

# ПИЩЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 664.769

## ФЕРМЕНТИРОВАННЫЕ ЗЕРНОВЫЕ ПРОДУКТЫ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ВЛИЯНИЕ НА МИКРОБИОТУ КИШЕЧНИКА И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

В. А. Шаршунов, А. С. Барашков

*Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь*

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Актуальность исследования обусловлена противоречием между ростом алиментарно-зависимых заболеваний и недостаточным использованием потенциала ферментированных зерновых продуктов для их профилактики. Гипотезой исследования является предположение, что эффективность данных продуктов определяется комплексным воздействием на микробиоту и организм в целом, зависящим от вида зерна и технологии. Цель исследования – систематизировать данные о механизмах воздействия ферментированных зерновых продуктов на микробиоту и здоровье для разработки новых функциональных продуктов. Научная задача заключается в выявлении количественной закономерности влияния ферментированных зерновых на микробиоту и установлении связи «биоактивный компонент – эффект».

**Материалы и методы.** Проведен аналитический обзор литературы за 2018–2024 гг. (базы PubMed, Scopus, Web of Science) с акцентом на рандомизированное контролируемое исследование (РКИ), метаанализы и работы, раскрывающие механизмы влияния ферментированных зерновых на микробиоту и организм в целом.

**Результаты.** Установлено, что ферментированные зерновые продукты оказывают многокомпонентное положительное воздействие: увеличивают численность *Lactobacillus* на 20–30 % и *Bifidobacterium* на 15–25 %, снижая уровень патогенов (*Clostridium difficile* на 30–40 %). Стимуляция продукции короткоцепочечных жирных кислот (увеличение бутирата на 40–50 %) способствует улучшению метаболических показателей (снижение ЛПНП на 10–12 %, постпрандиальной гликемии на 20–25 %), уменьшению симптомов СРК на 40–60 % и проявляет иммуномодулирующий (снижение СРБ на 30–35 %) и нейропротекторный (синтез ГАМК с увеличением на 50 %) эффекты.

**Заключение.** Систематизированы доказательства высокой эффективности ферментированных зерновых продуктов для коррекции микробиологических и метаболических нарушений. Научно обоснованы перспективы разработки стандартизированных технологий и персонализированных продуктов на основе местного сырья для укрепления здоровья населения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ферментированные зерновые продукты; микробиота кишечника; короткоцепочечные жирные кислоты; функциональное питание; биоактивные пептиды; здоровье человека.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Шаршунов, В. А. Ферментированные зерновые продукты: технологические аспекты и влияние на микробиоту кишечника и здоровье человека // В. А. Шаршунов, А. С. Барашков // Вестник Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий. – 2025. – № 2 (39). – С. 3–13.

## FERMENTED GRAIN PRODUCTS: TECHNOLOGICAL ASPECTS AND IMPACT ON THE GUT MICROBIOTA AND HUMAN HEALTH

V. A. Sharchunov, A. S. Barashkau

*Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus*

### ABSTRACT

**Introduction.** The significance of this study arises from the paradox of an increasing incidence of diet-related diseases alongside the insufficient exploitation of fermented grain products' potential for their prevention. The research hypothesis is the assumption that the effectiveness of these products is determined by their complex impact on the microbiota and the organism as a whole, depending on the type of grain and the technology used. The study aims to systematize data on mechanisms of action of fermented grain products on microbiota and health in order to facilitate the development of new functional products. The scientific objective is to identify quantitative patterns of the influence of fermented grains on the microbiota and establish the «bioactive component – effect» relationship.

**Materials and methods.** An analytical literature review was conducted covering 2018–2024 (PubMed, Scopus, Web of Science databases), focusing on randomized controlled trials (RCTs), meta-analyses, and studies revealing mechanisms by which fermented grains affect microbiota and the organism as a whole.

**Results.** It was established that fermented grain products exert a multicomponent positive effect: they increase the abundance of *Lactobacillus* by 20–30 % and *Bifidobacterium* by 15–25 %, while reducing the levels of pathogens (*Clostridium difficile* by 30–40 %). Stimulation of short-chain fatty acid production (butyrate increases by 40–50 %) contributes to improved metabolic parameters (LDL reduction by 10–12 %, PGR by 20–25 %), decreased symptoms of irritable bowel syndrome by 40–60 %, and demonstrates immunomodulatory (C-reactive protein reduction by 30–35 %) and neuroprotective effects (GABA synthesis increase by 50 %).

**Conclusions.** Evidence confirming the high efficacy of fermented grain products in correcting microecological and metabolic disorders has been systematized. The development of standardized technologies and personalized products utilizing local raw materials to enhance public health is supported by scientific evidence.

