

УДК 633.521

Гидроколлоиды семян льна: характеристика и перспективы использования в пищевых технологиях

Канд. техн. наук, **И.Э. Миневич**, irina_minevich@mail.ru

Л.Л. Осипова, l.osipova@vniiml.ru

Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства

170041, Россия, Тверь, Комсомольский пр., 17/56

Рассмотрены химический состав, получение, функциональные свойства гидроколлоидов семян льна с целью расширения ассортимента отечественных ингредиентов класса гидроколлоидов. Из-за недостаточной информации об их функциональных свойствах, взаимодействии с пищевыми ингредиентами в качестве монокомпонента, гидроколлоиды семян льна используются довольно редко. Данный обзор предвещает серию статей по определению функционально-технологических свойств полисахаридов семян льна отечественной селекции и их поведения в пищевых системах. В сравнении с другими, родственными по тематике статьями, в обзоре наряду с краткой характеристикой промышленных гидроколлоидов проведен анализ опубликованных исследований по получению и свойствам гидроколлоидов семян льна, что и составляет новизну работы. Рассмотрен состав моноз полисахаридов льняных слизей, влияние различных факторов на эффективность их выделения. По функциональным свойствам (растворимость, пеноустойчивость, вязкость, эмульгирующая и стабилизирующая способность) гидроколлоиды семян льна можно использовать в качестве загустителя, стабилизатора и влагоудерживающего агента в пищевых технологиях. Они относятся к полисахаридам, свойства которых (особенно реологические) определяются сортовым разнообразием. Большинство опубликованных данных основано на исследованиях полисахаридов, выделенных из семян льна сортов зарубежной селекции, поэтому необходим анализ физико-химических, реологических и функциональных характеристик полисахаридного комплекса из семян льна отечественных сортов и их монокомпонентов. Определение взаимосвязи между реологическими характеристиками и функциональными свойствами гидроколлоидов семян льна позволит создать конкурентоспособный пищевой ингредиент с высокими функционально-технологическими характеристиками.

Ключевые слова: гидроколлоиды; полисахариды; фракционный состав; функциональные свойства; влагоудерживающий агент; семена льна; пищевой ингредиент.

DOI: 10.17586/2310-1164-2017-10-3-16-25

Flax seed hydrocolloids: their characteristics and prospects of use in food technology

Ph.D. **Irina E. Minevich**, irina_minevich@mail.ru

Lydia L. Osipova, l.osipova@vniiml.ru

The All-Russian Research Institute for Mechanization of Flax Production

17/56, Komsomol'skij ave., Tver, 170041, Russia

The article deals with chemical composition, production, and functional properties of flax seed hydrocolloids from in order to expand the assortment of domestic ingredients of the hydrocolloid class. Flax seed hydrocolloids are used quite rarely as a monocomponent because of insufficient information about their functional properties and their interaction with food ingredients. This work precedes the series of articles about the determination of functional and technological properties of polysaccharides in flax seeds of domestic selection and their behavior in food systems. In comparison with other related articles an analysis of published studies on the production and properties of flax seed hydrocolloids was carried out, along with a brief description of industrial hydrocolloids, which is the novelty of the work. The composition of flax seed mucilage monosaccharides and the influence of various factors on the efficiency of its isolation are analyzed. According to their functional properties (solubility, foam resistance, viscosity, emulsifying and stabilizing ability) flax seed hydrocolloids can be used as a thickener, stabilizer, and water-retaining agent in food technologies. The hydrocolloids belong to polysaccharides whose properties (especially rheological) are determined by variety diversity. Most of the published data are based on the study of flax seed polysaccharides of foreign selection flax varieties. Therefore, it is necessary to study the physico-chemical, rheological, and functional characteristics of a flax seed polysaccharide complex

of domestic flax varieties and their monocomponents. Determination of the relationship between the rheological characteristics and functional properties of flax seed hydrocolloids allow to create a competitive food ingredient of high functional and technological characteristics.

Keywords: hydrocolloids; polysaccharides; fractional composition; functional properties; water-retaining agent; flax seeds; food ingredient.

Введение

В настоящее время одной из основных тенденций развития пищевой промышленности является повышение требований к качеству продуктов. Наряду с высокой пищевой ценностью продукты должны соответствовать уровню потребительских ожиданий: высокие органолептические, физико-химические показатели, длительность хранения и функциональная направленность.

Растущий спрос на разнообразные функциональные продукты здорового питания стимулирует производство и использование натуральных ингредиентов растительного происхождения. По данным исследовательской компании Leatherhead Food Research [1], среди пищевых ингредиентов наибольший объем потребления приходится на ароматизаторы, гидроколлоиды и ферменты (рисунок 1).



Рисунок 1 – Структура потребления по видам пищевых ингредиентов (в натуральном выражении), %

Наиболее интенсивно развивается мировое производство гидроколлоидов: комплексный коэффициент ежегодного роста к 2018 году составит 5% и достигнет \$7 млрд [1].

Не менее активно расширяются сферы применения гидроколлоидов и в России. Это, прежде всего, мясоперерабатывающая отрасль, напитки, кисломолочные продукты. Возросло использование гидроколлоидов-стабилизаторов в производстве выпечных и кондитерских, хлебобулочных изделий, десертов, мороженого, молочных продуктов.

Бурный рост производства и потребления гидроколлоидов в пищевых технологиях объясняется их функционально-технологическими свойствами, которые обеспечивают требуемое современным рынком качество продуктов. Сегодня все большей популярностью пользуются натуральные продукты, низкокалорийные, так называемые «легкие», узкоспециализированные – вегетарианские, безглютеновые, с повышенной пищевой ценностью, продукты-энергетики, продукты, полезные для здоровья [1]. Именно гидроколлоиды в большой степени обеспечивают формирование заданной консистенции или текстуры пищевого продукта. Они характеризуются высокими структурообразующими, влагоудерживающими, стабилизирующими свойствами. Их многофункциональность позволяет регулировать реологические свойства и структуру готового продукта: от текучей, пастообразной до сильно желированной, эластичной.

Существует несколько классификаций гидроколлоидов: по происхождению, функциональным свойствам, растворимости и пр. Классификация по происхождению позволяет наиболее полно представить разнообразие веществ, объединенных в группу гидроколлоидов (рисунок 2). На схеме

представлены основные гидроколлоиды, которые производятся в промышленных масштабах и широко используются в пищевых технологиях.

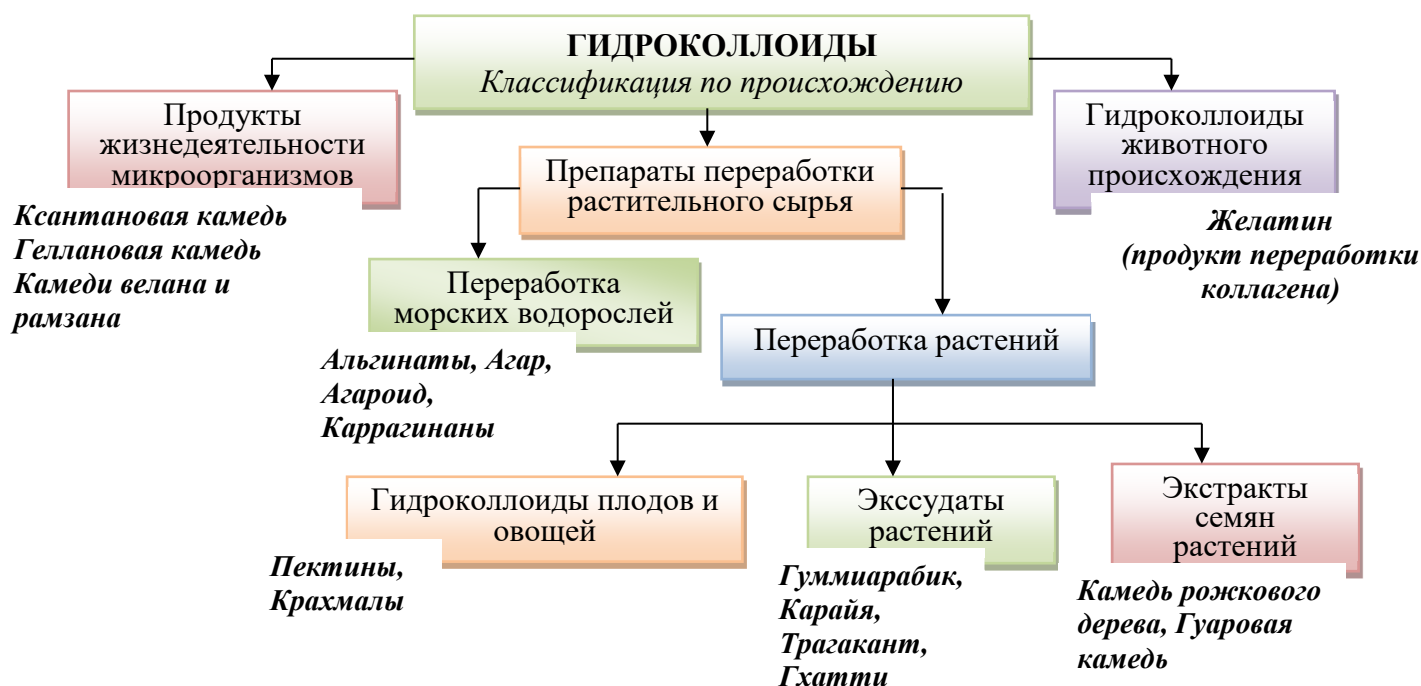


Рисунок 2 – Классификация гидроколлоидов по происхождению

Исходя из классификации, большую группу гидроколлоидов представляют продукты переработки растительного сырья – растворимые в воде или набухающие в ней полимеры, относящиеся к классу полисахаридов, состоящие из ряда моносахаридов – глюкозы, галактозы, арабинозы, маннозы, рамнозы, глюкуроновых кислот. В зависимости от происхождения их условно разделяют на 3 группы [2]:

- экссудаты (смолы, выделяемые растениями);
- гидроколлоиды различных семян (из экстрактов семян);
- гидроколлоиды плодов и овощей: производные, получаемые модификацией полисахаридов природного происхождения (например, клетчатки, крахмала).

Гидроколлоиды используются в качестве загустителей, гелеобразователей или стабилизаторов пищевых систем.

Следует отметить, что в России в области производства пищевых ингредиентов и, в частности, гидроколлоидов преобладают импортные закупки. Российские производители в большинстве случаев используют зарубежные монокомпоненты [3].

Развитие собственной индустрии пищевых ингредиентов, и в связи с этим глубокая переработка отечественного сырья является актуальной задачей, решение которой будет способствовать продовольственной безопасности страны.

