

Исследование влияния условий переработки семян льна на соотношение макронутриентов в целевых продуктах с использованием метода ИК-спектроскопии НПВО

Миневич Ирина Эдуардовна

ФБГНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»

Адрес: 170041, город Тверь, Комсомольский пр., д. 17/56

E-mail: irina_minevich@mail.ru

Осипова Лидия Леонидовна

ФБГНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»

Адрес: 170041, город Тверь, Комсомольский пр., д. 17/56

E-mail: losipova@vniiml.ru

Нечипоренко Алла Павловна

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО»

Адрес: 191002, город Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, д. 9

E-mail: allanech2512@yandex.ru

Цыганова Татьяна Борисовна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, д. 11

E-mail: ztatianaz@yandex.ru

Громова Диана Александровна

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО»

Адрес: 191002, город Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, д. 9

E-mail: 16adianay@gmail.com

Широкий научно-практический интерес к веществам белковой и полисахаридной природы объясняется разнообразием их функций в метаболических процессах. Одним из перспективных источников полноценного белка, полипептидов и хорошо растворимых полисахаридов являются семена льна. Эти нутриенты являются физиологически необходимыми компонентами пищи, обладают большим нутрицевтическим потенциалом. Целью работы являлось исследование влияния условий переработки цельных и измельченных семян льна, ядра, обрубленной семенной оболочки и промышленного жмыха, полученного холодным прессованием, на соотношение основных компонентов – полисахаридов, белка, липидов и их спектральное проявление в целевых продуктах – полисахаридных экстрактах и комплексах. Полисахаридные экстракты получали водной экстракцией, полисахаридные комплексы – последующим осаждением из экстрактов этанолом. Обезжиривание продуктов экстракции осуществлялось обработкой гексаном. Показано, что в слизи оболочки цельного семени льна, независимо от его сорта, преобладают полипептиды, спектрально проявляющиеся в виде одиночной широкой структурированной полосы ($1680-1540\text{ см}^{-1}$). Белковые компоненты, экстрагируемые из ядра и измельченных семян, представлены классическим дублетом характеристических полос Амида-I и Амида-II в области $1700-1500\text{ см}^{-1}$. Отмечено, что обезжиривание гексаном не влияет на содержание белковых компонентов, но при этом удаляются преимущественно насыщенные и мононенасыщенные жирные кислоты, входящие в состав липид-полисахаридных комплексов. Спектроскопическое исследование показало разнообразие протеин-полисахаридных взаимодействий при переработке семян льна. Переработка семян льна с использованием водной экстракции имеет практическое значение для выделения нутриентов (белков, полипептидов, полисахаридов), являющихся эссенциальными пищевыми ингредиентами.

Ключевые слова: масличные семена; полисахариды; белки; полипептиды; экстракция; пищевые волокна; спектроскопия

Введение

Широкий научно-практический интерес к веществам белковой и полисахаридной природы объясняется разнообразием их функций в метаболических процессах. И белки, и полисахариды широко применяются в различных областях народного хозяйства: пищевой, фармацевтической промышленности, косметологии, кормопроизводстве и прочих.

Белки и полисахариды являются биополимерами, которые играют ключевую роль в структуре и стабильности пищевых систем. Эти ингредиенты придают им ряд функционально-технологических свойств: повышение вязкости, гелеобразующую способность, водоудерживающие свойства, пенообразование, стабилизацию структуры. Функционально-технологические свойства отдельных биополимеров, как протеинов, так и полисахаридов зависят от их структуры и молекулярных характеристик (мономерный состав, длина цепи, разветвление, заряд, гибкость и прочие) (de Kruif, 2004; Martinez-Flores, 2005; Нечаев, Траубенберг, Кочеткова, 2003). Свойства биополимерных комплексов, образующихся в течение производственных процессов, являются результатом сложных взаимодействий всех компонентов. Технологические параметры при переработке биополимеров (температура, pH среды, продолжительность процесса) оказывают влияние на свойства целевых продуктов.

Для исследований структурных особенностей, физико-химических, функционально-технологических свойств белковых и полисахаридных продуктов широко используются современные методы спектрального анализа (ЯМР, ИКС, УФ-Вид спектроскопия) (Генералов, 2015; Оленников, 2014).

Потребности пищевой промышленности в белковых и полисахаридных продуктах с широким разнообразием состава и функционально-технологических свойств стимулируют исследования в этой области. Поэтому создание белковых продуктов с заданным компонентным составом и функционально-технологическими свойствами имеет важное практическое значение.

Одним из перспективных источников полноценного белка, полипептидов и хорошо растворимых полисахаридов являются семена льна. Эти макронутриенты входят в перечень незаменимых нутриентов и обладают большим нутрици-

ческим потенциалом (MP 2.3.1.2432-08, 2009; Rabetafika, 2011; Gutte, 2015; Shim, 2014; Гришин, 2017). Функциональные свойства льняных белков во многом зависят от их взаимодействия с другими пищевыми веществами: полисахаридами слизи, липидами (Lia, 2016). Водная экстракция из семян льна сопровождается конкурентным выходом в экстракт белков и полисахаридов. Соотношение этих компонентов в целевом продукте определяется подготовкой сырья и условиями процесса экстракции. При водной экстракции из неразрушенных семян льна в целевом продукте преобладают углеводные вещества – полисахариды слизи, сконцентрированные в оболочке семян льна. Использование в качестве сырья обезжиренных измельченных семян льна (жмыхи, шроты) позволяет выделять при тех же условиях экстракции концентрированные белковые продукты (Миневич, 2018, 2019).

Целью работы является спектроскопическое исследование влияния условий переработки семян льна на соотношение основных макронутриентов в целевых продуктах.

Материалы и методы

Объектами исследований служили продукты переработки семян льна:

- семенные оболочки: исходные и после удаления слизей;
- ядра семян льна: исходные и после обезжиривания;
- полисахаридные продукты, полученные при водной экстракции из целых и измельченных семян льна;
- белковые концентраты, полученные экстракцией из льняного шрота, отличающегося по способу предварительной обработки.

Обрушивание семян льна для получения семенной оболочки и ядра проводили в лабораторных условиях.

Обезжиривание ядер семян льна проводили экстракцией гексаном при соотношении сырье : растворитель – 1 : 5, температуре 50°C в течение 4 часов. После отделения от растворителя обезжиренные ядра сушили при температуре 60°C.

Водную экстракцию полисахаридов и белков из целых и измельченных семян льна проводили при следующих условиях: гидромодуль (соотношение сырья и растворителя) – 20, температура

40±2°C, продолжительность процесса – 2 часа. После отделения от сырья экстракты либо сушили на противнях слоем не более 0,5 см при температуре 70°C и получали сухой полисахаридный экстракт (ПС-экстракт), либо в 3-кратном избытке этилового спирта получали осадок полисахаридного комплекса (ПС-комплекс). Содержание белка в этих продуктах представлено в Таблице 1.

Белковые экстракты из льняного жмыха и шрота получали в водной среде при pH 8,5 в течение 2-х часов при температуре 40±2°C и постоянном перемешивании. Затем белковый экстракт отделяли от льняного сырья центрифугированием при 3000 об/мин в течение 20 мин. Осаждение белка из экстракта проводили при pH 4,2. Сырой белок сушили при температуре < 60°C. Характеристика исследуемых продуктов переработки семян льна представлена в Таблице 2.

Колебательные спектры образцов (32 скана) получали методом ИК-спектроскопии НПВО (нарушенного полного внутреннего отражения) 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.

Содержание белка в объектах исследования определяли методом Кьельдаля в соответствии с ГОСТ 13496.4.

Результаты и их обсуждение

Метод ИК-спектроскопии НПВО в последние десятилетия получил широкое распространение при исследовании разнообразных биополимеров растительного и животного происхождения (Drakari, 2013; Нечипоренко, 2019). Спектры, полученные методом НПВО, идентичны спектрам классической ИК-спектроскопии и содержат ту же информацию. Обладая всеми достоинствами и универсальностью традиционной инфракрасной спектроскопии, метод НПВО имеет существенные преимущества. Являясь неразрушающим, он позволяет проводить анализ с очень небольшими массами вещества, изучать материалы непрозрачные для ИК-излучения в различных агрегатных состояниях (растворы, гели, пасты, тонкие пленки, порошки, изучать действия косметики и лекарств на кожу человека «*in vivo*») и обходиться без процесса специальной пробоподготовки (Тарасевич, 2012b).

В исследованиях продуктов переработки семян льна большой интерес представляют спек-

Таблица 1
Содержание белка в сырье и полисахаридных продуктах

Семена льна масличного (сорт)	Содержание белка в семенах, %	Содержание белка в полисахаридных продуктах, %	
		ПС-комплекс	Сухой экстракт
Промышленные	15,60±0,78	10,88±0,54	11,04±0,55
ЛМ-98	24,25±1,21	7,80±0,39	8,80±0,44

Таблица 2
Описание продуктов переработки семян льна

Образец	Описание образца	Описание сырья	Содержание белка, %
Б5	Белок из шрота 1	Шрот 1 получен дополнительным обезжириванием гексаном промышленного льняного жмыха	55,80±2,79
Б6	Белок из бесслизевго шрота 2	Шрот 2 получали из семян льна последовательно удаляя слизь и липиды	61,50±3,08
Об1	Оболочка семян льна измельченная	Семена льна обрушенные	15,80±0,79
Об2	Оболочка семян льна бесслизевая	Оболочка семян льна после водной экстракции слизи, высушенная, измельченная	16,51±0,83
Я1	Ядро семени льна измельченное	Семена льна обрушенные	22,16±1,11
Я2	Ядро семени льна обезжиренное, измельченное	Ядро семени льна обезжиривали экстракцией гексаном	34,13±1,71

тральные изменения в области проявления структуры белков. Изменения положения и величины спектральных сдвигов полос групп Амид I ($1600\text{--}1700\text{ см}^{-1}$) и Амид II ($1630\text{--}1510\text{ см}^{-1}$) являются маркерными для детектирования изменений в частотах колебаний связей полипептидной цепи (Krimm, 1986; Тарасевич, 2012а). При этом большое значение имеют не только положения максимумов полос, но и их интенсивность и форма.

С целью изучения изменений в компонентном составе, происходящих в процессе переработки семян льна, проводили сравнительный анализ ИК-спектров объектов, указанных выше.

Сравнительный анализ ИК-спектров семенных оболочек и ядер

Сравнительный анализ ИК-спектров двух сухих образцов измельченных оболочек семян промышленного льна (Рисунок 1) показал, что после удаления слизи все основные полосы становятся более четкими и интенсивными. Увеличиваются: структурированная полоса в области поглощения углеводов ($1100\text{--}1000\text{ см}^{-1}$), комплекс полос, характеризующих колебания CH_n -группировок всех компонентов ($3000\text{--}2850\text{ см}^{-1}$), полосы валентных и деформационных колебаний (3008 и 720 см^{-1} , соответственно) CH -групп при кратных связях ($=\text{CH}$). Возрастает интенсивность характеристичных полос Амид I и Амид II в области поглощения карбониллов ($\text{C}=\text{O}$) белковых составляющих ($1680\text{--}1500\text{ см}^{-1}$) и карбониллов карбоксильных группировок в области $1748\text{--}1740\text{ см}^{-1}$ аминокислот и кислот жирного ряда липидных компонентов. Исключение составляет один небольшой, но достаточно хорошо дифференцированный максимум при 1710 см^{-1} . Он

заметно уменьшается после удаления слизи, но в спектре остается в виде небольшого выступа.

Известно, что основная масса белка и жира находится в ядре семян льна, а также и то, что процессы обезжиривания могут влиять на состояние других его компонентов. На Рисунке 2 приведены ИК-спектры измельченных исходных ядер семян льна и подвергнутых обезжириванию гексаном. Обезжиривание немного снижает интенсивность всех полос, за исключением белковых, которые в спектрах обоих образцов ядра хорошо выражены. Небольшое увеличение их интенсивности может быть связано с освобождением функциональных группировок после частичного разрушения связей с липид-полисахаридными структурами.

Очевидно, что обезжиривание гексаном, в данном случае, не затрагивает белковый комплекс семян льна. Кроме того, скорее всего, при этом удаляются преимущественно насыщенные и частично моновенасыщенные кислоты жирного ряда. Об этом свидетельствует заметное снижение интенсивности полос асимметричных и симметричных колебаний метиленовых групп при 2927 и 2956 см^{-1} , соответственно; полосы 1743 см^{-1} и небольшое снижение полосы деформационных колебаний $=\text{CH}$ -групп (722 см^{-1}). О том, что процесс, по-видимому, практически не затрагивает полиненасыщенные жирные кислоты, позволяет судить близость в обоих спектрах интенсивности полос 3008 см^{-1} , характеризующих валентные колебания CH -групп при двойных связях ($\text{CH}=\text{CH}$) в структурных блоках ненасыщенных липидных компонентов.

По характеру рисунка ИК-спектры исходных образцов ядра и оболочки, представленные для сравнения на Рисунке 3, в общем, практически

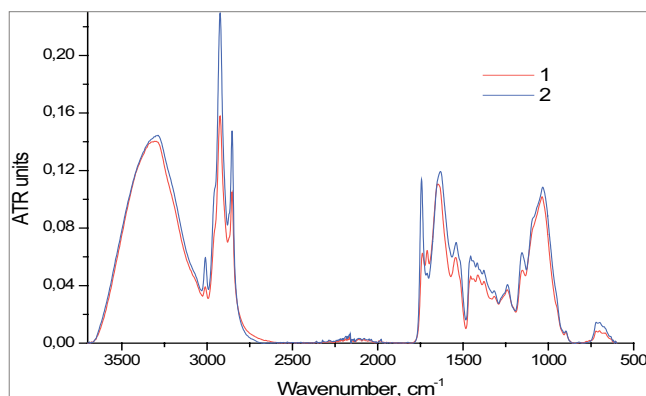


Рисунок 1. ИК-спектры сухих измельченных образцов семенной оболочки: 1 – Об1 (исходные); 2 – Об2 (после удаления слизи).

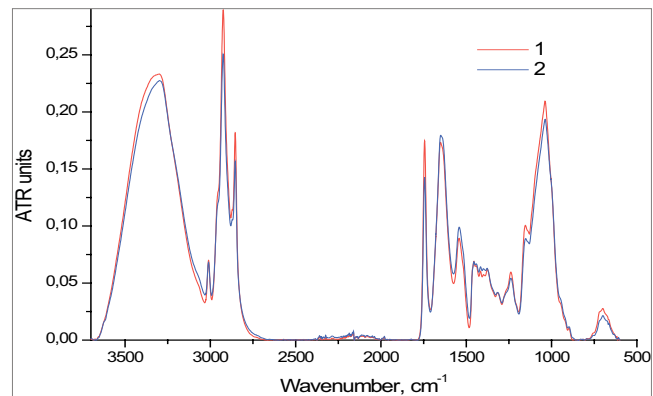


Рисунок 2. ИК-спектры измельченных образцов ядер семян льна: 1 – Я1 (исходные); 2 – Я2 (обезжиренные).

аналогичны и отличаются, в основном, интенсивностью полос. В составе ядра преобладают все основные компоненты – белки, липиды, углеводы. Качественно основное отличие состоит в наличии в спектре оболочки слабой полосы 1710 см^{-1} , которую предположительно можно отнести к полипептидным структурам, которые наряду с белками присутствуют в семенной оболочке.

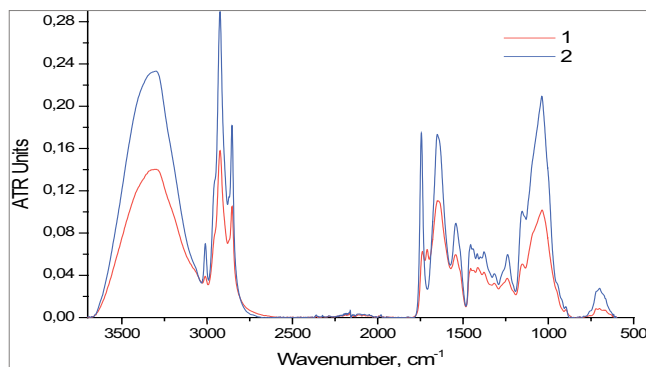


Рисунок 3. ИК-спектры исходных образцов семенной оболочки и ядра семян льна: 1 – ОБ1, 2 – Я1.

Однако более детальное рассмотрение увеличенных фрагментов из Рисунков 1–3 в области, где проявляют себя белковые компоненты (Рисунок 4) позволяет отметить ряд более тонких моментов, которые раскрывает язык спектров. По своему положению полоса 1710 см^{-1} («а») в спектре исходной семенной оболочки может быть отнесена к карбонилам карбоксильных групп полипептидов, частичное удаление которых из оболочки со слизью приводит к ее снижению, bathochromному смещению первого белкового максимума из положения 1647 см^{-1} в положение 1632 см^{-1} и появлению в нем асимметрии. Вторая полоса (1543 см^{-1}) также смещается в более низкочастотную область в положение 1540 см^{-1} , что в обоих случаях указывает на ослабление связей.

Следует отметить, что поскольку обработка ядер семян льна гексаном не затрагивает протеиновые компоненты («б»), положение первого максимума отвечает 1640 см^{-1} , и его асимметрия противоположна асимметрии максимума в спектре семенной оболочки, из которой полипептиды были извлечены. Положение и структура максимумов в спектрах исходных оболочки и ядра семян льна («в») подтверждают наблюдаемый факт.

Полисахаридные продукты

К полисахаридным продуктам, ИК-спектры которых представлены на Рисунке 5, относятся сухие полисахаридные комплексы (ПС-комплексы) и сухие полисахаридные экстракты, выделенные из неразрушенных семян льна двух сортов отечественной селекции, а также полисахаридные комплексы, выделенные из измельченных семян промышленного льна.

Из цельных семян экстракцию проводили в течение 30 минут, и по времени экстракции, как было показано ранее (Миневич, 2018), процесс извлечения протекает преимущественно из семенной оболочки. В обоих случаях, как в спектрах экстрактов, так и в очищенных комплексах, в области $1540\text{--}1680\text{ см}^{-1}$ наблюдается одна уширенная структурированная полоса, в отличие от дублета полос Амида-I и Амида-II, которые непременно присутствуют в спектрах всех истинных белков (Рисунок 2б) (Преч, 2006). На правой и левой ее ветвях наблюдаются плечи разной степени выраженности и интенсивности.

Отмеченный экспериментальный факт позволяет с большей уверенностью говорить о том, что в слизевых продуктах оболочки цельных семян льна преобладают полипептидные компоненты, спектральный образ которых отличается

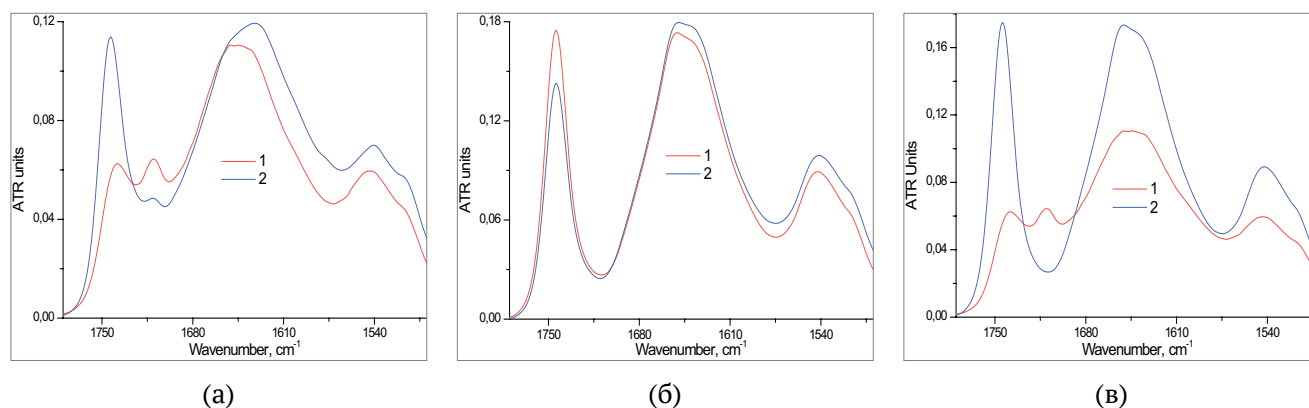


Рисунок 4. Фрагменты ИК-спектров в области $1750\text{--}1500\text{ см}^{-1}$: а) оболочки ОБ1 и ОБ2, б) ядра Я1 и Я2, в) 1 – оболочки ОБ1, 2 – ядра Я1.

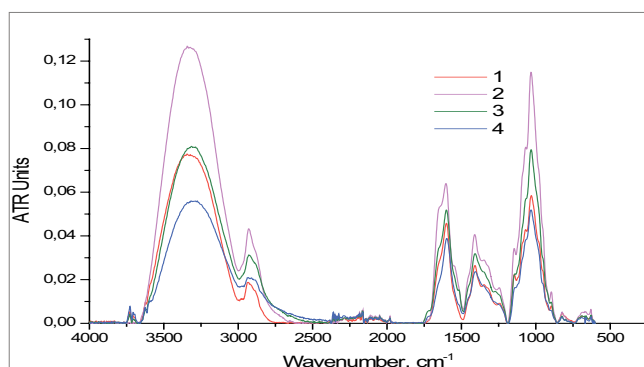


Рисунок 5. ИК- спектры полисахаридных продуктов из семян льна: 1 – ПС-комплекс семян ЛМ-98, 2 – ПС-комплекс из промышленных семян льна, 3 – сухой экстракт из промышленных семян льна, 4 – сухой экстракт из семян ЛМ-98.

от спектрального проявления белковых структур. Кроме того, различия в структуре рассматриваемых полос данных образцов говорит о большем разнообразии химических связей протеин–полисахарид в составе ПС-экстракта из семян льна промышленного. В его спектре на правой и левой ветвях центрального максимума хорошо вырисовываются полосы в области 1660 и 1540 cm^{-1} , которые слабо проявлены в спектре ПС-экстракта семян льна сорта ЛМ-98. Полисахаридная полоса в спектрах всех образцов тоже, в общем, имеет близкий рисунок, в основном различаясь по интенсивности и наличию плечей разной степени выраженности.

Рисунок 6 позволяет сопоставить ИК-спектры образцов ПС-комплексов, полученных водной экстракцией из измельченных и целых семян льна промышленного. Помимо того, что спектр ПС-комплекса, полученного из измельченных семян, расположен существенно выше, он заметно

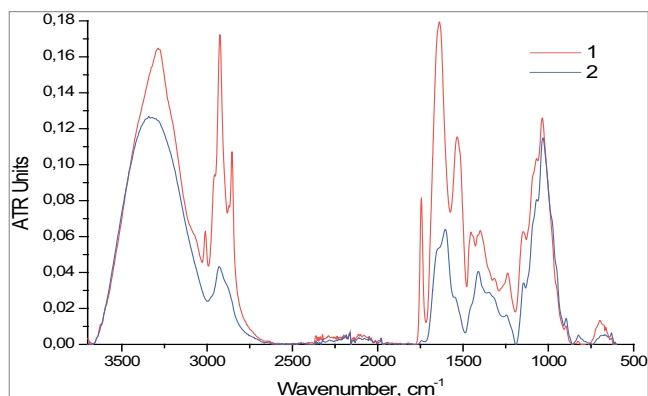


Рисунок 6. ИК-спектры сухих образцов ПС-комплексов, полученных водной экстракцией из: 1 – измельченных, 2 – целых семян льна промышленного.

отличается и по форме большинства полос. Наиболее показательно различие в областях проявления протеиновых структур и CH_n -группировок. В спектре ПС-комплекса, полученного из измельченных семян, протеины представлены двумя полосами, типичными для белковых структур Амид-I и Амид-II, в то время как в спектре ПС-комплекса, выделенного из цельных семян, присутствует одна структурированная полоса. Узкий максимум 3240 cm^{-1} в спектре образца 1 четко указывает на наличие NH-группировок пептидных связей в структуре его белков. Аналогичная ситуация наблюдается и в областях 3010–2800, 1743 и 722 cm^{-1} , говорящих о том, что в полисахаридных комплексах измельченных семян содержится значительное количество ненасыщенных липидных компонентов.

Белковые концентраты

Белковые концентраты – образцы Б5 и Б6 были получены из льняного шрота, обработанного разными способами (Таблица 2). Содержание белка в образцах: Б5 – 55,8%, Б6 – 61,5%. ИК-спектры белковых концентратов представляет Рисунок 7. Хотя их спектры и близки по общей структуре полос, однако весь спектр образца Б6 расположен значительно выше, что, по-видимому, объясняется не только более высоким содержанием в нем белка, но и процедурой предварительного удаления слизи. В образцах отмечено небольшое содержание липидных и полисахаридных остатков. Интенсивность четких белковых полос коррелирует с содержанием в них белка. В спектре образца Б5, полученного из дополнительно обезжиренного жмыха, в отличие от Б6, отсутствует пик 1743 cm^{-1} , в состав которого, помимо аминокислот, входят валентные колебания C=O -группировок карбоксильных функционалов жирных кислот липидов. Кроме того, несколько более высокое содержание

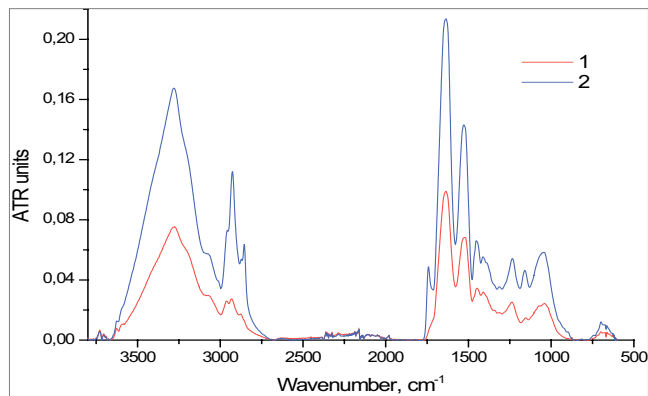


Рисунок 7. ИК-спектры образцов сухих белковых концентратов: 1 – Б5, 2 – Б6.

остатков липидных компонентов в образце Б6 подтверждают более интенсивные полосы колебаний CH_2 -группировок ($3000\text{--}2850\text{ см}^{-1}$) и небольшой острый пик (722 см^{-1}) деформационных колебаний $=\text{CH}$ -групп.

Заключение

Исследования продуктов переработки семян льна после ряда различных технологических операций, проведенные методом ИКС НПВО показали:

- спектральные различия образцов ПС-экстрактов и очищенных ПС-комплексов, полученных водной экстракцией из цельных, измельченных семян льна и промышленного жмыха, предопределяются в основном качественным составом протеинов в семенной оболочке и ядре семян льна. Дублет полос Амид-I и Амид-II ($1700\text{--}1500\text{ см}^{-1}$), характерный для белковых структур, наблюдался в спектрах образцов, полученных из ядер, измельченных семян льна, белковых концентратов и обрушенной семенной оболочки. В спектрах образцов, полученных из слизи цельных семян, независимо от сорта сырья, дублет Амидов отсутствовал, его заменяла одиночная уширенная структурированная полоса ($1680\text{--}1540\text{ см}^{-1}$), характерная для полипептидных компонентов;
- извлечение полисахаридов слизей из оболочки цельных семян методом водной экстракции сопровождается выходом в раствор в основном полипептидных структур, которые заметно различаются по своим спектральным характеристикам от белковых;
- обезжиривание гексаном измельченных ядер семян и ПС-комплексов не затрагивает белковые компоненты, но отражается на структуре липид-полисахаридных ассоциатов;
- анализ ИК-спектров белковых концентратов, полученных из промышленного жмыха после «холодного» прессования и шрота семян льна после последовательной водной экстракции слизей и липидов гексаном, показало идентичность спектров по структуре полос, интенсивность которых коррелировала с содержанием белка.

Спектроскопическое исследование показало разнообразие протеин-полисахаридных взаимодействий при переработке семян льна.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что водная экстракция в зависимости

от способа обработки сырья позволяет получить ряд пищевых ингредиентов с различным содержанием таких нутриентов, как белки, полипептиды, полисахариды. Из неразрушенных семян льна, либо отделенной оболочки можно выделить полисахариды, связанные с полипептидами семян льна, которые в свою очередь характеризуются высокой биологической активностью (Rabetafika, 2011; Udengwe, 2011). Из льняных жмыхов и шротов, варьируя параметры процесса, мы ранее получили продукты с различным содержанием протеина, связанного с полисахаридами (Миневич, 2019). Функционально-технологические свойства продуктов, полученных из семян льна целых, либо измельченных и обезжиренных, в значительной степени определяются соотношением их белковой и полисахаридной части. Для достижения высоких эмульсионных показателей следует использовать белковые продукты, выделенные из жмыха семян льна. Для высокой водоудерживающей способности лучше использовать полисахаридные продукты, полученные при экстракции из неразрушенных семян льна.

Финансирование

Исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ ФГБНУ ФНЦ ЛК.

Литература

- Генералов Е.А. Физико-химические подходы к анализу природных полисахаридов // Auditorium. 2015. № 4(8). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fiziko-himicheskie-podhody-k-analizu-prirodnih-polisaharidov> (дата обращения: 25.04.2018).
- Гришин Д.В., Подобед О.В., Гладилина Ю.А., Покровская М.В., Соколов Н.Н. Биоактивные белки и пептиды: современное состояние и новые тенденции практического применения в пищевой промышленности // Вопросы питания. 2017. Т. 86. № 3. С. 19-31. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00041>
- Методические рекомендации МР 2.3.1.2432-08. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 36 с.
- Миневич И.Э., Осипова Л.Л., Нечипоренко А.П., Смирнова Е.И., Мельникова М.И. Особенности

- процесса экстракции полисахаридов слизи из семян льна // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2018. Вып. 2(36). С. 3-11. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2018-11-2-3-11>
- Миневич И.Э., Осипова Л.Л., Ущаповский И.В., Абрамов Д.В., Краюшкина В.Н. Технология получения белковых концентратов из льняного жмыха для использования в промышленном производстве // Хлебопродукты. 2019. № 8. С. 34-37. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-30-8-34-37>
- Нечипоренко У.Ю., Плотникова Л.В., Мельникова М.И. Липиды, их купажи, экстракты и шроты растительного сырья. Рига: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019. 156 с.
- Оленников Д.Н., Кашенко Н.И. Полисахариды. Современное состояние изученности: экспериментально-научометрическое исследование // Химия растительного сырья. 2014. № 1. С. 5-26. <https://doi.org/10.14258/jcprm.1401005>
- Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А. Пищевая химия. СПб.: ГИОРД, 2003. 640 с.
- Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольтер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных. М.: Мир; Бином, 2006. 440 с.
- Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. М.: МГУ, 2012а. 55 с.
- Тарасевич Б.Н. Основы ИК спектроскопии с преобразованием Фурье. Подготовка проб в ИК спектроскопии. М.: МГУ, 2012b. 22 с.
- de Kruif C.G., Weinbreck F., de Vries R. Complex coacervation of proteins and anionic polysaccharides // Current Opinion in Colloid & Interface Science. 2004. No. 9. P. 340-349.
- Drakaki E., Vergou T., Dessinioti C., Stratigos A.J., Salavastru C., Antoniou C. Spectroscopic methods for the photodiagnosis of nonmelanoma skin cancer. Review // Biomed. Opt. 2013. Vol. 18(6). P. 161-221.
- Gutte K.B., Sahoo A.K., Ranveer R.C. Bioactive components of flaxseed and its health benefits // Int. J. Pharm. Sci. Res. 2015. No. 9. P. 42-51.
- Krimm S., Bandekar J. Vibrational spectroscopy and conformation of peptides, polypeptides, and proteins // