

Спортивное питание Sport nutrition

Научная статья

УДК 664.696.9

DOI: 10.14529/hsm250218

РАСТИТЕЛЬНЫЕ НАПИТКИ AVENA SATIVA С ДОКАЗАННОЙ НУТРИТИВНОЙ И ТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ ПОЛЕЗНОСТЬЮ

И.Ю. Потороко¹, potorokoi@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3059-8061>

В. Анйум¹, animumv@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6916-5653>

Н.П. Бондарь², N.Bondarae@yandex.ru, <http://orcid.org/0009-0000-1254-0723>

М.Ю. Коркмазов³, Korkmazov09@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8642-0166>

А.В. Ненашева¹, nenashevaav@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7579-0463>

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Клиническая больница «РЖД-Медицина», Челябинск, Россия

³ Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Цель: формирование доказательной базы нутритивной и терапевтической полезности напитков на основе *Avena sativa* при использовании нетепловых эффектов в технологии их получения. **Материалы и методы.** Для формирования доказательной базы в исследовании нутритивной полезности применяли такие методы, как молекулярное моделирование типов связей с использованием *in silico* стратегии докинг-анализа; ИК-Фурье-спектроскопию для исследования функциональных групп, определяющих полезность напитков *Avena sativa*; Общую антиоксидантную (антирадикальную) активность определяли методом DPPH (%); тест Конго красный, степень сорбции пигмента (λ_{max}) оценивали спектрофотометрически при длине волн 400–600 нм. **Результаты.** В результате применения НУЗВ нутритивная полезность β -глюканов обеспечена изменением структуры, и как следствие – увеличение доли растворимой формы, которая индуцирует опосредованные в организме человека противоопухолевые иммунные ответы при потреблении овсяных напитков. **Заключение.** Разработанный подход может быть рекомендован для внедрения на предприятиях пищевой отрасли в условиях стратегии разработки импортозамещающих технологий и ресурсосбережения вторичного сырья.

Ключевые слова: β -глюканы, докинг-анализ, напитки-нутрицевтики, низкочастотный ультразвук

Благодарности. Исследования выполнены при поддержке программы стратегического лидерства «Приоритет 2030», в рамках НИЛ «Цифровая нутрицевтика и пищевая метабомика» и НИЛ «Природоподобные конвергентные технологии и экоматериалы».

Для цитирования: Растительные напитки *Avena sativa* с доказанной нутритивной и терапевтической полезностью / И.Ю. Потороко, В. Анйум, Н.П. Бондарь и др. // Человек. Спорт. Медицина. 2025. Т. 25, № 2. С. 150–160. DOI: 10.14529/hsm250218

NUTRITIONAL AND THERAPEUTIC BENEFITS OF PLANT-BASED AVENA SATIVA BEVERAGES

I.Yu. Potoroko¹, potorokoi@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3059-8061>

V. Anjum¹, anjumv@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6916-5653>

N.P. Bondar², N.Bondarae@yandex.ru, <http://orcid.org/0009-0000-1254-0723>

M.Yu. Korkmazov³, Korkmazov09@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8642-0166>

A.V. Nenasheva¹, nenashevaav@susu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7579-0463>

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² Russian Railways-Medicine Clinical Hospital, Chelyabinsk, Russia

³ South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Aim. This study aims to establish an evidence base supporting the nutritional and therapeutic efficacy of Avena sativa beverages, with a focus on the role of non-thermal processing technologies. **Materials and methods.** A multidisciplinary approach was employed to establish an evidence base. Molecular interactions were analyzed via in silico docking analysis. Functional groups associated with bioactivity were identified using Fourier Transform Infrared spectroscopy (FTIR). The total antioxidant capacity was quantified using the DPPH test (%). β -glucan content was assessed via Congo red spectrophotometric assay at 400–600 nm ($\lambda_{\max}$). A key innovation of this study was the application of low-frequency ultrasound (LFU) cavitation to enhance the nutritional value of Avena sativa-based beverages. **Results.** The LFU treatment significantly enhanced the nutritional qualities of Avena sativa-based beverages by inducing structural modifications in β -glucans and increasing their soluble fraction. The modified β -glucans demonstrated the capacity to stimulate antitumor immune responses, underscoring their therapeutic efficacy. **Conclusion.** The developed approach can be recommended for implementation as part of import-substitution initiatives and sustainable byproduct utilization.

Keywords: β -glucans, docking analysis, nutraceutical drinks, low-frequency ultrasound

Acknowledgements. The research was conducted with support from the Priority 2030 strategic leadership program implemented under the auspices of the Research Institute for Digital Nutraceuticals and Food Metabolomics (Nature-like convergent technologies and eco-materials).

For citation: Potoroko I.Yu., Anjum V., Bondar N.P., Korkmazov M.Yu., Nenasheva A.V. Nutritional and therapeutic benefits of plant-based Avena sativa beverages. *Human. Sport. Medicine*. 2025;25(2):150–160. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm250218

Введение. Здоровье населения имеет важное значение для обеспечения устойчивого развития территорий проживания, согласно повестке в области целей устойчивого развития (ЦУР 3) на период до 2030 года. Мировым сообществом постоянный рост объемов заболеваний на глобальном уровне признается «серьезной проблемой», препятствующей стабильности общества. С клиническими проявлениями недостаточности иммунной системы часто сталкиваются при хронических воспалительных процессах или часто рецидивирующими заболеваниями, такими как ОРВИ, бронхит и др. В совокупности эффективных действий можно выделить включение в протоколы лечения природных адаптогенов, применение которых в интеграции с терапевтическими назначениями дает положительный отклик.

