

УДК: 633.521:582.751.42:547.917:66.061.34

Особенности процесса экстракции полисахаридов слизи из семян льна

Канд. техн. наук **И.Э. Миневич¹, Л.Л. Осипова¹**, д-р хим. наук **А.П. Нечипоренко²,
Е.И. Смирнова¹, М.И. Мельникова²**

E-mail: irina_minevich@mail.ru; allanech2512@yandex.ru

¹*Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства
170041, Россия, Тверь, Комсомольский пр., 17/56*

²*Университет ИТМО
191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

Методами рефрактометрии, инфракрасной (ИК) спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения и стандартными химическими методами проведено комплексное исследование сухих продуктов экстракции полисахаридов из двух сортов семян льна отечественной селекции, полученных двумя способами: водной экстракцией при 60°C и с последующей очисткой экстрактов осаждением в избытке этанола. Определяли содержание сухого вещества экстракта, а также содержание в нем белка и жира в зависимости от времени экстракции. Сравнительный анализ ИК спектров сухих целевых продуктов показал, что независимо от способа выделения они имели идентичную структуру, однако при этом экстракты полисахаридов семян льна обладали значительно меньшей вязкостью по сравнению с очищенными полисахаридными комплексами. Исследование кинетики процесса тремя независимыми методами позволило отметить, что выход контролируемых компонентов – белка и глюкозы, носит экстремальный, но антибатный характер. Это позволило предположить, что первыми в экстракт выходят протеогликаны малой молекулярной массы, составляющие основу кислой полисахаридной фракции.

Ключевые слова: семена льна; полисахариды семян льна; экстракция; кинетика экстракции; белки семян льна; рефрактометрия; инфракрасная спектроскопия отражения.

DOI: 10.17586/2310-1164-2018-11-2-3-11

The peculiarities of mucilage polysaccharide extraction from flax seeds

Ph.D. **Irina E. Minevich¹, Lydia L. Osipova¹**, D.Sc. **Alla P. Nechiporenko²,
Ekaterina I. Smirnova¹, Maria I. Melnikova²**

E-mail: irina_minevich@mail.ru; allanech2512@yandex.ru

¹*The All-Russian Research Institute for Mechanization of Flax Production
17/56, Komsomol'skii ave., Tver, Russia, 170041*

²*ITMO University
9, Lomonosov str., St. Petersburg, Russia, 191002*

The comprehensive study of polysaccharide extraction dry products from two varieties of flax seeds (domestic selection) obtained by water extraction at 60°C and by subsequent purification of the extracts by precipitation in the excess of ethanol was conducted. Refractometry, infrared (IR) spectroscopy of disturbed total internal reflection, and standard chemical methods were used. The dry matter content of the extract was determined, as well as the protein and fat ones, depending on the extraction time. The comparative analysis for IR spectra of dry target products showed that, regardless of the isolation method, they had an identical structure. However, the extracts of flax seed polysaccharides had a much lower viscosity compared to purified polysaccharide complexes. The study of the kinetics by three independent methods made it possible to note that the yield of the components controlled (protein and glucose) is of an extreme but antibate character. This allowed assuming that the proteoglycans of low molecular weight, which form the basis of the acidic polysaccharide fraction, are the first to enter the extract.

Keywords: flax seeds; flax seed polysaccharides; extraction; extraction kinetics; flax seed proteins; refractometry; infrared reflection spectroscopy.

Введение

В настоящее время наблюдается возросший интерес к полисахаридам, особенно растительным. Растительные полисахариды проявляют высокую биологическую активность, не обладают токсичностью, аллергенностью, пирогенностью, что открывает широкие возможности их использования

в пищевой промышленности, фармакологии, медицине, косметологии. Природные полисахариды являются продуктами биосинтеза моносахаридов, которые в макромолекулах связаны гликозидными связями.

Для исследования этого вида биополимеров – установления структуры, физико-химических свойств – широко используются современные методы анализа. Так, по данным авторов [1], по частоте использования на спектральные методы (ЯМР, ИК, УФ-Вид) приходится 70–82% от общего числа работ в области исследования полисахаридов за период 2000–2011 гг. Для комплексного изучения полисахаридов целесообразно совмещать различные методы анализа, например спектральные и оптические. ИК спектроскопия отражает колебания характерных частот органических соединений, а в сложных белках и углеводах позволяет определять характерные частоты функциональных групп [2]. Рефрактометрия, в свою очередь, как один из ведущих оптических методов позволяет определять содержание отдельных моносахаров.

