктов и овощей приводит к образованию пептидов, которые образуют водородные связи и гидрофобные взаимодействия с iNOS, тем самым способствуя противовоспалительной активности. Брокколи, ферментированные двумя видами *Lactobacillus* (*L. plantarum* A3 и *L. rhamnosus* ATCC7469), обладали 17 противовоспалительными пептидами, среди которых пептид SIWYGPDPR обладал самой сильной способностью ингибировать высвобождение NO из воспалительных клеток при концентрации 25 мкМ с ингибированием $52,32 \pm 1,48$ % (Li et al., 2023c). Некоторые пептиды дозозависимо снижали выработку воспалительных цитокинов, таких как ADLAHLPF, FGDFNPGGRL и CKVWPPLH, которые ингибировали TNF- α на $73,19 \pm 5,31$ %, $68,44 \pm 5,63$ % и $73,83 \pm 0,81$ % соответственно при концентрации 100 мкМ. Однако ингибирующая способность некоторых пептидов не была дозозависимой; например, пептид KASFAFAGL сильнее всего ингибировал TNF- α и IL-6 при низких дозах, а пептид FGDFNPGGRL ингибировал IL-6 только при концентрации 50 мкМ. Эти явления могут быть связаны с клеточной толерантностью и зависеть от таких механизмов, как конформационные изменения, интернализация рецепторов и насыщение занятости. Кроме того, эти пептиды с противовоспалительной активностью содержат гидрофобные аминокислоты, например, GDRW, KASFAFAGL и FGDFNPGGRL содержали аспарагиновую кислоту и триптофан (Li et al., 2023c). Следовательно, состав и специфическое расположение аминокислот могут способствовать противовоспалительному действию пептидов. Противовоспалительная активность пептида обусловлена составом и положением аминокислот, а также образованием водородных связей и гидрофобных взаимодействий с iNOS. Однако, несмотря на большое количество исследований *in vitro* и на животных моделях, данные исследований на людях о противовоспалительной активности активных ингредиентов ферментированных фруктов и овощей отсутствуют. Более того, необходимо дополнительно изучить, можно ли добавлять эти компоненты, обладающие противовоспалительным действием, в натуральные противовоспалительные средства для ежедневного поддержания здоровья и профилактики заболеваний.

3.2. Другие преимущества ферментированных овощей и фруктов для здоровья

Ферментированные фрукты и овощи богаты пробиотиками, которые могут улучшить состав кишечной флоры и усилить барьерную функцию кишечника, чтобы снизить риск воспаления и метаболических нарушений (Eroglu et al., 2023; Wang et al., 2022d). Sheng et al. (2021) установили, что ферментированная пробиотиками черника (ФТЧ) снижает массу тела и уровень липидов и увеличивает количество полезных кишечных бактерий, таких как *Allobaculum* и *Blautia*, у крыс. ФТЧ снижает накопление жира, потенциально влияя на метаболизм жирных кислот и функцию адипоцитов, а также усиливая выработку короткоцепочечных жирных кислот, поддерживая здоровье кишечника и метаболическую регуляцию (Sheng et al., 2021). Аналогичным образом потребление ферментированной кимчи значительно снижало массу тела и накопление жира у мышей C57BL/6J и увеличивало численность *Akkermansia muciniphila* – кишечной бактерии, связанной с метаболическим здоровьем. Повышенное содержание уксусной кислоты в кимчи способствует здоровью кишечника, снижает уровни воспалительных факторов, таких как TNF-α и MCP-1, и уменьшает нейровоспаление (Kim et al., 2022b). Упомянутые короткоцепочечные жирные кислоты, такие как уксусная кислота, которая может вырабатываться в результате метаболической активности пробиотиков, полезны для регуляции липидного обмена, чтобы уменьшить накопление липидов (Xiao et al., 2023; Marnpae et al., 2024). Пробиотические метаболиты, которые регулируют баланс кишечной флоры, могут снизить накопление жира, влияя на метаболизм жирных кислот и функцию жировых клеток. Исследования *in vitro* показали, что метаболиты (индол-3-молочная кислота, лейциновая кислота и фенилмолочная кислота) из *Companilactobacillus allii* WiKim39 и *Lactococcus lactis* WiKim0124 ингибируют накопление липидов. В исследованиях *in vivo* ферментированный сок кимчи снижал накопление липидов, регулируя экспрессию генов, связанных с липогенезом, и активируя липолитические ферменты. Анализ обогащения онтологии генов показал, что дифференциально экспрессируемые белки в ФВС связаны с иммунными процессами, что свидетельствует об их противоожиренном потенциале (Lee et al., 2023). Пробиотики в ферментированных фруктах и овощах также могут улучшать метаболизм глюкозы и липидов и повышать чувствительность к инсулину, регулируя гормоны, секретируемые жировыми клетками, такие как адипонектин (АДН) и лептин (ЛЕП) (Wei et al., 2024). Ферментированные томаты (ФРТ), приготовленные из *L. plantarum* NCUN001046, модулируют сывороточные уровни метаболитов, таких как глицерофосфолипиды, сфинголипиды, ненасыщенные жирные кислоты и аминокислоты, что может быть связано с модуляцией адипокинов АДК и ЛЕП. АДК и ЛЕП помогают организму контролировать аппетит и снижать потребление пищи. Более того, ФРТ увеличивал относительное содержание полезных микроорганизмов, таких как *Roseburia*, *Coprococcus* и *Oscillospira*, которые отрицательно коррелировали с массой тела, липидами и уровнями воспалительных факторов (Wei et al., 2024).

Аспаратаминотрансфераза (АСТ) и аланинаминотрансфераза (АЛТ) являются двумя распространенными сывороточными ферментами, которые участвуют в метаболизме аминокислот в печени и других частях тела (Korcz et al., 2018). При нарушении функции печени АСТ и АЛТ высвобождаются в кровоток, что приводит к повышению уровня в сыворотке. Кроме того, нарушение функции печени может привести к нарушениям липидного обмена, увеличивая риск сердечно-сосудистых заболеваний (Goodarzi et al., 2019). Жидкий ферментированный экстракт из выжимок черники снизил повышенные уровни общего холестерина (ОХС), триацилглицеридов и холестерина липопротеинов низкой плотности (ЛПНП-хс) у мышей C57BL/6J и оказывал ингибирующее действие. Эти полезные изменения были связаны с полифенольными соединениями или пробиотическими штаммами в ферментированном экстракте. Таким образом, выжимка черники, ферментированная двумя молочнокислыми бактериями (*L. rhamnosus* GG и *L. plantarum*-1), может снизить риск гиперлипидемии и поражения печени, а также облегчить симптомы ожирения у мышей (Chai et al., 2024; Wang et al., 2023). Борьба с ожирением и снижение уровня липидов являются взаимодополняющими в профилактике и лечении хронических заболеваний. Комплексное управление весом и уровнем липидов позволяет эффективно снизить риск развития сопутствующих хронических заболеваний.