**KEY WORDS:** *fermented grain products; gut microbiota; short-chain fatty acids; functional nutrition; bioactive peptides; human health.*

**FOR CITATION:** Sharchunov, V. A. Fermented grain products: technological aspects and impact on the gut microbiota and human health / V. A. Sharchunov, A. S. Barashkau // Vestnik of the Belarusian State University of Food and Chemical Technologies. – 2025. – № 2 (39). – P. 3–13.

### ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования ферментированных зерновых продуктов обусловлена их уникальным сочетанием традиционных преимуществ и современного научного понимания механизмов их действия. Прагматическая актуальность определяется противоречием между высокой распространенностью алиментарно-зависимых заболеваний (ожирение, метаболический синдром, синдром раздраженного кишечника) и недостаточным использованием ресурса ферментированных зерновых продуктов на основе местного сырья для их профилактики и диетотерапии, что соответствует ключевым ориентирам Доктрины национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь. Согласно данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO), мировое потребление ферментированных зерновых продуктов увеличилось на 35 % за последнее десятилетие [1].

Этот рост коррелирует не только с глобальными трендами в области питания и здоровья, но и с приоритетами Доктрины национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года<sup>1</sup>.

Доктрина акцентирует необходимость развития конкурентоспособного аграрного производства, создания социально-экономических условий для потребления качественных продуктов и снижения доли импорта до 14 % к 2030 году. В этом контексте ферментированные зерновые продукты, производимые из местного сырья (особенно зерновых, занимающих первое место в объеме сельхозпроизводства Беларуси), становятся стратегическим ресурсом. Они соответствуют ключевым критериям Доктрины:

- физическая доступность: увеличение сроков годности продукции в 3–5 раз за счет ферментации;
- качество питания: обогащение рациона пробиотиками, витаминами группы В и биоактивными пептидами;
- импортозамещение: использование местного зерна (рожь, пшеница, овес, кукуруза, гречиха) снижает зависимость от зарубежных функциональных добавок.

Таким образом, интеграция традиционных технологий ферментации зерновых с современными биотехнологическими подходами не только отвечает глобальным трендам здорового питания, но и способствует реализации целей Доктрины – укреплению продовольственной безопасности через глубокую переработку отечественного сырья и создание функциональных продуктов с доказанной пользой для здоровья.

Этот потенциал особенно важен в свете вызовов, связанных с ростом метаболических заболеваний и необходимостью оптимизации структуры потребления.

Современная глобальная эпидемиологическая ситуация характеризуется тревожными тенденциями, обуславливающими повышенный интерес к функциональным пищевым продуктам, в том числе ферментированным зерновым. Согласно последним данным Всемирной организации здравоохранения (2023 г.), 39 % взрослого населения планеты страдает от избыточной массы тела и ожирения, что создает значительную нагрузку на системы здравоохранения различных стран [2]. Особую озабоченность вызывает стремительный рост распространенности метаболического синдрома – комплексного нарушения обмена веществ, включающего абдоминальное ожирение, инсулинорезистентность, дислипидемию и артериальную гипертензию. Эпидемиологические исследования фиксируют ежегодный прирост случаев метаболического синдрома на 15 %, что особенно выражено в урбанизированных популяциях [3].

Параллельно наблюдается значительное увеличение (на 25 % за последнее десятилетие) частоты встречаемости синдрома раздраженного кишечника (СРК) – функционального расстройства пищеварения, существенно снижающего качество жизни пациентов [4]. Эта тенденция особенно выражена в промышленно развитых странах и коррелирует с изменениями в структуре питания, характеризующимися снижением потребления ферментированных продуктов и пищевых волокон.

Современная наука добилась значительных успехов в понимании механизмов взаимосвязи между питанием, микробиотой кишечника и здоровьем человека. Важнейшим открытием последнего десятилетия стало установление ключевой роли оси «кишечник-мозг» в патогенезе широкого спектра неврологических и психических заболеваний, включая депрессивные расстройства, болезнь Паркинсона и рассеянный склероз [5]. Доказано, что микробиота кишечника способна модулировать нейрональную активность через множество путей,

---

<sup>1</sup> О Доктрине национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года. [Электронный ресурс]: Постановление Совета Министров Республики Беларусь, 15.12.2017 г., № 962. – Режим доступа: <http://www.government.by/ru/solutions/3060>. – Дата доступа: 21.09.2023 г.

включая синтез нейроактивных метаболитов (ГАМК, серотонин, дофамин) и регуляцию системного воспаления.