Семена льна наряду с высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) и белка характеризуются наличием значительного количества растворимых пищевых волокон, основу которых составляют полисахариды слизи. Полисахариды слизи семян льна относятся к пищевым технологическим ингредиентам типа гидроколлоидов [3], которые необходимы для структурообразования и стабилизации пищевых масс. Кроме того, льняные слизи привлекают внимание и в качестве источника биологически активных олигосахаридов [4]. Качественный и количественный состав полисахаридов слизей зависит от сортовых особенностей и климатических условий произрастания льна [5].

Анализ данных по исследованию гидроколлоидов (полисахаридов) семян льна, опубликованный нами ранее [6], показал, что по своим функционально-технологическим свойствам они могут использоваться в пищевых технологиях в качестве загустителя, стабилизатора, влагоудерживающего агента, а также являются физиологически необходимым компонентом пищи, позволяя рассматривать их не только как технологическую добавку, но и биологически ценный ингредиент. Помимо этого, известна медико-биологическая роль полисахаридов семян льна: они способствуют снижению гликемического индекса, содержания холестерина в крови, показано их положительное влияние при профилактике диабета и уменьшение риска коронарной недостаточности [7]. Считается, что полисахариды семян льна проявляют умеренные радиопротекторные и иммунозащитные свойства, их используют в качестве обволакивающего и слабительного средства [8].

Однако, несмотря на широкие перспективы промышленного использования полисахаридов семян льна во многих областях народного хозяйства, их промышленного производства в нашей стране нет. Это связано, прежде всего, с недостаточностью и глубиной научных исследований по получению полисахаридов из семян льна отечественных сортов, особенностей их компонентного и фракционного состава, функционально-технологических свойств и их влияния на пищевые системы.

В связи с этим цель данной работы состояла в комплексном изучении особенностей процесса экстракции полисахаридов слизи из семян льна отечественной селекции, сочетающем традиционные стандартные химические и современные оптические методы – рефрактометрию и ИК спектроскопию нарушенного полного внутреннего отражения (ИКС НПВО).

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлись полисахариды, выделенные из семян льна российской селекции: семян льна масличного для промышленной переработки (ГОСТ 10582-76) и семян льна сорта ЛМ-98, предоставленных институтом льна (ФГБНУ ВНИИЛ, г. Торжок).

Экстракцию полисахаридов из семян льна проводили в дистиллированной воде при температуре 60°C во временном интервале от 5 до 120 мин при постоянном перемешивании. Соотношение семян и растворителя (гидромодуль) составляло – 1/20. Полученный экстракт отделяли от семян льна через четырехслойный марлевый фильтр. Далее целевой продукт получали двумя способами:

– экстракт сушили тонким слоем (не более 0,5 см) при температуре 60–65°C и затем измельчали (продукт – сухой экстракт полисахаридов);

– полисахариды из экстракта выделяли в трехкратном избытке этилового спирта, осадок отжимали, промывали ацетоном и сушили в сушильном шкафу при температуре до 50°C (продукт – очищенный полисахаридный комплекс).

Полученные продукты – сухой экстракт полисахаридов и очищенный полисахаридный комплекс (ПС-комплекс) из семян льна использовали в качестве основных объектов исследования. Определение сухого остатка полисахаридного экстракта, содержание белка и жира в нем проводили стандартными методами: протеина – по ГОСТ 13496.4-93; жира – по ГОСТ 31902-2012, сухого остатка – по ГОСТ 31640-2012.

ИК спектры нарушенного полного внутреннего отражения поверхности сухих образцов снимали на Фурье-спектрометре Tensor 37 фирмы Bruker (Германия) с алмазным НПВО-элементом, управляемым программным пакетом OPUS со стандартными градуировочными возможностями, в диапазоне частот 4000–600 см⁻¹ в формате поглощения (32 скана). Рефрактометрический анализ водных растворов полисахаридов на процентное содержание глюкозы проводили при 20°C на цифровом рефрактометре АВВЕМАТ-200 фирмы Anton Paar GmbH (Австрия) для натриевой линии спектра $\lambda = 589$ нм с модулем автоматического термостатирования исследуемого образца.

Результаты и их обсуждение

Водная экстракция семян льна позволяет выделять в раствор нативные полисахариды с исходной молекулярной массой. Чаще всего полисахариды льняных слизей выделяют из целых семян льна. Вследствие того, что семена льна содержат значительное количество водорастворимых протеинов, которые могут экстрагироваться из ядра измельченных семян вместе с полисахаридами, сырье перед экстракцией не измельчают. Тем не менее процесс выхода полисахаридов в раствор сопровождается параллельной экстракцией водорастворимых фракций белков, находящихся в оболочке семян льна. Поэтому в исследуемых образцах полисахаридных продуктов определяли также содержание белка.

