



Обзорная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.644.7

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.015

EDN: XYSXRO

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ РАСТВОРИМЫХ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН СЕМЯН ЛЬНА В СОСТАВ МУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Дмитрий Павлович Ефремов¹, Ирина Михайловна Жаркова²

¹ ООО «АгроЛен», Алтайский край, Россия

¹ smkaltai@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6234-8174>

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

² zharkova.i@vsuet.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8662-4559>

Аннотация. О важности включения в рацион питания продуктов, служащих источниками пищевых волокон, в том числе растворимых, свидетельствуют рекомендации диетологов. При этом проблема состоит в необходимости комплексного подхода к введению их в пищевые матрицы, учитывающего одновременно функционально-технологические свойства и медико-биологическое воздействие.

Цель работы – обобщение и анализ основных результатов исследований, объясняющих рост популярности растворимых пищевых волокон льняного семени в качестве ингредиента пищевых продуктов, поиск наиболее предпочтительных технологических решений, позволяющих максимально эффективно раскрыть их потенциал.

Поиск информации вели по библиографическим базам «PubMed» и eLIBRARY с применением ключевых слов: «семена льна», «soluble dietary fiber of flax seeds» во временном диапазоне с 2000 по 2026 год. В исключительных случаях рассматривали статьи более раннего периода опубликования. Обработку информации осуществляли с помощью общепринятых методов (анализ, систематизация, обобщение).

Несмотря на обилие информации, касающейся разработки пищевых продуктов с включением растворимых пищевых волокон семян льна, нельзя сказать, что все технологические и диетологические вопросы полностью решены. Актуально продолжение исследований, связанных с изучением влияния сортовых особенностей льна, почвенно-климатических условий выращивания, технологии переработки на количество, состав и свойства растворимых пищевых волокон. Отдельного внимания заслуживают исследования, направленные на поиск наиболее эффективных способов введения растворимых пищевых волокон в разнообразные пищевые матрицы с подтверждением в клинических условиях возможностей профилактики и/или лечения социально-значимых заболеваний.

Ключевые слова: семена льна, растворимые пищевые волокна, полисахаридный комплекс, технологические свойства, биологическая эффективность.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках внутренней НИР ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

Для цитирования: Ефремов Д. П., Жаркова И. М. Теоретическое обоснование целесообразности включения растворимых пищевых волокон семян льна в состав мучных изделий // Ползуновский вестник. 2026. № 2, С. 111–122. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.015. EDN: <https://elibrary.ru/XYSXRO>.

Review article

THEORETICAL JUSTIFICATION OF FEASIBILITY OF INCLUDE SOLUBLE FLAX SEED FIBER IN COMPOSITION OF FLOUR PRODUCTS

Dmitry P. Efremov², Irina M. Zharkova³

¹ LLC "AgroLen", Altai Region, Russia

¹ smkaltai@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6234-8174>

² Voronezh state university of engineering technologies, Voronezh, Russia

² zharkova.i@vsuet.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8662-4559>

Abstract. Nutritionists recommend incorporating foods that provide dietary fiber, including soluble fiber, into the diet. However, a comprehensive approach to incorporating these foods into food matrices is essential, taking into account both their functional and technological properties and their biomedical effects.

The aim of this study is to summarize and analyze key research findings explaining the growing popularity of soluble flaxseed fiber as a food ingredient and to identify the most suitable technological solutions to maximize its potential.

© Ефремов Д. П., Жаркова И. М., 2026

The search was conducted in the Pub Med and eLIBRARY bibliographic databases using the keywords "flax seeds" and "soluble dietary fiber of flax seeds" for the period from 2000 to 2026. In exceptional cases, articles from earlier publication periods were considered. Information was processed using generally accepted methods (analysis, systematization, and generalization). Despite the abundance of information regarding the development of food products incorporating soluble flaxseed fiber, it cannot be said that all technological and nutritional issues have been fully resolved. Continued research is needed to understand the impact of flaxseed variety characteristics, soil and climate conditions, and processing technology on the quantity, composition, and properties of soluble fiber. Research aimed at identifying the most effective methods for introducing soluble fiber into a variety of food matrices, with clinical validation of the potential for preventing and/or treating socially significant diseases, deserves special attention.

Keywords: flax seeds, soluble dietary fiber, polysaccharide complex, technological properties, biological efficiency.

Acknowledgements: The research was carried out within the framework of the internal research of the Voronezh State University of Engineering Technologies.

For citation: Efremov, D. P., Zharkova, I. M. (2026). Theoretical justification of feasibility of include soluble flax seed fiber in composition of flour products. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 111-122. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.02.015. EDN: <https://elibrary.ru/XYSXRO>.

ВВЕДЕНИЕ

Значение семян льна масличного и продуктов их переработки для поддержания здоровья и активного долголетия человека переоценить невозможно [1, 2]. Оно выражается в профилактике сахарного диабета [3–5], рака [6], снижении индекса ожирения и улучшении видового состава микробиоты кишечника [7], активации защитных эффектов против неалкогольной жировой болезни печени [8], облегчении некоторых симптомов перименопаузы [9]. В сочетании с традиционной медициной льняное семя может служить эффективным средством лечения гипертонии [10].

Такой широкий спектр положительного воздействия на организм человека обусловлен наличием в семенах льна большого разнообразия нутриентов, обладающих биологически активными свойствами. В этой связи, в первую очередь, необходимо назвать компоненты липидного комплекса [4, 11–18], белки [5, 19–21], лигнаны [12, 22–28], в т.ч. секоизолапидиризин дигликозид [19, 22, 24, 26, 29, 30], клетчатку [2, 3, 24, 31]. Наряду с клетчаткой, которая представляет собой нерастворимое пищевое волокно, в семенах льна содержатся и растворимые пищевые волокна (РПВ), которые, в свою очередь, являются компонентом «двойного назначения», поскольку проявляют свойства, значимые для производства пищевых продуктов с технологической точки зрения, а для потребителей – значимые с медико-биологической точки зрения.

О важности включения в рацион питания разнообразных продуктов, служащих источниками пищевых волокон (по определению Европейского агентства по безопасности пищевых продуктов (EFSA), «пищевые волокна» – это неперевариваемые углеводы плюс лигнин), свидетельствуют рекомендации диетологов, в том числе направленные на разработку более простых методов учета их потребления, например, приложения для мобильного телефона [32].

Согласно определению Codex Alimentarius, к пищевым волокнам относят съедобные углеводные полимеры, состоящие из трех и более мономерных единиц, устойчивые к действию эндогенных пищеварительных ферментов, т.е., не гидролизующиеся и не всасывающиеся в тонком кишечнике [33].

В научно-технической литературе используют термины «растворимые» и «нерастворимые» пищевые волокна, однако в диетологическом смысле такого различия не делают, и рекомендации ФАО/ВОЗ касаются потребления пищевых волокон в целом, на уровне 25 г [34] или 20–25 г в сутки [35] для взрослого человека.

Цель работы – обобщение и анализ основных

результатов исследований, объясняющих рост популярности растворимых пищевых волокон льняного семени в качестве ингредиента пищевых продуктов, поиск наиболее предпочтительных технологических решений, позволяющих максимально эффективно раскрыть их потенциал.

МЕТОДЫ

Поиск научной информации вели по библиографическим базам «PubMed» и eLIBRARY с применением ключевых слов: «семена льна», «soluble dietary fiber of flax seeds», временной диапазон опубликования результатов исследований – с 2000 по 2026 год. В исключительных случаях рассматривали статьи более раннего периода опубликования. Обработку информации осуществляли с помощью общепринятых аналитических методов, таких как анализ, систематизация и обобщение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Биологическое значение растворимых пищевых волокон.

В организме человека отсутствуют пищеварительные ферменты, способные гидролизовать растворимые пищевые волокна. Растворимые пищевые волокна, попадая в толстую кишку, оказываются в зоне действия ферментов кишечных бактерий, расщепляющих их на олигосахариды или моносахариды, которые затем используются бактериями в качестве основного источника углерода и энергии [36–38]. Это возможно благодаря тому, что бактерии, обитающие в кишечнике человека, содержат около 130 семейств гликозид-гидролаз 22 семейства полисахарид-лиаз и 16 семейств углеводных эстераз, обеспечивающих микробиоте гибкость при переходе с одного источника энергии из пищевых волокон на другой [39].

То есть растворимые пищевые волокна обладают пребиотическим действием, увеличивая количество полезных бактерий и улучшая кишечную среду [38]. Образующиеся при этом продукты метаболизма (в основном короткоцепочечные жирные кислоты) обеспечивают множество преимуществ для здоровья человека, таких как снижение риска желудочно-кишечных заболеваний, включая синдром раздраженного кишечника, дивертикулярная болезнь, функциональный запор и др. [36].

Lai K.W. с соавт. продемонстрировали пребиотический потенциал растворимых пищевых волокон семян льна и чиа [40]: растворимые пищевые волокна семян льна более устойчивы к гидролизу кислотой и панкреатином, их относительная пребиотическая

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ РАСТВОРИМЫХ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН СЕМЯН ЛЬНА В СОСТАВ МУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

ценность составила 98 %, что выше, чем у коммерческих пребиотиков, включая инулин, фруктоолигосахариды и изомальтоолигосахариды. Результаты показали также, что льняная слизь частично переваривается в желудочно-кишечном тракте и способствует росту *L. rhamnosus* GG.

Целенаправленное регулирование и контроль постпрандиальных гликемических показателей имеют решающее значение для профилактики и лечения диабета. Описаны некоторые механизмы действия растворимых пищевых волокон, от повышения вязкости химуса до образования короткоцепочечных жирных кислот в результате ферментации, которые стимулируют моторику желудочно-кишечного тракта и высвобождение гормонов GLP-1 и PYY. Постпрандиальная гликемическая реакция, вызванная употреблением инулина и резистентного крахмала, хорошо изучена. Активно исследуется возможность контроля уровня глюкозы в крови с помощью камедей, β -глюкана, псиллиума, арабиноксилана, растворимых кукурузных волокон, резистентного мальтодекстрина, глюкоманнана [41].

Следует отметить, что среди растворимых пищевых волокон выделяют две группы: невязкие и вязкие или гелеобразующие. К первой группе относят, например, инулин, а ко второй – слизи семян подорожника, чиа и льна.

Благодаря большой молекулярной массе и высокой гидрофильности вязкие растворимые пищевые волокна (β -глюкан, пектины, камеди) могут растворяться в воде и образовывать студенистую структуру [33]. β -глюкан состоит из D-глюкозы, связанной β -гликозидной связью; пектин в основном состоит из D-галактуроновых кислот, связанных α -1,4-гликозидной связью, и содержит небольшое количество рамнозы, арабинозы и галактозы; камеди – высокомолекулярные углеводы, которые при низких концентрациях могут соединяться с водой с образованием гелей.

Доказано, что потребление вязких растворимых пищевых волокон замедляет гидролиз высококалорийных питательных веществ (крахмал и триглицериды) и всасывание продуктов гидролиза в тонком кишечнике. То есть растворимые пищевые волокна могут значительно замедлить общее потребление энергии, а также глюкозы и холестерина, поэтому они снижают риск развития ожирения, сахарного диабета 2 типа, гиперлипидемии [36].