Доказано, что природные нутриенты обладают специфическим иммуностимулирующим и анаболическим действием, вызывают гуморальный ответ посредством сенсibilизации В-лимфоцитов (синтез иммуноглобулинов) и Т-лимфоцитов (тимусзависимых клеток), деятельность которых формирует клеточный ответ. В этой связи поиск путей развития рынка пищевых систем с высокой долей полезных иммуномодулирующих нутриентов является важной задачей глобального уровня [4, 8].

Можно наблюдать, что концепция функциональных пищевых продуктов, сформулированная в начале 80-х годов, в настоящее время испытывает новый виток развития благодаря популярным трендам здорового образа жизни (ЗОЖ), а также осознанному потреблению продуктов питания населением.

Кроме того, наполнение потребительского рынка функциональными пищевыми продуктами, разработка пищевых систем с добавленной полезностью является актуальным направлением науки о питании и при активном развитии позволит обеспечить население продуктами нового формата, обеспечивающими организм человека необходимыми нутриентами.

Лечение распространенных заболеваний требует значительных финансовых вложений, поэтому поиск наиболее приемлемых решений снижения финансовых затрат сегодня направлен на пищевые продукты для специального медицинского использования (Food for Specified Health Uses – FOSHU), применимые для профилактики заболеваний. По сути, продукты питания должны не только удовлетворять базовые жизненно необходимые для организма потребности, но и обладать дополнительными функциями, которые улучшают деятельность той или иной системы организма человека.

Понимание значимости пищи для сохранения здоровья человека также подтверждают фактические данные ВОЗ: ежегодно 31 % населения умирают из-за сердечно-сосудистых заболеваний; общее количество смертей от диабета оценивается в 1,5 млн, и это девятая по значимости причина смерти. Течение названных заболеваний усугубляется на фоне сезонных вирусных инфекций, в том числе последствий Long-COVID-19 (лонг-ковид) и Post-COVID-19 (постковидный синдром), сопровождающих сбой иммунитета в организме человека [1, 6, 15].

Кроме того, сегодня сформировался тренд персонализированного питания, наполненность которого сопряжена с новыми подходами создания биоактивных пищевых ингредиентов для фортификации в пищевые системы и усиления их роли в профилактике рисков возникновения неинфекционных заболеваний (НИЗ), а также смягчения симптомов болезненных состояний. Категория Health and Wellness показывает положительную динамику на протяжении пяти лет примерно на 8,5 % в год, по прогнозам в 2024–2025 году объем рынка превысит миллиард рублей.

Продукты переработки зерновых – одна из наиболее важных областей для рассмотрения технологий обогащения, так как именно данная группа продукции составляет основной компонент рационов во всем мире. Нара-

щивание нативной полезности биоактивных компонентов означает компенсацию основных питательных веществ, которые теряются в ходе надлежащего производственного процесса или во время обычных процедур хранения и обращения, в количествах, которые приводят к присутствию в пище того количества питательных веществ, которое необходимо в съедобной части пищевых продуктов перед обработкой, хранением или транспортировкой. В настоящее время создано несколько групп продуктов питания, которые в совокупности можно определить как нутрицевтики, особое место занимают природные сырьевые компоненты, которые гармонично встраиваются в процессы метаболизма и обеспечивают положительный отклик.

Овес *Avena sativa* признан во всем мире как источник полезных ингредиентов для здорового питания благодаря своим доказанным функциональным свойствам: способности уменьшать сердечно-сосудистые заболевания, способствовать здоровью желудочно-кишечного тракта и регулировать уровень глюкозы в крови.

Растительный напиток *Avena sativa* представляет собой функциональный продукт, который сочетает в себе нутритивные и терапевтические свойства, особенно полезные для спортсменов. Вот несколько ключевых аспектов, которые делают этот напиток привлекательным для тех, кто активно занимается спортом: овес богат витаминами группы В (В1, В6), витамином Е, а также магнием, железом, цинком и кальцием. Эти вещества важны для поддержания энергетического баланса, работы нервной системы (для спортсменов это означает улучшение концентрации, снижение утомляемости и повышение стрессоустойчивости), а также восстановления мышечной ткани после физических нагрузок; овёс содержит полифенолы, включая авенантрамиды – уникальные антиоксиданты, способствующие снижению воспаления и улучшению кровообращения. Это важно для профилактики травм и ускорения регенерации тканей; овес является источником высококачественного растительного белка, который помогает восстанавливать мышцы после тренировок. В частности, лейцин способствует синтезу мышечного белка, а аргинин улучшает кровообращение и доставку кислорода к мышцам; медленно усваиваемые углеводы помогают поддерживать стабильный уровень энергии во время дли-

тельных тренировок, это особенно важно для спортсменов, занимающихся длительными тренировками, такими как бег, велоспорт или плавание, предотвращая резкие скачки сахара в крови; овёс богат растворимой клетчаткой (бета-глюканом), который способствует нормализации уровня холестерина, улучшению пищеварения и поддержанию чувства сытости, что полезно для контроля веса спортсменов. Это особенно полезно для спортсменов, поскольку правильное пищеварение обеспечивает лучшее усвоение питательных веществ и предотвращает дискомфорт во время тренировок. Некоторые исследования указывают на способность *Avena sativa* улучшать настроение и снижать симптомы депрессии. Это связано с наличием аминокислот, таких как триптофан, который участвует в синтезе серотонина – гормона счастья. Спортсмены часто сталкиваются с психологическим давлением, и напитки на основе овсяной травы могут помочь справиться с эмоциональным напряжением.

Таким образом, растительный напиток *Avena sativa* из овса может стать полезным дополнением к рациону спортсменов, помогая улучшить их физическую форму, повысить выносливость и ускорить восстановление после тренировок.

В составе *Avena sativa* можно выделить важные для здоровья человека пищевые волокна: β -глюканы и арабиноксиланы. Овсяный β -глюкан – основной растворимый компонент пищевых волокон клеточной стенки эндосперма овса, по химической природе это некрахмальный полисахарид, который все больше завоевывает рынок нутриентов в качестве функционального пищевого ингредиента [15]. По данным исследований структура полисахарида (рис. 1) состоит преимущественно из β -(1–4)-связанных целлотриозильных (G3) и целлотетраозильных (G4) звеньев,

соединенных между собой β -(1,3)-связями. Соотношение блоков G3:G4 влияет на растворимость: очень высокие или очень низкие соотношения приводят к снижению растворимости. β -глюканы также доказали свою пребиотическую активность и положительно влияют на нашу микробиоту, поскольку эти волокна действуют как субстраты для полезных для здоровья микробов в нашей кишечной микрофлоре [3, 7].

Важные физические свойства β -глюканов, такие как вязкость, растворимость и водоудерживающая способность, варьируются в зависимости от концентрации, значений растворимости, молекулярной массы и соотношения трисахаридов/тетрасахаридов (соотношение DP3/DP4 применяется как показатель полноценности), которое для зерна овса составляет от 2,4 до 2,6 [11].

При более низких концентрациях β -глюканы овса имеют тенденцию образовывать более вязкие растворы из-за взаимодействия между различными молекулами β -глюканов. Благодаря своей способности образовывать вязкие и разжижающие растворы β -глюканы обладают высокой водоудерживающей способностью, поэтому β -глюканы часто используются в качестве загустителей в различных пищевых рецептурах и в косметике [10, 12].

Сегодня создано несколько классов продуктов, которые можно определить как нутрицевтики. Нутрицевтики – пищевые продукты и их компоненты, оказывающие положительное влияние на здоровье человека, включая профилактику и лечение болезней, т. е. не содержат синтезированных компонентов и могут поддерживать здоровье и продлевать жизнь человека без развития нежелательных реакций. На сегодняшний день уже накоплена достаточная доказательная база, подтверждающая эффективность нутрицевтиков [6].

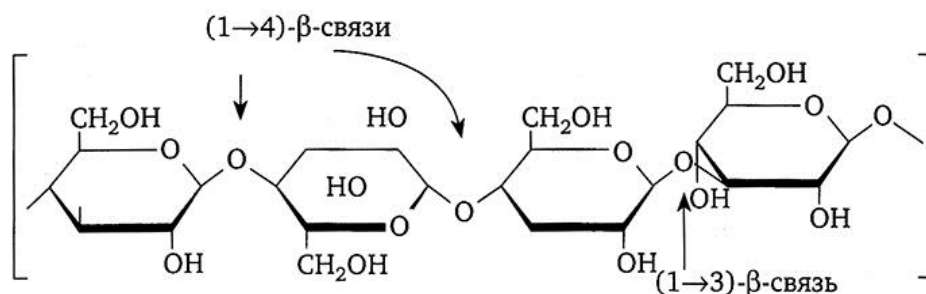


Рис. 1. Структура β -глюкана зерна *Avena sativa*
Fig. 1. Molecular structure of β -glucan in *Avena sativa*

Интегративные подходы могут стать весьма эффективными для компенсации нагрузок на организм человека. Так, известно, что дефицит ряда питательных веществ (витамина С, комплекса витаминов группы В, фолиевой кислоты, Se, Zn, незаменимых аминокислот и жирных кислот) играет важную роль в тяжести и обострении симптомов хронической усталости (СХУ) при течении ОРВИ [13, 14]. Поэтому включение в рационы питания пищевых продуктов, системы которых фортифицированы биоактивными веществами, в том числе β-глюканами, позволит повысить эффективность фармацевтических рекомендаций и сохранить правильное течение процессов метаболизма при поражении организма ОРВИ. Разработка ассортиментной линейки вязких зерновых напитков с добавленной полезностью за счет уникальных свойств нутриентного состава исходного сырья и накопления биоактивных веществ (БАВ), обладающих способностью компенсировать проблемы метаболизма при медикаментозном лечении заболеваний, является весьма актуальным научным направлением.

Целью работы является формирование доказательной базы нутритивной и терапевтической полезности напитков на основе *Avena sativa* при использовании нетепловых эффектов в технологии их получения.

Материалы и методы исследования. Достижение эффектов, обозначенных в цели работы, может быть обеспечено за счет разработки новых технологических решений. Работа осуществлялась поэтапно с учетом комплексности решаемых задач.

На первом этапе исследований в качестве объектов для исследования определены модельные образцы напитков на основе овса пленчатого *Avena sativa*, полученные по технологиям Патента RU 2 643843 С1. «Способ получения овсяного киселя».

Технология получения включала следующие процессы: промывание овсяной крупы проточной водой, первичную термическую обработку овсяной крупы в воде при температуре 75–90 °С, гомогенизацию полученной смеси, разделение на фильтре на твердую и жидкую фракции с отделением твердой фракции, смешивание жидкой фракции с водой, вторичную термическую обработку полученной смеси при температуре 90–95 °С, охлаждение полученного продукта и отделение частиц размером более 500 микрон от жидкой

фракции. Смешивание жидкой фракции с водой осуществляют до соотношения крупы овсяной и воды 1:16 с отклонением не более 2 %.

В качестве исходного растительного сырья использовали коммерчески доступную овсяную крупку *Avena sativa*.

На втором этапе для усиления полезности готовых напитков-нутрицевтиков отработана технология загущенных напитков на основе овса пленчатого *Avena sativa* с использованием низкочастотного ультразвукового воздействия (НУЗВ). В соответствии с технологиями, описанными в Патенте RU 2 643843 С1, низкочастотный ультразвук применяли в трех режимах – мощностью 700 Вт/л (100 % от паспортного значения) и длительности воздействия: 1, 3, 5 мин.

Образцами для исследований стали модельные напитки: кисель овсяный, в технологии которого применялась ультразвуковая обработка после второго этапа термической обработки. В качестве контроля использовали напитки, полученные при строгом соблюдении прописи патентной документации.

Обоснование пригодности модельных образцов напитков *Avena sativa* для компенсации нутритивных проблем, иммунного отклика организма при их потреблении осуществляли в комплексе с прогностическими исследованиями. Прогностические исследования, направленные на оценку способности β-глюкана овса вступать во взаимодействие с иммуномодуляторами и противоопухолевыми рецепторами, осуществляли с применением *in silico* стратегии докинг-анализа, молекулярное моделирование типов связей проводили с использованием AutoDock 4.2. Лиганд β-глюкан был загружен в виде SDF-файлов с 3D-структурой из PubChem и оптимизирован с использованием ввода лигандов в AD 4.2. Оптимизированные молекулы-лиганды были состыкованы с усовершенствованными противораковыми и иммуномодулирующими рецепторами с помощью AutoDock 4.2. Стыковку осуществляли с использованием метода генетического алгоритма Ламарка (LGA). Результаты стыковки были проанализированы с использованием инструмента визуализации молекулярной графики PyMOL [2, 5].

Во второй части работ осуществляли исследование для формирования доказательной базы, применимой для оценки нутритивной полезности: ИК-Фурье-спектроскопия для исследования функциональных групп, опре-

деляющих полезность напитков *Avena sativa*; общую антиоксидантную (антирадикальную) активность определяли методом DPPH (%); для оценки состояния структуры β -глюканов в модельных образцах использовали тест с Конго красным, степень сорбции пигмента ($\lambda_{\max}$) оценивали спектрофотометрически при длине волн 400–600 нм.

Результаты. Существует множество инфекционных заболеваний, сопровождающихся нарушением всасывания питательных веществ, что неудивительно, поскольку недостаточность питания считается основной причиной иммунодефицитов [11]. Поскольку терапия β -глюкан достигла значительных успехов на доклинических моделях животных, было предпринято много усилий для определения терапевтической эффективности у пациентов-людей. В настоящее время PGG (Imprime) β -глюкана находится на поздней стадии клинической разработки в качестве комбинированного препарата с несколькими терапевтическими возможностями [15]. β -глюкан действует как сильный адъювант при терапии рака антителами, вызывая клеточно-опосредованные механизмы уничтожения опухоли, которые не запускаются только терапией моноклональными антителами. Даже когда β -глюкан использовали независимо, продемонстрирована значительная регрессия опухоли, что вероятно, было результатом взаимодействия с естественными противоопухолевыми антителами. Первым шагом в процедуре прогнозирования *in silico* с использованием докинг-анализа является идентификация и выбор подходящей мишени или рецептора. Для изучения характера взаимодействия β -глюкана овса оптимизирован-

ные молекулы-лиганды были состыкованы с усовершенствованными противораковыми рецепторами. Получено связывающее взаимодействие лиганда с аминокислотными остатками иммуномодулирующего и противоопухолевого действия (табл. 1), участвующими в стыковке.

Во многих исследованиях сообщалось о способности (1→3)- β -D-глюканов активировать врожденный иммунитет, влияя также на адаптивный иммунитет, индуцируя гуморальные и клеточно-опосредованные иммунные реакции [9].

Взаимодействие рецептора и β -глюкана запускает фагоцитоз, респираторный взрыв и секрецию цитокинов, таких как TNF- α . Что касается их роли в запуске реакций врожденного иммунитета, нерастворимые и дериватизированные (1→3)- β -D-глюканы, в зависимости от их источника, также стимулируют выработку противоспалительных молекул, таких как компоненты комплемента IL-1 α/β , TNF- α , IL-2, IFN- γ и эйкозаноиды, а также IL-10 и IL-4 (рис. 2).

Связывание β -D-глюкана с рецепторами миелоидных клеток запускает, в зависимости от связанного рецептора, серию сигнальных событий, которые модулируют врожденные, а затем и адаптивные иммунные реакции, в основном за счет высвобождения провоспалительных цитокинов (IL-1 α/β , IL-1). 6, IL-8, IL-12, TNF- α), а также цитотоксические молекулы, действующие также как медиаторы воспаления [оксид азота (NO), и перекись водорода (H₂O₂)].

