

Научная статья

УДК 633.85:663.052:664.644.7

DOI: 10.17586/2310-1164-2025-18-2-49-58

Обоснование целесообразности производства гидроколлоидов из семян льнаИ.Э. Миневи^{1*}, Т.Б. Цыганова², С.В. Миневи²¹Федеральный научный центр лубяных культур, Россия, Тверь²РОСБИОТЕХ, Россия, Москва

*irina_minevich@mail.ru

Аннотация. Обосновывали целесообразность производства гидроколлоидов из семян льна как перспективного направления в отечественной пищевой промышленности. Проведен анализ отечественных и зарубежных исследований, направленный на изучение структуры полисахаридного комплекса льняной слизи, особенностей ее экстракции и влияния технологических параметров на функционально-технологические свойства получаемого продукта. Сравнительная оценка гидроколлоидов семян льна с промышленными аналогами (гуммиарабик, ксантановая камедь, пектины) показала их высокую способность удерживать влагу, стабилизировать эмульсии, эмульгировать и повышать вязкость пищевых систем, что обуславливает возможность их широкого применения в качестве загустителей, стабилизаторов и влагоудерживающих агентов. Методика SWOT анализа, использованная для оценки перспектив внедрения технологии, выявила, что экологичность, экономичность технологического процесса и доступность сырья способствуют успешной реализации проекта, несмотря на ряд таких недостатков, как относительно невысокая производительность и необходимость адаптации технологических стандартов. Показано, что разработанная технология получения гидроколлоидов из семян льна обладает высоким потенциалом для масштабирования и может стать эффективным инструментом для снижения импортозависимости в сфере производства пищевых добавок.

Ключевые слова: биотехнология; пищевая химия; растительное сырье; производство гидроколлоидов; семена льна

Original article

Feasibility of producing hydrocolloids from flax seedsIrina E. Minevich^{1*}, Tatyana B. Tsyganova², Sergey V. Minevich²¹Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia²ROSBIOTECH, Moscow, Russia

*irina_minevich@mail.ru

Abstract. The article substantiates the feasibility of producing hydrocolloids from flax seeds as a promising direction in the domestic food industry. An analysis of both national and international studies was conducted, focusing on the investigation of the structure of the polysaccharide complex of flaxseed mucilage, the specifics of its extraction, and the impact of technological parameters on the functional-technological properties of the resulting product. A comparative analysis of flaxseed hydrocolloids with industrial analogues (gum arabic, xanthan gum, and pectins) demonstrated their high capacity for moisture retention, emulsion stabilization, emulsification, and viscosity enhancement in food systems, which underpins their potential for widespread application as thickeners, stabilizers, and moisture-retaining agents. The SWOT analysis method employed to assess the prospects for implementing the technology revealed that the environmental friendliness, cost-effectiveness of the process, and the availability of raw materials contribute to the successful realization of the project, despite certain drawbacks such as relatively low productivity and the need to adapt technological standards. The developed technology for obtaining hydrocolloids from flax seeds is shown to exhibit high potential for scaling up and can serve as an effective tool for reducing import dependence in the production of food additives.

Keywords: biotechnology; food chemistry; plant materials; hydrocolloids production; flax seeds

Введение

В современном мире наблюдается возрастающий спрос на устойчивые, экологически безопасные и минимально обработанные пищевые компоненты, обладающие нативным функционально-технологическим потенциалом. В России все отрасли пищевой промышленности активно используют разнообразные пищевые добавки и их композиции, основная часть которых изготавливается за рубежом. В стране производится около 30 наименований пищевых добавок из 250 разрешенных к обороту и применению, объемы их производства не покрывают даже 3% потребности внутреннего спроса [1]. Сегодня остро стоит проблема организации отечественного производства многих ингредиентов. Так,

по данным ID-Marketing [2], в стране стали либо создавать, либо вводят в строй предприятия по выпуску таких ингредиентов, как микрорекристаллическая целлюлоза, пищевые фосфаты, лимонная и молочная кислоты, нативные крахмалы, декстроза, глюкоза, а также пищевые красители, ароматизаторы и эмульгаторы. Но, несмотря на это потребности рынка все равно значительно больше, чем возможности внутреннего производства.

Среди широкого ассортимента пищевых ингредиентов гидроколлоиды занимают особое место как универсальные технологические добавки, способные регулировать структуру пищевых систем. По химической природе гидроколлоиды представляют два вида биополимеров — полисахариды и белки. Особенности их строения определяют индивидуальное поведение в гидрофильной (в случае пищевых систем — в водной или молочной) среде при различных условиях. Именно индивидуальное строение обеспечивает возможность управления реологическими свойствами пищевых систем для формирования заданной консистенции или текстуры. Гидроколлоиды эффективно используются в роли загустителей, стабилизаторов эмульсий, средств для предотвращения синерезиса, создателей пленок и гелей, а также агентов, способствующих удержанию влаги и формированию текстуры продуктов. Гидроколлоиды вводятся в самые разнообразные продукты питания: от супов, соусов и подлив до джемов, желе, пудингов, мороженого, йогуртов, пен, эмульсий, хлебобулочных и кондитерских изделий, мясных продуктов и многого другого [3].

Гидроколлоиды, относящиеся к классу водорастворимых или водонабухающих полимеров, являются частью группы некрахмальных полисахаридов. Эти полимеры составлены из различных моносахаридов, в том числе глюкозы, галактозы, арабинозы, маннозы, рамнозы и глюкоуроновых кислот. Они обладают определенными общими свойствами, которые проявляются в пищевых системах, позволяя им образовывать уникальную группу пищевых ингредиентов. Существует множество подходов к классификации гидроколлоидов, включая их происхождение, функциональные характеристики, растворимость и другие аспекты. Классификация, основанная на источнике происхождения, наиболее эффективно демонстрирует разнообразие этих веществ [4, 5]. В таблице 1 представлены гидроколлоиды, широко применяемые в пищевых технологиях.

Таблица 1. Гидроколлоиды, используемые в пищевой промышленности (классификация по происхождению)
Table 1. Hydrocolloids used in the food industry (classification by origin)

Наземные растения	Морские водоросли	Микробиологические полисахариды	Производные полисахаридов
гуммиарабик	агар	ксантановая камедь	карбоксиметилцеллюлоза (кмц)
караийа	каррагинаны	гелановая камедь	метилгидрокси-пропил-целлюлоза
трагакант	альгинаты	камедь велана	гидроксиэтилцеллюлоза
гуаровая камедь	фурацеларан	камедь рамзана	модифицированные крахмалы
камедь рожкового дерева		декстрин	
пектины		микроволокнистая целлюлоза	

С точки зрения химического строения, гидроколлоиды представляют собой разнообразные биополимеры, варьирующиеся от гетерополисахаридов до гликопротеинов, и имеют структуры от неразветвленных цепей до разветвленных молекулярных форм. Эти различия определяют такие важные свойства, как растворимость и вязкость [6]. Многие гидроколлоиды, извлекаемые из слизей семян, камедей растений и экссудатов, классифицируются как растворимые пищевые волокна — физиологически активные ингредиенты. Они не расщепляются в желудочно-кишечном тракте человека, что повышает их ценность как безопасных пищевых добавок [7–9].

Промышленно используемые гидроколлоиды семян, включая гуаровую камедь, камедь рожкового дерева, а также гидроколлоиды семян льна, классифицируются как растворимые пищевые волокна. Эти вещества обладают способностью понижать уровень холестерина в крови, способствуют поддержанию здорового функционирования кишечника и оказывают пребиотические эффекты [10–12].

В современном мире семена льна приобрели статус функционального продукта благодаря уникальному биохимическому составу. Их высокая питательная ценность обусловлена наличием

комплекса эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот, в основном класса омега-3, белков с полным аминокислотным составом, комплексом фитоэстрогенов, включая лигнаны, которые поддерживают важные физиологические функции человеческого организма, а также служат источником растворимых пищевых волокон [13–15]. Растворимые пищевые волокна в семенах льна состоят из некрахмальных полисахаридов, находящихся в слизистых клетках семенной оболочки, которые придают семенам характерный блеск. Эти полисахариды слизи по своим функционально-технологическим свойствам относят к классу гидроколлоидов.

Несмотря на опубликованные исследования потенциал промышленного использования гидроколлоидов семян льна остается недооцененным, что ограничивает их применение в пищевых технологиях.

Цель данной работы – обосновать целесообразность производства гидроколлоидов семян льна путем обобщения данных, опубликованных в научной литературе и проведения SWOT анализа технологии получения гидроколлоидов из семян льна.

Объекты и методы исследований

Объектами исследований стали экспериментальные данные, опубликованные в отечественных и зарубежных научных источниках по исследованию структуры полисахаридного комплекса семян льна, компонентного состава и условий его выделения, которые могут служить основой для обоснования их использования в пищевых технологиях. Проведен сравнительный анализ данных функционально-технологических свойств льняных гидроколлоидов и известных промышленных аналогов, таких как гуммиарабик, ксантановая камедь, пектины.

В качестве метода использовался SWOT анализ технологии получения гидроколлоидов из семян льна [16]. Аббревиатура SWOT объединяет в себе четыре англоязычных слова: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunitues (возможности), Threats (риски). В процессе такого анализа определяют связи между силой и слабостью объекта изучения (новой технологии, продукта и пр.). Данная методика предусматривает разделение влияющих факторов на внутренние и внешние и позволяет анализировать их влияние как позитивное или негативное. Сильные и слабые стороны обычно считаются внутренними, а возможности и угрозы (риски) рассматриваются как внешние.

Сильные стороны включают преимущества объекта на фоне других аналогов на основе следующих критериев: ситуация на рынке, финансовая доступность, производственный и технический потенциал, исследования потенциала развития, человеческий фактор и эффективность управления;

Слабые стороны – это недостатки объекта, а именно ограничение ресурсов, навыков, возможностей управления, отсутствие или недостаточная узнаваемость бренда;

Возможности – условия, необходимые и благоприятные для осуществления проекта. Возможности являются условиями преодоления слабостей во внешней среде;

Угрозы или риски – это препятствия, которые затрудняют или делают невозможным осуществление проекта

Результаты и обсуждение

Для обоснования целесообразности производства и широкого использования нового ингредиента – гидроколлоидов семян льна (ГКЛ), необходимо учитывать ключевые факторы, влияющие на выбор этого ингредиента:

- ✓ наличие сырья и простота технологического процесса;
- ✓ структура, определяющая функционально-технологические характеристики;
- ✓ функционально-технологические свойства в сравнении с промышленными аналогами.