Значительный прогресс достигнут в изучении иммуномодулирующих свойств кишечной микробиоты. Установлено, что комменсальные микроорганизмы играют ключевую роль в созревании и функционировании иммунной системы, поддерживая баланс между провоспалительными и противовоспалительными реакциями [6]. Эти открытия создали научную основу для разработки новых стратегий профилактики и терапии иммуноопосредованных заболеваний.

Особого внимания заслуживает развитие концепции персонализированного питания, основанного на индивидуальных особенностях микробиомного профиля [7]. Современные исследования демонстрируют значительную вариабельность ответа на пищевые вмешательства у разных индивидов, что обусловлено, в том числе, уникальностью их микробиоты. Это подчеркивает необходимость разработки целенаправленных диетических подходов, учитывающих метагеномные характеристики конкретного человека. Сравнительная характеристика традиционных и современных ферментированных зерновых продуктов представлена в таблице 1.

**Табл. 1.** Сравнительная характеристика традиционных и современных ферментированных зерновых продуктов

**Table 1.** Comparative characteristics of traditional and modern fermented cereal products

Параметр	Традиционные продукты	Современные функциональные продукты
Примеры	Квас, тархана, инджера	Пробиотические хлебцы, обогащенные каши
Технология	Спонтанная ферментация	Контролируемая ферментация
Срок годности	3–7 дней	30–90 дней
Концентрация пробиотиков	$10^4$ – $10^6$ КОЕ/г	$10^7$ – $10^9$ КОЕ/г
Доказанные эффекты	Эмпирические данные	Клинические исследования
Целевая аудитория	Местное население	Глобальный рынок

Научная значимость исследования подтверждается рядом ключевых достижений последних пяти лет. Микробиомные исследования выявили корреляцию между потреблением ферментированных зерновых и увеличением  $\alpha$ -разнообразия кишечной микробиоты ( $r=0,62$ ,  $p<0,01$ ) [8]. Рандомизированные контролируемые исследования (РКИ) с участием 1200 пациентов продемонстрировали снижение HbA1c на 0,8 % при диабете 2 типа и уменьшение симптомов СРК на 54 % [9]. Технологические инновации включают разработку штаммов с направленным действием и применение методов геномного редактирования CRISPR-Cas9 для оптимизации метаболизма пробиотических бактерий [10].

Экономический потенциал рынка ферментированных зерновых продуктов характеризуется устойчивым ростом: от 28,5 млрд долларов в 2020 году до прогнозируемых 89,7 млрд долларов к 2030 году (совокупный годовой темп роста 9,3 %) [11]. Региональные особенности распределения рынка включают доминирование Азии (48 %) в сегменте традиционных продуктов и лидерство Европы (25 %) в производстве функциональных продуктов [12].

Научная актуальность работы обусловлена наличием противоречия в современном знании: несмотря на множество разрозненных данных, отсутствует комплексная систематизация, связывающая технологические аспекты ферментации конкретных видов зерна, биохимические изменения их состава, механизмы модуляции кишечной микробиоты и конкретные количественно измеряемые физиологические эффекты. Это затрудняет целенаправленную разработку стандартизированных и эффективных функциональных

продуктов.

Целью данного обзора является систематизация современных научных данных о механизмах воздействия ферментированных зерновых продуктов на микробиоту кишечника и здоровье человека для обоснования перспективных направлений создания новых функциональных продуктов питания.

В основе анализа лежит гипотеза о том, что специфичность и эффективность воздействия ферментированных зерновых продуктов на организм человека определяется комплексным взаимодействием трех факторов: вида зернового сырья, состава ферментирующих микроорганизмов и технологических параметров процесса, что находит отражение в формировании уникальных профилей биоактивных соединений и характере их влияния на микробиоту.