Растворимые пищевые волокна, способные увеличивать вязкость продукта или вязкость химуса, способны замедлять, но не снижать общее всасывание питательных веществ, которое может происходить по всему тонкому кишечнику [42].

Вязкие растворимые пищевые волокна способствуют повышению усвояемости минеральных веществ, благодаря своей способности связывать ионы металлов (кальций, магний, железо, медь и цинк) и, таким образом, транспортировать их в дистальный отдел толстой кишки, где они высвобождаются под действием ферментов кишечных бактерий. Высвободившиеся ионы металлов помогают организму сопротивляться действию патогенов, способствуют увеличению разнообразия кишечного бактериального сообщества и защите кишечника от инфекции [43]. Кроме того, короткоцепочечные жирные кислоты, вырабатываемые кишечными бактериями при ферментации растворимых пищевых волокон, образуют с высвободившимися металлами соли, которые хорошо всасываются толстой кишкой [44, 45].

Семена льна привлекают к себе все больше внимания научного сообщества также благодаря наличию в составе растворимых полисахаридов универсального полисахарида рамногалактуронана [46]. Другой их компонент – арабиноксилан, способствует улучшению метаболизма глюкозы и инсулина [47, 48]. Для обеспечения значимого эффекта рекомендуется потребление 8 г арабиноксилана в день [49].

На примере введения растворимых пищевых волокон семян льна в сахаросодержащий продукт из аффинированного желтого сахара авторы [50] показали возможность снижения гликемического индекса продукта на 29 %; в эксперименте с тест-организмами *R. caudatum* наблюдали повышение их стрессоустойчивости на 40 %. Данный эффект служит подтверждением того, что комплекс растворимых пищевых волокон семян льна обладает выраженными протекторными свойствами и способен проявлять защитное действие, способствуя сохранению структуры и функциональной активности ДНК, полиненасыщенных жирных кислот в мембранных липидах, функциональной активности белков, липидов клеточных мембран и липопротеидов.

Технологическое значение растворимых пищевых волокон.

Среди важнейших функционально-технологических свойств растворимых пищевых волокон можно назвать водоудерживающую, эмульгирующую, гелеобразующую, пенообразующую и стабилизирующую способности, а также способность влиять на вязкость продукта [51], его текстуру [52–55], скорость ретроградации крахмала [52, 55–57]. Установлено, что растворимые пищевые волокна, вступая в химические взаимодействия с веществами других классов, могут существенно изменять их свойства. Так, в исследовании [58] показано, что в результате реакции между растворимыми пищевыми волокнами плодов шелковицы и сывороточными белками происходит увеличение эмульгирующей способности последних, в том числе повышается стабильность эмульсии.

Sempio R. с соавт. показали, что добавление водорастворимого пищевого волокна – арабиноксилана из кукурузы к комбинации кукурузного резистентного крахмала типа IV и целлюлозы позволяет получить пшеничный хлеб при максимальном сохранении традиционных потребительских характеристик [59]. При этом оптимальная дозировка пищевых волокон составила (% от массы муки в тесте): резистентный крахмал FibersymRW – 40, целлюлоза VitacelL600-30 – 11 и арабиноксилан AgriFiberSFC – 2 при добавлении пшеничной клейковины из расчета обеспечения ее количества на уровне контрольного образца теста (без пищевых волокон). Такая комбинация нерастворимых неферментируемых (целлюлозы), нерастворимых ферментируемых (резистентный крахмал IV типа) и растворимых ферментируемых (арабиноксилана) пищевых волокон обладает более приемлемыми технологическими характеристиками для введения в рецептуру пшеничного хлеба, чем каждый из компонентов по отдельности, т.е. при таком варианте можно достичь более значимого эффекта обогащения продукции пищевыми волокнами (в порции хлеба 50 г содержится количество пищевых волокон, равное 15 % от суточной потребности в них взрослого человека).

Другой представитель растворимых пищевых волокон – арабиногалактан, имеет статус пищевой добавки, относящейся к загустителям, желирующим агентам и стабилизаторам консистенции. Меренко-

вой С.П. и Девяткиным Д.И. показана эффективность применения арабиногалактана в дозировке 2,5 % для нивелирования ухудшающего влияния высоких доз муки масличных культур (10 % соевой, льняной или конопляной муки) на свойства теста и качество хлеба [60]. Отмечена интенсификация ферментативных процессов на этапе брожения полуфабрикатов, что способствует более активному росту кислотности. В результате возможно сокращение продолжительности брожения теста на 11,8–23,5 % при хорошо развитой структуре клейковинного каркаса, позволяющего получить хлеб с хорошей пористостью пластичного мякиша.

Поскольку многочисленные представители растительных растворимых пищевых волокон существенно отличаются друг от друга по составу моно- и видам их связей, то весьма разнообразны их технологические и биологические свойства [61].

Отдельного внимания заслуживают растворимые пищевые волокна семян льна (слизь). Многочисленные исследования, проведенные в разных странах мира, свидетельствуют об их высоком потенциале как технологического компонента (загустителя, стабилизатора, влагоудерживающего агента) [57, 62–66] и как функционального ингредиента [64, 67, 68].

Сроки годности мучных изделий во многом определяются скоростью ретроградации крахмала. Известно, что введение в рецептуру гидроколлоидов, например гуаровой камеди, позволяет замедлить ретроградацию крахмала. Yang X. с соавт. исследовали эффективность растворимых пищевых волокон семян льна (порошок, чистота 99,8 %) для замедления ретроградации кукурузного крахмала [69]. Установлено, что чем выше дозировка растворимых пищевых волокон семян льна, тем значительнее эффект торможения ретроградации крахмала, при этом увеличение дозировки волокон свыше 0,4 % не целесообразно. Механизм наблюдаемого эффекта авторы объясняют тем, что растворимые пищевые волокна семян льна снижают относительную кристалличность, увеличивают подвижность воды и изменяют сетевую структуру гелей кукурузного крахмала. Это достигается за счет образования водородных связей между растворимыми пищевыми волокнами семян льна и кукурузным крахмалом, которые препятствуют потере воды и перекристаллизации крахмала. Кроме того, растворимые пищевые волокна семян льна обволакивают гранулы крахмала и изменяют распределение воды в смесях крахмал–волокна, препятствуя перекристаллизации амилозы и амилопектина, повышению подвижности воды при уменьшении ее потерь [69].

Feng M. с соавт. продолжили предыдущее исследование и проанализировали образцы модельных образцов гелей из кукурузного крахмала и порошка растворимых полисахаридов семян льна в дозировке до 0,4 % в процессе хранения при температурах от –20 °C до +20 °C [70]. Отмечена практически полная остановка ретроградации крахмала при температуре хранения –20 °C, но при этом гели характеризовались наибольшей твердостью. Наибольшая ретроградация гелей при самой высокой скорости перекристаллизации была отмечена при температуре хранения +4 °C. Самую мягкую текстуру имели гели, хранившиеся при +20 °C, степень ретроградации в них была ниже, чем у гелей, хранившихся при +4 °C.

Яковлевой А.А. с соавт. изучены функционально-технологические свойства растворимых пищевых волокон в составе полисахаридного комплекса из семян льна сорта ЛМ-98: водоудерживающая способность составила 15 г/г, а жирудерживающая – 1,0 г/г [71]. На модели водной эмульсии из изолята горохового белка и полисахаридного комплекса авторы продемонстрировали способность последнего к агрегации белков.

Состав и строение растворимых пищевых волокон семян льна.

Содержание пищевых волокон в семенах льна составляет в среднем 29 г/100 г, из которых 25 % приходится на растворимые волокна, а 75 % – на нерастворимые волокна [2]. По данным [72], соотношение растворимых и нерастворимых пищевых волокон в семенах льна может колебаться в интервале от 20:80 до 40:60. Состав растворимых пищевых волокон неоднороден: компоненты имеют разную структуру, что наряду с внешними факторами (температура, активная кислотность среды) оказывает влияние на их растворимость [36]. Растворимые пищевые волокна, образующие льняную слизь, состоят из галактуроновой кислоты (21–36 %), ксилозы (19–38 %), рамнозы (11–16 %), галактозы (12–16 %), арабинозы (8–13 %) и глюкозы (4–6 %) [73, 74]. В обобщенном виде их характеристика представлена на рисунке 1 [75–79].

Растворимые пищевые волокна семян льна состоят из двух полисахаридных фракций: кислой (галактуроновокислоты) и нейтральной (галактоглюканы и арабиноксиланы). Они содержат цепи из чередующихся остатков D-галактуроновокислоты, L-рамнозы и D-арабинозы, к которым присоединены боковые цепи, состоящие из остатков 3-О-метил-D-галактозы, D-галактозы, L-рамнозы и D-ксилозы, а также 4-О-метил-D-глюкуроновокислоты. Растворимые пищевые волокна семян льна образуют комплексы с белками (их доля порядка 5 %), что влияет на их реологические свойства [46].

Наличие в составе льняной слизи арабинозы и ксилозы свидетельствует о присутствии арабиноксилана, а наличие рамнозы и галактуроновокислоты – о присутствии рамногалактуронана I, в структуру боковых цепей которого могут входить имеющиеся в составе слизи галактоза и фукоза [80].

Соотношение рамнозы и галактуроновокислоты в рамногалактуронане, по данным Elboutachfaiti R., находится в диапазоне от 1,22 до 0,85, т.е. близко к единице, что свидетельствует о его моностерной природе [81].

Количество растворимых пищевых волокон в семенах льна зависит от сорта и условий выращивания. Яковлевой А.А. с соавт. исследованы 6 отечественных сортов льна-долгунца и льна масличного: содержание растворимых пищевых волокон находилось в диапазоне от 2,45 % до 4,64 %, т.е. различалось почти в 2 раза [82]. Авторами также установлено, что при наличии в составе растворимых пищевых волокон более 50 % высокомолекулярной фракции меняется организация их пространственной структуры: в ней появляется тройная спиральная конформация цепи. Полисахариды с тройной спиральной конформацией активно исследуются при разработке устойчивых «зеленых» биополимеров в области пищевых и биологических наук [83].

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ РАСТВОРИМЫХ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН СЕМЯН ЛЬНА В СОСТАВ МУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Растворимые пищевые волокна семян льна			
		Мономеры:	Особенности строения:
Нейтральная фракция	арабиноксилан (27-36 %) структурные единицы: (1,4)-β-D-ксилан, встречается некоторое количество связей (1,3)	L-арабиноза, D-ксилоза, D-галактоза	арабиноза и галактоза присоединены в положении О-2 и/или О-3
Кислая фракция	рамоногалактуронан (52-62 %) структурные единицы: (1,4)-D-галактопиранозил-уроновая (галактуроновая) кислота и (1,2)-α-L-рамнопиранозил	L-рамноза, L-галактоза, L-фукоза, D-галактуроновая кислота	фукоза и галактоза в виде разветвлений основной цепи, L-галактоза присоединена к положению О-3 вместо обычного положения О-4 остатка рамнозила

Рисунок 1 – Типичный состав растворимых пищевых волокон семян льна [75–79]

Figure 1 – Typical soluble dietary fiber composition of flaxseed [75–79]

Способы получения растворимых пищевых волокон семян льна.