С целью расширения ассортимента отечественных ингредиентов класса гидроколлоидов рассмотрены химический состав, получение, функциональные свойства гидроколлоидов семян льна.

Гидроколлоиды семян льна: характеристика

Перспективным отечественным источником пищевых ингредиентов, в том числе и гидроколлоидов, являются семена льна [4]. Гидроколлоиды семян льна представляют собой полисахариды, сосредоточенные в льняной слизи, которая покрывает семена льна и придает им блеск. Качественный и количественный состав полисахаридов слизей зависит от сортовых особенностей и климатических условий [5]. В состав моносахаридов полисахаридов входят ксилоза, глюкоза, галактоза, рамноза, фукоза и галактуроновая кислота [6]. Количественное их соотношение может варьировать в зависимости от сорта, условий выращивания [6, 7]. Установлено, что полисахариды льняных слизей содержат две фракции:

нейтральную и кислую [7, 8]. На диаграмме (рисунок 3) представлено общее содержание моноз полисахаридов и фракций: нейтральной и кислой.

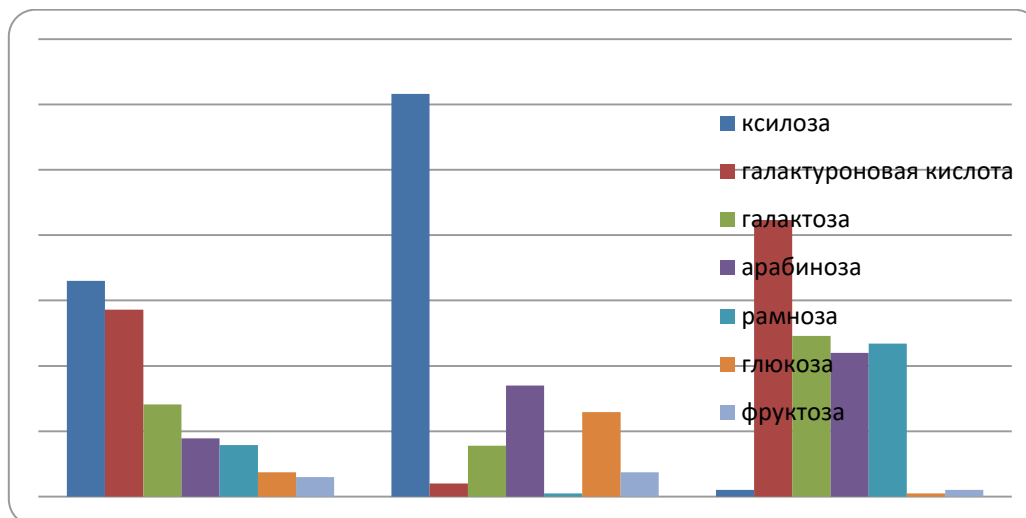


Рисунок 3 – Состав полисахаридов слизи семян льна, в % (Warrand, J. , 2003)

Нейтральная фракция практически не содержит, галактуроновую кислоту, ксилоза – основа этой фракции. В кислой фракции преобладает галактуроновая кислота и обнаружены следы ксилозы. Относительное содержание нейтральной фракции в составе полисахаридов слизи по определению авторов [9] составляло 75%. По данным авторов [10], нейтральная фракция составляла около 32% от экстрагированной слизи. Такая вариабельность объясняется и сортовыми различиями и условиями выделения полисахаридного комплекса льняной слизи: температурой, ионной силой, pH растворов, продолжительности экстракции.

В составе полисахаридов льняной слизи содержатся три высокомолекулярных полисахарида [11]:

- 75,00% (от общего содержания слизей) наиболее вязкого нейтрального полисахарида с молярной массой $1,2 \times 10^6$ г/моль;
- 3,75% кислого полисахарида AF₁ с молярной массой $6,5 \cdot 10^5$;
- 21,55% кислого полисахарида AF₂ с молярной массой $1,7 \cdot 10^4$.

Нейтральная фракция содержит только один полимер с высоким молекулярным весом и около 2% уроновой кислоты. Кислая фракция состоит в основном из полимеров с различной молекулярной массой, ассоциированных с белком не ковалентными связями [7].

Большое значение для свойств гидроколлоидов семян льна имеет содержание в них протеина. В зависимости от условий выделения количество белка может варьироваться в интервале 5–60% [12]. При этом в работе [7] показано, что нейтральная фракция не содержала белка, он находился в ассоциатах с полимерами кислой фракции.

Свойства гидроколлоидов семян льна, представляющих собой полисахаридный комплекс льняной слизи – реологическое поведение в растворах, функциональные свойства, в большой степени определяются именно соотношением нейтральной и кислой фракции, а также величиной содержания белка.

Получение гидроколлоидов семян льна

Все способы выделения полисахаридов из семян льна основаны на процессах экстракции водой или растворами солей. При этом экстракцию проводят либо из неразрушенных семян льна, либо непосредственно из отделенной от ядра оболочки. Полисахаридный продукт выделяют из экстрактов, в основном, осаждением спиртом (этиловым или изопропиловым) [13], затем их сушат лиофильной либо распылительной сушкой.

На эффективность экстракции влияют следующие факторы: соотношение сырья и растворителя (гидромодуль), температура и время проведения экстракционного процесса.

При подборе рационального гидромодуля следует учитывать, что увеличение массовой доли экстрагента ведет, с одной стороны, к повышению движущей силы, а с другой – к понижению концентрации экстрагируемых веществ и увеличению стоимости целевого продукта, так как, например, потребуется больший объем осаждающего агента или более длительный процесс их концентрирования. При этом уменьшение массы экстрагента приводит к увеличению вязкости раствора, что также приводит к увеличению затрачиваемой мощности.

Оптимальным и экономичным гидромодулем для проведения процесса в промышленном масштабе, как определили авторы [14], является гидромодуль в интервале 18–20, аналогично этому показателю при выделении белка.

Использование растворов солей для экстракции полисахаридов из семян льна (1%-й раствор NaCl) облегчает ход процесса. Так, вязкость экстрактов снижается почти в три раза, увеличивается выход конечного продукта. Однако при этом в продукте снижается углеводная часть и повышается содержание белка и зольных элементов [15].

Экстракция при 20°C (фактически настаивание при комнатной температуре) требует длительного времени от 10 часов до нескольких суток [16]. Снизить продолжительность процесса до 15–20 минут позволяет использование, например, низкочастотного ультразвука [17].

Экстракция полисахаридов слизей при высоких температурах, например, 100°C, способствует денатурации белка в семенах льна. Так, при дальнейшей переработке уже бесслизевых семян льна с целью выделения из них белка, выход целевого продукта снижался практически в два раза, на 50,6% [18, 19]. Высокая температура экстракции способствует увеличению содержания белка и потемнению продукта, что в свою очередь может влиять на свойства полисахаридов [20]. Поэтому экстракцию полисахаридов из семян льна или предварительно отделенной от них оболочки обычно проводят при температурах не выше 90°C.

Водная экстракция полисахаридов сопровождается переходом в раствор водорастворимых белков: альбуминов и глобулинов. Особенно актуально это для семян льна, так как их белковый комплекс содержит большое количество водорастворимых протеинов [19]. Белки, содержащиеся в полисахаридном комплексе, могут оказывать влияние на его физические, химические и технологические свойства. Авторы [12] показали, что оптимальными функциональными свойствами обладали гидроколлоиды семян льна с содержанием белка 8,5%.

С целью снижения содержания белка в полисахаридных комплексах используют обработку экстрактов протеолитическими ферментами, которая способствует протеканию частичного гидролиза белков. Дальнейшее осаждение полисахаридов органическими растворителями позволяет получать полисахаридные продукты с минимальным содержанием белка [21].

Анализ исследовательских работ показал, что с целью снижения затрат и повышения рентабельности лучше извлекать полисахариды слизи из отделенной от ядра оболочки, а не из целого семени льна.

Оболочка семени является более концентрированным источником полисахаридов по сравнению с целым семенем. Так, при содержании оболочки в семени 15–20% и количестве слизей в семени в среднем 7% путем несложных расчетов можно определить, что в оболочке должно содержаться приблизительно 35% водорастворимых полисахаридов слизи. При обрушивании семян льна оболочка отделяется от ядра вместе с эндоспермом, содержание которого в семени составляет 11–13%. С учетом эндосперма в таком сырье должно содержаться не менее 20% полисахаридных слизей, что не снижает его ценности для получения полисахаридов.

Экстракция льняной слизи из отделенной оболочки проводится при меньшем гидромодуле 11–13. Температура и время экстракции варьируются исследователями, в зависимости от поставленных целей [7].

Реологические и функциональные свойства гидроколлоидов семян льна

Полисахариды семян льна характеризуются относительно низкой вязкостью. Так, при концентрации 0,3% вязкость льняной слизи составляет половину вязкости гуаровой камеди и камеди рожкового дерева [22]. Ряд авторов [22, 23] показали, что полисахариды льняной слизи и ее нейтральная фракция демонстрировали псевдопластичное поведение при концентрациях выше 0,5 и 1,0%,

соответственно; в то время как растворы кислой фракции соответствовали Ньютонскому типу при всех исследованных концентрациях. Максимальную вязкость они показывают в интервале pH 6–8.

Вязкость водных растворов полисахаридов семян льна определяется концентрацией, pH, ионной силой и температурой [24]. При изменении ионной силы раствора в присутствии электролитов, то есть в солевых растворах, их вязкость снижается по сравнению с водными [25, 26].

Реологические характеристики свидетельствуют не только о величине молекулярного веса, но и конформации полимеров. Считается, что полисахариды семян льна относятся к промежуточным, между гибкими и полугибкими, полимерам. Значения константы Хаггинса (K_x) для льняных слизей и их фракций характерны для гибких макромолекул [7]. Реологические показатели полисахаридов льняной слизи являются результатом синергетического взаимодействия нейтральной и кислой фракций.

Функциональные свойства полисахаридных продуктов из льняной слизи зависят от способа сушки продукта после экстракции. При получении полисахаридного продукта из семян льна в работе [27] были использованы лиофильная сушка, распылительная сушка, сушка при 80°C, сушка при 105°C и переосаждение в этиловом спирте. Наибольшей вязкостью, как было показано, обладал продукт после высаживания в этиловом спирте. Продукт после распылительной сушки имел наиболее светлый цвет. Продукт высушенный при 105°C характеризовался лучшей пенообразующей способностью; при 80°C – высокой прочностью геля.

Для полисахаридов семян льна характерна высокая водоудерживающая способность, которая сравнима с аналогичным показателем гуаровой камеди [12, 28].

Авторы [29] на основе изучения таких свойств гидроколлоидов семян льна, как растворимость, пеноустойчивость, вязкость считают, что их можно использовать в качестве аналога гуммиарабика в пищевых технологиях.

Следует отметить, что благодаря наличию слизеподобных полисахаридов (гидроколлоидов) в семенах льна и льняной муке, их добавки оказывают положительное влияние на качество хлебобулочных и мучных кондитерских изделий; они приобретают все большую популярность в хлебопечении [30–32].

Гидроколлоиды семян льна обладают хорошими вязкими, эмульгирующими и стабилизирующими свойствами. Подобно камедям, полисахариды льняной слизи могут быть использованы в качестве загустителя, стабилизатора и влагоудерживающего агента. Это представляет интерес для создания мучных кондитерских изделий специализированного назначения. Они дают возможность создать заданные реологические свойства, например для бисквитного теста [33].

Тем не менее, в качестве монокомпонента гидроколлоиды семян льна используются довольно редко из-за недостаточной информации об их функциональных свойствах, взаимодействии с пищевыми ингредиентами.

Перспективы использования гидроколлоидов семян льна в пищевых технологиях

Гидроколлоиды семян льна, как коммерческий продукт, в России не вырабатывается. Авторами [34] предложена технология получения полисахаридного комплекса из семян льна «Гидроколлоиды семян льна». Возможность внедрения данной технологии основана на доступности сырья (семена льна отечественных сортов), простоте выделения целевых веществ из семян льна (водная экстракция) и имеющихся предварительных научных исследованиях. Показатели продукта представлены в таблице.

Таблица - Характеристика полисахаридного комплекса из семян льна

Показатель	Продукт
выход ПС комплекса, % от массы сырья	10,7–12,0
влага, % от массы ПС комплекса	5,0–6,0
белок, % от массы ПС комплекса	5,5–7,0
жир, % от массы ПС комплекса	0,5–1,5
углеводы, % от массы ПС комплекса	69,0–73,5
зольность, % от массы ПС комплекса	6,0–8,0

К питательным, технологическим и функциональным свойствам полисахаридного комплекса из семян льна можно отнести следующие:

- ✓ натуральное растворимое волокно;
- ✓ сильный пребиотик;
- ✓ не токсичен;
- ✓ имеет низкий уровень калорийности;
- ✓ имеет высокую устойчивость к термической обработке, кислой среде и дрожжевому брожению, проявляет стабильность во время всего технологического процесса;
- ✓ улучшает текстуру продуктов из злаковых, хлебобулочных изделий и др.;
- ✓ благодаря влагоудерживающей способности препятствует потере влаги;
- ✓ улучшает органолептические показатели;
- ✓ обладает связующими свойствами;
- ✓ не имеет запаха, вкуса и цвета.

Гидроколлоиды семян льна относятся к растворимым пищевым волокнам, медико-биологическая роль которых хорошо известна. Они способствуют снижению гликемического индекса, содержания холестерина в крови, показано их положительное влияние при профилактике диабета и снижении риска коронарной недостаточности [35].

Глубокие исследования физико-химических, реологических и функциональных характеристик полисахаридного комплекса из семян льна отечественных сортов, определение взаимосвязи между реологическими характеристиками и функциональными свойствами позволит создать конкурентоспособный пищевой ингредиент с высокими функционально-технологическими характеристиками.

Заключение

Анализ опубликованных данных по исследованию гидроколлоидов семян льна показал, что по своим функционально-технологическим свойствам они могут использоваться в пищевых технологиях в качестве загустителя, стабилизатора и влагоудерживающего агента. Гидроколлоиды семян льна относятся к пищевым волокнам, которые являются физиологически необходимым компонентом пищи, что позволяет их рассматривать не только как технологическую добавку, но и биологически ценный ингредиент.

Гидроколлоиды семян льна относятся к полисахаридам, свойства которых (особенно реологические) определяются сортовым разнообразием. Большинство опубликованных данных основано на исследовании полисахаридов, выделенных из семян льна сортов зарубежной селекции. В настоящее время недостаточно данных для осуществления и организации глубокой промышленной переработки биологически ценного льняного сырья и получения функциональных монокомпонентов для использования в пищевых технологиях, поэтому необходимы глубокие исследования отечественных сортов семян льна и их монокомпонентов.

Представленный обзор является составной частью научно-исследовательской работы ВНИИ механизации льноводства по разделу «Исследование функционально-технологических свойств полисахаридов семян льна».

Эта работа предваряет серию статей по определению функционально-технологических свойств полисахаридов семян льна отечественной селекции и их поведения в пищевых системах, в частности, исследование влияния гидроколлоидов семян льна на качество мучных кондитерских изделий.

Литература

1. *Петьши Я.* Обзор российского рынка ингредиентов [Электронный ресурс] // Российский продовольственный рынок. 2014. № 2. URL: <http://www.foodmarket.spb.ru/current.php?article=1948> (дата обращения 14.07.2017).
2. *Малютенкова С.* Товароведение и экспертиза кондитерских товаров. СПб.: Питер, 2004. 480с.
3. *Семенова П., Аракчеев В.* Рынок пищевых ингредиентов: цифры и факты [Электронный ресурс] // Бизнес пищевых ингредиентов *on line*. 2017. URL: <http://www.bfi-online.ru/index.html?kk=337a80e57a&mmsg=5587> (дата обращения 15.07.2017).
4. *Цыганова Т.Б., Миневич И.Э., Зубцов В.А., Осипова Л.Л.* Перспективы глубокой переработки семян льна // Хлебопечение России. 2016. № 4. С. 12–15.

5. Ущиповский И.В., Ожимкова Е.В., Сульман Э.М., Мартыросова Е.И., Плащина И.Г. Генетическое разнообразие льна (*Linum usitatissimum* L.) по гликано-протеиновому составу слизи семян // Российская сельскохозяйственная наука. 2015. № 4. С. 14–17.
6. Cui W., Mazza G. Physicochemical characteristics of flaxseed gum. *Food Research Int.* 1996, no. 29, pp. 397–402.
7. Qian K-Y. Structure-Function Relationship of Flaxseed Gum from Flaxseed Hulls. *Ph.D. Thesis*. The University of Guelph, Ontario, Canada. 2014. 107 p.
8. Warrand J., Michaud P., Miller G., Courtois D., Ralainirina R. Large-scale purification of water-soluble polysaccharides from flaxseed mucilage, and isolation of new anionic polymer. *Chromatographia*. 2003, V. 58, no. 5–6, pp.331–335.
9. Kelvin K.T., Goh D.N., Christopher E.H. Rheological and light scattering properties of flaxseed polysaccharide aqueous solutions. *Biomacromolecules*. 2006, no. 7, pp. 3098–3103.
10. Cui W., Kenaschuk E., Mazza G. Flaxseed gum: Genotype, chemical structure and rheological properties. *Proceedings of the 55th flax institute of United States*. 1994, pp.166–177.
11. Warrand J., Michaud P., Picton L., Muller G., etc. Structural investigation of neutral polysaccharide of *Linum usitatissimum* L. seed. *Jnt. J. of Biological Macromolecules*. 2005, V. 35, no. 3–4, pp.121–125.
12. 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, no. 6, pp. 260–278.
13. Цыганова Т.Б., Миневич И.Э., Зубцов В.А., Осипова Л.Л. Пищевая ценность семян льна и перспективные направления их переработки: монография. Калуга: Эйдос. 2010. 124 с.
14. Миневич И.Э., Осипова Л.Л., Зубцов В.А. Исследование процесса экстракции полисахаридов и белка из льняного жмыха // Основные результаты и направления развития научных исследований по льну-долгунцу: сб. науч. тр. Торжок. 2010. С. 406–410.
15. Оленников Д.Н., Танхаева Л.М. Исследование процесса экстракции полисахаридов семян льна // Химия растительного сырья. 2007. №4. С. 79–83.
16. Shripad S., Shirke etc. Isolation of mucilage from flaxseeds and its use as a binder in manufacturing of tablet. *Int. J. of Pharmaceutical Research and Development (IJPRD)*. 2012, V. 4 (409), pp. 64–69.
17. Ожимкова Е.В., Сидоров А.И., Плащина И.Г., Мартыросова Е.И., Ущиповский И.В., Даниленко А.Н. Низкочастотная ультразвуковая экстракция гликанов из *Linum usitatissimum* // Тонкие химические технологии. 2009. Т. 4. № 3. С. 70–74.
18. O'Mullane J.E., Hayter J.P. *Linseed mucilage*. Int. Pat. PCT/GB93/00343. 1993.
19. Миневич И.Э. Разработка технологических решений переработки семян льна для создания функциональных пищевых продуктов: дис. ... канд. техн. наук. Москва. 2009. 176 с.
20. Fedeniuk R., Biliaderis C. Composition and Physicochemical Properties of Linseed (*Linum usitatissimum* L.) Mucilage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1994, V. 42(2), pp. 240–247.
21. Chang P.R., Anderson D.R., McIntosh T.C., Westcott N.D. *Process for producing polysaccharide gum*. Patent 7910339 US. 2011.
22. Mazza G., Biliaderis C. G. Functional properties of flax seed mucilage. *Journal of Food Scienc.* 1989, no. 54(5), pp. 1302–1305.
23. Cui W., Mazza G., Biliaderis C. G. Chemical structure, molecular size distributions, and rheological properties of flaxseed gum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1994, no. 42(9), pp. 1891–1895.
24. Chen H.-H., Xu S.-Y., Wang Z. Gelation Properties of Flaxseed Gum. *Journal of Food Engineering*. 2006, V. 77(2), pp. 295–303.
25. Kuhn K.R., Cavallieri A.L.F., Lopes da Cunha R. Rheological properties of flaxseed gum solutions with NaCl or CaCl₂ addition. *Proceedings of the 11th Int. Congress on Engineering and Food "Food Process Engineering in a Changing World"*. 2011. URL: <http://www.icef11.org/content/papers/epf/EPF460.pdf> (Accessed 07.06.2016).
26. Миневич И.Э., Осипова И.Э., Зубцов В.А. Реологические свойства растворов полисахаридов семян льна // Пищевая промышленность. 2017. № 5. С. 38–40.
27. Wang Y., Li D., Wang L.J., Li S.J., Adhikari B. Effects of drying methods on functional properties of flaxseed gum powders. *Carbohydrate Polymers*. 2010, no. 81, pp. 128–133.
28. Sun J., Li X., Xu X., Zhou G. Influence of Various Levels of Flaxseed Gum Addition on the Water-Holding Capacities of Heat-Induced Porcine Myofibrillar Protein. *Journal of Food Science*. 2011, V. 76, Is. 3, pp. 472–478.
29. Barbary O.M., Al-Sohaimy S.A., El-Saadani M.A. Extraction, composition and physicochemical properties of flaxseed mucilage. *J.Adv.Agric.Res.* 2009, V. 14(3), pp. 605–621.
30. Миневич И., Зубцов В., Цыганова Т. Использование семян льна в хлебопечении // Хлебопродукты. 2010. №3. С. 38–40.
31. Бойцова Т.М., Назарова О.М. Настой семени льна в технологии производства ржано-пшеничного хлеба // Хлебопечение России. 2015. № 3. С. 24–26.