На свойства целевого продукта, как известно, влияет способ его выделения из экстракта. Ранее [9] было установлено, что сухой экстракт полисахаридов и полисахаридный (ПС) комплекс, полученные из одной партии семян льна отличались разной вязкостью. Выделение полисахаридов из водного экстракта осаждением этиловым спиртом позволяет получать более высоковязкие продукты.

В таблице представлены данные по характеристической вязкости (η) полисахаридных продуктов сортов льна, используемых в качестве объектов исследования в настоящей работе. Как следует из таблицы, сухие экстракты полисахаридов семян льна обладали значительно меньшей вязкостью по сравнению с очищенными ПС комплексами.

Таблица – Характеристическая вязкость (η) полисахаридных продуктов семян льна разных сортов, мл/г

Сорт семян льна масличного	Способ обработки экстракта	
	с осаждением спиртом	без осаждения, сушка экстракта
Промышленные (коричневая окраска семян)	2420	720
ЛМ-98 (светлая окраска семян)	2890	550

Результаты исследования методом ИКС НПВО полисахаридных продуктов, полученных экстракцией из рассматриваемых сортов семян льна, представлены на рисунке 1. Характер кривых светопоглощения, отличающихся практически только интенсивностью полос, указывает, в общем, на идентичность качественного состава исследуемых полисахаридов. В спектрах всех образцов в области 3000–3500 см⁻¹ присутствует широкая интенсивная полоса, ответственная за проявление валентных (симметричных и асимметричных) колебаний NH_n- и OH-группировок [10, 11] всех компонентов полисахаридных систем, содержащих эти функциональные группы, в том числе и OH-групп связанных молекул воды. Однако высокочастотный сдвиг максимумов именно этой полосы в спектрах очищенных полисахаридных комплексов (3326 см⁻¹) обоих сортов льна по сравнению с их неочищенными экстрактами (3298 см⁻¹) позволяет говорить, что он обусловлен присутствием белковых компонентов (в интервале частот 3280–3350 см⁻¹ обычно проявляются валентные колебания связанных NH-групп однозамещенных амидов). Высокочастотный сдвиг, скорее всего, обусловлен

упрочением связи NH-группировок полипептидной цепи с функционалами углеводной, что согласуется с данными, полученными стандартными методами по определению вязкости анализируемых образцов. Колебания CH_n -групп, также всех компонентов, проявляются на спаде правой ветви высокочастотной полосы в области $2800\text{--}3000\text{ см}^{-1}$. Деформационные колебания комплекса CH_n - и NH_n -функционалов обычно формируют серию полос разной интенсивности в диапазоне $1300\text{--}1500\text{ см}^{-1}$.

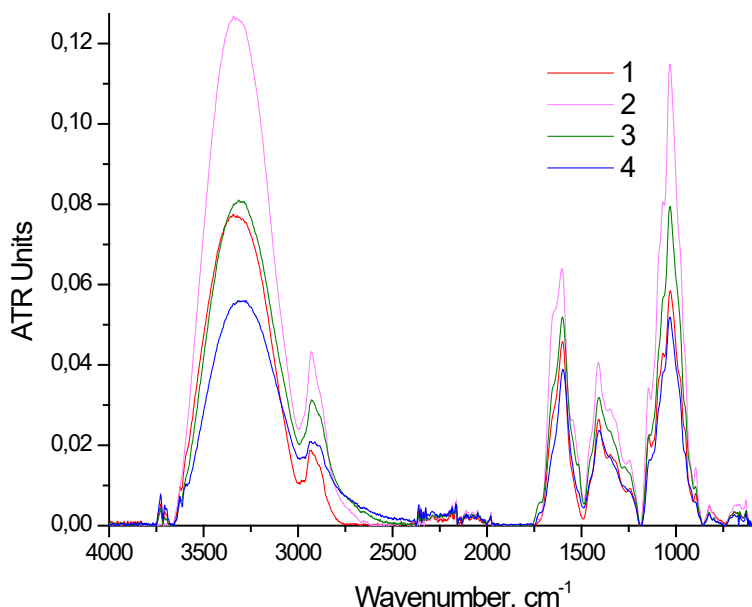


Рисунок 1 – ИК спектры НПВО сухих образцов полисахаридов: 1 – ПС-комплекс ЛМ98; 2 – ПС комплекс промышленный; 3 – экстракт промышленный ЛМ-98; 4 – экстракт ЛМ-98

В нашем случае наибольший интерес представляет широкая интенсивная структурированная полоса в области $1000\text{--}1100\text{ см}^{-1}$ с максимумом при 1031 см^{-1} , где регистрируются валентные колебания C-O и C-O-C-связей углеводов всех типов, как растительного, так и животного происхождения. А также две менее интенсивные полосы в области $1540\text{--}1680\text{ см}^{-1}$ – полосы валентных колебаний карбонильных C=O-группировок пептидной связи строительных блоков (аминокислот) белковых структур. В спектрах сухого препарата глюкозы и льняного масла данных полос нет (рисунок 2), но в спектре сухого препарата яичного альбумина она присутствует. То есть, наличие белков в составе исследуемых полисахаридов очевидно.