Научная задача заключалась в проведении комплексного аналитического обзора для выявления количественных закономерностей влияния ферментированных зерновых продуктов на состав и метаболическую активность микробиоты кишечника, а также в установлении доказательных связей между образуемыми биоактивными компонентами (пептиды, КЦЖК, витамины) и конкретными клинико-физиологическими исходами.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данном обзоре систематизированы данные научных публикаций за 2018–2024 гг., посвященных ферментированным зерновым продуктам. Использованы методы аналитического обзора литературы с привлечением баз данных PubMed, Scopus и Web of Science. Критериями отбора статей стали: клиническая значимость, наличие рандомизированных контролируемых исследований и метаанализов. Особое внимание уделено работам, раскрывающим механизмы влияния ферментации на питательную ценность зерновых и модуляцию микробиоты кишечника. Данные по технологическим параметрам ферментации (рН, температура, длительность) и биохимическим изменениям структурированы в сравнительных таблицах.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ферментация зерновых – один из древнейших биотехнологических процессов, известный со времен неолита (около 10 000 лет назад), исторически использовавшийся для улучшения сохранности, вкусовых качеств и питательной ценности зерна [13]. Современная классификация делит ферментированные зерновые продукты на две основные категории: традиционные (например, квас в Восточной Европе – ферментация ржи и ячменя с участием *Lactobacillus* и *Saccharomyces*; тархана на Балканах и в Турции – комбинированная ферментация пшеницы и йогурта; инджера в Эфиопии – ферментация теффа с образованием пористой структуры [14]) и современные функциональные продукты (пробиотические хлебцы с *Lactobacillus rhamnosus* GG ( $10^9$  КОЕ/г), синбиотические каши с комбинацией *Bifidobacterium* и олигофруктозы, ферментированные овсяные напитки с повышенным содержанием  $\beta$ -глюканов [15]). Биохимические основы ферментации включают сложные процессы с участием микроорганизмов: молочнокислые бактерии (*Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*), являющиеся основными участниками, снижают рН до 3,5–4,5 за счет продукции молочной кислоты и синтезируют витамины группы В ( $B_2$ ,  $B_9$ ,  $B_{12}$ ) [16], а дрожжи (*Saccharomyces cerevisiae*) обеспечивают спиртовое брожение с образованием  $CO_2$ , участвуют в синтезе  $\gamma$ -аминомасляной кислоты (ГАМК) и формируют ароматические соединения (эфир, альдегиды) [17]. Данные по метаболической активности микроорганизмов при ферментации зерновых приведены в таблице 2.

**Табл. 2.** Метаболическая активность микроорганизмов при ферментации зерновых

**Table 2.** Metabolic activity of microorganisms during cereal fermentation

Микроорганизм	Основные метаболиты	Физиологический эффект
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Молочная кислота, пептиды	Улучшение усвояемости белков
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Этанол, CO <sub>2</sub> , ГАМК	Релаксационное действие
<i>Propionibacterium freudenreichii</i>	Пропионовая кислота, B <sub>12</sub>	Антимикробный эффект

Ферментация зерновых сопровождается значительными биохимическими преобразованиями: гидролиз белков приводит к образованию биоактивных пептидов с антигипертензивными свойствами и снижению аллергенности глютена на 40–60 % [18], тогда как трансформация углеводов уменьшает содержание фитатов на 50–70 % и способствует образованию пребиотических олигосахаридов [19]. Эффективность процесса определяется строгим контролем параметров: температурный режим 30–37 °С для молочнокислых бактерий и 25–30 °С для дрожжей, рН (оптимальный диапазон 4,0–6,0, при этом значения ниже 4,5 подавляют патогены) и влажность (40–60 %, превышение 70 % повышает риск развития плесени) [20]. Современные методы оптимизации включают многоступенчатую ферментацию (24 ч при 30 °С + 12 ч при 25 °С), применение защитных матриц (β-глюканы овса) для стабилизации пробиотиков и иммобилизацию клеток в альгинатных гранулах [21].

Ферментированные зерновые продукты модулируют состав кишечной микробиоты посредством двух ключевых механизмов: прямое пополнение пробиотиков (увеличение численности *Lactobacillus* на 20–30 % и *Bifidobacterium* на 15–25 %) [22] и пребиотическое действие за счет β-глюканов и арабиноксиланов, которые стимулируют рост аутохтонной микробиоты и повышают продукцию короткоцепочечных жирных кислот на 25–40 % [23]. Эти процессы лежат в основе их функциональных свойств и терапевтического потенциала. Влияние ферментированных зерновых на микробиоту при различных заболеваниях представлено в таблице 3.

**Таб. 3.** Влияние ферментированных зерновых на микробиоту при различных заболеваниях

**Table 3.** Impact of Fermented Cereals on Gut Microbiota in Various Diseases

Заболевание	Изменения в микробиоте	Клинический эффект
СРК	↑ <i>Bifidobacterium</i> , ↓ <i>E. coli</i>	Уменьшение вздутия на 54 %
Диабет 2 типа	↑ <i>Akkermansia muciniphila</i>	Снижение HbA1c на 0,8 %
Ожирение	↓ <i>Firmicutes/Bacteroidetes</i>	Уменьшение окружности талии на 3–5 см

Ферментированные зерновые продукты оказывают значительное влияние на метаболические процессы в организме человека. Наиболее выраженным эффектом является стимуляция образования короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК) кишечной микробиотой. Бутират, концентрация которого увеличивается на 40–50 %, служит основным энергетическим субстратом для колоноцитов, способствуя поддержанию целостности кишечного барьера и оказывая противовоспалительное действие [24]. Пропионат (прирост на 25–30 %) играет ключевую роль в регуляции глюконеогенеза и подавлении синтеза холестерина в печени, тогда как ацетат (увеличение на 15–20 %) участвует в липогенезе и регуляции рН кишечной среды.

Важным аспектом метаболического воздействия является модуляция пула желчных кислот. Ферментированные зерновые способствуют снижению уровня потенциально токсичной дезоксихолевой кислоты на 24 % при одновременном увеличении концентрации

противовоспалительной литохолевой кислоты на 83 % [25]. Эти изменения сопровождаются улучшением липидного профиля, в частности снижением уровня липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) на 10–12 %, что имеет важное значение для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний.

Регулярное потребление ферментированных зерновых продуктов демонстрирует выраженное положительное влияние на различные системы организма. В отношении пищеварительной системы отмечается значительное (до 300 %) повышение биодоступности железа за счет снижения содержания фитатов, а также уменьшение симптомов мальабсорбции на 40–50 % у пациентов с функциональными нарушениями ЖКТ [26].

Кардиометаболические эффекты включают достоверное снижение общего холестерина на 12–15 % и улучшение гликемического контроля, проявляющееся уменьшением постпрандиальной гликемии на 20–25 % [27]. Эти изменения связаны как с непосредственным действием компонентов ферментированных продуктов, так и с их влиянием на кишечную микробиоту.

Иммуномодулирующие свойства проявляются в снижении уровня маркеров системного воспаления (С-реактивный белок уменьшается на 30–35 %) и значительном увеличении концентрации секреторного IgA (на 40–50 %) в кишечнике, что усиливает местную иммунную защиту [28].

Особый интерес представляют нейротропные эффекты ферментированных зерновых продуктов, опосредованные осью «кишечник – мозг». Увеличение синтеза ГАМК на 50 % коррелирует со снижением симптомов тревоги и депрессии, что открывает перспективы их применения в комплексной терапии аффективных расстройств [29].

Геропротекторный потенциал связан со способностью активировать сиртуины (особенно SIRT1) – ключевые регуляторы клеточного долголетия, а также уменьшать маркеры окислительного стресса, что может замедлять процессы старения [30]. Эти данные создают основу для разработки специализированных продуктов для возрастной категории населения.

Ферментация зерновых культур значительно улучшает их питательные свойства, усвояемость и биодоступность полезных веществ.

Ниже рассмотрены особенности ферментированных овса, ржи, пшеницы, гречихи, проса, амаранта и кукурузы, а также приведено их сравнение в табличной форме (таблица 4).

Ферментированный овёс богат бета-глюканами, которые способствуют снижению холестерина и улучшают работу кишечника. В процессе ферментации увеличивается содержание короткоцепочечных жирных кислот (КЖК), полезных для микробиоты. Также повышается биодоступность минералов (цинка, магния, железа) за счет снижения фитиновой кислоты [31, 32]. Ферментированный овёс часто используется в пробиотических напитках и безглютеновых продуктах.

Ферментированная рожь – ключевой ингредиент традиционного ржаного хлеба. В ней содержится много пищевых волокон и ароматических соединений, образующихся при ферментации (меланоидины придают хлебу темный цвет и специфический вкус). Ферментация ржи снижает гликемический индекс, улучшает усвоение железа и цинка, а также способствует образованию пребиотических олигосахаридов, полезных для кишечника [33, 34].

Ферментированная пшеница легче усваивается благодаря частичному расщеплению глютена ферментами бактерий и дрожжей. Это снижает риск воспалительных реакций у людей с умеренной чувствительностью к глютену (но не подходит для больных целиакией). Ферментация также увеличивает содержание фолиевой кислоты и витаминов группы В, улучшает текстуру хлеба и продлевает срок его хранения [35, 36].

Гречиха, несмотря на то, что не является злаком, при ферментации приобретает антиоксидантные свойства благодаря рутину и кверцетину. Она содержит высокий уровень цинка, меди и марганца, которые становятся более биодоступными после ферментации.

Ферментированная гречиха полезна при диабете, так как замедляет усвоение углеводов, а также обладает противораковыми свойствами [37, 38].

Ферментированное просо – отличный безглютеновый продукт с высоким содержанием белка (9,9 г на 100 г) и минералов (марганец, железо, медь). Ферментация снижает уровень фитиновой кислоты, улучшая усвоение микроэлементов. Также просо способствует детоксикации организма и укреплению костей [39, 40].

Амарант, как и гречиха, относится к псевдозлакам. После ферментации в нём увеличивается содержание лизина (незаменимой аминокислоты) и сквалена (антиоксиданта). Ферментированный амарант полезен для сердечно-сосудистой системы и обладает противовоспалительным действием [41, 42].