Растворимые пищевые волокна семян льна являются компонентом так называемых слизей, которые продуцируются внешними клеточными слоями семенных оболочек [84]. Извлекают их, как правило, в виде полисахаридных комплексов, содержащих сопутствующие вещества (белки, лигнаны, минеральные вещества).

В России и за рубежом разработано и запатентовано большое количество способов извлечения растворимых пищевых волокон из семян льна с получением самостоятельного коммерчески привлекательного ингредиента, обладающего свойствами стабилизатора, эмульгатора и пенообразователя. При всем многообразии обосновываемых авторами рациональных технологических режимов все способы сводятся к нескольким основным операциям: перевод пищевых волокон в раствор, отделение гидратированных волокон от массы семян с последующей сушкой или извлечением путем осаждения. Способы различаются выбором растворителя (питьевая вода, дистиллированная вода; pH 2-7), гидро модулем (1:5 – 1:30), температурой экстракции (18–100 °C) и ее продолжительностью (1–10 ч), способом отделения растворенных пищевых волокон от семян (центрифугирование, фильтрация через фильтр, в том числе вакуумная, декантация), способом осаждения (этиловый спирт и его количество), способом сушки (распылительная, вакуумная, лиофильная) [80, 85–88]. Для повышения эффективности экстракции осуществляют перемешивание массы, возможно применение ультразвуковой обработки [84, 89], механических колебаний (продолжительность экстракции сокращается до 14–16 мин.) [90], обработки микроволновым излучением [84]. В работе [91] предложено смесь семян льна с водой (гидро модуль 1:10) подвергнуть кипячению в течение 15 мин., а отделенный экстракт лиофильно высушить.

В способе [85], предусматривающем экстрагирование растворимых пищевых волокон водой (предпочтительно дистиллированной) в течение 1 ч при гидро модуле 1:20 и температуре 40 °C с целью снижения затрат на высушивание отделенного от семян

экстракта, предложено предварительно концентрировать экстракт на роторном испарителе при температуре 40 °C до 1/3 объема и после этого направлять в распылительную сушилку.

Хариной М.В. с соавт. доказано, что экстрагирование растворимых пищевых волокон в дистиллированной воде при гидро модуле 1:8 позволяет достичь максимальной эффективности процесса: содержание сухих веществ в экстракте составляет $2,10 \pm 0,03$ %, что соответствует $1,47 \pm 0,02$ % от массы семян льна, при этом сухие вещества экстракта содержат $87,93 \pm 2,47$ % углеводов, а также фенольные вещества и белки [80]. Мономерный состав углеводов в продукте, полученном данным способом из семян льна сорта Могилевский, представлен фукозой, рамнозой, арабинозой, галактозой, глюкозой, ксилозой, галактуронозой и глюкуронозой кислотами. Также авторы установили, что мономерный состав растворимых пищевых волокон практически сохраняется при лиофильной сушке экстракта.

Перечисленными методами получить растворимые пищевые волокна полностью очищенными от сопутствующих веществ (в т.ч. белков) не удастся. Белки образуют нековалентные связи с компонентами кислой фракции растворимых полисахаридов семян льна, и их количество в конечном продукте может колебаться в широких пределах (от 5 до 60 %) в зависимости от условий проведения экстракции [92, 93].

Миневич И.Э. с соавт. запатентован способ извлечения растворимых пищевых волокон из семян льна в виде полисахаридного комплекса [85]. Данный способ предусматривает водную экстракцию растворимых пищевых волокон, отделение экстракта от семян, его концентрирование и сушку полисахаридного комплекса.

Технологические свойства растворимых пищевых волокон семян льна, а точнее продукта, содержащего их комплекс с сопутствующими компонентами, зависят в основном от соотношения между фракциями пищевых волокон и от количества присоединенных белков. Известно, что поверхностная активность и эмульгирующая способность растворимых пищевых волокон семян льна обусловлены наличием связанных с ними белков [94].

Опыт использования растворимых пищевых волокон семян льна в технологии мучных изделий.

Бойцовой Т.М. с соавт. запатентован способ производства хлебобулочных изделий, предусматривающий внесение на стадии приготовления теста из смеси ржаной и пшеничной муки на большой густой ржаной закваске полуфабриката из растительного сырья. При этом полуфабрикат из растительного сырья готовят путем настаивания в течение 70–90 мин. семян льна в воде при гидромодуле 1:20 и температуре 65–70 °С, а затем разбавляют питьевой водой при соотношении настоев: вода 70:30 – 100:0. Дозировка настоя составляет 29,4–42 кг/100 кг готового продукта, т.е. 1,4–2,0 кг семян льна в 100 кг хлебобулочного изделия [46]. Благодаря наличию в настое альбуминовой фракции белков и минеральных веществ, активизируется технологическая микрофлора в тесте, что в конечном итоге приводит к сокращению цикла производства ржано-пшеничного хлеба на закваске 1,5 ч или на 30 %. Однако достичь существенного обогащения конечного продукта растворимыми пищевыми волокнами невозможно из-за высокого гидромодуля при приготовлении настоя и дополнительного разбавления его водой перед внесением в тесто.

Хариной М.В. с соавт. запатентован способ производства хлебобулочных изделий при включении в состав их рецептуры высушенной слизи семян льна [80]. При этом высушенная слизь семян льна представляет собой комплекс растворимых пищевых волокон, содержащий в своем составе 1,5–2,25 % белков. Авторы рекомендуют вносить такой ингредиент при замесе теста для пшеничных и ржано-пшеничных хлебобулочных изделий в дозировке от 0,5 до 2,5 % от массы муки. В результате изменяются свойства теста (улучшается газообразующая и газодерживающая способности, сокращается продолжительность брожения до достижения заданной кислотности), повышается пористость мякиша хлеба. Причем в пшеничном тесте авторы отмечают изменения более значимые, чем в ржано-пшеничном тесте. Благодаря введению в рецептуру пшеничного хлеба растворимых пищевых волокон семян льна снижаются затраты энергии на деформацию кусочка хлеба во рту до состояния, пригодного для проглатывания (разжевываемость продукта) на 12,5 и 50,0 % соответственно. В случае ржано-пшеничного хлеба разжевываемость облегчается на 33,3 и 44,4 % соответственно (по сравнению с хлебом без растворимых пищевых волокон семян льна) [80].

Наряду с кэробом семена льна и продукты их переработки могут использоваться в производстве безглютеновой продукции [95, 96].

Korus J. с соавт. показали возможность замены гуаровой камеди и пектина лиофилизированным экстрактом льняной слизи (дозировка 1,2–2,4 % от массы крахмала) при улучшении органолептики безглютенового хлеба [91].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на обилие информации, касающейся разработки пищевых продуктов с включением в их рецептуру растворимых пищевых волокон семян льна, нельзя сказать, что все технологические и диетологические вопросы полностью решены. Поэтому актуальным является продолжение исследований, связанных с изучением влияния сортовых особенностей льна, почвенно-климатических условий его выращивания, технологии переработки на количество,

состав и свойства растворимых пищевых волокон. Отдельного внимания заслуживают исследования, направленные на поиск наиболее эффективных способов введения растворимых пищевых волокон в разнообразные пищевые матрицы и подтверждение в клинических условиях эффективности включения их в рацион питания для профилактики и/или лечения социально-значимых заболеваний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Parikh M., Maddaford T.G., Austria J.A., Aliani M., Netticadan T., Pierce G.N. Dietary Flaxseed as a Strategy for Improving Human Health // *Nutrients*. 2019. Vol. 11(5). 1171. <https://doi.org/10.3390/nu11051171>.
2. Kauser S., Hussain A., Ashraf S., Fatima G., Ambreen, Javaaria S., Abideen Z.U., Kabir K., Yaqub S., Akram S., Shehzad A., Korma S.A. Flaxseed (*Linum usitatissimum*); Phytochemistry, Pharmacological Characteristics and Functional Food Applications // *Food Chemistry Advances*. 2024. Vol. 4. 100573. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100573>.
3. Wu S., Jia W., He H., Yin J., Xu H., He C., Zhang Q., Peng Y., Cheng R. Can Enhance Satiety and Reduce Postprandial Blood Glucose in Healthy Adults: A Randomized Cross-Over Trial // *Nutrients*. Vol. 15(21). 4569. <https://doi.org/10.3390/nu15214569>.
4. Kapoor P., Parrey Z.A., Mir B.A., Wani A.W., Kumari R., Rakhra G., Joshi R., Rakhra G., Khan W.A., Abass K.S., Rajab B.S., Farid A., Alghamdi S. Flaxseed in Diabetes Management: Nutritional and Therapeutic Insights // *Current nutrition reports*. 2025. Vol. 14(1). 109. <https://doi.org/10.1007/s13668-025-00696-3>.
5. López-Toledo S., Pineda De la Cruz M.C., Gutiérrez-Hurtado I.A., Gijón-Soriano A.L., Martínez-Martínez E., Valencia-Santiago C., Orellana-Centeno J.E., Ramírez-García S.A., Pacheco-Cruz R. Flaxseed Improves Glucose and Lipid Metabolism in Mexican Subjects with Type 2 Diabetes: A Parallel Randomized Clinical Trial // *Nutrients*. 2021. Vol. 13(4). 709. <https://doi.org/10.3390/nu13040709>.
6. Stepień A.E., Trojaniak J., Tabarkiewicz J. Anti-Oxidant and Anti-Cancer Properties of Flaxseed // *International journal of molecular sciences*. 2025. Vol. 26(3). 1226. <https://doi.org/10.3390/ijms26031226>.
7. Tian Y., Zhou Y., Liao W., Xia J., Hu Q., Zhao Q., Zhang R., Sun G., Yang L., Li L. Flaxseed powder supplementation in non-alcoholic fatty liver disease: a randomized controlled clinical trial // *Food & function*. 2025. Vol. 16(4). Pp. 1389–1406. <https://doi.org/10.1039/d4fo05847j>.
8. Zharkova I.M., Grebenshchikov A.V., Efremov D.P., Maksimov S.A., Eliashevich S.O., Orekhova A.V., Kiselev A.R. Combination of flaxseed and clarified tomato juice in bread: Delayed effect on metabolic disorders during long-term unbalanced diet in an in vivo experiment // *Nutrition and health*. 2024. Vol. 31(4), Pp. 1449–1463. <https://doi.org/10.1177/02601060241298740>.
9. Shrivastava R., Bhattacharya S., Verma N., Mehdi A.A., Pandey A., Ansari J.A. Dietary Status and the Effect of Flaxseed Supplementation on the Severity of Perimenopausal Symptoms // *Cureus*. 2025. Vol. 17(2). e79725. <https://doi.org/10.7759/cureus.79725>.
10. Musazadeh V., Hamidi N., Mahmoudinezhad M., Jafari A., Shidfar F. Can flaxseed supplementation alleviate blood pressure in patients with metabolic diseases? Evaluating the strength of evidence using a meta-analysis and GRADE approach // *Journal of diabetes and metabolic disorders*. 2025. Vol. 24(2). 149. <https://doi.org/10.1007/s40200-025-01656-y>.
11. Heidor R., Yamamoto R.C., da Silva C.F.A., Ruff J.R., Purgatto E., Moreno F.S. Flaxseed Oil Inhibits Hepatic Preneoplastic Lesions, DNA Damage, and γ-H2AX Expression During Initial Phases of Hepatocarcinogenesis // *Nutrition and Cancer*. 2026. Vol. 78(1). Pp. 80–91. <https://doi.org/10.1080/01635581.2025.2562639>.
12. Caligiuri S.P.B., Parikh M., Stamenkovic A., Pierce G.N., Aukema H.M. Dietary modulation of oxylipins in cardiovascular disease and aging // *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*. 2017. Vol. 313(5). H903–H918. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00201.2017>.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ РАСТВОРИМЫХ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН СЕМЯН ЛЬНА В СОСТАВ МУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

13. Duarte S., Shah M.A., Sanches Silva A. Flaxseed in Diet: A Comprehensive Look at Pros and Cons // *Molecules* (Basel, Switzerland). 2025. Vol. 30(6). 1335. <https://doi.org/10.3390/molecules30061335>.
14. Hirst B.C., Dibrov E., Hirst S.D., Pierce G.N. Physiological and Pathological Considerations for the Use of Flaxseed as a Therapeutic Dietary Strategy // *Reviews in cardiovascular medicine*. 2023. Vol. 24(5). 149. <https://doi.org/10.31083/j.rcm2405149>.
15. Ganguly R., Hasanally D., Stamenkovic A., Madadford T.G., Chaudhary R., Pierce G.N., Ravandi A. Alpha linolenic acid decreases apoptosis and oxidized phospholipids in cardiomyocytes during ischemia/reperfusion // *Molecular and cellular biochemistry*. 2018. Vol. 437(1-2). Pp. 163–175. <https://doi.org/10.1007/s11010-017-3104-z>.
16. Xie N., Zhang W., Li J., Liang H., Zhou H., Duan W., Xu X., Yu S., Zhang H., Yi D. α -Linolenic acid intake attenuates myocardial ischemia/reperfusion injury through anti-inflammatory and anti-oxidative stress effects in diabetic but not normal rats // *Archives of medical research*. 2011. Vol. 42(3). Pp. 171–181. <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2011.04.008>.
17. Zhu L., Sha L., Li K., Wang Z., Wang T., Li Y., Liu P., Dong X., Dong Y., Zhang X., Wang H. Dietary flaxseed oil rich in omega-3 suppresses severity of type 2 diabetes mellitus via anti-inflammation and modulating gut microbiota in rats // *Lipids in health and disease*. 2020. Vol. 19(1). 20. <https://doi.org/10.1186/s12944-019-1167-4>.
18. Mitrović N., Zarić Kantić M., Grković I. Neuroprotection by Flaxseed Oil in a Model of Hippocampal Injury Induced by Trimethyltin Involves Purinergic System Modulation // *International journal of molecular sciences*. 2025. Vol. 26(21). 10283. <https://doi.org/10.3390/ijms262110283>.
19. Mueed A., Shibli S., Korma S.A., Madjirebaye P., Esatbeyoglu T., Deng Z. Flaxseed Bioactive Compounds: Chemical Composition, Functional Properties, Food Applications and Health Benefits-Related Gut Microbes // *Foods* (Basel, Switzerland). 2022. Vol. 11(20). 3307. <https://doi.org/10.3390/foods11203307>.
20. Dzuor C.K.O., Taylor J.T., Acquah C., Pan S., Agyei D. Bioprocessing of Functional Ingredients from Flaxseed // *Molecules* (Basel, Switzerland). 2018. Vol. 23(10). 2444. <https://doi.org/10.3390/molecules23102444>.
21. Noreen S., Hashmi B., Tufail T., Ikram A., Arshad M.T., Gnedeke K.T. Synergistic Beneficial Effects of Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) Oil and Olive (*Olea europaea* L.) Oil Against Metabolic Dysfunction Associated Fatty Liver and Its Complications // *Food science & nutrition*. 2024. Vol. 13(1). e4638. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4638>.
22. Plaha N.S., Awasthi S., Sharma A., Kaushik N. Distribution, biosynthesis and therapeutic potential of lignans // *3 Biotech*. 2022. Vol. 12(10). 255. <https://doi.org/10.1007/s13205-022-03318-9>.
23. Calado A., Neves P.M., Santos T., Ravasco P. The Effect of Flaxseed in Breast Cancer: A Literature Review // *Frontiers in nutrition*. 2018. Vol. 5. 4. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00004>.
24. Parikh M., Netticadan T., Pierce G.N. Flaxseed: its bioactive components and their cardiovascular benefits // *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*. 2018. Vol. 314(2). H146–H159. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00400.2017>.
25. Elshenawy E.A., Mohammed H.A., Mahmoud Y.I. Flaxseed Lignans Alleviates Doxorubicin-Induced Premature Ovarian Insufficiency in Adult Female Mice // *Reproductive sciences* (Thousand Oaks, Calif.). 2025. Vol. 32(11). Pp. 3676–3687. <https://doi.org/10.1007/s43032-025-01980-x>.
26. Prasad K. Antihypertensive Activity of Secoisolaricresinol Diglucoside (SDG) Isolated from Flaxseed: Role of Guanylate Cyclase // *International Journal of Angiology*. 2004. Vol. 13. Pp. 7–14. <https://doi.org/10.1007/s00547-004-1060-4>.
27. Wu H., Liu J., Zhang X.H., Jin S., Li P., Liu H., Zhao L., Wang J., Zhao S., Tian H.D., Lai J. R., Hao Y., Liu G.R., Hou K., Yan M., Liu S.L., Pang D. The combination of flaxseed lignans and PD-1/ PD-L1 inhibitor inhibits breast cancer growth via modulating gut microbiome and host immunity // *Drug resistance updates : reviews and commentaries in antimicrobial and anticancer chemotherapy*. 2025. Vol. 80. 101222. <https://doi.org/10.1016/j.drup.2025.101222>.
28. Barre D.E., Mizier-Barre K.A., Griscit O. Various apolipoprotein E genotypes relate to responsiveness to flaxseed lignan complex in older persons with type 2 diabetes mellitus // *Endocrine regulations*. 2024. Vol. 58(1). Pp. 220–224. <https://doi.org/10.2478/enr-2024-0026>.
29. Duš-Ilnicka I., Prescha A., Mordal A., Šroda-Pomianek K., Sobieszczańska B., Bielecka M., Czyżnikowska Z., Szperlik J., Matkowski A., Radwan-Oczko M. Flaxseed Extracts Impact the Cellular Structure of a Keratinocyte Model for Oral Lichen Planus-A Preliminary Study // *International journal of molecular sciences*. 2025. Vol. 26(12). 5462. <https://doi.org/10.3390/ijms26125462>.
30. Wang S., Chen J., Li Y., Wang Y. Secoisolaricresinol diglucoside (SDG) from flaxseed meal alleviates hyperuricemia in mice by regulating uric acid metabolism and intestinal homeostasis // *Food research international* (Ottawa, Ont.). 2025. Vol. 217. 116770. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116770>.
31. Kavyani Z., Pourfarzani P., Mohamad Jafari Kakhki A., Sedgh Ahrahi S., Hossein Moridpour A., Mollaghasemi N., Musazadeh V., Hossein Faghfour A. The Effect of Flaxseed Supplementation on Glycemic Control in Adults: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials // *Journal of Functional Foods*. 2023. Vol. 110. 105816. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105816>.
32. Ahlin R., Sigvardsson I., Skokic V., Landberg R., Steineck G., Hedelin M. Development and Validation of a Mobile Phone Application Developed for Measuring Dietary Fiber Intake // *Nutrients*. 2021. Vol. 13(7). 2133. <https://doi.org/10.3390/nu13072133>.
33. Stephen A.M., Champ M.M., Cloran S.J., Fleith M., van Lieshout L., Mejbom H., Burley V.J. Dietary fibre in Europe: Current state of knowledge on definitions, sources, recommendations, intakes and relationships to health // *Nutrition research reviews*. 2017. Vol. 30. Pp. 149–190. <https://doi.org/10.1017/S095442241700004X>.
34. EFSA Publication. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA); Scientific Opinion on Dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre. European Food Safety Authority. // *EFSA Journal*. 2011. No. 1462. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1462>.
35. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г.). <https://upr.alregn.ru/pharmaceutical-industry/docs/inaya-poleznaya-informatsiya/MP%202.3.1.0253-21.pdf>. (дата обращения: 09.02.2026).
36. Guan Z.W., Yu E.Z., Feng Q. Soluble Dietary Fiber, One of the Most Important Nutrients for the Gut Microbiota // *Molecules* (Basel, Switzerland). 2021. Vol. 26(22). 6802. <https://doi.org/10.3390/molecules26226802>.
37. Singh R.P. Glycan utilisation system in Bacteroides and Bifidobacteria and their roles in gut stability and health // *Applied microbiology and biotechnology*. 2019. Vol. 103(18). Pp. 7287–7315. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10012-z>.
38. Tap J., Furet J.P., Bensaada M., Philippe C., Roth H., Rabot S., Lakhdari O., Lombard V., Henrissat B., Corthier G., et al. Gut microbiota richness promotes its stability upon increased dietary fibre intake in healthy adults // *Environmental microbiology*. 2015. Vol. 17. Pp. 4954–4964. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13006>.
39. Flint H.J., Scott K.P., Duncan S.H., Louis P., Forano E. Microbial degradation of complex carbohydrates in the gut // *Gut Microbes*. 2012. Vol. 3. Pp. 289–306. <https://doi.org/10.4161/gmic.19897>.
40. Lai K.W., How Y.H., Ghazali H.M., Pui L.P. Preliminary evaluation of potential prebiotic capacity of selected legumes and seed mucilage on the probiotic strain *Lactobacillus rhamnosus* GG // *Asia-Pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology*. 2021. Vol. 29(1). Pp. 60–72. <https://doi.org/10.35118/apjmbb.2021.029.1.07>.
41. Giuntini E.B., Sardá F.A.H., de Menezes E.W. The Effects of Soluble Dietary Fibers on Glycemic Response: An Overview and Futures Perspectives // *Foods* (Basel, Switzerland). 2022. Vol. 11(23). 3934. <https://doi.org/10.3390/foods11233934>.

42. Kawasaki N., Suzuki Y., Urashima M., Nakayoshi T., Tsuboi K., Tanishima Y., Hanyu N., Kashiwagi H. Effect of gelatinization on gastric emptying and absorption // *Hepatogastroenterology*. 2008. Vol. 55(86-87). Pp. 1843–1845.
43. Makki K., Deehan E.C., Walter J., Bäckhed F. The Impact of Dietary Fiber on Gut Microbiota in Host Health and Disease // *Cell host & microbe*. 2018. Vol. 23(6). Pp. 705–715. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2018.05.012>.
44. Baye K., Guyot J.P., Mouquet-Rivier C. The unresolved role of dietary fibers on mineral absorption // *Critical reviews in food science and nutrition*. 2017. Vol. 57(5). Pp. 949–957. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.953030>.
45. Bosscher D., Van Caillie-Bertrand M., Deelstra H. Effect of thickening agents, based on soluble dietary fiber, on the availability of calcium, iron, and zinc from infant formulas // *Nutrition* (Burbank, Los Angeles County, Calif.). 2001. Vol. 17(7-8). Pp. 614–618. [https://doi.org/10.1016/s0899-9007\(01\)00541-x](https://doi.org/10.1016/s0899-9007(01)00541-x).
46. Тесто для производства хлебобулочных изделий: пат. 2634003. Рос. Федерация № 2016148014; заявл. 08.12.2016; опубл. 23.10.2017, Бюл. № 30. 9 с.
47. Benítez-Páez A., Kjølbaek L., Gómez Del Pulgar E.M., Brahe L.K., Astrup A., Matysik S., Schött H.F., Krautbauer S., Liebisch G., Boberska J., Claus S., Rampelli S., Brigidi P., Larsen L.H., Sanz Y. A Multi-omics Approach to Unraveling the Microbiome-Mediated Effects of Arabinoxylan Oligosaccharides in Overweight Humans // *mSystems*. 2019. Vol. 4(4). e00209-19. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00209-19>.
48. Deehan E.C., Zhang Z., Riva A., Armet A.M., Perez-Muñoz M.E., Nguyen N.K., Krysa J.A., Seethaler B., Zhao Y.Y., Cole J., Li F., Hausmann B., Spittler A., Nazare J.A., Delzenne N.M., Curtis J.M., Wismer W.V., Proctor S.D., Bakal J.A., Bischoff S.C., Walter J. Elucidating the role of the gut microbiota in the physiological effects of dietary fiber // *Microbiome*. 2022. Vol. 10(1). 77. <https://doi.org/10.1186/s40168-022-01248-5>.
49. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific Opinion on the Substantiation of Health Claims Related to Arabinoxylan Produced from Wheat Endosperm and Reduction of Post-Prandial Glycaemic Responses (ID 830) Pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006 // *EFSA Journal*. 2011. Vol. 9. 2205. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2205>.
50. Исследование биологических свойств растворимых полисахаридов семян льна в составе продукта из афренированного желтого сахара / И.М. Жаркова [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2022. № 1. С. 89–95. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2022.1.13>.
51. Seth D., Mishra H.N., Deka S.C. Effect of hydrocolloids on the physico-chemical and rheological properties of reconstituted sweetened yoghurt powder // *Journal of the science of food and agriculture*. 2018. Vol. 98(5). Pp. 1696–1702. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8641>.
52. Salehi F. Effect of common and new gums on the quality, physical, and textural properties of bakery products: A review // *Journal of texture studies*. 2020. Vol. 51(2). Pp. 361–370. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12482>.
53. Rai S., Kaur A., Chopra C.S. Gluten-Free Products for Celiac Susceptible People // *Frontiers in nutrition*. 2018. Vol. 5. 116. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00116>.
54. Andrade F.J.E.T., Albuquerque P.B.S., Moraes G.M.D., Farias M.D.P., Teixeira-Sá D.M.A., Vicente A.A., Carneiro-da-Cunha M.G. Influence of hydrocolloids (galactomannan and xanthan gum) on the physicochemical and sensory characteristics of gluten-free cakes based on fava beans (*Phaseolus lunatus*) // *Food & function*. 2018. Vol. 9(12). Pp. 6369–6379. <https://doi.org/10.1039/c8fo01448e>.
55. Kohajdová Z., Karovičová J. Application of hydrocolloids as baking improvers // *Chemical Papers*. 2009. Vol. 63(1). Pp. 26–38. <https://doi.org/10.2478/s11696-008-0085-0>.
56. Zheng M., Lin Y., Wu H., Zeng S., Zheng B., Zhang Y., Zeng H. Water migration depicts the effect of hydrocolloids on the structural and textural properties of lotus seed starch // *Food chemistry*. 2020. Vol. 315. 126240. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126240>.
57. Maity T., Saxena A., Raju P.S. Use of hydrocolloids as cryoprotectant for frozen foods // *Critical reviews in food science and nutrition*. 2018. Vol. 58(3). Pp. 420–435. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1182892>.
58. Ping-Ping W., Wen-Duo W., Chun C., Xiong F., Rui-Hai L. Effect of Fructus Mori. bioactive polysaccharide conjugation on improving functional and antioxidant activity of whey protein // *International journal of biological macromolecules*. 2020. Vol. 148. Pp. 761–767. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.195>.
59. Sempio R., Segura Godoy C., Nyhan L., Sahin A.W., Zannini E., Walter J., Arendt E.K. Closing the Fibre Gap-The Impact of Combination of Soluble and Insoluble Dietary Fibre on Bread Quality and Health Benefits // *Foods* (Basel, Switzerland). 2024. Vol. 13(13). 1980. <https://doi.org/10.3390/foods13131980>.
60. Меренкова С.П., Девяткин Д.И. Перспективы применения компонентов семян масличных культур в технологии хлеба // *Ползуновский вестник*. 2024. № 2. С. 46–52. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.006>.
61. Huang H., Huang G. Extraction, separation, modification, structural characterization, and antioxidant activity of plant polysaccharides // *Chemical biology & drug design*. 2020. Vol. 96(5). Pp. 1209–1222. <https://doi.org/10.1111/cbdd.13794>.
62. Manzoor M., Singh J., Bandal J.D., Gani A., Shams R. Food hydrocolloids: Functional, nutraceutical and novel applications for delivery of bioactive compounds // *International journal of biological macromolecules*. 2020. Vol. 165(PtA). Pp. 554–567. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.182>.
63. Миневич И.Э., Осипова Л.Л. Гидроколлоиды семян льна: характеристика и перспективы использования в пищевых технологиях // *Научный журнал НИУИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*. 2017. № 3. С. 16–25. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2017-10-3-16-25>.
64. Миневич И.Э. Функциональная значимость семян льна и практика их использования в пищевых технологиях // *Health, Food & Biotechnology*. 2019. 1(2). С. 97–120. <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s224>.
65. Jiang Y., Reddy C. K., Huang K., Chen L., Xu B. Hydrocolloidal properties of flaxseed gum/konjac glucomannan compound gel // *International journal of biological macromolecules*. 2019. Vol. 133. Pp. 1156–1163. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.187>.
66. Nikbakht Nasrabadi M., Goli S.A.H., Sedaghat Doost A., Dewettinck K., Van der Meeren P. Bioparticles of flaxseed protein and mucilage enhance the physical and oxidative stability of flaxseed oil emulsions as a potential natural alternative for synthetic surfactants // *Colloids and surfaces. B, Biointerfaces*. 2019. Vol. 184. 110489. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.110489>.
67. Brahe L.K., Le Chatelier E., Prifti E., Pons N., Kennedy S., Blædel T., Håkansson J., Dalsgaard T.K., Hansen T., Pedersen O., Astrup A., Ehrlich S.D., Larsen L.H. Dietary modulation of the gut microbiota - a randomised controlled trial in obese postmenopausal women // *The British journal of nutrition*. 2015. Vol. 114(3). Pp. 406–417. <https://doi.org/10.1017/S0007114515001786>.
68. Sun J., Bai H., Ma J., Zhang R., Xie H., Zhang Y., Guo M., Yao J. Effects of flaxseed supplementation on functional constipation and quality of life in a Chinese population: A randomized trial // *Asia Pacific journal of clinical nutrition*. 2020. Vol. 29(1). Pp. 61–67. [https://doi.org/10.6133/apjcn.202003_29\(1\).0009](https://doi.org/10.6133/apjcn.202003_29(1).0009).
69. Yang X., Feng M.Q., Sun J., Xu X.L., Zhou G.H. The influence of flaxseed gum on the retrogradation of maize starch // *International Journal of Food Science & Technology*. 2017. Vol. 52. Pp. 2654–2660. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13554>.
70. Feng M., Yang X., Sun J., Xu X., Zhou G. Study on retrogradation of maize starch-flaxseed gum mixture under various storage temperatures // *International Journal of Food Science & Technology*. 2018. Vol. 53. Pp. 1287–1293. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13709>.
71. Яковлева А.А., Ушаповский В.И., Миневич И.Э. Взаимодействие белка гороха с полисахаридами семян льна в эмульсиях «масло в воде» // *Ползуновский вестник*. 2024. № 4. С. 21–28. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.003>.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ РАСТВОРИМЫХ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН СЕМЯН ЛЬНА В СОСТАВ МУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

72. Льняное семя, его состав и свойства / В.А. Зубцов [и др.] // Российский химический журнал (ЖРХО им. Д.И. Менделеева). 2002. Т. XLVI. № 2. С. 14–16.
73. Biliaderis C. Composition and physicochemical properties of linseed (*Linum usitatissimum* L.) mucilage // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1994. Vol. 42(2). Pp. 240–247.
74. Oomah B.D., Kenaschuk E.O., Cui W., Mazza G. Variation in the composition of water-soluble polysaccharides in flaxseed // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1995. Vol. 43. Pp. 1484–1488. <http://dx.doi.org/10.1021/jf00054a013>.
75. Muralikrishna G., Salimath P.V., Tharanathan R.N. Structural features of an arabinoxylan and a rhamno-galacturonan derived from linseed mucilage // *Carbohydrate Research*. 1987. Vol. 161. Pp. 265–271.
76. Petrova A.A., Kozlova L.V., Gaifullina I.Z., Ananchenko B.A., Martinson E.A., Mikshina P.V., Gorshkova T.A. AFM analysis reveals polymorphism of purified flax rhamnogalacturonans I of distinct functional types // *Carbohydrate polymers*. 2019. Vol. 216. Pp. 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.03.087>.
77. Yapo B.M. Rhamnogalacturonan-I: a structurally puzzling and functionally versatile polysaccharide from plant cell walls and mucilages // *Polymer Reviews*. 2011. Vol. 51(4). Pp. 391–413. <https://doi.org/10.1080/15583724.2011.615962>.
78. Hunt K., Jones J.K. The structure of linseed mucilage: part II // *Canadian Journal of Chemistry*. 1962. Vol. 40(7). Pp. 1266–1279. <https://doi.org/10.1139/v62-195>.
79. Naran R., Chen G., Carpita N.C. Novel rhamnogalacturonan I and arabinoxylan polysaccharides of flax seed mucilage // *Plant physiology*. 2008. Vol. 148(1). Pp. 132–141. <https://doi.org/10.1104/pp.108.123513>.
80. Способ производства хлебобулочных изделий с добавлением высушенной слизи семян льна: пат. 2794876. Рос. Федерация № 2022111746; заявл. 28.04.2022; опубл. 25.04.2023. Бюл. № 12. 38 с.
81. Elboutachfai R., Delattre C., Qu'ero A., Roulard R., Duchêne J., Mesnard F., Petit E. Fractionation and structural characterization of six purified rhamnogalacturonans type I from flaxseed mucilage // *Food Hydrocolloids*. 2017. Vol. 62. Pp. 273–279. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.005>.
82. Яковлева А.А., Ушаповский В.И., Миневич И.Э. Определение пространственной структуры полисахаридов семян льна // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2024. № 2(XLVI). С. 14–16. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2024.4.4>.
83. Meng Y., Lyu F., Xu X., Zhang L. Recent Advances in Chain Conformation and Bioactivities of Triple-Helix Polysaccharides // *Biomacromolecules*. 2020. Vol. 21(5). Pp. 1653–1677. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.9b01644>.
84. Fabre J.F., Lacroux E., Valentin R., Mouloungui Z. Ultrasound as a highly efficient method of flaxseed mucilage extraction // *Industrial Crops and Products*. 2015. Vol. 65. Pp. 354–360. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.015>.
85. Способ получения полисахаридного комплекса из семян льна: пат. 2639770 Рос. Федерация № 2015139034; заявл. 14.19.2015; опубл. 17.03.2017. Бюл. № 8. 9 с.
86. Warrand J., Michaud P., Pictou L., Muller G., Courtois B., Ralainirina R., Courtois J. Structural investigations of the neutral polysaccharide of *Linum usitatissimum* L. seeds mucilage // *International journal of biological macromolecules*. 2005. Vol. 35(3-4). Pp. 121–125. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2004.12.006>.
87. Haseeb M.T., Muhammad G., Hussain M.A., Bukhari S.N.A., Sheikh F.A. Flaxseed (*Linum usitatissimum*) mucilage: A versatile stimuli-responsive functional biomaterial for pharmaceuticals and healthcare // *International journal of biological macromolecules*. 2024. Vol. 278 (Pt 4). 134817. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134817>.
88. Puligundla P., Lim S. A Review of Extraction Techniques and Food Applications of Flaxseed Mucilage // *Foods* (Basel, Switzerland). 2022. Vol. 11(12). 1677. <https://doi.org/10.3390/foods11121677>.
89. Способ получения полисахаридов льна: пат. 2358983 Рос. Федерация № 2008100613/13; заявл. 09.01.2008; опубл. 20.06.2009. Бюл. № 17. 6 с.
90. Способ получения полисахаридов льна: пат. 2625583 Рос. Федерация № 2016134342; заявл. 22.08.2016; опубл. 17.07.2017. Бюл. № 20. 6 с.
91. Korus J., Witczak T., Ziobro R., Juszczak L. Linseed (*Linum usitatissimum* L.) mucilage as a novel structure forming agent in gluten-free bread // *LWT- Food Science and Technology*. 2015. Vol. 62(1). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.040>.
92. Liu J., Shim Y.Y., Poth A.G., Reaney M. Conlinin in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) gum and its contribution to emulsification properties // *Food Hydrocolloids*. 2016. Vol. 52. Pp. 963–971. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.09.001>.
93. Singer F.A.W., Taha F.S., Mohamed S.S., Gibriel A., El-Nawawy M. Preparation of mucilage/Protein products from flaxseed // *American Journal of Food Technology*. 2011. Vol. 6(4). Pp. 260–278. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.260-278>.
94. Qian K.Y., Cui S.W., Wu Y., Goff H.D. Flaxseed gum from flaxseed hulls: Extraction, fractionation, and characterization // *Food Hydrocolloids*. 2012. Vol. 28(2). Pp. 275–283. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.019>.
95. Оптимизация безглютеновой диеты новыми продуктами / И.М. Жаркова [и др.] // *Вопросы детской диетологии*. 2017. Т. 15. № 6. С. 59–65. <https://doi.org/10.20953/1727-5784-2017-6-59-65>.
96. Обзор разработок мучных изделий для безглютенового и геродиетического питания / И.М. Жаркова [и др.] // *Вестник ВГУИТ*. 2019. Т. 81. № 1. С. 213–217. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-213-217>.