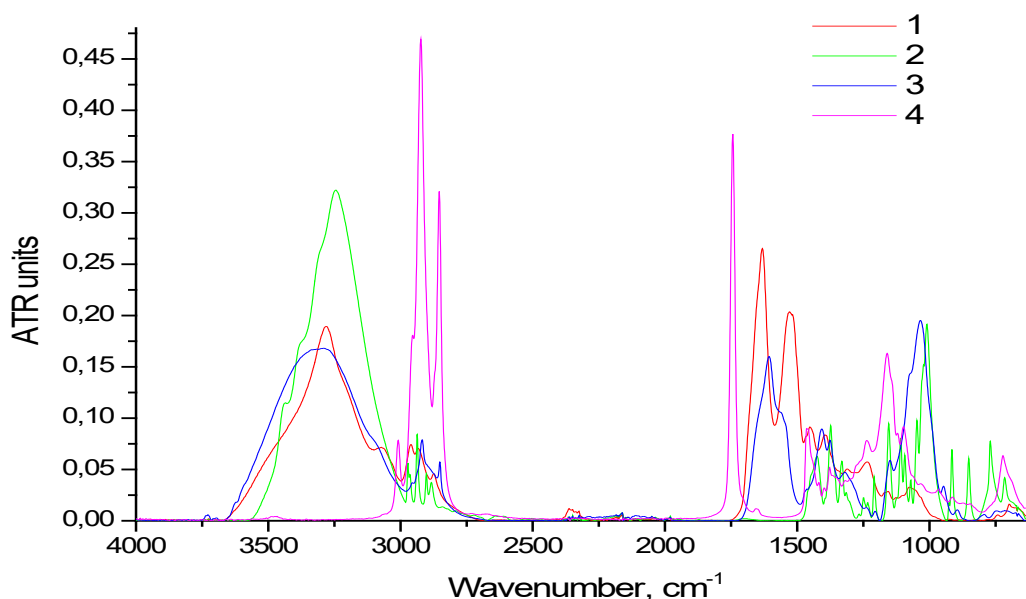


Рисунок 2 – ИК спектры некоторых вспомогательных биологических веществ: 1 – яичный альбумин; 2 – глюкоза; 3 – гиалуроновая кислота; 4 – льняное масло

Однако в спектре гиалуроновой кислоты (кривая 3), являющейся животным мукополисахаридом, в области проявления белковых структур имеется структурированная полоса средней интенсивности, происхождение которой обязано наличию в структуре ее димера COOH-группы и группировки CONH, аналога пептидной связи. Примечательно, что в спектре мукополисахарида хорошо выражена углеводная полоса с максимумом 1031 см^{-1} , характерная для растительных полисахаридов, тогда как в спектре глюкозы данная полоса более узкая и ее максимум смещен в область более низких частот, к 990 см^{-1} .

О присутствии липидных компонентов в структуре полисахаридных образцов (рисунок 1) можно лишь предположительно судить по низко лежащему плечу–пику на левой ветви углеводной полосы ($\sim 1160\text{ см}^{-1}$) и очень слабой полосе при 722 см^{-1} , характеризующей деформационные колебания СН-группировок при кратной связи ($\sigma=\text{CH}$), что хорошо отражает спектр льняного масла (кривая 3, рисунок 2). В его структуре отсутствует высокочастотная полоса, связанная с колебаниями NH_2 - и OH-групп, но хорошо проявлены в виде узких интенсивных полос в области $2800\text{--}3000\text{ см}^{-1}$ колебания CH_2 -групп и валентные колебания C=O-групп остатков карбоновых кислот в составе триглицеридов (1743 см^{-1}). Наличие кратных C=C-связей в структуре льняного масла подтверждает присутствие в его спектре слабых полос, обусловленных валентными (3008 см^{-1}) и деформационными (722 см^{-1}), соответственно, колебаниями СН-групп при двойной связи ($\text{CH}=\text{CH}$). Не менее важной является полоса в виде трезубца с центральным максимумом при 1160 см^{-1} , характеризующая колебания C–O-связей в триглицеридах липидов растительного и животного происхождения.

Рассматриваемые образцы полисахаридов были получены при времени экстракции – 120 мин. Представляло интерес исследовать кинетику процесса экстракции: как интенсивно происходит при этом выделение растворимых веществ, в том числе и сопутствующих – белковых и липидных компонентов. С этой целью, в зависимости от экспозиции, определяли содержание сухого вещества экстракта, а также содержание в сухом экстракте протеина и жира. Рисунок 3 иллюстрирует характер изменения массы (%) сухого остатка, а фактически концентрации растворов полисахаридов льняных слизей в процессе экстракции. Некоторая ступенчатость в увеличении концентрации водных растворов слизей, вероятно, связана с последовательным набуханием и переходом в раствор различных фракций слизиобразующих полисахаридов. Последними, как считают авторы [12], гидратируются наиболее высокомолекулярные полисахариды, локализуемые во внутренних слоях оболочки семени и в эндосперме.

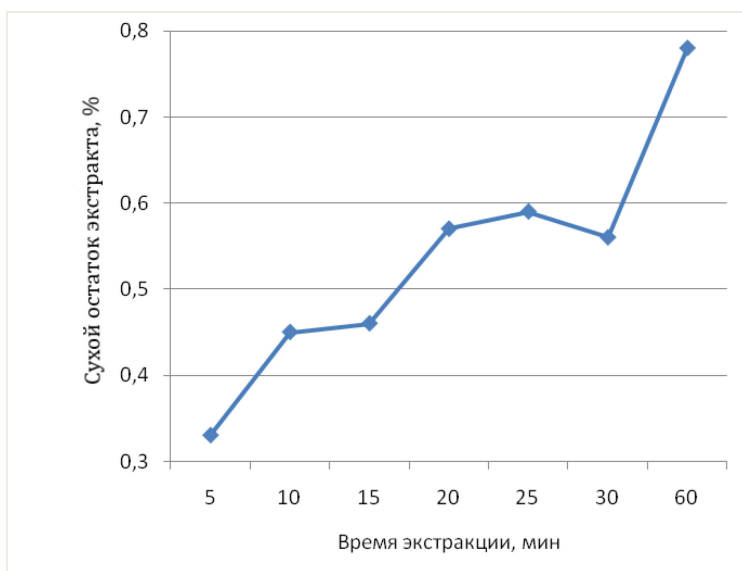


Рисунок 3 – Изменение сухого остатка экстракта в зависимости от времени процесса

Следует отметить, что экстракция из оболочки семян льна протекает в течение 30 мин. Последующее увеличение сухого вещества экстракта после 30 мин протекания процесса можно объяснить тем, что к этому времени набухшая оболочка частично отходит от ядра и в раствор начинают переходить экстрактивные вещества из ядра. Полученные данные коррелируют с результатами исследований, представленными в работе [13]. Авторы установили, что при 80°C оптимальная

продолжительность процесса экстракции полисахаридов слизей из семян льна была 30 мин. При этом содержание сухого вещества составляло 0,7 %. При 60°C содержание сухого вещества за аналогичное время проведения процесса составило ≈ 0,6% (рисунок 3).

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 [14]. Поэтому выделение льняных слизей проводят либо из неразрушенных семян, либо из льняной оболочки, чтобы ослабить конкурентную экстракцию белков из ядра. Изменение содержания белка и жира в сухих экстрактах в зависимости от времени процесса представлено на рисунке 4. Практически максимальное нарастание количества белка в сухом экстракте наблюдается в первые 10 мин протекания процесса. Известно, что в первую очередь экстрагируются вещества с более низкой молекулярной массой [12].

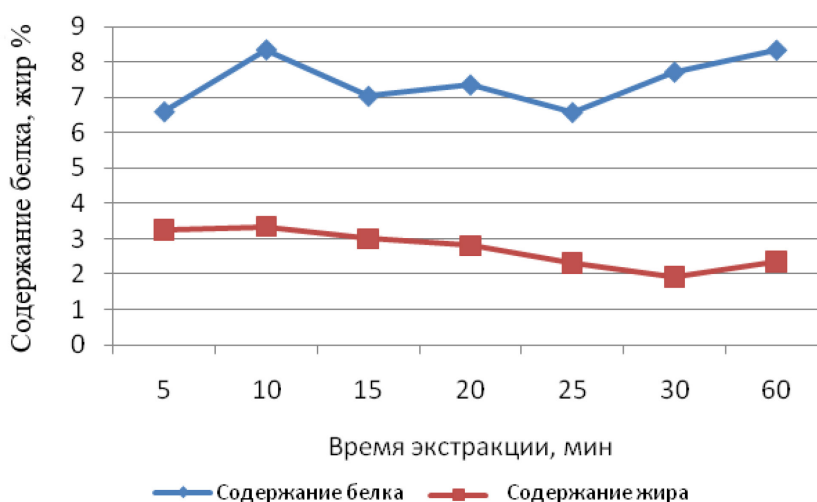


Рисунок 4 – Изменение содержания белка и жира в сухом экстракте в зависимости от времени процесса

С точки зрения фракционного состава – кислая фракция полисахаридного комплекса семян льна имеет меньшую молекулярную массу по сравнению с нейтральной. Также считается, что белок большей частью связан с полимерами кислой фракции. В нейтральной фракции он не обнаружен [15]. Поэтому можно предположить, что первыми из семян льна экстрагируются в основном полимеры кислой фракции. Следует отметить, что в сухих экстрактах полисахаридов присутствует небольшое количество липидных компонентов (рисунок 4), вероятно также ассоциированных с полисахаридными и белковыми структурами.

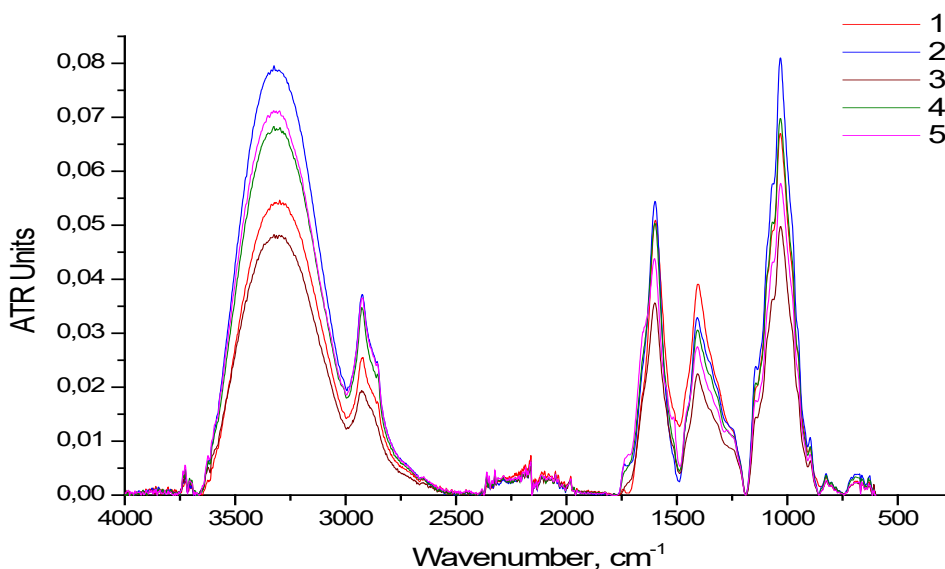


Рисунок 5 – ИК спектры сухих экстрактов семян промышленного льна в зависимости от времени экстракции: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20; 5 – 25 минут

Результаты исследования кинетики процесса водной экстракции полисахаридов из семян льна методом ИК спектроскопии приведены на рисунке 5. Анализ полученных данных позволяет отметить экстремальный характер изменения интенсивности всех полос в спектрах образцов в зависимости от времени экстракции, что может указывать на несовпадение качественного и количественного состава экстрактов, изменяющегося во времени. А высокочастотный сдвиг полосы 3298 см^{-1} в положение 3326 см^{-1} для образцов со временем экстракции 10; 20 и 25 мин, на основании выше приведенных данных, можно рассматривать как обусловленным более высоким содержанием белковых структур, что в принципе должно обеспечивать им более высокую вязкость.

Сопоставление характера изменения интенсивности основных полос ИК спектров (рисунок 6) с данными по содержанию белка (рисунок 4) свидетельствует о том, что его максимум приходится на образец, выделенный после 10 мин экстракции. Дальнейшее снижение концентрации белка в сухих экстрактах полисахаридов вероятно связано с тем, что на определенном этапе экстрагируются другие вещества. С течением времени оболочка семян льна в воде разбухает и частично соскальзывает с ядра, что приводит к экстракции белка уже из ядра. В результате начинается второй рост концентрации белка в экстракте.

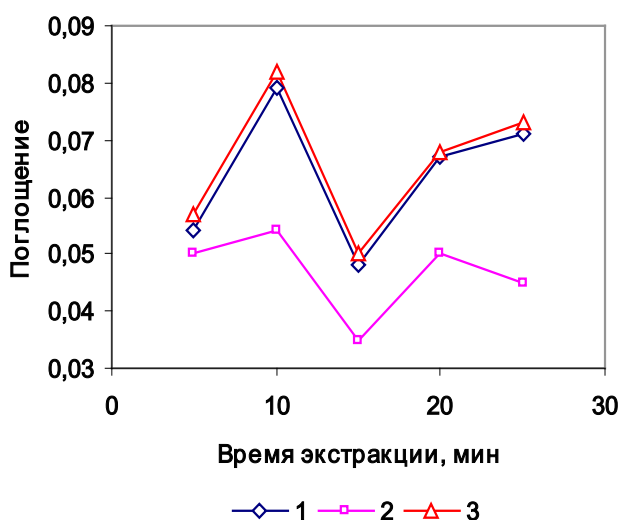


Рисунок 6 – Изменение интенсивности характеристических полос в ИК спектрах образцов сухих экстрактов полисахаридов в зависимости от времени экстракции: 1 – 3326 ; 2 – 1597 ; 3 – 1031 см^{-1}

На рисунке 7 представлены результаты рефрактометрического анализа водных растворов сухих экстрактов полисахаридов (масса навески – $0,0250\text{ г}$, объем растворителя – 10 мл) на содержание в них глюкозы в зависимости от времени экстракции. Если сопоставить полученную зависимость с той тенденцией, что наблюдается при изменении интенсивности полос в ИК спектрах этой серии сухих образцов (рисунок 6), они выглядят зеркально.

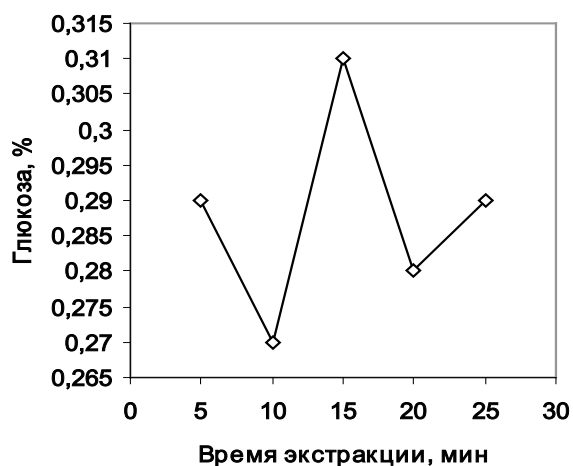


Рисунок 7 – Рефрактометрические показатели изменения содержания глюкозы в сухих экстрактах полисахаридов в зависимости от времени экстракции

При сравнительном анализе данных, полученных методами рефрактометрии и ИКС НПВО, оказывается, что с увеличением содержания глюкозы в образце, убывает количество белкового компонента, что в принципе согласуется с результатами химического анализа, которые иллюстрирует рисунок 4. Очевидно, это означает, что в рассматриваемый промежуток времени имеет место последовательный выход в водный раствор сначала белково-полисахаридных ассоциатов (10 мин), представляющих кислую фракцию, а затем (15 мин), непосредственно полисахаридных структур с меньшим содержанием белка.

Заключение

Изменение в технологических условиях эксперимента таких показателей, как сухой остаток полисахаридного экстракта, содержание в нем белка и глюкозы, позволяет предположить, что ступенчатое увеличение содержания сухого вещества экстрактов свидетельствует о постепенном переходе в раствор различных фракций слизиобразующих полисахаридов. Комплексное исследование химическими и оптическими методами изменения содержания белка и глюкозы в зависимости от времени экстрактивного процесса показало, что он имеет полиэкстремальный характер и сопровождается последовательным выходом в раствор полисахаридных ассоциатов с разным содержанием белка. Причем в первую очередь (10 мин) экстрагируются полисахаридные комплексы с наиболее высоким содержанием белковых структур и минимальным глюкозы.

Отмечено, что время экстрактивного процесса 30 мин является оптимальным для получения целевого полисахаридного продукта с содержанием протеина 7,9% и липидов – 2,0%. Полученные данные являются научной основой для дальнейших разработок условий последовательно-раздельного выделения полисахаридных фракций из семян льна отечественной селекции, которые индивидуально обладают разным набором характерных функциональных свойств и могут целенаправленно использоваться в различных областях пищевой промышленности, косметологии, медицинской и фармацевтической практике в качестве монокомпонентов.

Литература

1. Оленников Д.Н., Кащенко Н.И. Полисахариды. Современное состояние изученности: экспериментально-научометрическое исследование // Химия растительного сырья. 2014. № 1. С.5–26.
2. Генералов Е.А. Физико-химические подходы к анализу природных полисахаридов // Auditorium. 2015. № 4(8).
3. Цыганова Т.Б., Миневич И.Э., Зубцов В.А., Осипова Л.Л. Перспективы глубокой переработки семян льна // Хлебопечение России. 2016. № 4. С. 12–15.
4. Guilloux K., Gaillard I., Courtois J., Courtois B., Petit E. Production of arabinoxylan-oligosaccharides from flaxseed (*Linum usitatissimum*). *J. Agric. Food Chem.* 2009, no. 57, pp. 11308–11313.
5. Уцаповский 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. 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.
7. Gutte K.V., 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.
8. Лекарственное растительное сырье. Фармакогнозия: учеб. пособие/под ред. Г.П. Яковлева, К.Ф. Блиновой. СПб.: СпецЛит, 2004. 765 с.
9. Миневич И.Э., Осипова Л.Л., Зубцов В.А., Смирнова Е.И. Реологические свойства гидроколлоидов семян льна // Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур: сб. тр. Тверь: Твер. гос.ун-т, 2017. С. 369–375.
10. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. М.: МГУ, 2012. 55 с.
11. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольтер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных. М.: Мир; Бином. Лаборатория знаний, 2006. С. 251–318.
12. Зеленцов С.В., Мошненко Е.В. Количественная и качественная оценка слизей семян масличных сортов льна *Linum Usitatissimum* L. // Масличные культуры. 2012. Вып. 2. С. 95–102.
13. Ziolkovska A. Laws of flaxseed mucilage extraction. *Food Hydrocolloids.* 2012, V. 26, Is. 1, pp. 197–204.
14. 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.

15. 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.

References

1. Olennikov D.N., Kashchenko N.I. Polisaharidy. Sovremennoe sostoyanie izuchennosti: ehksperimental'no-naukometricheskoe issledovanie [Polysaccharides. Current state of knowledge: experimental-scientific study]. *Chemistry of plant raw material*. 2014, no. 1, pp. 5–26.
2. Generalov E.A. Fiziko-himicheskie podhody k analizu prirodnyh polisaharidov [Physicochemical approaches to the analysis of natural polysaccharides]. *Auditorium*. 2015, no. 4(8).
3. 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.
4. Guilloux K., Gaillard I., Courtois J., Courtois B., Petit E. Production of arabinoxylan-oligosaccharides from flaxseed (*Linum usitatissimum*). *J. Agric. Food Chem.* 2009, no. 57, pp. 11308–11313.
5. Ushchapovskii I.V., Ozhimkova E.V., Sul'man Je.M., Martirosova E.I., Plashhina 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. Minevich I.E., Osipova L.L. Gidrokolloidy semyan l'na: kharakteristika i perspektivy ispol'zovaniya v pishchevykh tekhnologiyakh [Hydrocolloids of flax seeds: characteristics and prospects of use in food technologies]. *Processes and Food Production Equipment*. 2017, no. 3, pp. 16–25.
7. 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.
8. *Lekarstvennoe rastitel'noe syr'e. Farmakognosiya* [Medicinal plant raw materials. Pharmacognosy]. In ed. G.P. Yakovlev, K.F. Blinova. St. Petersburg, SpecLit Publ., 2004. 765 p.
9. Minevich I.E., Osipova L.L., Zubtsov V.A., Smirnova E.I. Reologicheskie svoystva gidrokolloidov semyan l'na [Rheological properties of hydrocolloids of flax seeds]. *Innovative developments for the production and processing of bast cultures*. Proceedings of the conference title. Tver', Tver State University Publ. 2017, pp. 369–375.
10. Tarasevich B.N. *IK spektry osnovnykh klassov organicheskikh soedinenii* [IR spectra of the main classes of organic compounds]. Reference materials. Moscow, Moscow State University Publ., 2012. 55 p.
11. Prech E., Byul'mann F., Affol'ter K. Opredelenie stroeniya organicheskikh soedinenii. [Determination of the structure of organic compounds]. *Tables of spectral data*. Moscow, Mir: Binom. Laboratoriya znaniy Publ., 2006. pp. 251–318.
12. Zelentsov S.V., Moshnenko E.V. Kolichestvennaya i kachestvennaya otsenka slizei semyan maslichnykh sortov [Quantitative and qualitative assessment of mucilage seed oil varieties of flax *Linum Usitatissimum* L.]. *Oil crops*. 2012, no. 2, pp.95–102.
13. Ziolkovska A. Laws of flaxseed mucilage extraction. *Food Hydrocolloids*. 2012, V. 26, Is. 1, pp. 197–204.
14. Tsyganova T.B., Minevich I.E., Zubtsov V.A., Osipova L.L. Pishhevaya tsennost' semyan l'na i perspektivnye napravleniya ikh pererabotki [Nutritional value of flax seed and perspective directions of their processing]. *Kaluga, Eidos*, 2010, 124 p.
15. 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.

Статья поступила у редакцию 26.04.2018