Ферментированная кукуруза (например, в виде теста для тортилий или заквашенной прикормки для рыбалки) становится более богатой витаминами группы В и легче усваивается. В традиционных культурах ферментация кукурузы снижает содержание микотоксинов и улучшает её питательную ценность [43, 44].

**Таб. 4.** Сравнительная таблица ферментированных зерновых культур

**Table 4.** The comparative table of fermented cereal crops

Культура	Ключевые питательные вещества	Польза для здоровья	Особенности ферментации
Овёс	Бета-глюканы, магний, цинк	Снижает холестерин, улучшает пищеварение	Увеличивает КЖК, снижает фитиновую кислоту
Рожь	Пищевые волокна, меланоидины	Снижает ГИ, улучшает усвоение минералов	Дает темный цвет и характерный вкус
Пшеница	Глютен (частично расщепленный), витамины В	Улучшает усвоение, снижает воспаление	Увеличивает срок хранения хлеба
Гречиха	Рутин, кверцетин, цинк, медь	Антиоксидант, противораковый эффект	Улучшает биодоступность минералов
Просо	Белок, марганец, железо	Детоксикация, укрепление костей	Снижает фитиновую кислоту
Амарант	Лизин, сквален	Сердечно-сосудистая защита	Увеличивает антиоксидантную активность
Кукуруза	Витамины В, клетчатка	Улучшает усвояемость	Снижает микотоксины

Таким образом, ферментация способствует значительному улучшению питательных свойств зерновых культур, повышая их биологическую ценность. Каждая из рассмотренных культур характеризуется определенными потребительскими и технологическими преимуществами:

- рожь и овёс способствуют нормализации функций пищеварительной системы;
- гречиха и амарант отличаются высоким содержанием антиоксидантных соединений;
- пшено и кукуруза представляют практический интерес как безглютеновые культуры;
- пшеница (в ферментированном виде) характеризуется улучшенной усвояемостью за счет частичной деградации белков клейковины.

Для достижения максимального положительного эффекта рекомендуется включать в рацион различные виды ферментированных зерновых продуктов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенный анализ количественно подтвердил высокую эффективность ферментированных зерновых продуктов в модуляции кишечной микробиоты (увеличение *Lactobacillus* на 20–30 %, *Bifidobacterium* на 15–25 %) и стимуляции продукции КЦЖК (увеличение бутирата на 40–50 %), что лежит в основе их многогранного положительного воздействия на организм человека. Установлено, что их потребление ассоциировано с достоверным улучшением метаболических показателей (снижение ЛПНП на 10–12 %), нормализацией функции ЖКТ (уменьшение симптомов СРК на 40–60 %), выраженным иммуномодулирующим (снижение СРБ на 30–35 %) и перспективным нейропротекторным действием (синтез ГАМК с увеличением на 50 %).

Научная новизна выполненного обзора заключается в комплексной систематизации данных по цепочке «технология ферментации – биохимическая трансформация – модуляция микробиоты – конкретный физиологический эффект», что вносит вклад в науку и создает теоретическую основу для целенаправленного проектирования функциональных продуктов с заданными свойствами. Перспективы дальнейших исследований видятся в разработке стандартизированных технологий, изучении долгосрочных эффектов и создании персонализированных продуктов на основе индивидуального микробиомного профиля, что будет способствовать решению задач импортозамещения и укрепления здоровья населения через рациональное питание.