32. Захарова А.С., Конева С.И. Актуальность использования льняной муки и смеси круп при производстве хлебобулочных изделий // Ползуновский вестник. 2016. №3. С. 31–34.
33. Киреева М.С. Функционально-технологические свойства семян льна и разработка технологии мучных кондитерских изделий специализированного назначения на их основе: дис. ... канд. техн. наук. СПб. 2014. 113 с.
34. Миневиц И.Э., Осипова Л.Л., Зубцов В.А. Исследование процесса экстракции полисахаридов из семян льна для использования в промышленном производстве // Инновационные разработки производства и переработки лубяных культур: сб. науч. тр. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2016. С. 296–300.
35. Gutte K.B., Sahoo A.K., Ranveer R.C. Bioactive components of flaxseed and its health benefits. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.* 2015, V. 31(1), pp. 42–51.

References

1. Petysh Ya. Obzor rossiiskogo rynka ingredientov [Overview of the Russian Ingredients Market]. *Russian Food Market Magazine*. 2014, no. 2. URL: <http://www.foodmarket.spb.ru/current.php?article=1948> (accessed 14.07.2017).
2. Mal'yutenkova S. *Tovarovedenie i ekspertiza konditerskikh tovarov*. [Commodity and examination of confectionery products]. St. Petersburg, Piter Publ., 2004, 480 p.
3. Semenova P., Arakcheev V. Rynok pishchevykh ingredientov: tsifry i fakty [Food Ingredients Market: Figures and Facts]. *Business of food ingredients*. 2017. URL: <http://www.bfi-online.ru> (accessed 15.07.2017).
4. Tsyganova T.B., Minevich I.E., Zubtsov V.A., Osipova L.L. Perspektivy glubokoi pererabotki semyan l'na [The possibility of the deep conversion of the flax seeds]. *Baking in Russia*. 2016, no. 4, pp. 12–15.
5. Ushchapovskii I.V., Ozhimkova E.V., Sul'man E.M., Martirosova E.I., Plashchina I.G. Geneticheskoe raznoobrazie l'na (*Linum usitatissimum* L.) po glikano-proteinovomu sostavu slizi semyan [Genetic diversity of flax (*Linum usitatissimum* L.) by the glycan-protein composition of seed mucilage]. *Russian Agricultural Science*. 2015, no. 4, pp. 14–17.
6. Cui W., Mazza G. Physicochemical characteristics of flaxseed gum. *Food Research Int.* 1996, no. 29, pp. 397–402.
7. Qian K-Y. Structure-Function Relationship of Flaxseed Gum from Flaxseed Hulls. *Ph.D. Thesis*. The University of Guelph, Ontario, Canada. 2014. 107 p.
8. Warrand J., Michaud P., Miller G., Courtois D., Ralainirina R. Large-scale purification of water-soluble polysaccharides from flaxseed mucilage, and isolation of new anionic polymer. *Chromatographia*. 2003, V. 58, no. 5–6, pp.331–335.
9. Kelvin K.T., Goh D.N., Christopher E.H. Rheological and light scattering properties of flaxseed polysaccharide aqueous solutions. *Biomacromolecules*. 2006, no. 7, pp. 3098–3103.
10. Cui W., Kenaschuk E., Mazza G. Flaxseed gum: Genotype, chemical structure and rheological properties. *Proceedings of the 55th flax institute of United States*. 1994, pp.166–177.
11. Warrand J., Michaud P., Picton L., Muller G., etc. Structural investigation of neutral polysaccharide of *Linum usitatissimum* L. seed. *Jnt. J. of Biological Macromolecules*. 2005, V. 35, no. 3–4, pp.121–125.
12. 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, no. 6, pp. 260–278.
13. Tsyganova T.B., Minevich I.E., Zubtsov V.A., Osipova L.L. *Pishchevaya tsennost' semyan l'na i perspektivnye napravleniya ikh pererabotki* [Nutritional value of flax seed and perspective directions of their processing]. Kaluga, Eidos Publ., 2010. 124 p.
14. Minevich I.E., Osipova L.L., Zubtsov V.A. Issledovanie protsessov ekstratsii polisakharidov i belka iz l'nyanogo zhmykha [A study of the extraction of polysaccharides and protein from flaxseed meal]. *Main results and directions of development of scientific research on flax-dolguntsu*. Torzhok. 2010, pp. 406–410.
15. Olennikov D.N., Tankhaeva L.M. Issledovanie protsessov ekstratsii polisakharidov semyan l'na [Investigation of the extraction process of flaxseed polysaccharides]. *Chemistry of plant raw material*. 2007, no. 4, pp. 79–83.
16. Shripad S., Shirke etc. Isolation of mucilage from flaxseeds and its use as a binder in manufacturing of tablet. *Int. J. of Pharmaceutical Research and Development (IJPRD)*. 2012, V. 4 (409), pp. 64–69.
17. Ozhimkova E.V., Sidorov A.I., Plashchina I.G., Martirosova E.I., Ushchapovskii I.V., Danilenko A.N. Nizkochastotnaya ul'trazvukovaya ekstraksiya glikanov iz *Linum usitatissimum* [Low-frequency ultrasonic extraction of glycans from *Linum usitatissimum*]. *Thin chemical technologies*. 2009, V. 4, no. 3, pp. 70–74.
18. O'Mullane J.E., Hayter J.P. *Linseed mucilage*. Int. Pat. PCT/GB93/00343. 1993.
19. Minevich I.E. Razrabotka tekhnologicheskikh reshenii pererabotki semyan l'na dlya sozdaniya funktsional'nykh pishchevykh produktov [Development of technological decisions for the processing of flax seeds for the creation of functional foodstuffs]. *Candidate's thesis*. Moscow, 2009, 176 p.
20. Fedeniuk R., Biliaderis C. Composition and Physicochemical Properties of Linseed (*Linum usitatissimum* L.) Mucilage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1994, V. 42(2), pp. 240–247.
21. Chang P.R., Anderson D.R., McIntosh T.C., Westcott N.D. *Process for producing polysaccharide gum*. Patent 7910339 US. 2011.