Информация об авторах

Д. П. Ефремов – директор ООО «АгроЛен», Алтайский край, Россия.

И. М. Жаркова – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производства» Воронежского государственного университета инженерных технологий.

REFERENCES

1. Parikh, M., Maddaford, T.G., Austria, J.A., Aliani, M., Netticadan, T. & Pierce, G.N. (2019). Dietary Flaxseed as a Strategy for Improving Human Health. *Nutrients*, 11(5), 1171. <https://doi.org/10.3390/nu11051171>.
2. Kausar, S., Hussain, A., Ashraf, S., Fatima, G., Ambreen, Javaria, S., Abideen, Z.U., Kabir, K., Yaqub, S., Akram, S., Shehzad, A. & Korma, S.A. (2024). Flaxseed (*Linum usitatissimum*); Phytochemistry, Pharmacological Characteristics and Functional Food Applications. *Food Chemistry Advances*, 4, 100573. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100573>.
3. Wu, S., Jia, W., He, H., Yin, J., Xu, H., He, C., Zhang, Q., Peng, Y. & Cheng, R. (2023). Can Enhance Satiety and Reduce Postprandial Blood Glucose in Healthy Adults: A Randomized Cross-Over Trial. *Nutrients*, 15(21), 4569. <https://doi.org/10.3390/nu15214569>.
4. Kapoor, P., Parrey, Z.A., Mir, B.A., Wani, A.W., Kumari, R., Rakhra, G., Joshi, R., Rakhra, G., Khan, W.A., Abass, K.S., Rajab, B.S., Farid, A. & Alghamdi, S. (2025). Flaxseed in Diabetes Management: Nutritional and Therapeutic Insights. *Current nutrition reports*, 14(1), 109. <https://doi.org/10.1007/s13668-025-00696-3>.
5. López-Toledo, S., Pineda De la Cruz, M.C., Gutiérrez-Hurtado, I.A., Gijón-Soriano, A.L., Martínez-Martínez, E., Valencia-Santiago, C., Orellana-Centeno, J.E., Ramírez-García, S.A. & Pacheco-Cruz, R. (2025). Flaxseed Improves Glucose and Lipid Metabolism in Mexican Subjects with Type 2 Diabetes: A Parallel Randomized Clinical Trial. *Nutrients*, 17(4), 709. <https://doi.org/10.3390/nu17040709>.
6. Stepień, A.E., Trojniak, J. & Tabarkiewicz, J. (2025). Anti-Oxidant and Anti-Cancer Properties of Flaxseed. *International journal of molecular sciences*, 26(3), 1226. <https://doi.org/10.3390/ijms26031226>.
7. Tian, Y., Zhou, Y., Liao, W., Xia, J., Hu, Q., Zhao, Q., Zhang, R., Sun, G., Yang, L. & Li, L. (2025). Flaxseed powder supplementation in non-alcoholic fatty liver disease: a randomized con-

- trolled clinical trial. *Food & function*, 16(4), 1389–1406. <https://doi.org/10.1039/d4fo05847j>.
8. Zharkova, I.M., Grebenshchikov, A.V., Efremov, D.P., Maksimov, S.A., Eliashevich, S.O., Orekhova, A.V. & Kiselev, A.R. (2024). Combination of flaxseed and clarified tomato juice in bread: Delayed effect on metabolic disorders during long-term unbalanced diet in an in vivo experiment. *Nutrition and health*, 31(4), 1449–1463. <https://doi.org/10.1177/02601060241298740>.
9. Shrivastava, R., Bhattacharya, S., Verma, N., Mehdi, A.A., Pandey, A. & Ansari, J.A. (2025). Dietary Status and the Effect of Flaxseed Supplementation on the Severity of Perimenopausal Symptoms. *Cureus*, 17(2), e79725. <https://doi.org/10.7759/cureus.79725>.
10. Musazadeh, V., Hamidi, N., Mahmoudinezhad, M., Jafari, A. & Shidfar, F. (2025). Can flaxseed supplementation alleviate blood pressure in patients with metabolic diseases? Evaluating the strength of evidence using a meta-analysis and GRADE approach. *Journal of diabetes and metabolic disorders*, 24(2), 149. <https://doi.org/10.1007/s40200-025-01656-y>.
11. Heidor, R., Yamamoto, R.C., da Silva, C.F.A., Ruff, J.R., Purgatto, E. & Moreno, F.S. (2026). Flaxseed Oil Inhibits Hepatic Preneoplastic Lesions, DNA Damage, and γ -H2AX Expression During Initial Phases of Hepatocarcinogenesis. *Nutrition and Cancer*, 78(1), 80–91. <https://doi.org/10.1080/01635581.2025.2562639>.
12. Caligiuri, S.P.B., Parikh, M., Stamenkovic, A., Pierce, G.N. & Aukema, H.M. (2017). Dietary modulation of oxylipins in cardiovascular disease and aging. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, 313(5), H903–H918. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00201.2017>.
13. Duarte, S., Shah, M.A. & Sanches Silva, A. (2025). Flaxseed in Diet: A Comprehensive Look at Pros and Cons. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 30(6), 1335. <https://doi.org/10.3390/molecules30061335>.
14. Hirst, B.C., Dibrov, E., Hirst, S.D. & Pierce, G.N. (2023). Physiological and Pathological Considerations for the Use of Flaxseed as a Therapeutic Dietary Strategy. *Reviews in cardiovascular medicine*, 24(5), 149. <https://doi.org/10.31083/j.rcm2405149>.
15. Ganguly, R., Hasanally, D., Stamenkovic, A., Madadaford, T.G., Chaudhary, R., Pierce, G.N. & Ravandi, A. (2018). Alpha linolenic acid decreases apoptosis and oxidized phospholipids in cardiomyocytes during ischemia/reperfusion. *Molecular and cellular biochemistry*, 437(1–2), 163–175. <https://doi.org/10.1007/s11010-017-3104-z>.
16. Xie, N., Zhang, W., Li, J., Liang, H., Zhou, H., Duan, W., Xu, X., Yu, S., Zhang, H. & Yi, D. (2011). α -Linolenic acid intake attenuates myocardial ischemia/reperfusion injury through anti-inflammatory and anti-oxidative stress effects in diabetic but not normal rats. *Archives of medical research*, 42(3), 171–181. <https://doi.org/10.1016/j.amrmed.2011.04.008>.
17. Zhu, L., Sha, L., Li, K., Wang, Z., Wang, T., Li, Y., Liu, P., Dong, X., Dong, Y., Zhang, X. & Wang, H. (2020). Dietary flaxseed oil rich in omega-3 suppresses severity of type 2 diabetes mellitus via anti-inflammation and modulating gut microbiota in rats. *Lipids in health and disease*, 19(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s12944-019-1167-4>.
18. Mitrović, N., Zarić Kontić, M. & Grković, I. (2025). Neuroprotection by Flaxseed Oil in a Model of Hippocampal Injury Induced by Trimethyltin Involves Purinergic System Modulation. *International journal of molecular sciences*, 26(21), 10283. <https://doi.org/10.3390/ijms262110283>.
19. Mueed, A., Shibli, S., Korma, S.A., Madjirebaye, P., Esatbeyoglu, T. & Deng, Z. (2022). Flaxseed Bioactive Compounds: Chemical Composition, Functional Properties, Food Applications and Health Benefits-Related Gut Microbes. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(20), 3307. <https://doi.org/10.3390/foods11203307>.
20. Dzuvoor, C.K.O., Taylor, J.T., Acquah, C., Pan, S. & Agyei, D. (2018). Bioprocessing of Functional Ingredients from Flaxseed. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 23(10), 2444. <https://doi.org/10.3390/molecules23102444>.
21. Noreen, S., Hashmi, B., Tufail, T., Ikram, A., Arshad, M.T. & Gnedeka, K.T. (2024). Synergistic Beneficial Effects of Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) Oil and Olive (*Olea europaea* L.) Oil Against Metabolic Dysfunction Associated Fatty Liver and Its Complications. *Food science & nutrition*, 13(1), e4638. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4638>.
22. Plaha, N.S., Awasthi, S., Sharma, A. & Kaushik, N. (2022). Distribution, biosynthesis and therapeutic potential of lignans. *3 Bio-tech*, 12(10), 255. <https://doi.org/10.1007/s13205-022-03318-9>.
23. Calado, A., Neves, P.M., Santos, T. & Ravasco, P. (2018). The Effect of Flaxseed in Breast Cancer: A Literature Review. *Frontiers in nutrition*, 5, 4. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00004>.
24. Parikh, M., Netticadan, T. & Pierce, G.N. (2018). Flaxseed: its bioactive components and their cardiovascular benefits. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, 314(2), H146–H159. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00400.2017>.
25. Elshenawy, E.A., Mohammed, H.A. & Mahmoud, Y.I. (2025). Flaxseed Lignans Alleviates Doxorubicin-Induced Premature Ovarian Insufficiency in Adult Female Mice. *Reproductive sciences (Thousand Oaks, Calif.)*, 32(11), 3676–3687. <https://doi.org/10.1007/s43032-025-01980-x>.
26. Prasad, K. (2004). Antihypertensive Activity of Secoisolariciresinol Diglucoside (SDG) Isolated from Flaxseed: Role of Guanylate Cyclase. *International Journal of Angiology*, 13, 7–14. <https://doi.org/10.1007/s00547-004-1060-4>.
27. Wu, H., Liu, J., Zhang, X. H., Jin, S., Li, P., Liu, H., Zhao, L., Wang, J., Zhao, S., Tian, H.D., Lai, J.R., Hao, Y., Liu, G.R., Hou, K., Yan, M., Liu, S.L. & Pang, D. (2025). The combination of flaxseed lignans and PD-1/ PD-L1 inhibitor inhibits breast cancer growth via modulating gut microbiome and host immunity. *Drug resistance updates : reviews and commentaries in antimicrobial and anticancer chemotherapy*, 80, 101222. <https://doi.org/10.1016/j.drug.2025.101222>.
28. Barre, D.E., Mizier-Barre, K.A. & Griscti, O. (2024). Various apolipoprotein E genotypes relate to responsiveness to flaxseed lignan complex in older persons with type 2 diabetes mellitus. *Endocrine regulations*, 58(1), 220–224. <https://doi.org/10.2478/enr-2024-0026>.
29. Duś-Ilnicka, I., Prescha, A., Mordal, A., Środa-Pomianek, K., Sobieszczkańska, B., Bielecka, M., Czyżnikowska, Ż., Szperlik, J., Matkowski, A. & Radwan-Oczko, M. (2025). Flaxseed Extracts Impact the Cellular Structure of a Keratinocyte Model for Oral Lichen Planus-A Preliminary Study. *International journal of molecular sciences*, 26(12), 5462. <https://doi.org/10.3390/ijms26125462>.
30. Wang, S., Chen, J., Li, Y., & Wang, Y. (2025). Secoisolariciresinol diglucoside (SDG) from flaxseed meal alleviates hyperuricemia in mice by regulating uric acid metabolism and intestinal homeostasis. *Food research international (Ottawa, Ont.)*, 217, 116770. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116770>.
31. Kavyani, Z., Pourfarziani, P., Mohamad Jafari Kakhki, A., Sedgh Ahrabi, S., Hossein Moridpour, A., Mollaghasemi, N., Musazadeh, V. & Hossein Faghfour, A. (2023). The Effect of Flaxseed Supplementation on Glycemic Control in Adults: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of Functional Foods*, 110, 105816. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105816>.
32. Ahlin, R., Sigvardsson, I., Skokic, V., Landberg, R., Steineck, G. & Hedelin, M. (2021). Development and Validation of a Mobile Phone Application Developed for Measuring Dietary Fiber Intake. *Nutrients*, 13(7), 2133. <https://doi.org/10.3390/nu13072133>.
33. Stephen, A.M., Champ, M.M., Cloran, S.J., Fleith, M., van Lieshout, L., Mejbom, H. & Burley, V.J. (2017). Dietary fibre in Europe: Current state of knowledge on definitions, sources, recommendations, intakes and relationships to health, *Nutrition research reviews*, 30, 149–190. <https://doi.org/10.1017/S095442241700004X>.
34. EFSA Publication (2011). EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA); Scientific Opinion on Dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre. European Food Safety Authority, *EFSA Journal*, 1462. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1462>.
35. Methodological recommendations MR 2.3.1.0253-21 "Standards of physiological needs for energy and nutrients for various population groups of the Russian Federation" (approved by the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing on July 22, 2021) <https://upp.alregn.ru/pharmaceutical-industry/docs/inayapoleznaya-informatsiya/MP%202.3.1.0253-21.pdf>. (In Russ.).

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ РАСТВОРИМЫХ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН СЕМЯН ЛЬНА В СОСТАВ МУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

36. Guan, Z.W., Yu, E.Z. & Feng, Q. (2021). Soluble Dietary Fiber, One of the Most Important Nutrients for the Gut Microbiota, *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(22), 6802. <https://doi.org/10.3390/molecules26226802>.
37. Singh, R.P. (2019). Glycan utilisation system in *Bacteroides* and *Bifidobacteria* and their roles in gut stability and health, *Applied microbiology and biotechnology*, 103(18), 7287-7315. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10012-z>.
38. Tap, J., Furet, J.P., Bensaada, M., Philippe, C., Roth, H., Rabot, S., Lakhdari, O., Lombard, V., Henrissat, B., Corthier, G., Fontaine, E., Doré, J. & Leclerc, M. (2015). Gut microbiota richness promotes its stability upon increased dietary fibre intake in healthy adults. *Environmental microbiology*, 17(12), 4954-4964. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13006>.
39. Flint, H.J., Scott, K.P., Duncan, S.H., Louis, P. & Forano, E. (2012). Microbial degradation of complex carbohydrates in the gut. *Gut microbes*, 3(4), 289-306. <https://doi.org/10.4161/gmic.19897>.
40. Lai, K.W., How, Y.H., Ghazali, H.M. & Pui, L.P. (2021). Preliminary evaluation of potential prebiotic capacity of selected legumes and seed mucilage on the probiotic strain *Lactobacillus rhamnosus* GG. *Asia-Pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology*, 29(1), 60-72. <https://doi.org/10.35118/apjmbb.2021.029.1.07>.
41. Giuntini, E.B., Sardá, F.A.H. & de Menezes, E.W. (2022). The Effects of Soluble Dietary Fibers on Glycemic Response: An Overview and Futures Perspectives. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(23), 3934. <https://doi.org/10.3390/foods11233934>.
42. Kawasaki, N., Suzuki, Y., Urashima, M., Nakayoshi, T., Tsuboi, K., Tanishima, Y., Hanyu, N. & Kashiwagi, H. (2008). Effect of gelatinization on gastric emptying and absorption. *Hepatology*, 55(86-87), 1843-1845.
43. Makki, K., Deehan, E.C., Walter, J. & Bäckhed, F. (2018). The Impact of Dietary Fiber on Gut Microbiota in Host Health and Disease. *Cell host & microbe*, 23(6), 705-715. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2018.05.012>.
44. Baye, K., Guyot, J.P. & Mouquet-Rivier, C. (2017). The unresolved role of dietary fibers on mineral absorption. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(5), 949-957. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.953030>.
45. Boscher, D., Van Caillie-Bertrand, M. & Deelstra, H. (2001). Effect of thickening agents, based on soluble dietary fiber, on the availability of calcium, iron, and zinc from infant formulas. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, 17(7-8), 614-618. [https://doi.org/10.1016/s0899-9007\(01\)00541-x](https://doi.org/10.1016/s0899-9007(01)00541-x).
46. Bojtsova, T.M., Bannikova I.E., Nazarova O.M. (2017). Dough for manufacturing bakery products. *Pat. 2634003. Russian Federation, published on 23.10.2017*. Bull. No. 30. (In Russ.).
47. Benítez-Páez, A., Kjølbaek, L., Gómez Del Pulgar, E.M., Brahe, L.K., Astrup, A., Matysik, S., Schött, H.F., Krautbauer, S., Liebisch, G., Boberska, J., Claus, S., Rampelli, S., Brigidi, P., Larsen, L.H. & Sanz, Y. (2019). A Multi-omics Approach to Unraveling the Microbiome-Mediated Effects of Arabinoxylan Oligosaccharides in Overweight Humans. *mSystems*, 4(4), e00209-19. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00209-19>.
48. Deehan, E.C., Zhang, Z., Riva, A., Armet, A.M., Perez-Muñoz, M.E., Nguyen, N.K., Krysa, J.A., Seethaler, B., Zhao, Y.Y., Cole, J., Li, F., Hausmann, B., Spittler, A., Nazare, J.A., Delzenne, N.M., Curtis, J.M., Wismer, W.V., Proctor, S.D., Bakal, J.A., Bischoff, S.C., ... Walter, J. (2022). Elucidating the role of the gut microbiota in the physiological effects of dietary fiber. *Microbiome*, 10(1), 77. <https://doi.org/10.1186/s40168-022-01248-5>.
49. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific Opinion on the Substantiation of Health Claims Related to Arabinoxylan Produced from Wheat Endosperm and Reduction of Post-Prandial Glycaemic Responses (ID 830) Pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal*, 2011, 9, 2205. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2205>.
50. Zharkova, I.M., Grebenshchikov, A.V., Kulneva, N.G., Efremov, D.P. & Safonova, YU.A. (2022). Study of the biological properties of soluble flax seed polysaccharides in an affinity yellow sugar product. *Izvestiya vuzov. Food technology*, 1, 89-95. (In Russ.). <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2022.1.13>.
51. Seth, D., Mishra, H.N. & Deka, S.C. (2018). Effect of hydrocolloids on the physico-chemical and rheological properties of reconstituted sweetened yoghurt powder. *Journal of the science of food and agriculture*, 98(5), 1696-1702. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8641>.
52. Salehi, F. (2020). Effect of common and new gums on the quality, physical, and textural properties of bakery products: A review. *Journal of texture studies*, 51(2), 361-370. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12482>.
53. Rai, S., Kaur, A. & Chopra, C.S. (2018). Gluten-Free Products for Celiac Susceptible People. *Frontiers in nutrition*, 5, 116. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00116>.
54. Andrade, F.J.E.T., Albuquerque, P.B.S., Moraes, G.M.D., Farias, M.D.P., Teixeira-Sá, D.M.A., Vicente, A.A. & Carneiro-da-Cunha, M.G. (2018). Influence of hydrocolloids (galactomannan and xanthan gum) on the physicochemical and sensory characteristics of gluten-free cakes based on fava beans (*Phaseolus lunatus*). *Food & nutrition*, 9(12), 6369-6379. <https://doi.org/10.1039/c8fo01448e>.
55. Kohajdová, Z. & Karovičová J. (2009). Application of hydrocolloids as baking improvers. *Chemical Papers*, 63(1), 26-38. <https://doi.org/10.2478/s11696-008-0085-0>.
56. Zheng, M., Lin, Y., Wu, H., Zeng, S., Zheng, B., Zhang, Y. & Zeng, H. (2020). Water migration depicts the effect of hydrocolloids on the structural and textural properties of lotus seed starch. *Food chemistry*, 315, 126240. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126240>.
57. Maity, T., Saxena, A. & Raju, P.S. (2018). Use of hydrocolloids as cryoprotectant for frozen foods. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58(3), 420-435. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1182892>.
58. Ping-Ping, W., Wen-Duo, W., Chun, C., Xiong, F. & Rui-Hai, L. (2020). Effect of Fructus Mori bioactive polysaccharide conjugation on improving functional and antioxidant activity of whey protein. *International journal of biological macromolecules*, 148, 761-767. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.195>.
59. Sempio, R., Segura Godoy, C., Nyhan, L., Sahin, A.W., Zannini, E., Walter, J. & Arendt, E.K. (2024). Closing the Fibre Gap-The Impact of Combination of Soluble and Insoluble Dietary Fibre on Bread Quality and Health Benefits. *Foods (Basel, Switzerland)*, 13(13), 1980. <https://doi.org/10.3390/foods13131980>.
60. Merenkova, S.P. & Devyatkin, D.I. (2024). Prospects for the use of oilseed components in bread technology. *Polzunovskiy vestnik*, 2, 46-52. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.006>.
61. Huang, H. & Huang, G. (2020). Extraction, separation, modification, structural characterization, and antioxidant activity of plant polysaccharides. *Chemical biology & drug design*, 96(5), 1209-1222. <https://doi.org/10.1111/cbdd.13794>.
62. Manzoor, M., Singh, J., Bandral, J.D., Gani, A. & Shams, R. (2020). Food hydrocolloids: Functional, nutraceutical and novel applications for delivery of bioactive compounds. *International journal of biological macromolecules*, 165(Pt A), 554-567. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.182>.
63. Minevich, I.E. & Osipova, L.L. (2017). Flax seed hydrocolloids: their characteristics and prospects of use in food technology. *Processes and food production equipment*, 3, 16-25. (In Russ.). <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2017-10-3-16-25>.
64. Minevich, I.E. (2019). Functional Significance of Flax Seeds and Practice of Their Use in Food Technologies. *Health, Food & Biotechnology*, 1(2), 97-120. (In Russ.). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s224>.
65. Jiang, Y., Reddy, C.K., Huang, K., Chen, L. & Xu, B. (2019). Hydrocolloidal properties of flaxseed gum/konjac glucomannan compound gel. *International journal of biological macromolecules*, 133, 1156-1163. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.187>.
66. Nikbakht Nasrabadi, M., Goli, S.A.H., Sedaghat Doost, A., Dewettinck, K. & Van der Meeren, P. (2019). Bioparticles of flaxseed protein and mucilage enhance the physical and oxidative stability of flaxseed oil emulsions as a potential natural alternative for synthetic surfactants. *Colloids and surfaces. B, Biointerfaces*, 184, 110489. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.110489>.