Ферментация фруктов и овощей представляет собой процесс микробной трансформации органических веществ, который сопровождается метаболитами, в том числе веществами с антимикробной активностью. Эти антимикробные вещества оказывают значительное влияние на безопасность и свежесть фруктовых и овощных продуктов (Burak et al., 2021). Во время ферментации пробиотики, такие как молочнокислые бактерии, производят органические кислоты и другие антимикробные вещества, которые подавляют или убивают патогены и организмы порчи, такие как *Salmonella enterica* и *E. coli*, путем снижения pH, разрушения клеточных мембран патогенов и вмешательства в клеточный метаболизм (Michalak et al., 2020). Ферментированный сок *L. plantarum* FBS05 содержит ряд метаболитов, таких как молочная кислота, уксусная кислота, ацетонин, ацетоацетат, низкомолекулярные пептиды и антимикробные фенольные соединения, которые убивают патогены и микроорганизмы, вызывающие порчу, тем самым увеличивая срок годности (Muhialdin et al., 2021). *L. plantarum* CXG9 со значительными антимикробными свойствами в традиционных китайских ферментированных овощах был способен продуцировать высокие концентрации LD-фенилмолочной кислоты (LD-PLA), которая эффективно подавляла рост пищевого патогена *Listeria*

monocytogenes при минимальной ингибирующей концентрации 2,4 мг/мл (Zhang et al., 2022). Ферментация увеличивает содержание бактериостатических компонентов, таких как полифенолы и флавоноиды, что приводит к более высокой ингибирующей концентрации бактериальную активность ферментированного сока облепихи, чем у неферментированного (Liu et al., 2023b; Бурак и др., 2021). Листья *Stevia rebaudiana*, ферментированные *S. cerevisiae* CGMCC и *L. plantarum* CGMCC, не только проявили значительную антимикробную активность в отношении пищевых бактерий, таких как *E. coli*, *Staphylococcus aureus* и *Bacillus subtilis*, но и их метаболиты, такие как катехол, галловая кислота и кемпферол, продемонстрировали высокую резистентность к клеткам HepG2 или SGC-7901 (Chai et al., 2024). Антимикробные и противоопухолевые механизмы этих продуктов ферментации открывают новые перспективы для изучения функциональности пищевых продуктов.

Микроорганизмы в ферментированных фруктах и овощах могут продуцировать бактериоцины, которые обладают антимикробной активностью и в основном являются антагонистами гомологичных или близкородственных штаммов. *B. subtilis* JSX-5, выделенный из ферментированной черники, продуцирует новый бактериоцин JS17, обладающий широким спектром антимикробных свойств. JS17 изменяет клеточную морфологию *E. coli*, разрушая клеточные мембраны и вызывая лизис клеток. JS17 также чувствителен к специфическим протеазам и содержит гидрофобные аминокислоты (Xiang et al., 2021). Пробиотики, такие как молочнокислые бактерии (LAB), могут подавлять вредные микроорганизмы, колонизируя поверхность фруктов и овощей и конкурируя с патогенами за питательные вещества.

Ферментированные фрукты и овощи также имеют множество преимуществ для здоровья. Так, например, пробиотики в ферментированных фруктах и овощах могут играть противодиабетическую роль, регулируя баланс кишечной флоры и усиливая барьерную функцию кишечника (da Silva et al., 2023b; de Assis et al., 2024). Кроме того, установлено, что биоактивные вещества в ферментированных фруктах и овощах, такие как полифенольные соединения и ГАМК, обладают потенциалом снижения артериального давления. Например, полифенолы снижают артериальное давление, улучшая функцию эндотелия сосудов и способствуя вазодилатации (Behl et al., 2020; Mohammadi et al., 2022). Кроме того, ферментированные фрукты и овощи оказывают положительное влияние на регуляцию уровня глюкозы в крови, они могут снижать уровень глюкозы в крови за счет повышения чувствительности к инсулину, стимулирования секреции инсулина и ингибирования активности α -амилазы. Ферментированные выжимки из фиников (ФВФ) с использованием штаммов дрожжей *I. orientalis* и *P. kudriavzevii* обладают противодиабетическим потенциалом. Установлено, что ФВФ показали повышенное ингибирование α -амилазы и α -глюкозидазы по сравнению с неферментированными, что может быть связано с микробной продукцией вторичных метаболитов, способных ингибировать активность ферментов, таких как полифенолы и органические кислоты (Ayyash et al., 2022; Wang et al., 2020a; b).

Подводя итог, можно сказать, что влияние ферментированных фруктов и овощей на здоровье взаимосвязано. Например, пробиотики могут косвенно влиять на регуляцию уровня глюкозы в крови и артериального давления, улучшая здоровье кишечника, тогда как полифенолы могут одновременно оказывать противодиабетическое и гипотензивное действие. Таким образом, дальнейшее изучение задействованных механизмов может быть полезным для разработки большего количества продуктов.

Заключение

Технология ферментации является эффективным методом переработки, который сочетает традиции и инновации, использующий микробную биотрансформацию для значительного улучшения химического состава и биологической активности фруктов и овощей. Эта технология не только продлевает срок годности пищевых продуктов, но и повышает их пищевую ценность и пользу для здоровья, предоставляя потребителям более здоровый выбор. Польза ферментированных фруктов и овощей для здоровья в основном обусловлена образованием в процессе ферментации биологически активных соединений, таких как фенолы, витамины, минералы и органические кислоты. Эти соединения образуются в результате сложных биохимических реакций, катализируемых микроорганизмами, и взаимодействуют друг с другом, оказывая антиоксидантное и противовоспалительное действие, что способствует снижению риска хронических заболеваний. Вместе с тем необходимо учитывать безопасность ферментированных фруктов и овощей, включая микробное загрязнение, химические опасности и загрязнение патогенными бактериями. Поэтому крайне важно проводить исследования безопасности ферментированных фруктов и овощей, уделяя особое внимание микробным изменениям, взаимосвязи между микроорганизмами и вкусом, а также предлагая соответствующие меры контроля.

Ключевым фактором является тщательный отбор и оценка штаммов ферментирующих микроорганизмов для обеспечения их безопасности, а также достоверный и эффективный контроль условий ферментации для предотвращения образования вредных микроорганизмов и веществ. Хотя процесс производства ферментированных продуктов может показаться простым, лежащие в его основе научные и технологические факторы сложны. Выбранные штаммы ферментирующих микроорганизмов должны быть тщательно оценены на безопасность (отсутствие генов лекарственной устойчивости, отсутствие гемолитических токсинов

и т. д.), физиологическую функцию (устойчивость к кислотам и желчным солям) и адаптивность. Кроме того, микробная трансформация активных компонентов фруктов и овощей, такая как гидролиз полисахаридов до биоактивных пептидов, требует дальнейшего углубленного изучения. Разработка ферментированных продуктов на основе фруктов и овощей представляет собой перспективное направление для удовлетворения запросов современного потребителя, сокращения отходов растительного сырья, расширения ассортимента функциональных пищевых продуктов, способствующих улучшению здоровья населения.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на углубленное изучение взаимодействия микроорганизмов с плодовоовощным сырьем и оптимизацию процесса ферментации с целью повышения их пищевой ценности и благотворного влияния на здоровье человека.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

References

- Abdelshafy, A. M., Rashwan, A. K., Osman, A. I. 2024. Potential food applications and biological activities of fermented quinoa: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 144. Article number: 104339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104339>.
- Ajala, E. O., Ajala, M. A., Onoriemu, O. O., Akinpelu, S. G. et al. 2021. Lactic acid production: Utilization of yam peel hydrolysate as a substrate using *Rhizopus oryzae* in kinetic studies. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 15(4), pp. 1031–1045. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/bbb.2213>.
- Akter, R., Ahn, J. C., Nahar, J., Awais, M. et al. 2022. Pomegranate juice fermented by tannin acyl hydrolase and *Lactobacillus vespulae* DCY75 enhance estrogen receptor expression and anti-inflammatory effect. *Frontiers in Pharmacology*, 13. Article number: 141270. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.1010103>.
- Ali, M. S., Lee, E.-B., Lee, S.-J., Lee, S.-P. et al. 2021. Aronia melanocarpa extract fermented by *Lactobacillus plantarum* EJ2014 modulates immune response in mice. *Antioxidants*, 10(8). Article number: 1276. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox10081276>.
- Alkalbani, N. S., Alam, M. Z., Al-Nabulsi, A., Osaili, T. M. et al. 2024. Unraveling the potential nutritional benefits of fermented date syrup waste: Untargeted metabolomics and carbohydrate metabolites of *in vitro* digested fraction. *Food Chemistry*, 442. Article number: 138483. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138483>.
- Araújo, L. P., Vilela, H., Solinho, J., Pinheiro, R. et al. 2024. Enrichment of fruit peels' nutritional value by solid-state fermentation with *Aspergillus ibericus* and *Rhizopus oryzae*. *Molecules*, 29(15). Article number: 3563. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules29153563>.
- Ayyash, M., Tarique, M., Alaryani, M., Al-Sbiei et al. 2022. Bioactive properties and untargeted metabolomics analysis of bioaccessible fractions of non-fermented and fermented date fruit pomace by novel yeast isolates. *Food Chemistry*, 396. Article number: 133666. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133666>.
- Azam, S. M. R., Ma, H. L., Xu, B. G., Devi, S. et al. 2020. Efficacy of ultrasound treatment in the removal of pesticide residues from fresh vegetables: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 97, pp. 417–432. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.028>.
- Balyan, S., Dadwal, V., Patil, B. S. 2024. *Lactobacillus*-isolated exopolysaccharide as emulsifier ensure extended stability of eugenol encapsulation, potent anti-microbial activity, and application on fresh produce. *Food Bioscience*, 61. Article number: 104632. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104632>.
- Bao, Y., Zhang, M., Chen, W., Chen, H. et al. 2021. Screening and evaluation of suitable non-*Saccharomyces* yeast for aroma improvement of fermented mango juice. *Food Bioscience*, 44. Article number: 101414. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101414>.
- Behl, T., Bungau, S., Kumar, K., Zengin, G. et al. 2020. Pleotropic effects of polyphenols in cardiovascular system. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 130. Article number: 110714. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110714>.
- Bi, P., Sun, W., Li, S., Liu, X. et al. 2024. Characterization of the effect of non-*Saccharomyces cerevisiae* on the non-volatile constituents and volatile profiles of low-alcoholic pomegranate beverages. *Food Bioscience*, 59. Article number: 103870. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103870>.
- Borgonovi, T. F., Casarotti, S. N., Penna, A. L. B. 2021. *Lactocaseibacillus casei* SJRP38 and buriti pulp increased bioactive compounds and probiotic potential of fermented milk. *LWT*, 143. Article number: 111124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111124>.
- Burak, L. Ch. 2025b. The influence of modern methods of processing and sterilization on the quality of fruit and vegetable raw materials and juice products. Monograph. Moscow. DOI: <https://doi.org/10.12737/2154991>. (In Russ.)
- Burak, L. Ch. 2025a. The influence of *Lactobacillus plantarum* fermentation on the chemical composition and nutritional value of fruit and berry raw materials. *Innovations and Food Security*, 2(48), pp. 6–25. DOI: <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2025-48-2-6-25>. (In Russ.)