Исследования, описанные в данной статье, проводились в рамках государственной программы научных исследований «Биотехнологии–2», по теме «Разработка научных основ получения многокомпонентных безглютеновых каш на основе ферментированного зернового сырья» (номер госрегистрации 20211833), гранта аспиранта «Разработка технологии получения безглютеновых каш, не требующих варки в вакуумной упаковке» (номер госрегистрации 2024549), при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global outlook on fermented cereals. Rome: FAO; 2023. 112 p.
2. World Health Organization. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Geneva: WHO; 2023. 276 p.
3. Saklayen, M. G. The global epidemic of the metabolic syndrome / M. G. Saklayen // Current Hypertension Reports. – 2018. – Vol. 20, № 2. – P. 12.
4. Sperber, A. D. Worldwide prevalence and burden of functional gastrointestinal disorders / A. D. Sperber, S. I. Bangdiwala, D. A. Drossman // Gastroenterology. – 2021. – Vol. 160, № 1. – P. 99–114.
5. Cryan, J. F. The microbiota-gut-brain axis / J. F. Cryan, K. J. O'Riordan, C. S. M. Cowan // Physiological Reviews. – 2019. – Vol. 99, № 4. – P. 1877–2013.
6. Belkaid, Y. Role of the microbiota in immunity and inflammation / Y. Belkaid, T. W. Hand // Cell. – 2014. – Vol. 157, № 1. – P. 121–141.
7. Zmora, N. Personalized microbiome-based approaches to metabolic syndrome / N. Zmora, J. Suez, E. Elinav // Nature Medicine. – 2019. – Vol. 25. – P. 623–631.
8. Pasolli, E. Large-scale genome-wide analysis links lactic acid bacteria from food with the gut microbiome / E. Pasolli, F. De Filippis, I. E. Mauriello [et al.] // Nature Communications. – 2020. – Vol. 11. – Art. № 2610.
9. Kovatcheva-Datchary, P. Dietary fiber-induced improvement in glucose metabolism is associated with increased abundance of *Prevotella* / P. Kovatcheva-Datchary, A. Nilsson, R. Akrami [et al.] // Cell Metabolism. – 2015. – Vol. 22, № 6. – P. 971–982.
10. Goh, Y. J. Harnessing CRISPR-Cas systems for precision engineering of food microorganisms / Y. J. Goh, R. Barrangou // Current Opinion in Biotechnology. – 2019. – Vol. 56. – P. 148–154.
11. MarketsandMarkets. Fermented ingredients market – global forecast to 2027. 2022. Report № FB 4562.
12. Grand View Research. Functional food market size, share & trends analysis report. 2023. Report № GVR-3-68038-2023-5.
13. Tamang, J. P. Fermented foods in a global age: east meets west / J. P. Tamang, P. D. Cotter, A. Endo // Nature Reviews Microbiology. – 2020. – Vol. 18. – P. 35–46.

14. Steinkraus, K. H. Handbook of indigenous fermented foods / K.H. Steinkraus. – 2nd ed. – New York: Marcel Dekker, 1996. – 776 p.
15. Marco, M. L. Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond / M. L. Marco, D. Heeney, S. Binda [et al.] // *Current Opinion in Biotechnology*. – 2017. – Vol. 44. – P. 94–102.
16. Linares, D. M. Lactic acid bacteria and bifidobacteria with potential to design natural biofunctional health-promoting dairy foods / D. M. Linares, C. Gómez, E. Renes [et al.] // *Frontiers in Microbiology*. – 2017. – Vol. 8. – Art. № 846.
17. Peyer, L. C. Lactic acid bacteria as sensory biomodulators for fermented cereal-based beverages / L. C. Peyer, E. Zannini, E. K. Arendt // *Trends in Food Science & Technology*. – 2016. – Vol. 54. – P. 17–25.
18. Rizzello, C. G. Improving the antioxidant properties of quinoa flour through fermentation with selected autochthonous lactic acid bacteria / C. G. Rizzello, A. Lorusso, V. Russo [et al.] // *International Journal of Food Microbiology*. – 2017. – Vol. 241. – P. 252–261.
19. Nionelli, L. Sourdough-based biotechnologies for the production of gluten-free foods / L. Nionelli, C. G. Rizzello // *Foods*. – 2016. – Vol. 5, № 3. – Art. № 65.
20. Gänzle, M. G. Enzymatic and bacterial conversions during sourdough fermentation / M. G. Gänzle // *Food Microbiology*. – 2014. – Vol. 37. – P. 2–10.
21. Anal, A. K. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery / A. K. Anal, H. Singh // *Trends in Food Science & Technology*. – 2007. – Vol. 18, № 5. – P. 240–251.
22. Hill, C. Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic / C. Hill, F. Guarner, G. Reid [et al.] // *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. – 2014. – Vol. 11. – P. 506–514.
23. Koh, A. From dietary fiber to host physiology: short-chain fatty acids as key bacterial metabolites / A. Koh, F. De Vadder, P. Kovatcheva-Datchary [et al.] // *Cell*. – 2016. – Vol. 165, № 6. – P. 1332–1345.
24. Morrison, D. J. Formation of short chain fatty acids by the gut microbiota and their impact on human metabolism / D. J. Morrison, T. Preston // *Gut Microbes*. – 2016. – Vol. 7, № 3. – P. 189–200.
25. Wahlström, A. Intestinal crosstalk between bile acids and microbiota and its impact on host metabolism / A. Wahlström, S. I. Sayin, H. U. Marschall [et al.] // *Cell Metabolism*. – 2016. – Vol. 24, № 1. – P. 41–50.
26. Dimidi, E. Fermented foods: definitions and characteristics, impact on the gut microbiota and effects on gastrointestinal health and disease / E. Dimidi, S. R. Cox, M. Rossi [et al.] // *Nutrients*. – 2019. – Vol. 11, № 8. – Art. № 1806.
27. Gille, D. Fermented food and non-communicable chronic diseases: a review / D. Gille, A. Schmid, B. Walther [et al.] // *Nutrients*. – 2018. – Vol. 10, № 4. – Art. № 448.
28. Wastyk, H. C. Gut-microbiota-targeted diets modulate human immune status / H. C. Wastyk, G. K. Fragiadakis, D. Perelman [et al.] // *Cell*. – 2021. – Vol. 184, № 16. – P. 4137–4153.
29. Strandwitz, P. Neurotransmitter modulation by the gut microbiota / P. Strandwitz // *Brain Research*. – 2018. – Vol. 1693, Pt B. – P. 128–133.
30. Vaiserman, A. M. Gut microbiota: a player in aging and a target for anti-aging intervention / A. M. Vaiserman, A. K. Koliada, F. Marotta // *Ageing Research Reviews*. – 2017. – Vol. 35. – P. 36–45.
31. Шендеров, Б. А. Ферментированные продукты: микробиология, биохимия, применение / Б. А. Шендеров. – Москва : ДеЛи принт, 2021. – 456 с.
32. Gupta, R. K. Beta-glucans from oats: structure, functionality and health benefits / R. K. Gupta, S. Dhillon // *Journal of Functional Foods*. – 2022. – Vol. 88. – P. 104891.
33. Пучкова, Л. И. Биохимия зерна ржи и её изменение при ферментации / Л. И. Пучкова, В. Г. Лобачев // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2023. – № 2. – С. 45–52.
34. Katina, K. Fermentation-induced changes in the nutritional value of rye / K. Katina, A. Poutanen // *Trends in Food Science & Technology*. – 2021. – Vol. 22 (2–3). – P. 72–79.
35. Губанов, Д. А. Влияние ферментации на глютен пшеницы / Д. А. Губанов, Е. В. Смирнова // *Пищевая промышленность*. – 2022. – № 5. – С. 34–38.
36. Gänzle, M. G. Lactic metabolism revisited: metabolism of lactic acid bacteria in food fermentations and food spoilage / M. G. Gänzle // *Current Opinion in Food Science*. – 2020. – Vol. 31. – P. 8–17.
37. Лисицын, А. Б. Функциональные свойства ферментированной гречихи / А. Б. Лисицын, О. Н. Тихомирова // *Вестник биотехнологии*. – 2021. – № 3. – С. 67–74.
38. Zhang, H. Buckwheat: nutritional composition, health benefits, and fermentation / H. Zhang, Y. Wang // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2023. – Vol. 63 (5). – P. 612–625.
39. Коваленко, В. П. Ферментированное просо в питании человека / В. П. Коваленко, И. А. Морозова // *Здоровье и питание*. – 2022. – № 4. – С. 22–28.
40. Saleh, A. S. M. Millet grains: nutritional quality, processing, and potential health benefits / A. S. M. Saleh // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2020. – Vol. 19 (4). – P. 1071–1099.
41. Руднева, Е. Г. Амарант как функциональный ингредиент / Е. Г. Руднева, С. В. Петров // *Пищевые ингредиенты*. – 2021. – № 1. – С. 55–60.

42. Caselato-Sousa, V. M. Amaranth: nutritional properties and health benefits / V. M. Caselato-Sousa // Journal of Medicinal Food. – 2022. – Vol. 25 (3). – P. 211–220.
43. Белов, А. В. Традиционные методы ферментации кукурузы / А. В. Белов, Т. К. Иванова // Пищевые технологии. – 2023. – № 2. – С. 41–47.
44. Nout, M. J. R. Fermented foods and food safety / M. J. R. Nout // Food Research International. – 2021. – Vol. 144. – P. 110350.

*Поступила в редакцию 15.09.2025 г.*

**ОБ АВТОРАХ:**

**Вячеслав Алексеевич Шаршунов**, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, профессор кафедры техносферной безопасности и общей физики, доктор технических наук, профессор, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий.

**Андрей Сергеевич Барашков**, начальник отдела цифрового образования Института повышения квалификации и переподготовки, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, e-mail: and771\_b@mail.ru.

**ABOUT AUTHORS:**

**Vyacheslav A. Sharchunou**, corresponding member of the National Academy of Sciences of Belarus, professor of the department of technosphere safety and general physics, doctor of technical sciences, professor of the Belarusian state university of food and chemical technologies, e-mail: and771\_b@mail.ru.

**Andrei S. Barashkau**, Postgraduate student, head of digital education department, Belarusian state university of food and chemical technologies, e-mail: and771\_b@mail.ru.