67. Brahe, L.K., Le Chatelier, E., Prifti, E., Pons, N., Kennedy, S., Blädel, T., Håkansson, J., Dalsgaard, T.K., Hansen, T., Pedersen, O., Astrup, A., Ehrlich, S.D. & Larsen, L.H. (2015). Dietary modulation of the gut microbiota—a randomised controlled trial in obese postmenopausal women. *The British journal of nutrition*, 114(3), 406–417. <https://doi.org/10.1017/S0007114515001786>.
68. Sun, J., Bai, H., Ma, J., Zhang, R., Xie, H., Zhang, Y., Guo, M. & Yao, J. (2020). Effects of flaxseed supplementation on functional constipation and quality of life in a Chinese population: A randomized trial. *Asia Pacific journal of clinical nutrition*, 29(1), 61–67. [https://doi.org/10.6133/apjcn.202003_29\(1\).0009](https://doi.org/10.6133/apjcn.202003_29(1).0009).
69. Yang, X., Feng, M.Q., Sun, J., Xu, X.L. & Zhou, G.H. (2017). The influence of flaxseed gum on the retrogradation of maize starch. *International Journal of Food Science & Technology*, 52, 2654–2660. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13554>.
70. Feng, M., Yang, X., Sun, J., Xu, X. & Zhou, G. (2018). Study on retrogradation of maize starch-flaxseed gum mixture under various storage temperatures. *International Journal of Food Science & Technology*, 53, 1287–1293. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13709>.
71. Yakovleva, A.A., Ushchapovskiy, V.I. & Minevich, I.E. (2024). Pea protein and flaxseed polysaccharides interaction in "oil in water" emulsions. *Polzunovskiy vestnik*, 4, 21–28. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.003>.
72. Zubtsov, V.A., Osipova, L.L. & Lebedeva T.I. (2002). Flaxseed, its composition and properties. *Izvestiya vuzov. Rossijskij himicheskij zhurnal*, XLVI (2), 14–16. (In Russ.).
73. Biliaderis, C. (1994). Composition and physicochemical properties of linseed (*Linum usitatissimum* L.) mucilage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(2), 240–247.
74. Oomah, B.D., Kenaschuk, E.O. & Cui, W., Mazza, G. (1995). Variation in the composition of water-soluble polysaccharides in flaxseed. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 1484–1488. <https://dx.doi.org/10.1021/jf00054a013>.
75. Muralikrishna, G., Salimath, P.V. & Tharanathan, R.N. (1987). Structural features of an arabinoxylan and a rhamnogalacturonan derived from linseed mucilage. *Carbohydrate Research*, 161, 265–271.
76. Petrova, A.A., Kozlova, L.V., Gaifullina, I.Z., Ananchenko, B.A., Martinson, E.A., Mikshina, P.V. & Gorshkova, T.A. (2019). AFM analysis reveals polymorphism of purified flax rhamnogalacturonans I of distinct functional types. *Carbohydrate polymers*, 216, 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.03.087>.
77. Yapo, B.M. (2011). Rhamnogalacturonan-I: a structurally puzzling and functionally versatile polysaccharide from plant cell walls and mucilages. *Polymer Reviews*, 51(4), 391–413. <https://doi.org/10.1080/15583724.2011.615962>.
78. Hunt, K. & Jones, J.K. (1962). The structure of linseed mucilage: part II. *Canadian Journal of Chemistry*, 40(7), 1266–1279. <https://doi.org/10.1139/v62-195>.
79. Naran, R., Chen, G. & Carpita, N.C. (2008). Novel rhamnogalacturonan I and arabinoxylan polysaccharides of flax seed mucilage. *Plant physiology*, 148(1), 132–141. <https://doi.org/10.1104/pp.108.123513>.
80. Kharina, M.V., Sibgatullin T.A., Mikshina P.V., Iamashev T.A. (2023). Method for production of bakery products with addition of dried gum of flax seeds. *Pat. 2794876. Russian Federation, published on 25.04.2023*. Bull. No. 12. (In Russ.).
81. Elboutachfati, R., Delattre, C., Qu'ero, A., Roulard, R., Duchêne, J., Mesnard, F. & Petit, E. (2017). Fractionation and structural characterization of six purified rhamnogalacturonans type I from flaxseed mucilage. *Food Hydrocolloids*, 62, 273–279. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.005>.
82. Yakovleva, A.A., Ushchapovskiy, V.I. & Minevich, I.E. (2024). Determination of the spatial structure of polysaccharides in flax seeds. *Izvestiya vuzov. Food technology*, 4(397), 27–30. (In Russ.). <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2024.4.4>.
83. Meng, Y., Lyu, F., Xu, X. & Zhang, L. (2020). Recent Advances in Chain Conformation and Bioactivities of Triple-Helix Polysaccharides. *Biomacromolecules*, 21(5), 1653–1677. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.9b01644>.
84. Fabre, J.F., Lacroix, E., Valentin, R. & Mouloungui, Z. (2015). Ultrasonication as a highly efficient method of flaxseed mucilage extraction. *Industrial Crops and Products*, 65, 354–360. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.015>.
85. Minevich, I.E., Zubtsov, V.A. & Osipova, L.L. (2017). Method for producing polysaccharide complex from flaxseed. *Pat. 2639770. Russian Federation, published on 17.03.2017*. Bull. No. 8. (In Russ.).
86. Warrand, J., Michaud, P., Picton, L., Muller, G., Courtois, B., Ralainirina, R. & Courtois, J. (2005). Structural investigations of the neutral polysaccharide of *Linum usitatissimum* L. seeds mucilage. *International journal of biological macromolecules*, 35(3–4), 121–125. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2004.12.006>.
87. Haseeb, M.T., Muhammad, G., Hussain, M.A., Bukhari, S.N.A. & Sheikh, F.A. (2024). Flaxseed (*Linum usitatissimum*) mucilage: A versatile stimuli-responsive functional biomaterial for pharmaceuticals and healthcare. *International journal of biological macromolecules*, 278(Pt 4), 134817. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134817>.
88. Puligundla, P. & Lim, S. (2022). A Review of Extraction Techniques and Food Applications of Flaxseed Mucilage. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(12), 1677. <https://doi.org/10.3390/foods11121677>.
89. Ozhimkova, E.V., Sul'man, M.G., Sidorov, A.I. (2009). Method of producing flax polysaccharides. *Pat. 2358983. Russian Federation, published on 20.06.2009*. Bull. No. 17. (In Russ.).
90. Ivanov, P.P., Pavlova, L.D., Ivanova, L.A. (2017). Method for obtaining flax polysaccharides. *Pat. 2625583. Russian Federation, published on 17.07.2017*. Bull. No. 20. (In Russ.).
91. Korus, J., Witczak, T., Ziobro, R. & Juszczak, L. (2015). Linseed (*Linum usitatissimum* L.) mucilage as a novel structure forming agent in gluten-free bread. *LWT- Food Science and Technology*, 62(1), <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.040>.
92. Liu, J., Shim, Y.Y., Poth, A.G. & Reaney, M. (2016). Conlinin in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) gum and its contribution to emulsification properties. *Food Hydrocolloids*, 52, 963–971. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.09.001>.
93. Singer, F.A.W., Taha, F.S., Mohamed, S.S., Gibriel, A. & El-Nawawy, M. (2011). Preparation of mucilage/Protein products from flaxseed. *American Journal of Food Technology*, 6(4), 260–278. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.260-278>.
94. Qian, K.Y., Cui, S.W., Wu, Y. & Goff, H.D. (2012). Flaxseed gum from flaxseed hulls: Extraction, fractionation, and characterization. *Food Hydrocolloids*, 28(2), 275–283. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.019>.
95. Zharkova, I.M., Zvyagin, A.A., Miroshnichenko, L.A., Slepukova, Yu.I., Roslyakov, Y.F., Koryachkina, S.Ya. & Gustinovich, V.G. (2017). Optimization of a gluten-free diet with new products. *Pediatric Nutrition*, 15(6), 59–65. (In Russ.). <https://doi.org/10.20953/1727-5784-2017-6-59-65>.
96. Zharkova, I.M., Samokhvalov, A.A., Gustinovich, V.G., Koryachkina, S.Ya. & Roslyakov, Y.F. (2019). Review of bakery products for gluten free and herodietetic nutrition. *Proceedings of VSUET*, 81(1), 213–217. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-213-217>.

Information about the authors

D. P. Efremov - director of AgroLen LLC, Altai Krai, Russia.

I. M. Zharkova - Doctor of Engineering Sciences, professor of the Department of Bakery, Confectionery, Pasta, and Grain Processing Technologies at the Voronezh State University of Engineering Technologies.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17 декабря 2025; одобрена после рецензирования 24 апреля 2026; принята к публикации 18 мая 2026.

The article was received by the editorial board on 17 Dec 2025; approved after editing on 24 Apr 2026; accepted for publication on 18 May 2026.