- Burak, L. Ch. 2024. Using modern processing technologies to increase the shelf life of fruits and vegetables. Review of the subject field. *Polzunovsky Vestnik*, 1, pp. 99–119. DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.013>. (In Russ.)
- Burak, L. Ch. 2024a. Limitations and possibilities of modern technologies to ensuring microbiological safety of food products. News of higher educational institutions. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 2–3(396), pp. 6–13. DOI: <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2024.2-3.1>. (In Russ.)
- Burak, L. Ch., Ermoshina, T. V., Samankova, N. V. 2024. Achieving sustainable development through the use of new food processing technologies. *Fundamental research*, 10, pp. 171–179. DOI: <https://doi.org/10.17513/fr.43705>. (In Russ.)
- Burak, L. Ch. 2023. Use of modern technologies in the production of fermented products. *Scientific Review. Technical science*, 5, pp. 5–13. DOI: <https://doi.org/10.17513/srts.1446>. (In Russ.)
- Burak, L. Ch. 2022. Prospects for the use of lactic acid bacteria *L. Plantarum* for fruit juice fermentation. Review. *Scientific Review. Biological Sciences*, 3, pp. 63–71. DOI: <https://doi.org/10.17513/srbs.1286>. (In Russ.)
- Burak, L. Ch., Sapach, A. N. 2021. Fermented food products using sea buckthorn fruit. Overview. *Chronos: Natural and Technical Sciences*, 6, 4(37), pp. 32–46. DOI: <https://doi.org/10.52013/2712-9691-37-4-5>. (In Russ.)
- Cai, L., Wang, W., Tong, J., Fang, L. et al. 2022. Changes of bioactive substances in lactic acid bacteria and yeasts fermented kiwifruit extract during the fermentation. *LWT*, 164. Article number: 113629. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113629>.
- Camargo, D. A., Pereira, M. S., dos Santos, A. G., Fleuri, L. F. 2022. Isolated and fermented orange and grape wastes: Bromatological characterization and phytase, lipase and protease source. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 77. Article number: 102978. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102978>.
- Chai, L.-J., Lan, T., Cheng, Z., Zhang, J. et al. 2024. *Stevia rebaudiana* leaves fermented by *Lactobacillus plantarum* exhibit resistance to microorganisms and cancer cell lines *in vitro*: A potential sausage preservative. *Food Chemistry*, 432. Article number: 137187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137187>.
- Chen, L., Liu, R., Wu, M., Ge, Q. et al. 2024. A review on aroma-active compounds derived from branched-chain amino acid in fermented meat products: Flavor contribution, formation pathways, and enhancement strategies. *Trends in Food Science & Technology*, 145. Article number: 104371. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104371>.
- Chen, Y., Chen, L., Liu, L., Bi, X. et al. 2023. Characteristics of microbial communities in fermentation of pickled ginger and their correlation with its volatile flavors. *Food Bioscience*, 53. Article number: 102736. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102736>.
- Cheng, S., Wu, T., Zhang, H., Sun, Z. et al. 2023. Mining lactonase gene from aflatoxin B₁-degrading strain *Bacillus megaterium* and degrading properties of the recombinant enzyme. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(51), pp. 20762–20771. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c05725>.
- Cheng, Y., Tang, S., Wu, T., Pan, S. et al. 2022. *Lactobacillus casei*-fermented blueberry pomace ameliorates colonic barrier function in high fat diet mice through MAPK-NF-κB-MLCK signaling pathway. *Journal of Functional Foods*, 95. Article number: 105139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105139>.
- Chiorcea-Paquim, A-M. 2023. Electrochemistry of flavonoids: A comprehensive review. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(21). Article number: 15667. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms242115667>.
- Crespo, L., Gaglio, R., Martínez, F. G., Martín, G. M. et al. 2021. Bioaccumulation of selenium-by fruit origin lactic acid bacteria in tropical fermented fruit juices. *LWT*, 151. Article number: 112103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112103>.
- Dawood, M. A. O., Eweedah, N. M., Khalafalla, M. M., Khalid, A. 2020. Evaluation of fermented date palm seed meal with *Aspergillus oryzae* on the growth, digestion capacity and immune response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Nutrition*, 26(3), pp. 828–841. DOI: <https://doi.org/10.1111/anu.13042>.
- da Silva, A. P. G., Sganzerla, W. G., John, O. D., Marchiosi, R. 2025. A comprehensive review of the classification, sources, biosynthesis, and biological properties of hydroxybenzoic and hydroxycinnamic acids. *Phytochemistry Reviews*, 24, pp. 1061–1090. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11101-023-09891-y>.
- da Silva, R. M., Santos, B. N., da Silva Oliveira, F. A., Filho, E. G. A. et al. 2025. Synbiotic sapota-do-solimões (*Quararibea cordata* Vischer) juice improves gut microbiota and short-chain fatty acid production in an *in vitro* model. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 17, pp. 668–680. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12602-023-10178-z>.
- de Assis, B. B.T., Pimentel, T. C., Vidal, H., dos Santos Lima, M. et al. 2024. Mangaba pulp fermented with *Lactocaseibacillus casei* 01 has improved chemical, technological, and sensory properties and positively impacts the colonic microbiota of vegan adults. *Food Research International*, 186. Article number: 114403. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114403>.

- de Oliveira, S. D., Araújo, C. M., da Silva Campelo Borges, G., dos Santos Lima, M. et al. 2020. Improvement in physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) and guava (*Psidium guajava* L.) fruit by-products fermented with potentially probiotic lactobacilli. *LWT*, 134. Article number: 110200. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110200>.
- Di Cagno, R., Filannino, P., Cantatore, V., Polo, A. et al. 2020. Design of potential probiotic yeast starters tailored for making a cornelian cherry (*Cornus mas* L.) functional beverage. *International Journal of Food Microbiology*, 323. Article number: 108591. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108591>.
- Dong, L., Qin, C., Li Y., Wu, Z. et al. 2022. Oat phenolic compounds regulate metabolic syndrome in high fat diet-fed mice via gut microbiota. *Food Bioscience*, 50, Part A. Article number: 101946. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101946>.
- Dulf, F. V., Vodnar, D. C., Dulf, E.-H. 2023. Solid-state fermentation with *Zygomycetes fungi* as a tool for biofortification of apple pomace with γ -linolenic acid, carotenoid pigments and phenolic antioxidants. *Food Research International*, 173, Part 2. Article number: 113448. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113448>.
- EroğluF, E., Sanlier, N. 2023. Effect of fermented foods on some neurological diseases, microbiota, behaviors: Mini review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(26), pp. 8066–8082. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2053060>.
- Fahey, J. W., Kensler, T. W. 2021. Phytochemicals: Do they belong on our plate for sustaining healthspan? *Food Frontiers*, 2, pp. 235–239. DOI: <https://doi.org/10.1002/fft2.81>.
- Fan, D., Liu, X., Shen, Z., Wu, P. et al. 2023. Cell signaling pathways based on vitamin C and their application in cancer therapy. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 162. Article number: 114695. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.114695>.
- Gaglio, R., Pescuma, M., Madrid-Albarrán, Y., Franciosi, E. et al. 2021. Selenium bio-enrichment of mediterranean fruit juices through lactic acid fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 354. Article number: 109248. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109248>.
- Gao, B., Wang, J., Wang, Y., Xu, Z. et al. 2022. Influence of fermentation by lactic acid bacteria and in vitro digestion on the biotransformations of blueberry juice phenolics. *Food Control*, 133. Article number: 108603. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108603>.
- Giroto, O. S., Furlan, O. O., Moretti Junior, R. C., Goulart, R. A. et al. 2025. Effects of apples (*Malus domestica*) and their derivatives on metabolic conditions related to inflammation and oxidative stress and an overview of by-products use in food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 65(19), pp. 3785–3816. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2372690>.
- Goodarzi, R., Sabzian, K., Shishehbor, F., Mansoori, A. 2019. Does turmeric/curcumin supplementation improve serum alanine aminotransferase and aspartate aminotransferase levels in patients with nonalcoholic fatty liver disease? A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Phytotherapy Research*, 33, pp. 561–570. DOI: <https://doi.org/10.1002/ptr.6270>.
- Grujović, M. Ž., Mladenović, K. G., Smedo-Lemsaddek, T., Laranjo, M. et al. 2022. Advantages and disadvantages of non-starter lactic acid bacteria from traditional fermented foods: Potential use as starters or probiotics. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21, pp. 1537–1567. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12897>.
- Gulsunoglu-Konuskan, Z., Kilic-Akyilmaz, M. 2022 Microbial bioconversion of phenolic compounds in agro-industrial wastes: A review of mechanisms and effective factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(23), pp. 6901–6910. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c06888>.
- Hajar-Azhari, S., Daud, N., Muhialdin, B. J., Joghee, N. et al. 2023. Lacto-fermented garlic sauce improved the quality and extended the shelf life of lamb meat under the chilled condition. *International Journal of Food Microbiology*, 395. Article number: 110190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110190>.
- Han, Y., Du, J. 2023. A comparative study of the effect of bacteria and yeasts communities on inoculated and spontaneously fermented apple cider. *Food Microbiology*, 111. Article number: 104195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.104195>.
- Ibarruri, J., Cebrián, M., Hernández, I. 2021. Valorisation of fruit and vegetable discards by fungal submerged and solid-state fermentation for alternative feed ingredients production. *Journal of Environmental Management*, 281. Article number: 111901. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111901>.
- Ishii, T., Warabi, E., Mann, G. E. 2022. Mechanisms underlying Nrf2 nuclear translocation by non-lethal levels of hydrogen peroxide: P38 MAPK-dependent neutral sphingomyelinase2 membrane trafficking and ceramide/PKC ζ /CK2 signaling. *Free Radical Biology and Medicine*, 191, pp. 191–202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2022.08.036>.
- Jastrzębska, A., Kmiecik, A., Brzuzy, K., Gralak, Z. et al. 2023. Determination of selected biogenic amines in fermented vegetables juices. *Food Control*, 154. Article number: 109980. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109980>.

- Ji, G., Liu, G., Li, B., Tan, H. et al. 2023. Influence on the aroma substances and functional ingredients of apple juice by lactic acid bacteria fermentation. *Food Bioscience*, 51. Article number: 102337. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102337>.
- Jiang, X., Lu, Y., Liu, S. Q. 2020. Effects of pectinase treatment on the physicochemical and oenological properties of red dragon fruit wine fermented with *Torulaspora delbrueckii*. *LWT*, 132. Article number: 109929. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109929>.
- Jin, Y., Qi, Y., Fan, M., Zhang, J. et al. 2023. Biotransformation of carbendazim in cowpea pickling process. *Food Chemistry*, 415. Article number: 135766. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135766>.
- Karim, N., Rashwan, A. K., Liu, S., Tangpong, J. et al. 2023. An updated review on chemical compositions, biological capabilities, and clinical benefits of cranberries. *Food Bioscience*, 54. Article number: 102877. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102877>.
- Kim, D.-Y., Kim, J.-H., Shin, H.-S. 2022a. Improving the quality of fermented soybean products using low-frequency airborne ultrasonicated Koji. *LWT*, 168. Article number: 113936. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113936>.
- Kim, G. Y., Kim, S.-A., Kong, S. Y., Seong, H. et al. 2023. Synergistic antioxidant and anti-inflammatory activities of kale juice fermented with *Limosilactobacillus reuteri* EFEL6901 or *Limosilactobacillus fermentum* EFEL6800. *Antioxidants*, 12(10). Article number: 1850. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox12101850>.
- Kim, N., Lee, J., Song, H. S., Oh, Y. J. et al. 2022b. Kimchi intake alleviates obesity-induced neuroinflammation by modulating the gut-brain axis. *Food Research International*, 158. Article number: 111533. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111533>.
- Korcz, E., Kerényi, Z., Varga, L. 2018. Dietary fibers, prebiotics, and exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria: Potential health benefits with special regard to cholesterol-lowering effects. *Food & Function*, 9(6), pp. 3057–3068. DOI: <https://doi.org/10.1039/c8fo00118a>.
- Küçük, N., Şahin, S., Çağlayan, M. O. 2024. An overview of biosensors for the detection of patulin focusing on aptamer-based strategies. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 54(7), pp. 2422–2434. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408347.2023.2172677>.
- Küçükgöz, K., Echave, J., Garcia-Oliveira, P., Seyyedi-Mansour, S. et al. 2025. Polyphenolic profile, processing impact, and bioaccessibility of apple fermented products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 65(3), pp. 507–526. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2277353>.
- Lan, T., Lv, X., Zhao, Q., Lei, Y., Gao, C. et al. 2023. Optimization of strains for fermentation of kiwifruit juice and effects of mono- and mixed culture fermentation on its sensory and aroma profiles. *Food Chemistry: X*, 17. Article number: 100595. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100595>.
- Laophongphit, A., Siripornadulsil, S., Siripornadulsil, W. 2023. Improvements in the functions of probiotic-based mango pulp rich in phenolic and proline antioxidants by treatment with pectinase and fermentation with lactic acid bacteria. *LWT*, 181. Article number: 114756. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114756>.
- Lee, M., Yun, Y.-R., Choi, E. J., Song, J. H. et al. 2023. Anti-obesity effect of vegetable juice fermented with lactic acid bacteria isolated from kimchi in C57BL/6J mice and human mesenchymal stem cells. *Food & Function*, 14(3), pp. 1349–1356. DOI: <https://doi.org/10.1039/d2fo02998g>.
- Lee, S., Han, A., Jo, S., Cheon, H. et al. 2021. Microbiological quality and safety of commercial fresh fruit and vegetable juices in Korea. *LWT*, 152. Article number: 112432. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112432>.
- Li, J., Bai, J., Li, S., Zhu, Z. et al. 2020. Effect of lactic acid bacteria on the postharvest properties of fresh lotus root. *Postharvest Biology and Technology*, 160. Article number: 110983. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110983>.
- Li, X.-Y., Meng, L., Shen, L., Ji, H.-F. 2023a. Regulation of gut microbiota by vitamin C, vitamin E and β -carotene. *Food Research International*, 169. Article number: 112749. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112749>.
- Li, Y., Ding, P., Tang, X., Zhu, W. et al. 2023b. Screening and oenological property analysis of ethanol-tolerant non-Saccharomyces yeasts isolated from *Rosa roxburghii* Tratt. *Frontiers in Microbiology*, 14. Article number: 1202440. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1202440>.
- Li, Y., Gao, X., Pan, D., Liu, Z. et al. 2023c. Identification and virtual screening of novel anti-inflammatory peptides from broccoli fermented by *Lactobacillus* strains. *Frontiers in Nutrition*, 9. Article number: 1118900. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1118900>.
- Li, Y., Luo, X., Guo, H., Bai, J. et al. 2023d. Metabolomics and metatranscriptomics reveal the influence mechanism of endogenous microbe (*Staphylococcus succinus*) inoculation on the flavor of fermented chili pepper. *International Journal of Food Microbiology*, 406. Article number: 110371. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110371>.
- Liu, L., Li, G., Cui, L., Cai, R. et al. 2024. The health benefits of fermented fruits and vegetables and their underlying mechanisms. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23. Article number: e70072. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70072>.

- Liu, S., Li, Y., Song, X., Hu, X. et al. 2023a. Changes in volatile and nutrient components of mango juice by different lactic acid bacteria fermentation. *Food Bioscience*, 56. Article number: 103141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103141>.
- Liu, S.-n., Han, Y., Zhou, Z.-j. 2011. Lactic acid bacteria in traditional fermented Chinese foods. *Food Research International*, 44(3), pp. 643–651. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.034>.
- Liu, X., Lv, M., Maimaitiyiming, R., Chen, K. 2023b. Development of fermented sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) juice and investigation of its antioxidant and antimicrobial activity. *Frontiers in Nutrition*, 10. Article number: 1120748. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1120748>.
- Liu, Y., Sheng, J., Li, J., Zhang, P. et al. 2022. Influence of lactic acid bacteria on physicochemical indexes, sensory and flavor characteristics of fermented sea buckthorn juice. *Food Bioscience*, 46. Article number: 101519. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101519>.
- Lv, M., Liu, X., Chen, K., Aihaiti, A. et al. 2023. Effects of adding milk to fermented black mulberry (*Morus nigra* L.) juice on its antioxidant activity in C2C12 cells and changes in volatile flavor compounds during storage. *Food Chemistry: X*, 20. Article number: 101029. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101029>.
- Marnpae, M., Balmori, V., Kamonsuwan, K., Nungarlee, U. et al. 2024. Modulation of the gut microbiota and short-chain fatty acid production by gac fruit juice and its fermentation in *in vitro* colonic fermentation. *Food & Function*, 15(7), pp. 3640–3652. DOI: <https://doi.org/10.1039/d3fo04318e>.
- Martínez-Mendoza, B.I., Peredo-Lovillo, A., Romero-Luna, H.E., Jiménez-Fernández, M. 2023. Antioxidant and anti-inflammatory properties of yeasts fermented passion fruit and soursop pulps: A focus on bioactive volatile compounds profile. *Food Bioscience*, 56. Article number: 103112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103112>.
- Meira, D. I., Barbosa, A. I., Borges, J., Reis, R. L. 2024. Recent advances in nanomaterial-based optical biosensors for food safety applications: Ochratoxin-A detection, as case study. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(18), pp. 6318–6360. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2168248>.
- Méndez-Galarraga, M. P., Hurtado-Romero, A., Pirovani, M. É., Vinderola, G. et al. 2023. Exploring autochthonous strains with probiotic potential: A comprehensive characterization of functional properties and their application in fermented blueberry-watermelon smoothies. *Food Bioscience*, 56. Article number: 103173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103173>.
- Michalak, M., Kubik-Komar, A., Waśko, A., Polak-Berecka, M. 2020. Starter culture for curly kale juice fermentation selected using principal component analysis. *Food Bioscience*, 35. Article number: 100602. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100602>.
- Mir, S. M., Ravuri, H. G., Pradhan, R. K., Narra, S. et al. 2018. Ferulic acid protects lipopolysaccharide-induced acute kidney injury by suppressing inflammatory events and upregulating antioxidant defenses in Balb/c mice. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 100, pp. 304–315. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.01.169>.
- Misci, C., Taskin, E., Dall'Asta, M., Fontanella, M. C. et al. 2021. Fermentation as a tool for increasing food security and nutritional quality of indigenous African leafy vegetables: The case of *Cucurbita* sp. *Food Microbiology*, 99. Article number: 103820. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103820>.
- Misci, C., Taskin, E., Vaccari, F., Dall'Asta, M. et al. 2022. Evolution of microbial communities and nutritional content of fermented *Amaranthus* sp. Leaves. *International Journal of Food Microbiology*, 362. Article number: 109445. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109445>.
- Mohammadi, S., Mazloomi, S. M., Niakousari, M., Far, G. et al. 2022. Evaluating the effects of dark chocolate formulated with micro-encapsulated fermented garlic extract on cardio-metabolic indices in hypertensive patients: A crossover, triple-blind placebo-controlled randomized clinical trial. *Phytotherapy Research*, 36(4), pp. 1785–1796. DOI: <https://doi.org/10.1002/ptr.7421>.
- Mota, J. C., Almeida, P. P., Freitas, M. Q., Stockler-Pinto, M. B. et al. 2023. Far from being a simple question: The complexity between *in vitro* and *in vivo* responses from nutrients and bioactive compounds with antioxidant potential. *Food Chemistry*, 402. Article number: 134351. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134351>.
- Muhialdin, B. J., Kadum, H., Hussin, A. S. M. 2021. Metabolomics profiling of fermented cantaloupe juice and the potential application to extend the shelf life of fresh cantaloupe juice for six months at 8 °C. *Food Control*, 120. Article number: 107555. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107555>.
- Multari, S., Guzzon, R., Caruso, M., Licciardello, C. et al. 2021. Alcoholic fermentation of citrus flavedo and albedo with pure and mixed yeast strains: Physicochemical characteristics and phytochemical profiles. *LWT – Food Science and Technology*, 144. Article number: 111133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111133>.
- Paśko, P., Galanty, A., Dymerski, T., Kim, Y.-M. et al. 2024. Physicochemical and volatile compounds analysis of fruit wines fermented with *Saccharomyces cerevisiae*: FTIR and microscopy study with focus on anti-inflammatory potential. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(11). Article number: 5627. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms25115627>.

- Patil, P. S., Deshannavar, U. B., Ramasamy, M., Emani, S. 2021. Production, optimization, and characterization of sugarcane (*Saccharum officinarum*) – papaya (*Carica papaya*) wine using *Saccharomyces cerevisiae*. *Environmental Technology & Innovation*, 21. Article number: 101290. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101290>.
- Peng, M., Zhang, Z., Xu, X., Zhang, H. et al. 2023. Purification and characterization of the enzymes from *Brevundimonas naejangsensis* that degrade ochratoxin A and B. *Food Chemistry*, 419. Article number: 135926. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135926>.
- Pérez-Armendáriz, B., Cardoso-Ugarte, G. A. 2020. Traditional fermented beverages in Mexico: Biotechnological, nutritional, and functional approaches. *Food Research International*, 136. Article number: 109307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109307>.
- Pi, X., Sun, Y., Cheng, J., Fu, G. et al. 2023. A review on polyphenols and their potential application to reduce food allergenicity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(29), pp. 10014–10031. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2078273>.
- Qin, T., Liao, J., Zheng, Y., Zhang, W. et al. 2021. Oenological characteristics of four non-saccharomyces yeast strains with β -glycosidase activity. *Frontiers in Microbiology*, 12. Article number: 626920. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.626920>.
- Ramires, F. A., Durante, M., D'Antuono, I., Garbetta, A. et al. 2024. Novel fermentation strategies of strawberry tree *Arbutus unedo* fruits to obtain high nutritional value products. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(2). Article number: 684. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms25020684>.
- Rózańska, A., Fabjanowicz, M., Kalinowska, K., Polkowska, Ż. 2022. Green, simple analytical method for biogenic amines determination in fruit juice samples using salting-out assisted liquid-liquid microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Food Chemistry*, 384. Article number: 132557. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132557>.
- Saha Turna, N., Comstock, S. S., Gangur, V., Wu, F. 2024. Effects of aflatoxin on the immune system: Evidence from human and mammalian animal research. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(27), pp. 9955–9973. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2219336>.
- Salas-Millán, J.-Á., Aznar, A., Conesa, E., Conesa-Bueno, A. et al. 2022. Functional food obtained from fermentation of broccoli by-products (stalk): Metagenomics profile and glucosinolate and phenolic compounds characterization by LC-ESI-QqQ-MS/MS. *LWT*, 169. Article number: 113915. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113915>.
- Salehi, F., Aghajanzadeh, S. 2020. Effect of dried fruits and vegetables powder on cakes quality: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 95, pp. 162–172. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.011>.
- Saud, S., Xiaojuan, T., Fahad, S. 2024. The consequences of fermentation metabolism on the qualitative qualities and biological activity of fermented fruit and vegetable juices. *Food Chemistry: X*, 21. Article number: 101209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101209>.
- Shen, F., Cheng, X., He, C., Jiang, T. et al. 2024. Exogenous inoculation of *Pediococcus pentosaceus* SSC12 positively regulates anthocyanin biosynthesis to alleviate browning of postharvest litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *LWT*, 207. Article number: 116644. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116644>.
- Sheng, Z., Yu, L., Li, X., Zhao, Y. et al. 2021. The anti-obesity effect of fermented tremella/blueberry and its potential mechanisms in metabolically healthy obese rats. *Journal of Functional Foods*, 86. Article number: 104670. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104670>.
- Shin, C., Lim, Y., Lim, H., Ahn, T.-B. 2020. Plasma short-chain fatty acids in patients with Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 35, pp. 1021–1027. DOI: <https://doi.org/10.1002/mds.28016>.
- Shiota, M., Saitou, K., Mizumoto, H., Matsusaka, M. et al. 2010. Rapid detoxification of cereulide in *Bacillus cereus* food poisoning. *Pediatrics*, 125(4), pp. e951–e955. DOI: <https://doi.org/10.1542/peds.2009-2319>.
- Shuai, X., Dai, T., McClements, D. J., Ruan, R. et al. 2023. Hypolipidemic effects of macadamia oil are related to AMPK activation and oxidative stress relief: *In vitro* and *in vivo* studies. *Food Research International*, 168. Article number: 112772. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112772>.
- Surai, P. F., Surai, A., Earle-Payne, K. 2024. Silymarin and inflammation: Food for thoughts. *Antioxidants*, 13(1). Article number: 98. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox13010098>.
- Świder, O., Łukasz Roszko, M., Wójcicki, M., Szymczyk, K. 2020. Biogenic amines and free amino acids in traditional fermented vegetables dietary risk evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(3), pp. 856–868. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b05625>.
- Tang, Z., Wang, Q., Zhao, Z., Shen, N. 2023. Evaluation of fermentation properties, antioxidant capacity *in vitro* and *in vivo*, and metabolic profile of a fermented beverage made from apple and cantaloupe. *LWT*, 179. Article number: 114661. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114661>.
- Van Beeck, W., Verschueren, C., Wuyts, S., van den Broek, M. F. L. et al. 2020. Robustness of fermented carrot juice against *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium* and *Escherichia coli* O157:H7. *International Journal of Food Microbiology*, 335. Article number: 108854. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108854>.

- Wang, B., Zhao, N., Li, J., Xu, R. et al. 2021a. Selenium-enriched *Lactobacillus plantarum* improves the antioxidant activity and flavor properties of fermented *Pleurotus eryngii*. *Food Chemistry*, 345. Article number: 128770. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128770>.
- Wang, D., Chen, G., Tang, Y., Li, J. et al. 2022a. Correlation between autochthonous microbial communities and flavor profiles during the fermentation of mustard green paocai (*Brassica juncea* Coss.), a typical industrial-scaled salted fermented vegetable. *LWT*, 172. Article number: 114212. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114212>.
- Wang, D., Deng, Y., Zhao, L., Wang, K. et al. 2023. GABA and fermented litchi juice enriched with GABA promote the beneficial effects in ameliorating obesity by regulating the gut microbiota in HFD-induced mice. *Food & Function*, 14(18), pp. 8170–8185. DOI: <https://doi.org/10.1039/d2fo04038g>.
- Wang, J., Xie, B., Sun, Z. 2021b. Quality parameters and bioactive compound bioaccessibility changes in probiotics fermented mango juice using ultraviolet-assisted ultrasonic pre-treatment during cold storage. *LWT – Food Science and Technology*, 137. Article number: 110438. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110438>.
- Wang, L.-S., Echeveste, C. E., Yu, J., Huang, Y.-W. et al. 2020a. Can natural products suppress resistant *Helicobacter pylori* to fight against gastric diseases in humans? *eFood*, 1, pp. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.2991/efood.k.200211.001>.
- Wang, L.-S., Mo, Y. Y., Huang, Y.-W., Echeveste, C. E. et al. 2020b. Effects of dietary interventions on gut microbiota in humans and the possible impacts of foods on patients' responses to cancer immunotherapy. *eFood*, 1, pp. 279–287. DOI: <https://doi.org/10.2991/efood.k.200824.002>.
- Wang, R., Guo, S. 2021c. Phytic acid and its interactions: Contributions to protein functionality, food processing, and safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20, pp. 2081–2105. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12714>.
- Wang, X., Liu, X., Long, J., Shen, K. et al. 2024. Isolation, screening, and application of aroma-producing yeast for red dragon fruit wine. *Food Bioscience*, 59. Article number: 103878. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103878>.
- Wang, X., Wang, Y., Han, M., Liang, J. et al. 2022b. Evaluating the changes in phytochemical composition, hypoglycemic effect, and influence on mice intestinal microbiota of fermented apple juice. *Food Research International*, 155. Article number: 110998. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.110998>.
- Wang, Y., Li, H. C., Ren, Y. C., Wang, Y. Q. et al. 2022d. Preparation, model construction and efficacy lipid-lowering evaluation of kiwifruit juice fermented by probiotics. *Food Bioscience*, 47. Article number: 101710. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101710>.
- Wang, Y., Wang, J., Cai, Z., Huang, H. et al. 2022e. Improved physicochemical and functional properties of dietary fiber from *Rosa roxburghii* pomace fermented by *Bacillus natto*. *Food Bioscience*, 50. Article number: 102030. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102030>.
- Wang, Y. X., Li, H., Li, X. Z., Wang, C. X. et al. 2022c. Widely targeted metabolomics analysis of enriched secondary metabolites and determination of their corresponding antioxidant activities in *Elaeagnus angustifolia* var. *orientalis* (L.) kuntze fruit juice enhanced by *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* HN-3 fermentation. *Food Chemistry*, 374. Article number: 131568. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131568>.
- Wei, B. L., Peng, Z., Zheng, W. D., Yang, S. Y. et al. 2024. Probiotic-fermented tomato alleviates high-fat diet-induced obesity in mice: Insights from microbiome and metabolomics. *Food Chemistry*, 436. Article number: 137719. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137719>.
- Wu, W., Zhu, Q. G., Wang, W. Q., Grierson, D. et al. 2022. Molecular basis of the formation and removal of fruit astringency. *Food Chemistry*, 372. Article number: 131234. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131234>.
- Xiang, Y. Z., Li, X. Y., Zheng, H. L., Chen, J. Y. et al. 2021. Purification and antibacterial properties of a novel bacteriocin against *Escherichia coli* from *Bacillus subtilis* isolated from blueberry ferments. *LWT – Food Science and Technology*, 146. Article number: 111456. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111456>.
- Xiao, X. W., Li, S. Y., Zhou, X. B., Li, M. et al. 2023. The anti-obesogenic effects and underpinning mechanisms of fermented plant-based foods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 136, pp. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.04.007>.
- Xie, H., Gao, P. Y., Lu, Z. M., Wang, F. Z. et al. 2023. Changes in physicochemical characteristics and metabolites in the fermentation of goji juice by *Lactiplantibacillus plantarum*. *Food Bioscience*, 54. Article number: 102881. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102881>.
- Xu, H., Feng, L., Deng, Y., Chen, L. et al. 2023. Change of phytochemicals and bioactive substances in *Lactobacillus* fermented citrus juice during the fermentation process. *LWT*, 180. Article number: 114715. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114715>.
- Xu, X., Bi, S., Lao, F., Chen, F. et al. 2021a. Comprehensive investigation on volatile and non-volatile metabolites in broccoli juices fermented by animal- and plant-derived *Pediococcus pentosaceus*. *Food Chemistry*, 341. Article number: 128118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128118>.

- Xu, X., Bi, S., Lao, F., Chen, F. et al. 2021b. Induced changes in bioactive compounds of broccoli juices after fermented by animal- and plant-derived *Pediococcus pentosaceus*. *Food Chemistry*, 357. Article number: 129767. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129767>.
- Yang, C. X., Yao, J. Q., Zhang, T., Yang, K. M. et al. 2024. Mixed fermentation of navel orange peel by *Trichoderma viride* and *Aspergillus niger*: Effects on the structural and functional properties of soluble dietary fiber. *Food Bioscience*, 57. Article number: 103545. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103545>.
- Yun, Y.-R., Lee, M., Song, J. H., Choi, E. J. et al. 2022. Immunomodulatory effects of *Companilactobacillus allii* WiKim39 and *Lactococcus lactis* wikim0124 isolated from kimchi on lipopolysaccharide-induced RAW264.7 cells and dextran sulfate sodium-induced colitis in mice. *Journal of Functional Foods*, 90. Article number: 104969. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.104969>.
- Zeinali, M., Rezaee, S. A., Hosseinzadeh, H. 2017. An overview on immunoregulatory and anti-inflammatory properties of chrysin and flavonoids substances. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 92, pp. 998–1009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.06.003>.
- Zhang, J., Zhang, C., Lei, P., Xin, X. et al. 2022. Isolation, purification, identification, and discovery of the antibacterial mechanism of 4d-phenyllactic acid produced by *Lactiplantibacillus plantarum* CXG9 isolated from a traditional Chinese fermented vegetable. *Food Control*, 132. Article number: 108490. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108490>.
- Zhang, L. H., Zhang, M., Mujumdar, A. S. 2021. New technology to overcome defects in production of fermented plant products – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 116, pp. 829–841. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.014>.
- Zhao, D., Cao, J. H., Jin, H. Q., Shan, Y. K. et al. 2021a. Beneficial impacts of fermented celery (*Apium graveolens* L.) juice on obesity prevention and gut microbiota modulation in high-fat diet fed mice. *Food & Function*, 12(19), pp. 9151–9164. DOI: <https://doi.org/10.1039/d1fo00560j>.
- Zhao, N., Huang, Y., Lai, H., Wang, Y. et al. 2023a. Illumination and reconstruction of keystone microbiota for reproduction of key flavor-active volatile compounds during paocai (a traditional fermented vegetable) fermentation. *Food Bioscience*, 56. Article number: 103148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103148>.
- Zhao, N., Lai, H., Wang, Y., Huang, Y. et al. 2021b. Assessment of biogenic amine and nitrite production in low-salt Paocai during fermentation as affected by reused brine and fresh brine. *Food Bioscience*, 41. Article number: 100958. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100958>.
- Zhao, N., Lai, H. M., He, W., Wang, Y. L. et al. 2021c. Reduction of biogenic amine and nitrite production in low-salt Paocai by controlled package during storage: A study comparing vacuum and aerobic package with conventional salt solution package. *Food Control*, 123. Article number: 107858. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107858>.
- Zhao, Q., Wang, Z., Yu, Z., Gao, Z. et al. 2023b. Influence on physical properties and digestive characters of fermented coconut milk with different loading proportion of skimmed coconut drink using *Lactiplantibacillus plantarum* MWLp-4 from human milk mixing with commercial bacteria. *Food Bioscience*, 53. Article number: 102598. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102598>.
- Zhu, F., Du, B., Xu, B. 2018. Anti-inflammatory effects of phytochemicals from fruits, vegetables, and food legumes: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(8), pp. 1260–1270. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1251390>.

Сведения об авторе

Бурак Леонид Чеславович – ул. Пономаренко, 35А, г. Минск, Республика Беларусь, 220015; Общество с ограниченной ответственностью "БЕЛРОСАКВА", д-р философии в области пищевых наук (PhD), канд. техн. наук; e-mail: leonidburak@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>

Leonid Ch. Burak – 35A Ponomarenko Str., Minsk, Republic of Belarus, 220015; Limited Liability Company "BELROSAKVA", PhD, Cand. Sci. (Engineering); e-mail: leonidburak@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>