

Обзор способов извлечения биологически активных соединений из продуктов переработки льняного семени

Айслу А. Мижева	¹	mizheva.aislu@mail.ru	 0000-0003-0847-0819
Иван А. Фоменко	¹	fomenkoia@mgupp.ru	 0000-0003-2478-1705
Александра И. Карачун	¹	alexandra155@mail.ru	 0009-0001-2137-762X
Вероника В. Краснова	¹	krasnovvamoonnica@mail.ru	 0009-0004-1499-4429

¹ Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия

Аннотация. В данном аналитическом обзоре рассматриваются современные методы извлечения биологически активных веществ из жмыха льна, который является побочным продуктом переработки льняного семени. Обзор включает этапы получения биоактивных компонентов, усредненный химический состав жмыха, а также функциональные свойства получаемых ингредиентов. В статье подробно рассмотрены различные подходы к экстракции ценных компонентов, включая традиционные методы, такие как механическое прессование, и современные технологии, включая ультразвуковую экстракцию, сверхкритическую CO₂-экстракцию и субкритическую жидкостную экстракцию. Также акцент сделан на сравнении эффективности этих методов, их экономической целесообразности и экологической безопасности. Одним из центральных аспектов исследования является проблема наличия антипитательных веществ, таких как фитиновая кислота и цианогенные гликозиды, в составе льняного сырья. Рассмотрены эффективные методы их удаления, включая термическую и ферментативную обработку, а также их влияние на биологическую доступность и функциональные свойства льняных компонентов. Это делает льняной жмых более ценным источником питательных веществ, подходящим для использования в пищевой промышленности. Особый акцент сделан на питательных компонентах льна, включая белки, жирные кислоты, витамины и минералы, а также на их применении в функциональных продуктах питания. Обсуждаются перспективы использования льняного сырья в производстве продуктов для здорового питания и технологий, направленных на повышение их эффективности и экологичности. Данный обзор предоставляет полезную информацию для исследователей и специалистов в области пищевой науки и технологии, а также для производителей, заинтересованных в использовании льняного жмыха как источника функциональных ингредиентов.

Ключевые слова: лен, гидролизаты, антипитательные вещества, изолят, экстракция, жмых льна.

Review of methods for extracting biologically active compounds from flaxseed processing products

Aislu A. Mizheva	¹	mizheva.aislu@mail.ru	 0000-0003-0847-0819
Ivan A. Fomenko	¹	fomenkoia@mgupp.ru	 0000-0003-2478-1705
Aleksandra I. Karachun	¹	alexandra155@mail.ru	 0009-0001-2137-762X
Veronika V. Krasnova	¹	krasnovvamoonnica@mail.ru	 0009-0004-1499-4429

¹ Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125080, Russia

Abstract. This analytical review examines modern methods of extracting biologically active substances from flaxseed meal, which is a by-product of flaxseed processing. The review includes the stages of obtaining bioactive components, the average chemical composition of flaxseed meal, as well as the functional properties of the resulting ingredients. The article provides a detailed analysis of various approaches to extracting valuable components, including traditional methods such as mechanical pressing, and modern technologies such as ultrasonic extraction, supercritical CO₂ extraction, and subcritical liquid extraction. Emphasis is also placed on comparing the efficiency of these methods, their economic feasibility, and environmental safety. One of the central aspects of the study is the problem of the presence of antinutritional substances, such as phytic acid and cyanogenic glycosides, in flaxseed raw material. Effective methods for their removal, including thermal and enzymatic treatment, are discussed, along with their impact on the bioavailability and functional properties of flaxseed components. These treatments make flaxseed meal a more valuable source of nutrients suitable for use in the food industry. Particular attention is paid to the nutritional components of flaxseed, including proteins, fatty acids, vitamins, and minerals, as well as their application in functional food products. The prospects for using flaxseed raw materials in the production of healthy food products and technologies aimed at improving their efficiency and environmental sustainability are also discussed. This review provides valuable information for researchers and specialists in the field of food science and technology, as well as for manufacturers interested in utilizing flaxseed meal as a source of functional ingredients.

Keywords: flax, hydrolysates, anti-nutrients, isolate, extraction, flax cake.

Введение

Тенденция к правильному и функциональному питанию населения в настоящее время приобретает все большую популярность. Разработка продуктов, обогащенных ценными для здоровья элементами, является основной задачей здоровьесбережения населения.

Масличные культуры играют важную роль в обеспечении общества продовольствием, кормами для скота, сырьем для промышленности и имеют большое значение для экономически стабильного сельскохозяйственного производства.

Лен – это одно из самых древних культурных растений, которое имеет огромное значение для человека. Он используется в различных отраслях промышленности, включая текстильную, пищевую

Для цитирования

Мижева А.А., Фоменко И.А., Карачун А.И., Краснова В.В. Обзор способов извлечения биологически активных соединений из продуктов переработки льняного семени // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 40–51. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-40-51

For citation

Mizheva A.A., Fomenko I.A., Karachun A.I., Krasnova V.V. Review of methods for extracting biologically active compounds from flaxseed processing products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 40–51. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-40-51

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

и косметическую. В пищевой промышленности используются как сами семена льна, так и основной продукт переработки – льняное масло. Однако благодаря тому, что лен в составе содержит помимо липидов еще и белки, макро-микроэлементы, полисахариды и другие немаловажные компоненты, его ценность, как источника питательных веществ для персонализированного и функционального питания возрастает. Потенциальным источником данных веществ служит льняной шрот – побочный продукт получения масла из льняных семян.

Данный обзор посвящен современным методам извлечения биологически активных веществ льна, этапам их получения, приведен средний химический состав, описаны функциональные свойства, а также рассмотрены методы снижения содержания антипитательных веществ льна.

Обзор мирового рынка льна масличного

Мировое производство семян масличного льна на протяжении 10 лет возросло более чем на 50%, однако доля в общем количестве выращиваемых масличных культур остается на уровне не превышающим 1%. Лидерами среди масличных культур долгое время остаются соевые бобы, рапс и подсолнечник [5].

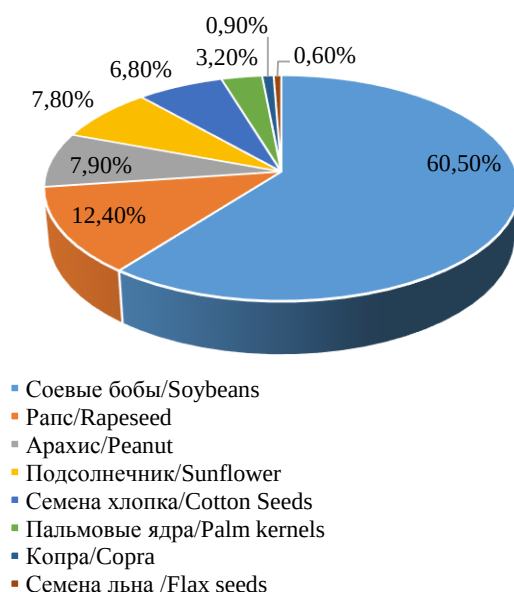


Рисунок 1. Структура мирового производства масличных культур [1]

Figure 1. Structure of global oilseed crop production [1]

Выращиванием льна занимается более сорока стран, однако в связи с падением валовых сборов этой культуры в других странах показатели РФ и Казахстана активно росли. В 2022 году первенство по сбору льна заняла Россия, на втором месте Казахстан. На долю этих двух государств приходится 56% мировых валовых сборов этой культуры.

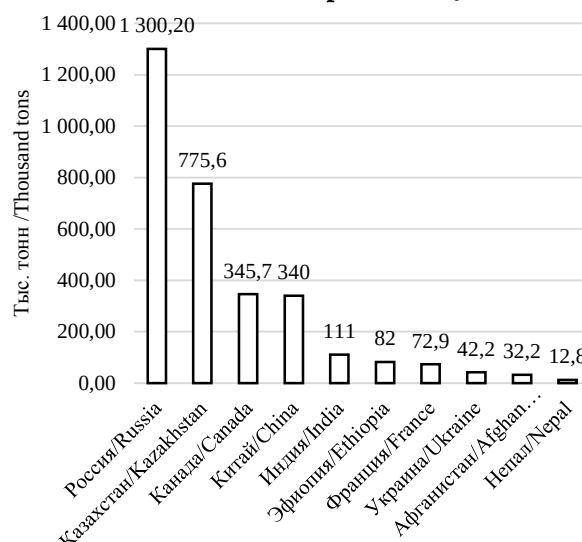


Рисунок 2. Крупнейшие страны – производители льна масличного

Figure 2. Leading countries in flaxseed production

Ключевые тенденции Российского рынка масличного льна и продуктов переработки

Первым фактором, который характеризует рынок масличного льна в России, является существенное расширение посевных площадей. Тенденция к росту наблюдается в течение всего анализируемого периода, однако присутствуют и небольшие провалы. Особенно ощутимо наблюдается расширение посевных площадей в 2021 и 2022 годах, однако в 2022 году посевные площади увеличились на 33,6% в сравнении с 2021 годом и достигли отметки 2090 тыс. га [1].

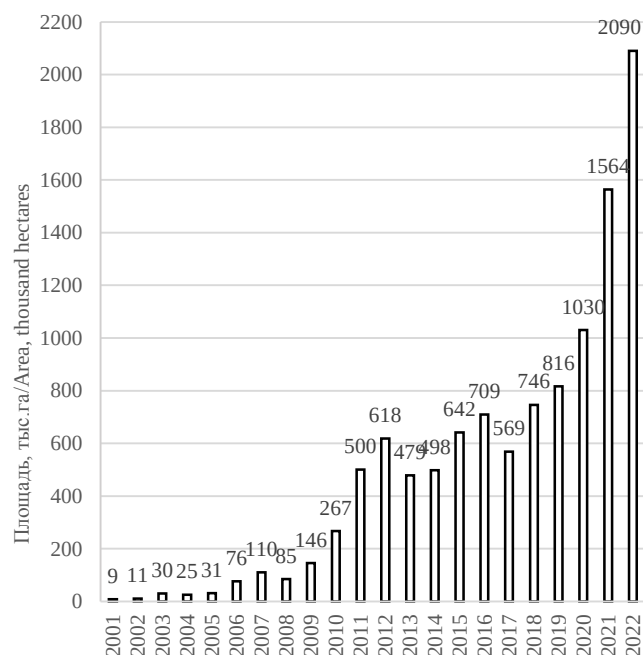


Рисунок 3. Посевные площади льна масличного в России в период с 2001 по 2022 гг., тыс. га [1]

Figure 3. Sown areas of flaxseed in Russia from 2001 to 2022, thousand hectares [1]

Однако, показатель урожайности льна масличного в период 2007–2022 гг., характеризуется как весьма непостоянный и стабильности за анализируемый период не показывает. Урожайность льна за 2022 год ниже, чем за предыдущий на 1,2%.

В 2022 году на долю крупнейших производителей из числа регионов России пришлось свыше 50% от общего объема сборов. К ним относятся: Алтайский край, Омская область, Курганская область, Ростовская и Новосибирская области. Ставропольский край, Республика Крым,

Челябинская область, Республика Башкортостан и Самарская область характеризуются достаточно высокими показателями сбора льна масличного, но уступают лидирующей пятерке.

Объемы производства льняного масла в 2022 году остаются на довольно высоком уровне и составляет 35,2 тыс. тонн.

До 2019 года побочные продукты переработки семян льна масличного не имели успеха в качестве экспортируемой продукции, однако, в 2021 году объемы экспорта достигли 32,8 тыс. тонн, но в 2022 году показатели снизились [1].

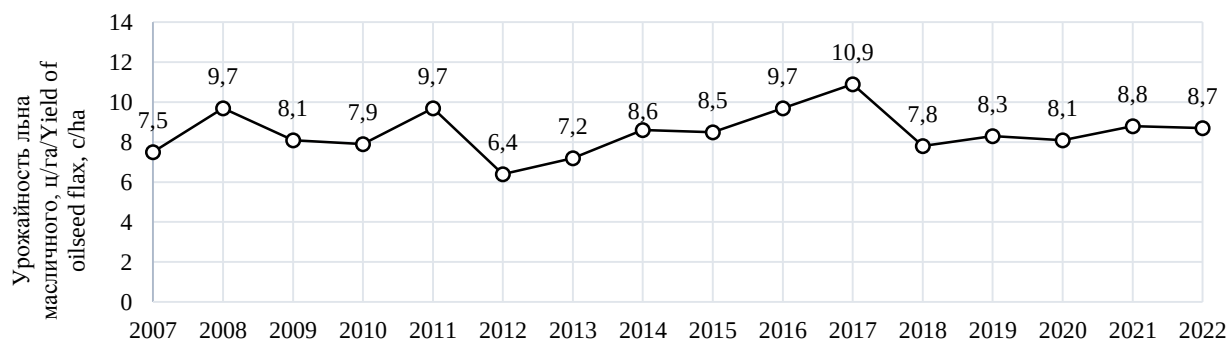


Рисунок 4. Урожайность льна масличного в период с 2007 по 2022 гг. ц/га

Figure 4. Flaxseed yield from 2007 to 2022, centners per hectare

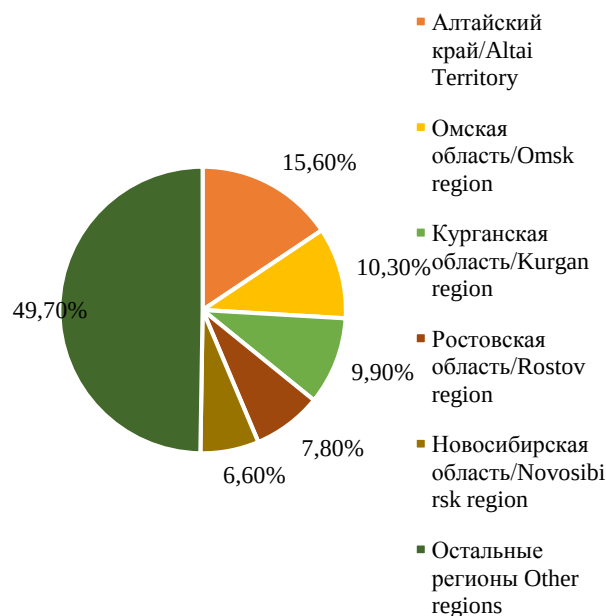


Рисунок 5. Доля регионов РФ в общем объеме валовых сборов льна масличного в 2022 г. [1]

Figure 5. Share of Russian regions in the total flaxseed harvest volume in 2022 [1]

Характеристика льняного семени

Лен обыкновенный (*Linum usitatissimum* L.) – однолетняя масличная культура, выращиваемая для получения масла, клетчатки. В современном мире лен приобрел свою значимость из-за содержания питательных веществ,

благодаря которым его можно использовать в конструировании рецептур функциональных продуктов питания, пищевых добавок, косметической отрасли [5,6]. Компоненты льняного семени способствуют облегчению симптомов многих заболеваний человека, регуляции кишечной микрофлоры, а белки и пептиды обладают рядом полезных свойств [4].

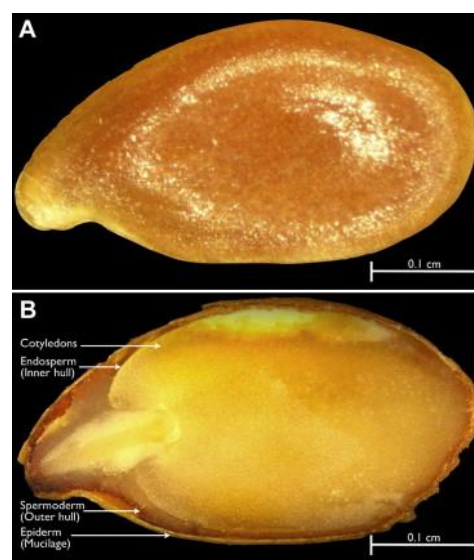


Рисунок 6. Анатомические структуры льняного семени, полученные цифровой камерой Canon Eos 300D, установленной на световом микроскопе Zeiss Stemi SV 11

Figure 6. Anatomical structures of flaxseed captured using a Canon EOS 300D digital camera mounted on a Zeiss Stemi SV 11 light microscope

Анатомически льняное семя состоит из трех основных частей: зародыша, двух семядолей и оболочки, состоящей из двух слоев толстого и тонкого. Масляные тела, называемые олеосомами, находятся в эндосперме и семядолях [2]. Зрелое льняное семя продолговатое и сплюснутое 4–6 мм в длину, средний вес около 5 мг. Семена на вид гладкие и блестящие, цвет варьируется от коричневого до светло-желтого, в зависимости от сорта [3,4].

Биохимический состав льняного семени представлен 30–41% жира, 25–30% пищевых волокон, 20–30% белка, 4–8% влаги, 3–4% золы, а также 1% олигосахаридов [3]. Льняное семя содержит 20% растворимых волокон и 9% нерастворимых, которые присутствуют в оболочке. Растворимые волокна состоят из кислых полисахаридов (l-рамнозы – 5,3%, l-галактозы – 11,7%, l-фруктозы – 8,4% и d-ксилозы – 29,1%) и нейтральных полисахаридов (l-арабинозы – 20% и d-ксилозы-d-галактозы – 76%). Нерастворимые волокна преимущественно состоят из целлюлозы и лигнина [2]. Расхождения в химическом составе семени в основном вызваны различиями в сортах, времени сбора урожая, местом произрастания, а также методами анализов и их обработкой [3].

Оболочка льняного семени является богатым источником лигнанового фитоэстрогена – секоизоларицирезинол диглюкозида (СДГ). Лигнанный комплекс, выделенный из льняного семени, состоит из 34–38% СДГ, 15–21%

глюкозида коричной кислоты и 9,6–11% гидроксиметилглутаровой кислоты.

Льняное масло

Среди всех представленных на рынке растительных масел льняное имеет достаточно высокое содержание ненасыщенных жирных кислот (более 70%), которые представлены в основном α -линолевой кислотой (ALA) – 30–50%, олеиновой и линолевой. В процессе метаболизма из ALA синтезируются докозагексаеновая и эйкоза-пентаеновая кислоты, необходимые для роста, развития и поддержания нормальных физиологических функций организма. Биодоступность α -линолевой кислотой в масле выше, чем в семенах [3].

Также, в состав липидов входит небольшое количество насыщенных жирных кислот, в первую очередь пальмитиновая кислота (около 5%) и стеариновая кислота (около 3%). Липидная фракция также содержит небольшую долю витаминов группы Е такие, как лютеин (пигменты и токотриенол), стерины и каротиноиды производные группы токоферола [3].

Кроме положительных аспектов существует и негативная сторона, которая выражается в очень быстром окислении липидов при хранении и переработке.

Существует несколько способов извлечения масла из семян льна.

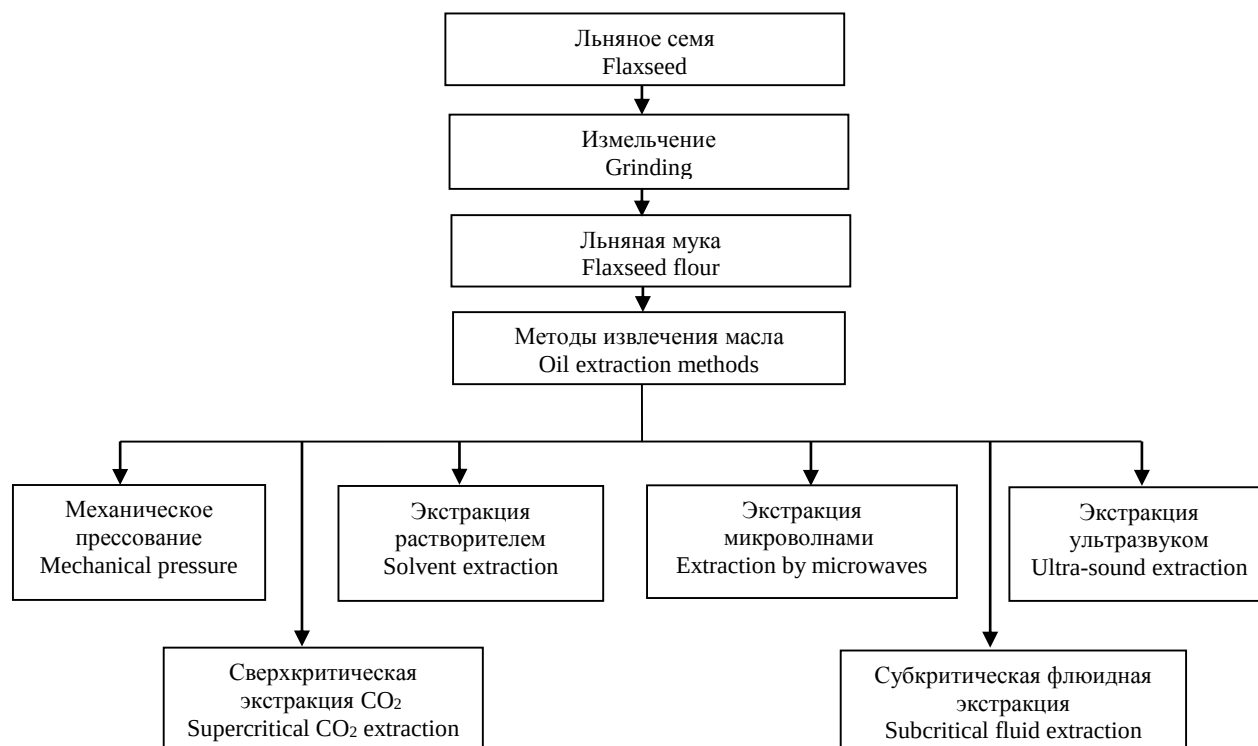


Рисунок 7. Методы извлечения льняного масла [7]

Figure 7. Methods of flaxseed oil extraction [7]

Традиционным методом извлечения масла является механическое холодное прессование. Перед прессованием льняное семя подвергается очистке от примесей для максимально возможного извлечения масла. Очищенное сырье загружается в маслоотделитель или механический шнековый пресс, где измельчаются семена и выделяется масло. Остаточный побочный продукт – льняной жмых. Далее масло подвергается фильтрации. Основными преимуществами данного метода являются: низкая себестоимость оборудования и энергопотребления, высококачественное и готовое к употреблению масло, отсутствие органических растворителей [8], а недостатки выражаются в довольно низком содержании в масле витаминов, фосфолипидов, фитостеролов, антиоксидантов и в высоком проценте остаточного масла в жмыхе, порядка 9–15%.

Экстракция растворителем повышает скорость экстракции и выход масла до 99% [9]. Однако, этот метод не нашел применения в промышленности, поскольку существуют опасения при использовании органических растворителей и их влияния на безопасность пищевых продуктов, длительное время экстракции, а также утилизация большого объема органических растворителей потенциально опасных для человека и окружающей среды. [8]. Этот метод используется для лабораторных исследований.

В последние годы особый интерес представляют экстракция микроволнами и ультразвуком, сверхкритическая CO₂ экстракция и субкритическая флюидная экстракция.

Жидкостная CO₂ экстракция, как экологически чистый метод экстракции, широко используется в производстве продуктов с высокой добавленной стоимостью. Некоторые исследователи обнаружили, что льняное масло, экстрагированное этим способом имело более высокое содержание ω -3 и ω -6 жирных кислот, фенолов и лигнанов, а выход был примерно на 27% выше, чем при механическом прессовании. [10].

Микроволновая и ультразвуковая экстракции сочетают в себе преимущества экстракции растворителем и физические воздействия (механическое воздействие, термический эффект и т. д.). Преимущества этих методов заключается в сокращении времени экстракции, снижении расхода растворителя, уменьшении термического повреждения масла и потере биоактивных соединений. Оба метода могут значительно повысить выход и антиоксидантная активность ПНЖК [11].

Экстракция с помощью ультразвука более подходящий метод для крупномасштабного производства и обладает лучшим потенциалом разработки и применения, она может значительно увеличить выход льняного масла на 11,5% и степень извлечения ПНЖК на 68,12%. Однако,

оба способа требуют доработки, замены или полного исключения использования органических растворителей.

Технология субкритической жидкостной экстракции заключается в использовании двухфазной замены экстракционной жидкости (такой как пропан и бутан) при различных давлениях и температурах для процесса экстракции масла и удаления растворителя. Этот многообещающий метод обладает преимуществами высокой производительности, низких требований к давлению и температуре, а также прост в промышленной реализации [7].

Каждый из вышеописанных методов, имеет свои технологические, экономические и экологические преимущества и недостатки, а также влияние на конечный жирнокислотный состав полученного после экстракции масла.

Углеводы

Льняное семя содержит в своём составе около 1% углеводов. Полисахариды из льняного семени состоят из двух основных компонентов: арабиноксилана и рамногалатоторана. Рамногалатоторан представляет собой кислый полисахарид, в состав которого входят L-фруктоза, L-рамноза, D-ксилоза и L-галактоза и составляющий около 25% полисахаридов льняного семени. Арабиноксилан – нейтрален и состоит из арабинозы, галактозы и ксилозы и составляет 75% полисахаридов [12].

Существует несколько способов извлечения полисахаридного комплекса из льняного семени. Очень важным нюансом является предварительная экстракция льняного масла, что позволяет в образовавшемся жмыхе льна выделять не только полисахаридный комплекс, но и другие высокоценные пищевые ингредиенты [13].

Твердожидкостная экстракция является самым простым методом выделения биологически активных углеводов и включает массоперенос растворенных частиц из твердой массы в растворитель. Замачивание цельных семян льна или обезжиренного жмыха ведется в горячей воде, далее полученный вязкий экстракт подвергается осаждению органическими веществами или ультрафильтрации с последующей лиофильной сушкой [14]. Преимуществом данного способа является высокий выход полисахаридного комплекса при низких затратах на его получение.

Экстракция под давлением, основанная на принципе Сокслета, включает в себя процесс массопереноса соединений из твердой фракции в органический растворитель при высоком давлении и температуре, что значительно ускоряет процесс [15]. Недостатком метода являются затраты на проведение, а также, как и при первом способе нет селективного разделения полисахаридного комплекса.

Метод сверхкритической экстракции CO₂ позволяет осуществлять селективное извлечение углеводов, однако, необходимо вводить органические модификаторы, что нежелательно для извлечения биоактивных углеводов [16,17]. Процесс возобновляемый и с точки зрения сохранения окружающей среды – безопасным.

Подкритическая жидкостная экстракция-адаптация метода экстракции по Сокслету. В качестве растворителя здесь используется вода. При повышенном давлении и нагревании вода становится менее полярной, благодаря чему возможно избирательное извлечение углеводов на основе их растворимости при различной полярности воды [18]. Этот процесс не требует введения модификаторов, таких как scCO₂ или органических растворителей и поэтому больше подходит для извлечения углеводов из пищевых экстрактов. [18,19].

Ионные жидкости и натуральные эвтектические растворители глубокого действия представляют собой альтернативу использованию воды и замену органических растворителей при экстракции углеводов. В отличие от описанных ранее методов, данные способы являются экономически эффективной альтернативой, которая относительно нетоксична и проста в приготовлении.

Метод экстракции ионными жидкостями может использоваться для выделения моносахаридов и полисахаридов, позволяет изменять полярность и свойства растворителя для определенного вида углеводов.

Натуральные эвтектические растворители глубокого действия не только безопаснее ионных жидкостей, но и дешевле. Однако, требуются дополнительные исследования для определения токсичности полученных при помощи данного метода углеводов. Оба способа пока еще не нашли широкого применения в промышленности [17].

Белок льняного семени

В составе льняного семени содержится около 21% белка, в который входит большое количество глутаминовой кислоты, метионина, аргинина, цистеина, аспарагиновой кислоты, однако беден треонином, лизином и тирозином. Условия обработки существенно влияют на конечный выход белка. Белок не является сбалансированным, ввиду низкого содержания незаменимой аминокислоты лизина и других, однако, его использование возможно, благодаря получению биологически активных пептидов и их потенциальному применению [4].

Усвояемость белков льняного семени зависит от присутствия сопутствующих компонентов. Удаление липидов и полисахаридов повышает усвояемость и повышают биологическую ценность белка.

Исследователями выявлено положительные свойства белка льняного семени, такие как противогрибковые, антиоксидантные свойства некоторых составляющих аминокислот, а также биологически активные свойства гидролизатов [20].

Белки льняного семени делятся на три фракции: альбумины, глобулины и глобулины. Перед использованием их в пищевой промышленности необходимо провести процесс извлечения белка, с целью повышения их усвояемости, улучшения функционально-технологических свойств, вкуса, запаха, цвета, а также снижения уровня антипитательных веществ [19].

Существует ряд способов извлечения белка из льняного семени, как традиционных, так и более усовершенствованных и технологичных.

Осаждение белка в изoeлектрической точке является одним из распространенных традиционных методов извлечения белка, при котором варьируется значение pH для достижения изoeлектрической точки, в которой белок выпадает в осадок. Недостатками данного способа является денатурация белка минеральными кислотами, потенциальной потерей некоторых функционально-технологических свойств, снижение питательных веществ и повышение содержания фитиновой кислоты.

Экстракция с использованием ферментных препаратов представляет собой способ обработки обезжиренной льняной муки протеазами. Частичный гидролиз благоприятно влияет на дальнейшие функционально-технологические свойства выделенного белка, прост в исполнении, контроле и проводится в щадящих условиях и дает возможность выделения конъюгированных белков. Отрицательным фактором является увеличение стоимости технологии. Данный метод более экологичен, приемлем для использования выделенного белка в пищевых продуктах.

Мицеллизация или высаливание – метод, при котором удаляются небелковые компоненты, а сам белок при различных концентрациях соли выпадает в осадок. Преимуществом является минимальное содержание в белке фитиновой кислоты и пентозанов [19].

Метод предварительной кислотной обработки с последующей ультрафильтрацией предполагает обработку кислотой, выдерживание при умеренном перемешивании и отделение осадка центрифугированием. Процесс с осадком повторяют несколько раз. Белковые экстракты объединяют и отправляют на ультрафильтрацию. Полученный ретентат высушивают распылительной сушкой для получения белка льняного семени. Преимуществами ультрафильтрации является улучшение функциональных и питательных свойств экстрагированного белка.

К другим современным методам относятся: экстракция ультразвуком, электроактивация, метод импульсного электрического поля, экстракция водой под давлением низкой полярности, использование электрического разряда высокого напряжения. Обязательной процедурой перед началом экстракции белка является обезжиривание, удаление полисахаридов, измельчение льняного семени [19].

Пептиды льняного семени

Белок льняного семени является источником биологически активных пептидов. Обнаружены двадцать пять циклических пептидов, последовательность которых расшифрована, и биологическая активность в них обнаружена. Циклолинопептид А, структура которого представлена следующей последовательностью аминокислот цикло-(Про-Про-Фен-Фен-Лей-Иле-Иле-Лей-Вал) и его производные обладают противомаларийной активностью, иммуносупрессивной, а также активностью по дифференцировке остеокластов. На рисунке 8 представлены структуры некоторых гидролизатов и пептидов белка льняного семени.

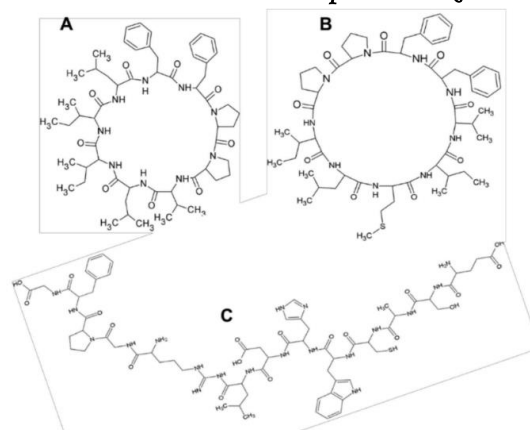


Рисунок 8. Химические структуры пептидов белка льняного семени: (А) Циклолинопептид-А; (В) Циклолинопептид-В; (С) антиоксидантный пептид, полученный, гидролизом белка алкалазой [19]

Figure 8. Chemical structures of flaxseed protein peptides: (A) Cyclolinopeptide A; (B) Cyclolinopeptide B; (C) Antioxidant peptide obtained by alcalase protein hydrolysis [19]

В таблице 1 представлены некоторые биологически активные пептиды и гидролизаты белка льна, способы получения, молекулярная масса и их активность.

Характеристика некоторых пептидов льняного белка

Таблица 1.

Table 1.

Characteristics of some flaxseed protein peptides

Тип Type	Молекулярная масса/ первичная последовательность Molecular weight/primary sequence	Способ получения Method of obtaining	Биологические свойства Biological properties	Источник Source
1	2	3	4	5
Пептид Peptide	Гли-Фен-Про-Гли-Арг- Лей-Асп-Гис-Три-Цис- Ала-Сер-Глу Gly-Phe-Pro- Gly -Arg- Leu-Asp-His-Trp-Cys-Ala- Ser-Glu	Гидролиз ферментом алкалазой Hydrolysis by the enzyme alcalase	Антиоксидантная активность Antioxidant activity	[21]
Гидролизат Hydrolysate	Менее 1 кДа Less than 1 kDa	Гидролиз протеазой из <i>Bacillus</i> <i>altitudinis</i> HK02 Hydrolysis by protease from <i>Bacillus altitudinis</i> HK02	Антимикробная активность Antimicrobial activity	[22]
Гидролизат Hydrolysate	1–3 кДа 1–3 kDa	Гидролиз протеазой из <i>Bacillus altitudinis</i> HK02 Hydrolysis by protease from <i>Bacillus altitudinis</i> HK02	Антиоксидантная активность Antioxidant activity	[21]
Гидролизат / Hydrolysate	Менее 4 кДа Less than 4 kDa	Гидролиз термолизином и проназой Hydrolysis by thermolysin and pronase	Антиоксидантная; Антигипертензивная активность Antioxidant; Antihypertensive activity	[23]
Гидролизат / Hydrolysate	Менее 1 и 1–3 кДа Less than 1 and 1–3 kDa	Гидролиз термоазой и мембранная ультрафильтрация Thermose hydrolysis and membrane ultrafiltration	Антигипертензивная, Ренин-ингибирующая активность Antihypertensive, Renin-inhibiting activity	[23]

1	2	3	4	5
Циклолино-пептид -А Cycloline peptide - A	цикло-(Про-Про-Фен-Фен-Лей-Иле-Иле-Лей-Вал) cyclo-(Pro-Pro-Phe-Phe-Leu-Ile-Ile-Leu-Val)	Экстракция Extraction	Иммуносупрессивная активность; Антиоксидантная; Противомалярийная активность Immunosuppressive activity; Antioxidant; Antimalarial activity	[24,25]
Циклолино-пептид -В Cycloline peptide - B	цикло-(Про-Про-Фен-Фен-Вал-Иле-Мет-Лей-Иле) cyclo-(Pro-Pro-Phe-Phe-Val-Ile-Met-Leu-Ile)	Экстракция Extraction	Иммуносупрессивная активность Immunosuppressive activity	[24]
Циклолино-пептид -Е Cyclolipeptide – E	цикло-(Про-Лей-Фен-Иле-Мет-Лей-Вал-Фен) cyclo-(Pro-Leu-Phe-Ile-Met-Leu-Val-Phe)	Экстракция Extraction	Иммуносупрессивная активность Immunosuppressive activity	[25]

Витамины и минералы льняного семени

Кроме описанных выше питательных веществ, льняное семя является источником микроэлементов, таких как витамины, минералы и фенольные соединения. Витамины представлены тремя формами токоферола и ниацинами, около 0,039% витамина Е, влияние которых на здоровье человека доказано [20]. Минералы льняного семени представлены калием (около 5,6–9,2%), кальцием (около 0,25%), магнием (около 0,40%), фосфором (около 0,65%) и небольшим количеством натрия (около 0,027%). Богатое калием льняное семя обеспечивает защиту от инсульта, способствует выведению свободных радикалов и ингибированию накопления тромбоцитов.

Антипитательные вещества

Несмотря на большое количество положительных аспектов в составе льняного семени

содержатся антипитательные вещества, ограничивающие их использование и биодоступность. В составе льняного семени обнаружены линастин, ингибиторы протеаз, фитиновые кислоты и цианогенные гликозиды, структуры которых представлены на рисунке 9.

В льняном семени обнаружены 4 типа цианогенных гликозидов: линустатин, неолинустатин, лотаустралин и линамарин. Они являются критическими антипитательными факторами, при гидролизе которых образуется цианистый водород, хроническое воздействие которого приводит к дефектам нервной, дыхательной, сердечно-сосудистой систем и щитовидной железы. Фитиновые кислоты связывают в организме минералы, препятствуя их высвобождению и нарушая работу систем организма. Антипитательные факторы необходимо снижать, чтобы усилить полезные качества льна [26].

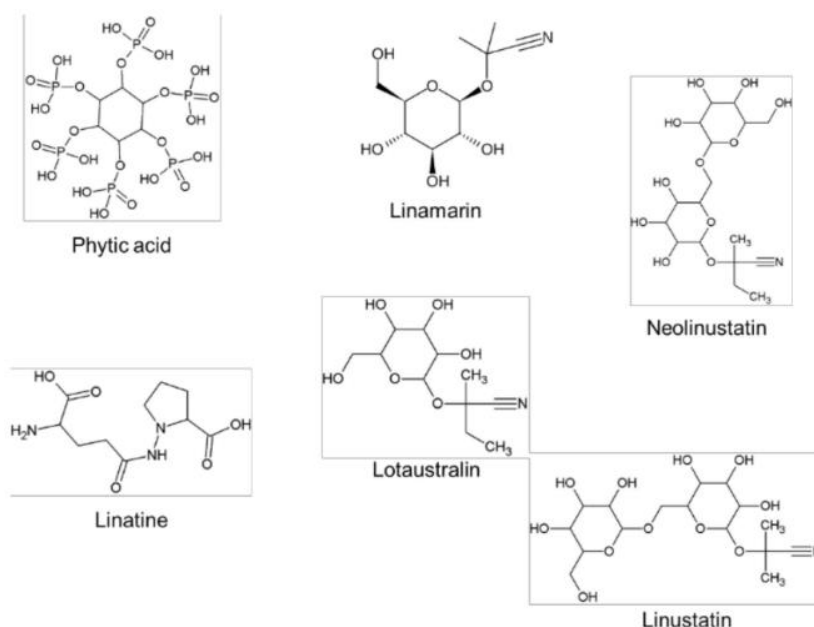


Рисунок 9. Химические структуры антипитательных веществ льняного семени: Сверху-вниз: 1 – фитиновая кислота; 2 – линамарин; 3 – неолинустатин; 4 – линастин; 5 – лотаустралин; 6 – линустатин

Figure 9. Chemical structures of flaxseed anti-nutritional compounds: Top to bottom: 1 – Phytic acid; 2 – Linamarin; 3 – Neolinustatin; 4 – Linatine; 5 – Lotaustralin; 6 – Linustatin

Существуют несколько способов удаления антинутриентов из льняного семени. Двухфазная экстракция растворителем, включающая систему алканол-аммиак-воду или гексан. Данный способ экстракции позволяет избавиться от большего числа гликозидов, однако при этом снижается содержание белка, клетчатки, жира и лигнина [19].

Термическая обработка на солнце, а также пропаривание способны снизить количество антипитательных веществ до приемлемых пределов их обнаружения. Недостатком данных методов является потеря лигнанов, жирных кислот, а также высокое потребление энергии. Термическая обработка выше 120 °C неэффективна, поскольку происходит инактивации эндогенных β -глюкозидаз, которые обладают способностью разлагать цианогены, соответственно большое количество гликозидов так и остается в составе льняного семени. Альтернативный подход, предложенный в статье Yamashita T. предполагает измельчение семени, инкубирование при 30°C и оптимальном времени для полного разложения цианогенов с выделением цианистого водорода. Выделяющийся в суспензию цианистый водород затем выпаривался, мука высушивалась, при этом не было отрицательного воздействия на количества белка, жира, клетчатку и лигнин.

Биологическая обработка включает в себя использование коммерческих ферментных препаратов с линамазой, ксиланазой и целлюлазой активностями. Однако Yamashita T. с соавторами доказали в своем исследовании, что льняное семя обладает низкой субстратной специфичностью при использовании аналогичных ферментных препаратов [27]. Wu C.F. и соавторы использовали методику поверхностного отклика для оптимизации процесса. Оптимизированный ими процесс включал использование 12,5% ферментов β -глюкозидазы и 8,9% цианидгидратазы, что позволило снизить концентрацию цианида в порошке льняного семени с 1,156 до 0,015 мг через 48 часов.

Использование льняного семени и продуктов его переработки

В настоящее время льну и продуктам переработки уделяется особое внимание с точки зрения его питательной ценности. В основном оно доступно для употребления в виде масла, цельных семян, молотого и обезжиренного шрота, так называемой льняной муки [2], которые широко используются в рецептурах хлеба, снеков, батончиков и т.д. [3].

Также среди потребителей растет спрос на белки растительного происхождения, которые являются альтернативой животным протеинам. Таким образом, льняное семя и продукты его переработки приобретают все большее значение как важный компонент рациона благодаря

высокому содержанию белка, сбалансированности аминокислотного состава, липидному составу и лигнана.

Компоненты льняного семени обладают высокими функционально технологическими свойствами, такими как эмульгирующая, пенообразующая способности, вязкость. Благодаря этому свойству растительный белок, полученный из льна перспективен для использования в рецептурах майонезов, соусов длительного хранения, заменяя яичный белок. Льняная мука в рецептурах хлебобулочных изделий положительно сказывается на реологических свойствах теста [4].

Изготавливаемый альтернативный коровьему молоку льняной напиток обладает некоторыми преимуществами, а именно высоким содержанием ALA, отсутствием холестерина, лактозы, а также простотой в изготовлении и хранении [28].

Одним из положительных аспектов использования льна в рецептурах пищевых продуктов является способность пролонгации срока годности некоторых пищевых продуктов, замедление роста микроорганизмов порчи. Было обнаружено, что при добавлении данного компонента в рецептуры колбасных, хлебных и мучных кондитерских изделий не только влияет на функционально технологические свойства, но и на увеличение срока хранения в зависимости от рецептуры продукта и методов его обработки [27,29].

Заключение

Льняное семя является богатой питательными веществами и функциональными пищевыми ингредиентами культурой благодаря высокому содержанию витаминов, минералов, белков, липидов, пищевых волокон и лигнанов. Пищевое применение льняного семени будет продолжать привлекать внимание как потребителей, заботящихся о своем здоровье, так и производителей продуктов питания. В связи с этим получение высококачественных ингредиентов путем биоконверсии льняного семени или путем повышения ценности побочных продуктов является очень привлекательным. Однако для изучения всего потенциала этого субстрата необходимы дальнейшие исследования, особенно в разработке промышленно и экономически обоснованных, пищевых, экологических подходов к экстракции и очистке многих функциональных пищевых ингредиентов, получаемых из льняного семени.

В целом, льняное семя является отличным растительным сырьем для производства пищевых ингредиентов, которые отвечает потребностям потребителей 21 века с точки зрения богатства питательными веществами и биологической активностью.

Литература

- 1 Макарская Е. Ю., Кривошлыков К. М. Тенденции развития рынка масличных культур и основные меры государственной поддержки отечественной селекции в современных геополитических условиях // Масличные культуры. 2024. №. 2. С. 108-113.
- 2 Shim Y.Y., Gui B., Arnison P.G., Wang Y. et al. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: a review. Trends Food Sci Technol. 2014. № 38. P. 5–20. doi: 10.1016/j.tifs.2014.03.011
- 3 Bekhit A.E.D.A., Shavandi A., Jodjaja T., Birch J. et al. Flaxseed: Composition, detoxification, utilization, and opportunities // Biocatalysis and agricultural biotechnology. 2018. V. 13. P. 129–152.
- 4 Mueed, A., Shibli, S., Korma, S.A., Madjirebaye, P. et al. Flaxseed Bioactive Compounds: Chemical Composition, Functional Properties, Food Applications and Health Benefits-Related Gut Microbes. Foods. 2022. № 11. P. 3307. doi:10.3390/foods11203307
- 5 Sanmartin C., Taglieri I., Venturi F., Macaluso M. et al. Flaxseed cake as a tool for the improvement of nutraceutical and sensorial features of sourdough bread // Foods. 2020. V. 9. №. 2. P. 204.
- 6 Fale S.K., Das R., Umekar M.G., Alaspure R.N. et al. A comprehensive study of herbal cosmetics prepared from flaxseed // Multidiscip. Int. Res. J. Gujarat Technol. Univ. 2022. V. 4. P. 106–112.
- 7 Yang J., Wen C., Duan Yu., Deng Q. et al. The composition, extraction, analysis, bioactivities, bioavailability and applications in food system of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil: A review // Trends in Food Science & Technology. 2021. V. 118. P. 252–260.
- 8 Bhargavi G., Nageswara Rao P., Renganathan S. Review on the Extraction Methods of Crude oil from all Generation Biofuels in last few Decades. IOP conference series: materials science and engineering. IOP Publishing. 2018. V. 330. P. 012-024.
- 9 Piva G.S. Weschenfelder T.A., Franceschi E., Cansian R.L. et al. Linseed (*Linum usitatissimum*) oil extraction using different solvents // Food technology and biotechnology. 2018. V. 56. №. 3. P. 366–372.
- 10 Tripodo G., Ibáñez E., Cifuentes A., Gilbert-López B. et al. Optimization of pressurized liquid extraction by response surface methodology of Goji berry (*Lycium barbarum* L.) phenolic bioactive compounds // Electrophoresis. 2018. V. 39. №. 13. P. 1673–1682.
- 11 Suri K., Singh B., Kaur A., Yadav M.P. et al. Influence of microwave roasting on chemical composition, oxidative stability and fatty acid composition of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil // Food chemistry. 2020. V. 326. P. 126974.
- 12 Bernacchia R., Preti R., Vinci G. Chemical composition and health benefits of flaxseed // Austin J Nutri Food Sci. 2014. V. 2. №. 8. P. 1-9.
- 13 Elboutachfai R., Delattre, C., Quéro, A., Roulard, R. et al. Fractionation and structural characterization of six purified rhamnogalacturonans type I from flaxseed mucilage // Food Hydrocolloids. 2017. V. 62. P. 273–279. doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.08.005
- 14 Farrán A., Cai C., Sandoval M., Xu Y. et al. Green solvents in carbohydrate chemistry: from raw materials to fine chemicals // Chemical reviews. 2015. V. 115. №. 14. P. 6811–6853.
- 15 Савина Т. С., Скрыпник Л. Н. Оптимизация условий экстракции фенольных соединений в таволге вязолистной (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.) // ХимБиоSeasons 2022. С. 34-34.
- 16 Todd R., Baroutian S. A techno-economic comparison of subcritical water, supercritical CO₂ and organic solvent extraction of bioactives from grape marc // Journal of Cleaner Production. 2017. V. 158. P. 349–358.
- 17 Radošević K., Curko N., Srcek V.G., Bubalo M. C. et al. Natural deep eutectic solvents as beneficial extractants for enhancement of plant extracts bioactivity // Lwt. 2016. V. 73. P. 45–51.
- 18 Plaza M., Turner C. Pressurized hot water extraction of bioactives // TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2015. V. 71. P. 39–54.
- 19 Dzuvor C.K.O., Taylor J.T., Acquah C., Pan S. et al. Bioprocessing of functional ingredients from flaxseed // Molecules. 2018. V. 23. №. 10. P. 2444. doi:10.3390/molecules23102444
- 20 Kajla P., Sharma A., Sood D.R. Flaxseed – a potential functional food source // Journal of food science and technology. 2015. V. 52. P. 1857–1871.
- 21 Hernández-Ledesma B., Drummond e Silva F. G., Amigo L., Netto F.M. et al. Identification of peptides released from flaxseed (*Linum usitatissimum*) protein by Alcalase® hydrolysis: Antioxidant activity // Lebensmittel-Wissenschaft Technologie. 2017. V. 76. №. 1. P. 140-146. doi:10.1016/j.lwt.2016.10.049
- 22 Hwang C.F., Chen Y.A., Chen L., Chiang W.D. Antioxidant and antibacterial activities of peptide fractions from flaxseed protein hydrolysed by protease from *Bacillus altitudinis* HK02 // International Journal of Food Science & Technology. 2016. V. 51. №. 3. P. 681–689.
- 23 Nwachukwu I.D., Girgih, A.T., Malomo, S.A., Onuh, J.O. et al. Thermoase-derived flaxseed protein hydrolysates and membrane ultrafiltration peptide fractions have systolic blood pressure-lowering effects in spontaneously hypertensive rats // International Journal of Molecular Sciences. 2014. V. 15. №. 10. P. 18131–18147. doi: 10.3390/ijms151018131
- 24 Kaneda T., Yoshida H., Nakajima Y., Toishi M. et al. Cyclolinopeptides, cyclic peptides from flaxseed with osteoclast differentiation inhibitory activity // Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters. 2016. V. 26. №. 7. P. 1760–1761. doi:10.1016/j.bmcl.2016.02.040
- 25 Sharav O., Shim Y.Y., Okinyo-Owiti D.P., Sammynaiken R. et al. Effect of cyclolinopeptides on the oxidative stability of flaxseed oil // Journal of agricultural and food chemistry. 2014. V. 62. №. 1. P. 88–96. doi:10.1021/jf4037744
- 26 Bolarinwa I.F., Oke M. O., Olaniyan S. A., Ajala A. S. A review of cyanogenic glycosides in edible plants // Toxicology–New Aspects to This Scientific Conundrum. 2016. doi: 10.5772/64886
- 27 Huang C., Timothy J. T., Purdy S. K., Chicilo F. et al. Depletion of cyanogenic glycosides in whole flaxseed via *Lactobacillaceae* fermentation // Food Chemistry. 2023. V. 403. P. 134441.
- 28 ГОСТ Р 70650–2023 Напитки на растительной основе (из зерна, орехов, кокоса). Общие технические условия. 2023. 12 с.
- 29 Mercier S., Villeneuve S., Moresoli C., Mondor M. et al. Flaxseed- enriched cereal- based products: A review of the impact of processing conditions // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2014. V. 13. №. 4. P. 400–412.

References

- 1 Makarskaya E. Y., Krivoslykov K. M. Trends in the development of the oilseed market and key government support measures for domestic breeding under modern geopolitical conditions // *Oilseed Crops*. 2024. no. 2 (198). pp. 108–113. (in Russian).
- 2 Shim Y. Y., Gui B., Arnison P. G., Wang Y. et al. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: a review // *Trends Food Sci Technol*. 2014. Vol. 38. pp. 5–20. doi: 10.1016/j.tifs.2014.03.011
- 3 Bekhit A.E.D.A., Shavandi A., Jodjaja T., Birch J. et al. Flaxseed: Composition, detoxification, utilization, and opportunities // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2018. Vol. 13. pp. 129–152.
- 4 Mueed, A., Shibli, S., Korma, S.A., Madjirebaye, P. et al. Flaxseed Bioactive Compounds: Chemical Composition, Functional Properties, Food Applications and Health Benefits-Related Gut Microbes // *Foods*. 2022. Vol. 11. pp. 3307. doi:10.3390/foods11203307
- 5 Sanmartin C., Taglieri I., Venturi F., Macaluso M. et al. Flaxseed cake as a tool for the improvement of nutraceutical and sensorial features of sourdough bread // *Foods*. 2020. Vol. 9. no. 2. pp. 204.
- 6 Fale S.K., Das R., Umekar M.G., Alaspure R.N. et al. A comprehensive study of herbal cosmetics prepared from flaxseed // *Multidiscip. Int. Res. J. Gujarat Technol. Univ*. 2022. Vol. 4. pp. 106–112.
- 7 Yang J., Wen C., Duan Yu., Deng Q. et al. The composition, extraction, analysis, bioactivities, bioavailability and applications in food system of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil: A review // *Trends Food Sci Technol*. 2021. Vol. 118. pp. 252–260.
- 8 Bhargavi G., Nageswara Rao P., Renganathan S. Review on the Extraction Methods of Crude oil from all Generation Biofuels in last few Decades // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2018. Vol. 330. pp. 012-024.
- 9 Piva G.S. Weschenfelder T.A, Franceschi E, Cansian R.L et al. Linseed (*Linum usitatissimum*) oil extraction using different solvents // *Food Technol. Biotechnol*. 2018. Vol. 56. no. 3. pp. 366–372.
- 10 Tripodo G., Ibáñez E., Cifuentes A., Gilbert-López B. et al. Optimization of pressurized liquid extraction by response surface methodology of Goji berry (*Lycium barbarum* L.) phenolic bioactive compounds // *Electrophoresis*. 2018. Vol. 39. no. 13. pp. 1673–1682.
- 11 Suri K., Singh B., Kaur A., Yadav M.P. et al. Influence of microwave roasting on chemical composition, oxidative stability and fatty acid composition of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil // *Food Chem*. 2020. Vol. 326. pp. 126974.
- 12 Bernacchia R., Preti R., Vinci G. Chemical composition and health benefits of flaxseed // *Austin J. Nutr. Food Sci.* – 2014. Vol. 2. no. 8. pp. 1045.
- 13 Elboutachfai R., Delattre, C., Quéro, A., Roulard, R. et al. Fractionation and structural characterization of six purified rhamnogalacturonans type I from flaxseed mucilage // *Food Hydrocolloids*. 2017. Vol. 62. pp. 273–279. doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.08.005
- 14 Farrán A., Cai C., Sandoval M., Xu Y. et al. Green solvents in carbohydrate chemistry: from raw materials to fine chemicals // *Chem. Rev*. 2015. Vol. 115. no. 14. pp. 6811–6853.
- 15 Savina T. S., Skrypnik L. N. Optimization of the extraction conditions of phenolic compounds in meadowsweet (*filipendula ulmaria* (L.) maxim.) // *Chembioses*. 2022. pp. 34-34. (in Russian).
- 16 Todd R., Baroutian S. A techno-economic comparison of subcritical water, supercritical CO₂ and organic solvent extraction of bioactives from grape marc // *J. Cleaner Prod*. 2017. Vol. 158. pp. 349–358.
- 17 Radošević K., Curko N., Srcek V.G., Bubalo M. C. et al. Natural deep eutectic solvents as beneficial extractants for enhancement of plant extracts bioactivity // *LWT*. 2016. Vol. 73. pp. 45–51.
- 18 Plaza M., Turner C. Pressurized hot water extraction of bioactives // *Trends Anal. Chem*. 2015. Vol. 71. pp. 39–54.
- 19 Dzuvor C.K.O., Taylor J.T., Acquah C., Pan S. et al. Bioprocessing of functional ingredients from flaxseed // *Molecules*. 2018. Vol. 23. no. 10. pp. 2444. doi:10.3390/molecules23102444
- 20 Kajla P., Sharma A., Sood D. R. Flaxseed – a potential functional food source // *J. Food Sci. Technol*. 2015. Vol. 52. pp. 1857–1871.
- 21 Hernández-Ledesma B., Drummond e Silva F. G., Amigo L., Netto F.M. et al. Identification of peptides released from flaxseed (*Linum usitatissimum*) protein by Alcalase® hydrolysis: Antioxidant activity // *Lebensmittel-Wissenschaft Technologie*. 2017. Vol. 76. no. 1. pp. 140-146. doi:10.1016/j.lwt.2016.10.049
- 22 Hwang C.F., Chen Y.A., Chen L., Chiang W.D. Antioxidant and antibacterial activities of peptide fractions from flaxseed protein hydrolysed by protease from *Bacillus altitudinis* HK02 // *Int. J. Food Sci. Technol*. 2016. Vol. 51. no. 3. pp. 681–689.
- 23 Nwachukwu I.D. Girgih, A.T., Malomo, S.A., Onuh, J.O. et al. Thermoase-derived flaxseed protein hydrolysates and membrane ultrafiltration peptide fractions have systolic blood pressure-lowering effects in spontaneously hypertensive rats // *Int. J. Mol. Sci*. 2014. Vol. 15. no. 10. pp. 18131–18147. doi: 10.3390/ijms151018131
- 24 Kaneda T., Yoshida H., Nakajima Y., Toishi M. et al. Cyclolinopeptides, cyclic peptides from flaxseed with osteoclast differentiation inhibitory activity // *Bioorg. Med. Chem. Lett*. 2016. Vol. 26. no. 7. pp. 1760–1761. doi:10.1016/j.bmcl.2016.02.040
- 25 Sharav O., Shim Y.Y., Okinyo-Owiti D.P., Sammynaiken R. et al. Effect of cyclolinopeptides on the oxidative stability of flaxseed oil // *J. Agric. Food Chem*. 2014. Vol. 62. no. 1. pp. 88–96. doi:10.1021/jf4037744
- 26 Bolarinwa I.F., Oke M. O., Olaniyan S. A., Ajala A. S. A review of cyanogenic glycosides in edible plants // *Toxicology – New Aspects to This Scientific Conundrum*. 2016. doi:10.5772/64886
- 27 Huang C., Timothy J. T., Purdy S. K., Chicilo F. et al. Depletion of cyanogenic glycosides in whole flaxseed via *Lactobacillaceae* fermentation // *Food Chemistry*. 2023. Vol. 403. pp. 134441.
- 28 State Standart R 70650–2023 Drinks based on plant materials (grain, nuts, coconut). General technical specifications. 12 p. (in Russian).
- 29 Mercier S., Villeneuve S., Moresoli C., Mondor M. et al. Flaxseed- enriched cereal- based products: A review of the impact of processing conditions // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf*. 2014. Vol. 13. no. 4. pp. 400–412.

Сведения об авторах

Айслу А. Мижева аспирант, кафедра биотехнологии и биоорганического синтеза, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, mizheva.aislu@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0847-0819>

Иван А. Фоменко к.т.н., доцент, кафедра биотехнологии и биоорганического синтеза, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, fomenkoia@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2478-1705>

Александра И. Карачун студент, кафедра биотехнологии и биоорганического синтеза, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, alexandra155@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0001-2137-762X>

Вероника В. Краснова студент, кафедра биотехнологии и биоорганического синтеза, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, krasnovvamoonnica@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0004-1499-4429>

Вклад авторов

Айслу А. Мижева написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Иван А. Фоменко консультация в ходе написания работы

Александра И. Карачун поиск и подбор литературных источников по исследуемой теме

Вероника В. Краснова поиск и подбор литературных источников по исследуемой теме

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Aislu A. Mizheva graduate student, Department of biotechnology and bioorganic synthesis, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125080, Russia, mizheva.aislu@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0847-0819>

Ivan A. Fomenko candidate of technical sciences, docent, Department of biotechnology and bioorganic synthesis, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125080, Russia, fomenkoia@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2478-1705>

Aleksandra I. Karachun student, Department of biotechnology and bioorganic synthesis, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125080, Russia, alexandra155@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0001-2137-762X>

Veronika V. Krasnova student, Department of biotechnology and bioorganic synthesis, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125080, Russia, krasnovvamoonnica@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0004-1499-4429>

Contribution

Aislu A. Mizheva wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Ivan A. Fomenko consultation during the study

Aleksandra I. Karachun search and selection of literary sources on the topic under study

Veronika V. Krasnova search and selection of literary sources on the topic under study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/10/2024	После редакции 12/11/2024	Принята в печать 25/11/2024
Received 21/10/2024	Accepted in revised 12/11/2024	Accepted 25/11/2024