Согласно полученным оценкам на основе молекулярных моделей, взаимодействие рецеп-

Таблица 1
Table 1

Анализ энергии взаимодействия β -глюкана с иммуномодулирующими
и противоопухолевыми рецепторами (молекулярная графика PyMOL)
Binding energy analysis of β -glucan with immunomodulatory and antitumor receptors
(PyMOL visualization)

Наименование белка Protein name	Энергия связи (ккал/моль) Binding energy (kcal/mol)	Взаимодействие остатков Residue interactions
1BKC	–6,2	GLN-471, LYS-226, ILE-279, GLU-280, ARG-473, HIS-361, ASN-359
2BPE	–5,5	GLN-149, ASN-202, PHE-200, ARG-145, TRP-193, ILE-157, LYS-156, ASP-158
2Z80	–8,4	ARG-286, ARG-25ARG-230, HIS-309, ARG-230, LYS-253, GLU-283, GLU-281, LYS-305, GLN-335, TRP-367, LEU-154
3PP3	–7,5	GLY-217, GLU-218, GLU-128, ASP-127
4EL6	–6,0	VAL-119, ILE-85, GLY-87, GLY-101

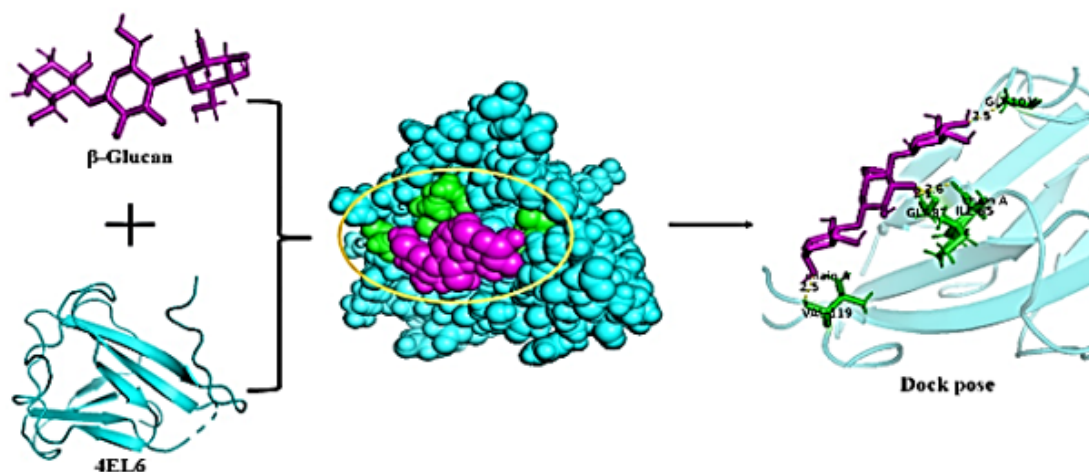


Рис. 2. Схема позы стыковки β -глюкана с IL-4 (4EL6)
Fig. 2. Docking pose of β -glucan with IL-4 (4EL6)

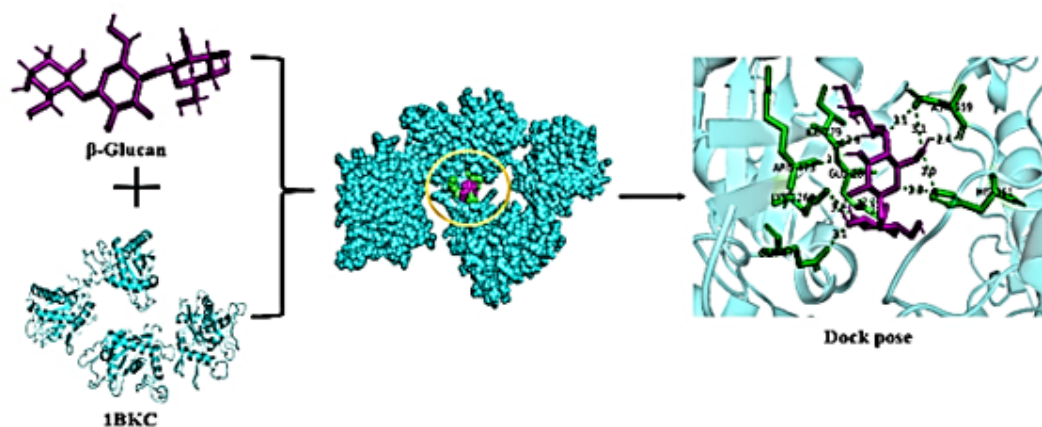


Рис. 3. Схема позы стыковки β -глюкана с TNF- α (1BKC)
Fig. 3. Docking pose of β -glucan with TNF- α (1BKC)

тора и β -глюкана запускает фагоцитоз, респираторный взрыв и секрецию цитокинов, таких как TNF- α (рис. 3).

Эффекты, приводящие к регрессии опухоли, подтвердили различные авторы, применявшие введение β -D-глюканов совместно с моноклональными антителами против ганглиозида GD2, белка G250, белка CD20 (рис. 4) соответственно при экспериментальной нейробластоме, карциноме и CD20⁺ лимфоме.

Сообщается, что полисахариды или полисахарид-белковые комплексы, полученные из природных источников, не оказывают прямого цитотоксического действия на опухолевые клетки, но индуцируют опосредованные хозяином противоопухолевые иммунные ответы.

Таким образом, присутствие β -глюкана в составе овсяных загущенных напитков реально определяет их полезность и имеет важное значение для снижения рисков патогенеза после перенесенных заболеваний, включая терапевтическую составляющую.

Во втором блоке исследований сформировано доказательство изменений свойств модельных напитков (табл. 2) под влиянием кавитационных эффектов низкочастотного ультразвука [5], что также было зафиксировано в исследованиях АОА и рН модельных напитков и тесте Конго.

В силу улучшенного массопереноса за счет ультразвуковой кавитации использование ультразвука в технологии овсяных напитков весьма привлекательно. Значение рН 6,6–6,7 обеспечивает переход β -глюкана в растворимое состояние: растворимость β -глюкана при этом сначала увеличивается, а затем уменьшается, кроме того, изменяется уровень организации молекул. Переход β -глюкана из упорядоченного в беспорядочное состояние возможно установить, используя спектральный метод оценки тестирования с Конго красным. Полученные данные транслируют изменение при разной длительности экспозиции кавитационных эффектов низкочастотного ультра-

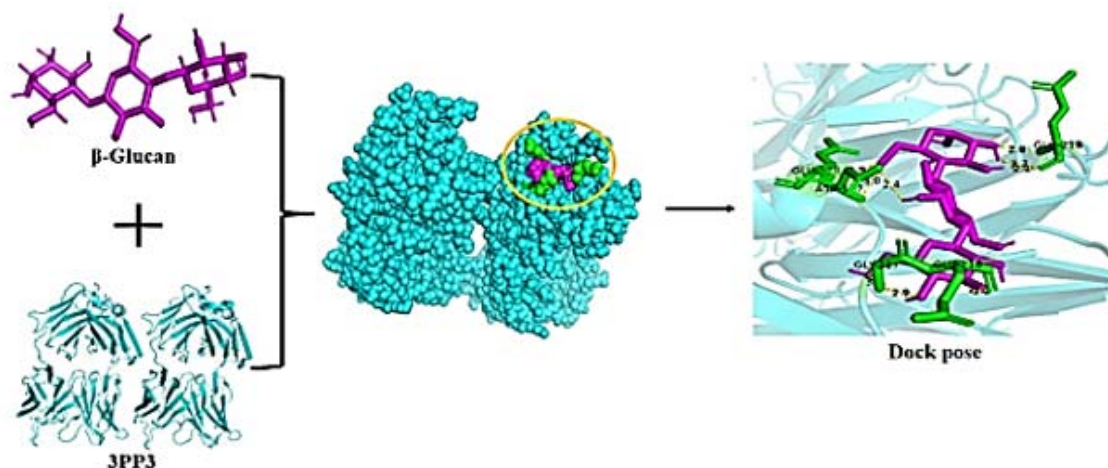


Рис. 4. Схема позы стыковки β -глюкана с CD20 (3PP3)
Fig. 4. Docking pose of β -glucan with CD20 (3PP3)

Таблица 2
Table 2

Результаты оценки показателей АОА модельных образцов (МО)
овсяного киселя при использовании УЗВ разной экспозиции
Antioxidant activity evaluation results of model oat jelly samples
under different ultrasound exposure durations

Наименование показателей Parameter	Фактическое значение для образца Actual value for sample			
	Контроль Control	1	2	3
Антиоксидантная активность, % (DPPH) Antioxidant activity, % (DPPH)	67,6	55,41	97,85	58,65
Активная кислотность (pH) Active acidity (pH)	6,5	6,6	6,6	6,7
Тест Конго красный β -глюканы, λ_{max} (длина волны 400 нм) Congo red spectrophotometric assay (400 nm)	0,2285	0,2688	0,2077	0,2808

звука. Оставаясь в длине волны 400 нм, индекс поглощения снижается до значения 0,2077 (образец 2) при контроле 0,2285. Следует отметить, что результаты согласуются с данными ИК-Фурье-спектроскопии, в частности с установленными пиками в диапазоне волновых чисел 760–1150 cm^{-1} . Пик около 763 cm^{-1} указывал на β -гликозидные связи, т. е. на режим деформации (C1–H), и, следовательно, указывал на присутствие β -глюкана во всех образцах. Однако в интенсивности большинства пиков волновых числах 2925, 2853, 1743 cm^{-1} и между 760–1150 cm^{-1} наблюдается небольшое изменение (уменьшение) интенсивности, структура незначительно изменяется при обработке ультразвуком.

На основании полученных данных было установлено, что кавитационные эффекты НУЗВ оказывают непосредственное влияние на повышение пищевой полезности нативных компонентов растительных напитков на осно-

ве *Avena sativa*. Нутритивные составляющие, в частности β -глюканы, индуцируют опосредованные в организме человека при потреблении овсяных напитков противоопухолевые иммунные ответы. Присутствие β -глюкана в составе овсяных загущенных напитков реально определяет их полезность и имеет важное значение для снижения рисков патогенеза после перенесенных заболеваний, включая терапевтическую составляющую.

Закключение. В исследовании было применено многофакторное исследование для разработки технологии биоактивных безмолочных зерновых напитков-нутрицевтиков на основе ультразвукового воздействия, применимых для смягчения воспалительных процессов верхних дыхательных отделов в организме человека и профилактики последствий за счет увеличения доли биоактивных компонентов, определяющих добавленную полезность.

Установлено, что при сохранении нативных нутриентов *Avena sativa patula* Al. обеспечивается высокое значение антиоксидантной активности напитков овсяного киселя на уровне 41,2 %, DPPH. Кроме того, значение pH – 6,5 приближается к нейтральному, что позволит исключить раздражающие эффекты при пероральном потреблении напитка, одновременно усилить эффект участия полезных компонентов во многих метаболических функциях, в частности обеспечения важной роли в антиоксидантной защите организма.

Сравнивали антиоксидантную активность *in vitro*, структурные характеристики и физико-химические свойства овсяных киселей до и после обработки УЗВ. Результаты *in silico* показали, что β -глюканы в составе овсяных загущенных напитков реально определяют их

полезность, что имеет важное значение для снижения рисков патогенеза после перенесенных заболеваний, включая фармацевтическую составляющую.

Следует отметить, что после ультразвукового воздействия трехспиральная структура β -глюкана нарушается, дисперсия становится разреженной, но при этом стабильность водного раствора улучшалась. Кроме того, термическая стабильность β -глюкана снизилась после модификации ультразвуковой обработкой, что дополнительно способствует повышению его растворимости.

Разработанный подход может быть рекомендован для внедрения на предприятиях пищевой отрасли в условиях стратегии разработки импортозамещающих технологий и ресурсосбережения вторичного сырья.

Список литературы

1. Лисицын, А.Б. Современные тенденции развития индустрии функциональных пищевых продуктов в России и за рубежом / А.Б. Лисицын, И.М. Чернуха, О.И. Лунина // *Теория и практика переработки мяса*. – 2018. – Т. 3, № 1. – С. 29–45.
2. Молекулярный докинг растительных стабилизирующих частиц для функциональных эмульсионных пищевых систем / И.Ю. Потороко, А.М.Я. Кади, В. Анйум, А.А. Руськина // *Индустрия питания | Food Industry*. – 2023. – Т. 8, № 2. – С. 84–92. DOI: 10.29141/2500-1922-2023-8-2-9. EDN: PGLDTN
3. Получение концентрата β -глюкана проращиванием овса / В.М. Гематдинова, А.В. Канарский, З.А. Канарская, И.В. Кручина-Богданов // *Химия растительного сырья*. – 2019. – № 2. – С. 231–237. DOI: 10.14258/jcprm.2019024251
4. Полуэктова, Е.А. Нутрицевтики и «фармацевтики» / Е.А. Полуэктова, А.Г. Бениашивили, Р.В. Масленников // *Рос. журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии*. – 2020. – № 30 (2). – С. 68–75. DOI: 10.22416/1382-4376-2020-30-2-68-75
5. Пределы ультразвуковой коагуляции мелких частиц / В.Н. Хмелев, В.А. Нестеров, А.С. Боченков, А.В. Шалунов // *Симметрия*. – 2021. – № 13. – С. 1607. DOI: 10.3390/sym13091607
6. Разработка и оценка достоверности базового индекса здорового питания населения России / А.Н. Мартинчик, А.К. Батулин, Н.А. Михайлов и др. // *Вопросы питания*. – 2019. – Т. 88, № 6. – С. 34–44. DOI: 10.24411/0042-8833-2019-10062
7. Ферментативное получение концентратов β -глюканов из вторичных пищевых ресурсов / О.В. Чугунова, Е.В. Пастушкова, О.В. Плискин и др. // *Вестник КрасГАУ*. – 2023. – № 8. – С. 184–193. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-8-184-193
8. Хомяков, В.М. Проблема нутритивной недостаточности и методы ее коррекции у больных со злокачественными опухолями пищевода и желудка / В.М. Хомяков, В.Э. Хороненко, А.Д. Ермошина // *Онкология. Журнал им. П.А. Герцена*. – 2016. – № 5 (5). – С. 33–37. DOI: 10.17116/onkolog20165533-37
9. (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 6) and (1 $\rightarrow$ 3)- β -D-glucan physico-chemical features drive their fermentation profile by the human gut microbiota / Matheus Zavadinack, Thaisa M. Cantu-Jungles, Hellen Abreu et al. // *Carbohydrate Polymers*. – 2024. – Vol. 327. DOI: 10.1016/j.carbpol.2023.121678
10. Beta Glucan: Supplement or Drug? From Laboratory to Clinical Trials / V. Vetvicka, L. Vanucci, P. Sima, J. Richter // *Molecules*. – 2019. – Vol. 24 (7). – P. 1–17. DOI: 10.3390/molecules24071251
11. Guleria, P. β -glucan: health benefits and role in food industry – a review / P. Guleria, S. Kumari, N. Dangi // *Int. J. Enhanc. Res. Sci. Technol. Eng.* – 2015. – Vol. 4 (8). – P. 255–263.
12. Identification of high β -glucan oat lines and localization and chemical characterization of their seed kernel β -glucans / P. Sikora, S.M. Tosh, Y. Brummer, O. Olsson // *Food Chem.* – 2013. – Vol. 137 (1–4). – P. 83–91.

13. Mobilization of the innate immune response by a specific immunostimulant β -glucan confers resistance to chronic stress-induced depression-like behavior by preventing neuroinflammatory responses / Jie Ren, Yi Zhang, Hainan Pan et al. // *International Immunopharmacology*. – 2024. – Vol. 127. DOI: 10.1016/j.intimp.2023.111405

14. Petravic-Tominac, V. Application of Different Drying Methods on β -Glucan Isolated from Spent Brewer's Yeast Using Alkaline Procedure / V. Petravic-Tominac, V. Zechner-Krpan // *Agriculturae Conspectus Scientificus*. – 2019. – Vol. 75, No. 1. – P. 149–158.

15. Recognition of yeast β -glucan particles triggers immunometabolic signaling required for trained immunity / Cian J.H. Horneck Johnston, Anna. E. Ledwith, Mimmi L.E. Lundahl et al. // *iScience*. – 2024. – Vol. 27 (3). DOI: 10.1016/j.isci.2024.109030

References

1. Lisitsyn A.B., Chernukha I.M., Lunina O.I. [Modern Trends in the Development of the Functional Food Industry in Russia and Abroad]. *Teoriya i praktika pererabotki myasa* [Theory and Practice of Meat Processing], 2018, vol. 3, no. 1, pp. 29–45. (in Russ.) DOI: 10.21323/2414-438X-2018-3-1-29-45

2. Potoroko I.Yu., Kadi A.M.Ya., Anyum V., Rus'kina A.A. [Molecular Docking of Plant Stabilizing Particles for Functional Emulsion Food Systems]. *Industriya pitaniya* [Food Industry], 2023, vol. 8, no. 2, pp. 84–92. (in Russ.) DOI: 10.29141/2500-1922-2023-8-2-9

3. Gematdinova V.M., Kanarsky A.V., Kanarskaya Z.A., Kruchina-Bogdanov I.V. [Obtaining β -glucan Concentrate by Sprouting Oats]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Materials], 2019, no. 2, pp. 231–237. (in Russ.) DOI: 10.14258/jcprm.2019024251

4. Poluektova E.A., Beniashvili A.G., Maslennikov R.V. [Nutraceuticals and Pharmaceuticals]. *Rossiyskiy zhurnal gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii* [Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology], 2020, no. 30 (2), pp. 68–75. (in Russ.) DOI: 10.22416/1382-4376-2020-30-2-68-75

5. Khmelev V.N., Nesterov V.A., Bochenkov A.S., Shalunov A.V. [Limits of Ultrasonic Coagulation of Small Particles]. *Simmetriya* [Symmetry], 2021, no. 13, 1607. DOI: 10.3390/sym13091607

6. Martinchik A.N., Baturin A.K., Mikhailov N.A. et al. [Development and Assessment of the Reliability of the Basic Index of Healthy Nutrition of the Population of Russia]. *Voprosy pitaniya* [Nutrition Issues], 2019, vol. 88, no. 6, pp. 34–44. (in Russ.) DOI: 10.24411/0042-8833-2019-10062

7. Chugunova O.V., Pastushkova E.V., Pliska O.V. et al. [Enzymatic Production of β -glucan Concentrates from Secondary Food Resources]. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasSAU], 2023, no. 8, pp. 184–193. (in Russ.) DOI: 10.36718/1819-4036-2023-8-184-193

8. Khomyakov V.M., Khoronenko V.E., Ermoshina A.D. [The Problem of Nutritional Deficiency and Methods of its Correction in Patients with Malignant Tumors of the Esophagus and Stomach]. *Onkologiya. Zhurnal im. P.A. Gertsena* [Oncology. Journal P.A. Herzen], 2016, no. 5 (5), pp. 33–37. DOI: 10.17116/onkolog20165533-37

9. Zavadinack M., Cantu-Jungles Th.M., Abreu H. et al. (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 6) and (1 $\rightarrow$ 3)- β -D-glucan Physico-chemical Features Drive their Fermentation Profile by the Human Gut Microbiota. *Carbohydrate Polymers*, 2024, vol. 327. DOI: 10.1016/j.carbpol.2023.121678

10. Vetvicka V., Vannucci L., Sima P., Richter J. Beta Glucan: Supplement or Drug? From Laboratory to Clinical Trials. *Molecules*, 2019, vol. 24 (7), pp. 1–17. DOI: 10.3390/molecules24071251

11. Guleria P., Kumari S., Dangi N. β -glucan: Health Benefits and Role in Food Industry – a Review. *International Journal Enhanc. Research Science Technol. Eng.*, 2015, vol. 4 (8), pp. 255–263.

12. Sikora P., Tosh S.M., Brummer Y., Olsson O. Identification of High β -glucan Oat Lines and Localization and Chemical Characterization of Their Seed Kernel β -glucans. *Food Chem.*, 2013, vol. 137 (1–4), pp. 83–91. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.10.007

13. Jie Ren, Yi Zhang, Hainan Pan et al. Mobilization of the Innate Immune Response by a Specific Immunostimulant β -glucan Confers Resistance to Chronic Stress-induced Depression-like Behavior by Preventing Neuroinflammatory Responses. *International Immunopharmacology*, 2024, vol. 127. DOI: 10.1016/j.intimp.2023.111405

14. Petravic-Tominac V., Zechner-Krpan V. Application of Different Drying Methods on β -Glucan Isolated from Spent Brewer's Yeast Using Alkaline Procedure. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 2019, vol. 75, no. 1, pp. 149–158.

15. Cian J.H., Horneck J., Ledwith A.E. et al. Recognition of Yeast β -glucan Particles Triggers Immunometabolic Signaling Required for Trained Immunity. *iScience*, 2024, vol. 27(3). DOI: 10.1016/j.isci.2024.109030

Информация об авторах

Потороко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Анйум Вариша, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Бондарь Наталья Петровна, врач оториноларинголог, Клиническая больница «РЖД-Медицина», Челябинск, Россия.

Коркмазов Мусос Юсуфович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой оториноларингологии, Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, Россия.

Ненашева Анна Валерьевна, доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой теории и методики физической культуры и спорта, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

Information about the authors

Irina Yu. Potoroko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Varisha Anjum, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Natalia P. Bondar, Otorhinolaryngologist, Russian Railways-Medicine Clinical Hospital, Chelyabinsk, Russia.

Musos Yu. Korkmazov, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Otorhinolaryngology, South Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russia.

Anna V. Nenasheva, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Theory and Methods of Physical Education and Sports, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 13.12.2024

The article was submitted 13.12.2024