Сырье и технология гидроколлоидов семян льна

Сырьем для гидроколлоидов семян льна являются семена масличного льна или фракция оболочки, получаемая в процессе обрушивания семян. Россия, наряду с Канадой и Казахстаном, занимает лидирующие позиции в производстве масличного льна. Согласно данным, опубликованным на сайте Specagro.ru [17], урожай в 2022 г. достиг рекордных 1,733 млн т (1,296 млн т в 2021 г.; 1,2 млн т в 2023 г.), что делает семена льна третьим по величине экспортным продуктом среди всех масличных культур

на внутреннем рынке после семян рапса и соевых бобов. Несмотря на высокие объемы экспорта, имеется значительный запас семян масличного льна для переработки на внутреннем рынке. Фракция оболочки, являющаяся оптимальным сырьем для переработки, в настоящее время недоступна, поскольку технологии обрушивания семян льна промышленно не освоены.

Гидроколлоиды семян льна состоят из полисахаридов льняной слизи, расположенной во внешнем слое семенной оболочки, что и определяет методы их извлечения. Полисахариды льняной слизи извлекают водным экстрагированием из цельных семян [18, 19]. Эффективность экстракции и качество конечного продукта в значительной степени зависят от таких факторов, как соотношение сырья к экстрагенту (гидромодуль), температура и продолжительность процесса [20–23]. Основные технологические этапы выделения гидроколлоидов из семян льна включают получение полисахаридного экстракта, его концентрирование (с использованием ротормного испарителя) и распылительную сушку [24]. Технология получения гидроколлоидов семян льна относится к безопасным, не предполагает использования агрессивных химических реактивов, оборудование для технологической линии доступно, так как оно выпускается отечественными предприятиями. Она может служить основой для масштабирования процесса с целью промышленного производства гидроколлоидов семян льна.

Факторы, определяющие функционально-технологические свойства гидроколлоидов семян льна

Структура полисахаридного комплекса гидроколлоидов, полученных из семян льна, играет ключевую роль в качестве их функционально-технологических характеристик. Согласно современным исследованиям, полисахариды, содержащиеся в слизи льняных семян, представляют собой высокомолекулярные полисахаридные комплексы, состав и свойства которых варьируют в зависимости от сортовых особенностей и климатических условий [25, 26]. Обнаружено, что в состав полисахаридов льняной слизи входят две основные фракции: нейтральная и кислая, причем их соотношение и моносахаридный состав подвержены изменениям в зависимости от способа экстракции [22, 27, 28]. Нейтральные полисахариды, арабиноксиланы включают в себя остатки ксилана, соединенные $\beta(1\rightarrow4)$ гликозидными связями в основной цепи, а в боковых цепях преимущественно находится L-арабиноза. Кислая фракция полисахаридов базируется на остатках рамнозы, соединенных $\alpha(1\rightarrow2)$ связями, и полисахаридах из остатков галактуроновой кислоты, с боковыми цепями, состоящими в основном из галактозы. В нейтральной фракции присутствует один полимер с высокой молекулярной массой и около 2% уроновой кислоты. Кислая фракция, в свою очередь, содержит полимеры различной молекулярной массы, связанные с белками нековалентными связями [29]. Эти представления о структуре полисахаридных фракций подтверждены авторами [30, 31] с использованием различных видов гидролиза.

Содержание белка в ассоциатах с полисахаридами гидроколлоидов семян льна существенно влияет на их функциональные свойства. В зависимости от условий экстракции концентрация белка может колебаться в диапазоне от 5 до 60% [32]. Реологическое поведение полисахаридного комплекса льняной слизи в растворах, а также его функциональные характеристики в значительной степени зависят от соотношения нейтральной и кислой фракций и от уровня содержания белка [33, 34].

Функционально-технологические характеристики гидроколлоидов семян льна

Гидроколлоиды семян льна растворяются в холодной воде, формируя вязкие растворы даже при низких концентрациях (1–2%). Они обладают высокими значениями водо- и жиродерживающей способности (ВУС, ЖУС), что подтверждается данными, приведенными в таблице 2.

Таблица 2. Функциональные свойства гидроколлоидов
Table 2. Functional properties of hydrocolloids

Гидроколлоид	ВУС, г/г продукта	ЖУС, г/г продукта	Источник
гидроколлоиды семян льна	20–25,6 16,0–30,0	0,8–2,5 1,0	[20] [27]
гуммиарабик	0,28	1,00	
карайя камедь	24,39	1,12	
ксантановая камедь	62,63	1,28	[35]
пектин яблочный	6,71	2,11	
пектин цитрусовый	1,38	1,55	

Гидроколлоиды семян льна эффективно предотвращают синерезис и могут использоваться в качестве заменителей жира, что особенно актуально для создания низкокалорийных продуктов [36], а также в роли эмульгаторов, способствуя стабилизации эмульсий [37].

Исследования показывают, что гидроколлоиды семян льна могут быть потенциальной альтернативой гуммиарабику в пищевых технологиях благодаря таким своим свойствам, как растворимость, устойчивость пены и вязкость [38]. Вязкость водных растворов этих гидроколлоидов зависит от ряда факторов, включая концентрацию, pH, ионную силу и температуру, и может уменьшаться в присутствии электролитов. Интересно, что процессы замораживания и размораживания не влияют на вязкость растворов гидроколлоидов семян льна, что делает их подходящими для использования в мороженом и замороженных продуктах [39, 40].

Гидроколлоиды семян льна находят применение в мучных кондитерских изделиях и хлебопечении, где они используются как загустители, стабилизаторы и увлажнители [41, 42], а также в качестве ингибитора ретроградации крахмала в пищевых технологиях [43].

Таким образом, гидроколлоиды семян льна, обладая рядом полезных свойств, представляют собой ценный ресурс и могут использоваться в пищевых технологиях.

SWOT анализ технологии получения гидроколлоидов семян льна

С целью обоснования экономической эффективности производства гидроколлоидов семян льна использовали SWOT анализ, который позволяет систематизировать информацию о характеристиках продукта, возможности его продвижения на рынке и получить однозначный вывод о целесообразности его производства [44].

Потенциальными потребителями результатов технологии, а именно гидроколлоидов семян льна являются предприятия пищевой промышленности: мясоперерабатывающая, молочная, хлебопекарная; фармацевтические организации, связанные с разработкой БАД, носителей лекарственных средств; косметологические предприятия.

В таблице 3 представлены уровни потребностей потенциальных потребителей результатов технологии, то есть гидроколлоидов из семян льна.

Таблица 3. Карта сегментирования услуг по использованию результатов технологии гидроколлоидов

Table 3. Segmentation of services for the use of hydrocolloid technology results

Уровень потребностей	Использование результатов технологии	
	предприятия пищевой промышленности	предприятия фармацевтики и косметологии
сильная		
средняя		

На следующем этапе представлено описание сильных и слабых сторон проекта, выявленные возможности и угрозы (риски) для реализации проекта, которые проявились или могут проявиться во внешней среде.

Основными преимуществами рассматриваемой технологии являются экологичность, которая заключается в отсутствии загрязняющих веществ, а отходы представляют сырье для следующего производства. Возможность использования отечественного оборудования так же является сильной стороной технологии. Гидроколлоиды семян льна, судя по результатам рассмотренных источников, по своим свойствам являются многопрофильным технологическим ингредиентом пищевых систем.

К факторам, ограничивающим промышленное масштабирование технологии, относится, прежде всего, отсутствие спроса вследствие новизны самого продукта.

Анализ таблицы 4 показывает, что технология получения гидроколлоидов из семян льна обладает потенциалом для организации производства такого продукта: наличие и доступность сырья на российском рынке, безопасность технологических операций и широкая область применения целевого продукта.

Таблица 4. Матрица SWOT

Table 4. SWOT Matrix

Сильные стороны (С)	Слабые стороны (Сл)
С1 заявленные экономичность и энергоэффективность технологии	Сл1 относительно небольшая производительность данной технологии по сравнению с промышленными технологиями
С2 экологичность, отсутствие загрязняющих веществ	Сл2 отсутствие промышленного производства аналогичного продукта из этого сырья
С3 отсутствие отходов, т.к. остаток сырья является сырьем для следующего производства	Сл3 необходимость оформления сертификатов качества на новую технологию и других нормативных документов
С4 использование оборудования, присутствующее на отечественном рынке; известный монтаж и эксплуатация	
С5 широкая область применения продукта новой технологии	
С6 новый продукт, получаемый по предлагаемой технологии, отсутствует на российском и мировом рынке гидроколлоидов	
Возможности (В)	Угрозы (У)
В1 организация промышленного внедрения технологии и получение нового продукта	У1 отсутствие спроса или небольшой спрос на технологию и продукт в связи с новизной
В2 целенаправленное сотрудничество с производителями и переработчиками семян льна; как следствие – масштабирование технологии под заданную мощность и производительность	У2 использование традиционных аналогов; незаинтересованность в новой продукции
В3 внедрение на российский и возможно мировой рынок	У3 введение дополнительных государственных требований и сертификатов технологии

В рамках следующего этапа была построена интерактивная матрица проекта, позволяющая выявить различные комбинации взаимосвязей факторов. Каждый фактор помечается знаками:

«+» – сильное соответствие сильных сторон возможностям;

«-» – слабое соответствие;

«0» – неизвестно, то есть сомнения в указанных выше знаках.

Таблица 5. Интерактивная матрица проекта

Table 5. Interactive project matrix

Стороны анализа		Сильные						Слабые		
		С1	С2	С3	С4	С5	С6	Сл1	Сл2	Сл3
возможности	В1	+	+	+	+	+	+	-	-	-
	В2	+	+	+	+	+	+	-	-	-
	В3	+	+	+	+	+	+	-	-	-
угрозы	У1	-	+	+	-	-	-	+	+	+
	У2	-	-	-	-	-	-	+	+	+
	У3	-	-	-	-	-	-	+	+	+

Сопоставление взаимосвязи внешних и внутренних факторов, представленных в таблице 5, позволяет считать, что преимущества предлагаемого проекта (технологии получения гидроколлоидов семян льна) преобладают над его недостатками. При этом сильные стороны проекта могут понизить процент угроз (рисков).

Заключение

В России существует значительный потенциал для использования семян льна в качестве сырья для производства гидроколлоидов. Отечественными учеными разработана технология получения гидроколлоидов из семян льна, предусматривающая возможность масштабирования производства. Кроме того, все необходимое оборудование для реализации данной технологии выпускается местными производителями.

Анализ научных источников показал, что функционально-технологические свойства гидроколлоидов семян льна определяются такими факторами, как компонентный состав их полисахаридного комплекса, содержание урсоловых кислот и протеинов, а также параметры технологических стадий экстракции и сушки.

Гидроколлоиды семян льна обладают высокими функционально-технологическими свойствами: способностью удерживать влагу, стабилизировать, эмульгировать, увеличивать вязкость; они могут применяться в качестве загустителей, стабилизаторов и увлажнителей.

Проведенный SWOT анализ технологии получения гидроколлоидов семян льна показал: преимущества проекта преобладают над его недостатками, что свидетельствует о его экономической эффективности и целесообразности организации производства гидроколлоидов из семян льна.

Литература

1. Новые решения для рынка пищевых ингредиентов // Экспоцентр. 2024. [Электронный ресурс]. URL: https://www.exponentr.ru/ru/news/novye-resheniya-dlya-rynka-pishchevykh-ingredientov/?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (дата обращения: 28.02.2025)
2. Рынок пищевых ингредиентов в России 2023 год. Импортозависимость отрасли // ID-Marketing. 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://id-marketing.ru/catalog/pischevaja_promyshlennost/proizvodstvo_pischevyh_dobavok/rynok-pischevykh-ingredientov-v-rossii-2023-importozavisimost-otrasli-1196/ (дата обращения: 05.12.2024)
3. Кушнир Ю. Гидроколлоиды // Продукты & ингредиенты. 2008. № 5. С. 106–107.
4. Донченко Л.В., Сокол Н.В., Красносельова Е.А. Пищевая химия. Гидроколлоиды. М.: Изд-во Юрайт, 2018. 180 с.
5. Миневич И.Э., Осипова Л.Л. Гидроколлоиды семян льна: характеристика и перспективы использования в пищевых технологиях // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2017. № 3. С. 16–25. DOI: 10.17586/2310-1164-2017-10-3-16-25
6. Pirsa S., Hafezi K. Hydrocolloids: Structure, preparation method, and application in food industry. *Food Chemistry*. 2023, V. 399, article 133967. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.133967
7. Soukoulis C., Gaiani C., Hoffmann L. Plant seed mucilage as emerging biopolymer in food industry applications. *Current Opinion in Food Science*. 2018, V. 22, pp. 28–42. DOI: 10.1016/j.cofs.2018.01.004
8. Hamdani A.M., Wani I.A., Bhat N.A. Sources, structure, properties and health benefits of plant gums: A review. *Int J Biol Macromol*. 2019, V. 135, pp. 46–61. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.05.103
9. Lu W., Nishinari K., Matsukawa S., Fang Y. The future trends of food hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*. 2020, V. 103, article 105713. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.105713
10. Тарасова Р.Н., Ожимкова Е.В., Ущановский И.В. Исследование пребиотических свойств гетерополисахаридов льна культурного на бактериях *lactobacillus acidophilus* // Вестник Тверского гос. техн. ун-та. 2018. № 33. С. 61–63.
11. Gutte K.B., Sahoo A.K., Ranveer R.C. Bioactive components of flaxseed and its health benefits. *Int. J. Pharm. Sci. Res.* 2015, V. 31, no. 1, pp. 42–51.
12. Горшунцова, К.Д., Семенова П.А., Бессонов В.В. Взаимодействие гидроколлоидов и растворимых витаминов при конструировании обогащенных пищевых продуктов // Пищевая промышленность. 2012. № 11. С. 46–49.
13. Goyal A., Sharma V., Upadhyay N., Gill S., Sihag M. Flax and flaxseed oil: An ancient medicine & modern functional food. *J. Food Sci. Technol.* 2014, V. 51, no. 9, pp. 1633–1653. DOI: 10.1007/s13197-013-1247-9
14. Kajla P., Sharma A., Sood D.R. Flaxseed: A potential functional food source. *J. Food Sci. Technol.* 2015, V. 52, no. 4, pp. 1857–1871. DOI: 10.1007/s13197-014-1293-y
15. Миневич И.Э. Функциональная значимость семян льна и практика их использования в пищевых технологиях // Health, Food & Biotechnology. 2019. № 1. С. 97–114. DOI: 10.36107/hfb.2019.i2.s224
16. Голубков Е.П. SWOT-анализ: существующие методики и пути их совершенствования // Маркетинг в России и за рубежом. 2013. № 1. С. 12–24.
17. Россия является лидером среди мировых экспортеров масличного льна // Центр агроаналитики. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://specagro.ru/news/202303/rossiya-yavlyaetsya-liderom-sredi-mirovykh-eksporterov-maslichnogo-lina> (дата обращения: 01.12.2024)
18. Puligundla P., Lim S. A. Review of extraction techniques and food applications of flaxseed mucilage. *Foods*. 2022, V. 11, article 1677. DOI: 10.3390/foods11121677
19. Миневич И.Э., Осипова Л.Л., Нечипоренко А.П., Смирнова Е.И., Мельникова М.И. Особенности процесса экстракции полисахаридов слизи из семян льна // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2018. № 2. С. 3–11. DOI: 10.17586/2310-1164-2018-11-2-3-11
20. Миневич И.Э., Осипова Л.Л. Влияние условий экстракции на функциональные свойства полисахаридов семян льна // Хлебопродукты. 2019. № 4. С. 48–50.
21. Миневич И. Э., Ущановский В.И., Гончарова А.А., Абрамов Д.В. Гидроколлоиды семян льна и перспективы их промышленного производства // Пищевая промышленность. 2023. № 4. С. 22–27. DOI: 10.52653/PPi.2023.4.4.004

22. Vieira J.M., Mantovani R.A., Raposo M.F.J., et al. Effect of extraction temperature on rheological behavior and antioxidant capacity of flaxseed gum. *Carbohydrate Polymers*. 2019, V. 213, pp. 217–227. DOI: 10.1016/j.carbpol.2019.02.078
23. Ziolkovska A. Laws of flaxseed mucilage extraction. *Food Hydrocolloids*. 2012, V. 26, Is. 1., pp. 197–204. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2011.04.022.
24. *Миневич И.Э., Зубцов В.А., Осипова Л.Л.* Способ получения полисахаридного комплекса из семян льна: пат. 2639770 Российская Федерация. 2017. Бюл. № 36. 9 с.
25. *Уцаповский И.В., Ожмкова Е.В., Сульман Э.М., Мартиросова Е.И., Плащина И.Г.* Генетическое разнообразие льна (*Linum usitatissimum* L.) по гликано-протеиновому составу слизи семян // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 4. С. 14–17.
26. *Пороховинова Е.А., Павлов А.В., Брач Н.Б., Морван К.* Углеводный состав слизи семян льна и его связь с морфологическими признаками // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52, № 1. С. 161–171. DOI: 10.15389/agrobiol.2017.1.161
27. Lorenc F., Jarošová M., Bedrníček J., Smetana P., Bárta J. Structural characterization and functional properties of flaxseed hydrocolloids and their application. *Foods*. 2022, V. 11, article 2304. DOI: 10.3390/foods11152304
28. Hellebois T., Fortuin J., Xu X., Shaplov A.S., Gaiani C., Soukoulis C. Structure conformation, physicochemical and rheological properties of flaxseed gum extracted under alkine and acidic conditions. *Int J Biol Macromol*. 2021, V. 192, pp. 1217–1230. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.10.087
29. 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, V. 52, pp. 963–971. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.09.001
30. Emaga T.H., Rabetafika N., Blecker C.S., Paquot M. Kinetics of the hydrolysis of polysaccharide galacturonic acid and neutral sugars chains from flaxseed mucilage. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*. 2012, V. 16, no. 2, pp. 139–147.
31. Alix S., Marais S., Morwan C., Lebrun L. Biocomposite materials from flax plants: preparation and properties. *Composites Part A*. 2008, V. 39, pp. 1793–1801.
32. 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, V. 6, Is. 4, pp. 260–278. DOI: 10.3923/ajft.2011.260-278.
33. Troshchynska Y., Bleha R., Synytsya A., Štětina J. Chemical composition and rheological properties of seed mucilages of various yellow- and brown-seeded flax (*Linum usitatissimum* L.) cultivars. *Polymers*. 2022, V. 14, Is. 10, article 2040 DOI: 10.3390/polym14102040
34. Qian K.Y., Cui S.W., Wu Y., Goff H.D. Flaxseed gum from flaxseed hulls: Extraction, fractionation, and characterization. *Food Hydrocolloids*. 2012, V. 28, no. 2, pp. 275–283. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2011.12.019
35. Gannasin S.P., Ramakrishnan Y., Adzahan N.M., Muhammad K. Functional and preliminary characterisation of hydrocolloid from tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) puree. *Molecules*. 2012, V. 17, no. 6, pp. 6869–6885. DOI: 10.3390/molecules17066869
36. Bitaghsir M., Kadivar M., Shahedi M. Investigation of the possibility of producing low-calorie cake containing flaxseed mucilage as fat replacer. *Iranian J Nutr Sci Food Technol*. 2014, V. 9, Is. 3, pp. 73–82.
37. Stewart S., Mazza G. Effect of flaxseed gum on quality and stability of a model salad dressing. *Journal of Food Quality*. 2000, V. 23, Is. 4, pp. 373–390. DOI: 10.1111/j.1745-4557.2000.tb00565.x
38. Barbary O.M., Al-Sohaimy S.A., El-Saadani M.A., Zeitoun A.M. Extraction, composition and physicochemical properties of flaxseed mucilage. *Journal of the Advances in Agricultural Researches*. 2009, V. 14, Is. 3, pp. 605–621.
39. Hu Y.X., Shim Y.Y., Reaney M.J.T. Flaxseed gum solution functional properties. *J. Foods*. 2020, V. 9, no. 5, article 681. DOI: 10.3390/foods9050681
40. Wang D.W., Zhang Y.R., Huang H.F. A study on application of flaxseed gum in ice cream. *Journal of Jilin Agricultural University*. 2003, V. 25, Is. 2, pp. 224–227.
41. *Миневич И.Э., Осипова Л.Л., Цыганова Т.Б.* Гидроколлоиды семян льна в технологии безглютеновых маффинов // Хлебопродукты. 2019. № 1. С. 56–58.
42. *Цыганова Т.Б., Миневич И.Э., Осипова Л.Л.* Полисахариды семян льна: практическое применение // Хранение и переработка сельхозсырья. 2019. № 2. С. 24–36. DOI: 10.36107/spfr.2019.151
43. Yang X., Feng M., Sun J., Xu X.-L., Zhou G. The influence of flaxseed gum on the retrogradation of maize starch. *International Journal of Food Science and Technology*. 2017, V. 52, Is. 12, pp. 2654–2660. DOI: 10.1111/ijfs.13554
44. Gürel E. Swot analysis: a theoretical review. *Journal of International Social Research*. 2017, V. 10, Is. 51, pp. 994–1006. DOI: 10.17719/jisr.2017.1832

References

1. New solutions for the market of food ingredients. Expocentre. 2024. URL: https://www.expocentr.ru/ru/news/novye-resheniya-dlya-rynka-pishchevykh-ingredientov/?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (Accessed 28.02.2025) (In Russian)
2. The food ingredients market in Russia. Import dependence of the industry. ID-Marketing. URL: https://id-marketing.ru/catalog/pischevaja_promyshlennost/proizvodstvo_pischevyh_dobavok/rynok-pischevyih-ingredientov (Accessed 05.12.2024) (In Russian)
3. Kushnir Yu. Hydrocolloids. *Produkty & Ingredienty*. 2008, no. 5, pp. 106–107. (In Russian)

4. Donchenko L.V., Sokol N.V., Krasnoselova E.A. Food Chemistry. Hydrocolloids. Moscow, Yurait Publ., 2018. 180 p. (In Russian)
5. Minevich I.E., Osipova L.L. Flax seed hydrocolloids: their characteristics and prospects of use in food technology. *Processes and Food Production Equipment*. 2017, no. 3, pp. 16–25. DOI: 10.17586/2310-1164-2017-10-3-16-25. (In Russian)
6. Pirsa S., Hafezi K. Hydrocolloids: Structure, preparation method, and application in food industry. *Food Chemistry*. 2023, V. 399, article 133967. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.133967
7. Soukoulis C., Gaiani C., Hoffmann L. Plant seed mucilage as emerging biopolymer in food industry applications. *Current Opinion in Food Science*. 2018, V. 22, pp. 28–42. DOI: 10.1016/j.cofs.2018.01.004
8. Hamdani A.M., Wani I.A., Bhat N.A. Sources, structure, properties and health benefits of plant gums: A review. *Int J Biol Macromol*. 2019, V. 135, pp. 46–61. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.05.103
9. Lu W., Nishinari K., Matsukawa S., Fang Y. The future trends of food hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*. 2020, V. 103, article 105713. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.105713
10. Tarasova R.N., Ozhimkova E.V., Ushchapovsky I.V. The study of prebiotic properties heteropolysaccharides of linum usitatissimum on bacteria Lactobacillus acidophilus. *Vestnik Tverskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2018, Is. 33, pp. 61–63. (In Russian)
11. Gutte K.B., Sahoo A.K., Ranveer R.C. Bioactive components of flaxseed and its health benefits. *Int. J. Pharm. Sci. Res.* 2015, V. 31, no. 1, pp. 42–51.
12. Gorshunova K.D., Semenova P.A., Bessonov V.V. Interaction of hydrocolloids and soluble vitamins in the design of fortified food products. *Food Processing Industry*. 2012, no. 11, pp. 46–49. (In Russian)
13. Goyal A., Sharma V., Upadhyay N., Gill S., Sihag M. Flax and flaxseed oil: An ancient medicine & modern functional food. *J. Food Sci. Technol*. 2014, V. 51, no. 9, pp. 1633–1653. DOI: 10.1007/s13197-013-1247-9
14. Kajla P., Sharma A., Sood D.R. Flaxseed: A potential functional food source. *J. Food Sci. Technol*. 2015, V. 52, no. 4, pp. 1857–1871. DOI: 10.1007/s13197-014-1293-y
15. Minevich I.E. Functional significance of flax seeds and the practice of their use in food technologies. *Health, Food & Biotechnology*. 2019, no. 1, pp. 97–114. DOI: 10.36107/hfb.2019.i2.s224 (In Russian)
16. Golubkov E.P. SWOT-analysis: existing techniques and approaches for their improvements. *Marketing in Russia and Abroad*. 2013, no. 1, pp. 12–24. (In Russian)
17. Russia is the world's leader in oilseed flax exports. *Tsentr agroanalitiki*. 2023. URL: <https://specagro.ru/news/202303/rossiya-yavlyaetsya-liderom-sredi-mirovykh-eksporterov-maslichnogo-lina> (Accessed 01.12.2024) (In Russian)
18. Puligundla P., Lim S. A. Review of extraction techniques and food applications of flaxseed mucilage. *Foods*. 2022, V. 11, article 1677. DOI: 10.3390/foods11121677
19. Minevich I.E., Osipova L.L., Nechiporenko A.P., Smirnova E.I., Melnikova M.I. The peculiarities of mucilage polysaccharide extraction from flax seeds. *Processes and Food Production Equipment*. 2018, no. 2, pp. 3–11. DOI: 10.17586/2310-1164-2018-11-2-3-11 (In Russian)
20. Minevich I.E., Osipova L.L. Effect of extraction conditions on the functional properties of flax seed polysaccharides. *Khleboproducty*. 2019, no. 4, pp. 48–50. (In Russian)
21. Minevich I.E., Ushchapovsky V.I., Goncharova A.A., Abramov D.V. Hydrocolloids of flax seeds and prospects for their industrial production. *Food Processing Industry*. 2023, no. 4, pp. 22–27. DOI: 10.52653/PPI.2023.4.4.004. (In Russian)
22. Vieira J.M., Mantovani R.A., Raposo M.F.J., et al. Effect of extraction temperature on rheological behavior and antioxidant capacity of flaxseed gum. *Carbohydrate Polymers*. 2019, V. 213, pp. 217–227. DOI: 10.1016/j.carbpol.2019.02.078
23. Ziolkovska A. Laws of flaxseed mucilage extraction. *Food Hydrocolloids*. 2012, V. 26, Is. 1., pp. 197–204. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2011.04.022
24. Minevich I.E., Zubtsov V.A., Osipova L.L. *Method for producing polysaccharide complex from flaxseed*. Patent RF, no. 2639770. 2017.
25. Ushchapovsky I.V., Ozhimkova E.V., Sulman E.M., Martirosova E.I., Plashchina I.G. Genetic diversity of flax crop (*Linum usitatissimum* L.) on glycan-protein composition of seedcoat's mucilage. *Russian Agricultural Science*. 2015, no. 4, pp. 14–17. (In Russian)
26. Porokhovinova E.A., Pavlov A.V., Brach N.B., Morvan K. Carbohydrate composition of flax mucilage and its relation to morphological characters. *Agricultural Biology*. 2017, V. 52, no. 1, pp. 161–171. DOI: 10.15389/agrobiol.2017.1.161 (In Russian)
27. Lorenc F., Jarošová M., Bedrníček J., Smetana P., Bárta J. Structural characterization and functional properties of flaxseed hydrocolloids and their application. *Foods*. 2022, V. 11, article 2304. DOI: 10.3390/foods11152304
28. Hellebois T., Fortuin J., Xu X., Shaplov A.S., Gaiani C., Soukoulis C. Structure conformation, physicochemical and rheological properties of flaxseed gum extracted under alkine and acidic conditions. *Int J Biol Macromol*. 2021, V. 192, pp. 1217–1230. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.10.087
29. 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, V. 52, pp. 963–971. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.09.001
30. Emaga T.H., Rabetafika N., Blecker C.S., Paquot M. Kinetics of the hydrolysis of polysaccharide galacturonic acid and neutral sugars chains from flaxseed mucilage. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*. 2012, V. 16, no. 2, pp. 139–147.

31. Alix S., Marais S., Morwan C., Lebrun L. Biocomposite materials from flax plants: preparation and properties. *Composites Part A*. 2008, V. 39, pp. 1793–1801.
32. 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, V. 6, Is. 4, pp. 260–278. DOI: 10.3923/ajft.2011.260-278.
33. Troshchynska Y., Bleha R., Synytsya A., Štětina J. Chemical composition and rheological properties of seed mucilages of various yellow- and brown-seeded flax (*Linum usitatissimum* L.) cultivars. *Polymers*. 2022, V. 14, Is. 10, article 2040 DOI: 10.3390/polym14102040
34. Qian K.Y., Cui S.W., Wu Y., Goff H.D. Flaxseed gum from flaxseed hulls: Extraction, fractionation, and characterization. *Food Hydrocolloids*. 2012, V. 28, no. 2, pp. 275–283. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2011.12.019
35. Gannasin S.P., Ramakrishnan Y., Adzahan N.M., Muhammad K. Functional and preliminary characterisation of hydrocolloid from tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) puree. *Molecules*. 2012, V. 17, no. 6, pp. 6869–6885. DOI: 10.3390/molecules17066869
36. Bitagsir M., Kadivar M., Shahedi M. Investigation of the possibility of producing low-calorie cake containing flaxseed mucilage as fat replacer. *Iranian J Nutr Sci Food Technol*. 2014, V. 9, Is. 3, pp. 73–82.
37. Stewart S., Mazza G. Effect of flaxseed gum on quality and stability of a model salad dressing. *Journal of Food Quality*. 2000, V. 23, Is. 4, pp. 373–390. DOI: 10.1111/j.1745-4557.2000.tb00565.x
38. Barbary O.M., Al-Sohaimy S.A., El-Saadani M.A., Zeitoun A.M. Extraction, composition and physicochemical properties of flaxseed mucilage. *Journal of the Advances in Agricultural Researches*. 2009, V. 14, Is. 3, pp. 605–621.
39. Hu Y.X., Shim Y.Y., Reaney M.J.T. Flaxseed gum solution functional properties. *J. Foods*. 2020, V. 9, no. 5, article 681. DOI: 10.3390/foods9050681
40. Wang D.W., Zhang Y.R., Huang H.F. A study on application of flaxseed gum in ice cream. *Journal of Jilin Agricultural University*. 2003, V. 25, Is. 2, pp. 224–227.
41. Minevich I.E., Osipova L.L., Tsyganova T.B. Hydrocolloids of flax seeds in the technology of gluten-free muffins. *Khleboproducty*. 2019, no. 1, pp. 56–58. (In Russian)
42. Tsyganova T.B., Minevich I.E., Osipova L.L. Flaxseed polysaccharides: practical application. *Storage and Processing of Farm Products*. 2019, Is. 2, pp. 24–36. DOI: 10.36107/spfp.2019.151 (In Russian)
43. Yang X., Feng M., Sun J., Xu X.-L., Zhou G. The influence of flaxseed gum on the retrogradation of maize starch. *International Journal of Food Science and Technology*. 2017, V. 52, Is. 12, pp. 2654–2660. DOI: 10.1111/ijfs.13554
44. Gürel E. Swot analysis: a theoretical review. *Journal of International Social Research*. 2017, V. 10, Is. 51, pp. 994–1006. DOI: 10.17719/jisr.2017.1832

Информация об авторах

Ирина Эдуардовна Миневиц – д-р техн. наук, главный научный сотрудник

Татьяна Борисовна Цыганова – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса

Сергей Владимирович Миневиц – аспирант кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса

Information about the authors

Irina.E. Minevich, D. Sci. (Eng.), Chief Researcher

Tatyana B. Tsyganova, D. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Department of Food Industry, Hotel Business and Service

Sergey V. Minevich, Postgraduate Student, Department of Department of Food Industry, Hotel Business and Service

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 14.02.2025

Одобрена после рецензирования 25.03.2025

Принята к публикации 27.03.2025

The article was submitted 14.02.2025

Approved after reviewing 25.03.2025

Accepted for publication 27.03.2025