22. Mazza G., Biliaderis C. G. Functional properties of flax seed mucilage. *Journal of Food Scienc.* 1989, no. 54(5), pp. 1302–1305.
23. Cui W., Mazza G., Biliaderis C. G. Chemical structure, molecular size distributions, and rheological properties of flaxseed gum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 1994, no. 42(9), pp. 1891–1895.
24. Chen H.-H., Xu S.-Y., Wang Z. Gelation Properties of Flaxseed Gum. *Journal of Food Engineering.* 2006, V. 77(2), pp. 295–303.
25. Kuhn K.R., Cavallieri A.L.F., Lopes da Cunha R. Rheological properties of flaxseed gum solutions with NaCl or CaCl₂ addition. *Proceedings of the 11th Int. Congress on Engineering and Food “Food Process Engineering in a Changing World”.* 2011. URL: <http://www.icef11.org/content/papers/epf/EPF460.pdf> (Accessed 07.06.2016).
26. Minevich I.E., Osipova I.E., Zubtsov V.A. Reologicheskie svoystva rastvorov polisakharidov semyan l'na [Rheological properties of solutions of polysaccharide of flaxseeds]. *Food Processing Industry.* 2017, no. 5, pp. 38–40.
27. Wang Y., Li D., Wang L.J., Li S.J., Adhikari B. Effects of drying methods on functional properties of flaxseed gum powders. *Carbohydrate Polymers.* 2010, no. 81, pp. 128–133.
28. Sun J., Li X., Xu X., Zhou G. Influence of Various Levels of Flaxseed Gum Addition on the Water-Holding Capacities of Heat-Induced Porcine Myofibrillar Protein. *Journal of Food Science.* 2011, V. 76, Is. 3, pp. 472–478.
29. Barbary O.M., Al-Sohaimy S.A., El-Saadani M.A. Extraction, composition and physicochemical properties of flaxseed mucilage. *J. Adv. Agric. Res.* 2009, V. 14(3), pp. 605–621.
30. Minevich I., Zubtsov V., Tsyganova T. Ispol'zovanie semyan l'na v khlebopechenii [Use of flax seeds in bakery]. *Bakery products.* 2010, no. 3, pp. 38–40.
31. Boitsova T.M., Nazarova O.M. Nastoi semeni l'na v tekhnologii proizvodstva rzhano-pshenichnogo khleba [Infusion of Flax Seed in the Production Technology of Rye-Wheat Bread]. *Baking in Russia.* 2015, no. 3, pp. 24–26.
32. Zakharova A.S., Koneva S.I. Aktual'nost' ispol'zovaniya l'nyanoi muki i smesi krup pri proizvodstve khlebobulochnykh izdelii [The Relevance of the Use of Flax Flour and Mixtures of Cereals in the Production of Bakery Products]. *Polzunovskii vestnik.* 2016, no. 3, pp. 31–34.
33. Kireeva M.S. Funktsional'no-tekhnologicheskie svoystva semyan l'na i razrabotka tekhnologii muchnykh konditerskikh izdelii spetsializirovannogo naznacheniya na ikh osnove [Functional-technological properties of flax seeds and development of technology of flour confectionery products of specialized use on their basis]. *Candidate's thesis.* St. Petersburg. 2014. 113 p.
34. Minevich I.E., Osipova L.L., Zubtsov V.A. Issledovanie protsessa ekstraktsii polisakharidov iz semyan l'na dlya ispol'zovaniya v promyshlennom proizvodstve [A study of the extraction process of polysaccharides from flax seeds for use in industrial production]. *Innovative developments in the production and processing of bast cultures.* Tver, Tver. State. Univ. Publ., 2016, pp. 296–300.
35. Gutte K.B., Sahoo A.K., Ranveer R.C. Bioactive components of flaxseed and its health benefits. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.* 2015, V. 31(1), pp. 42–51.

Статья поступила в редакцию 28.07.2017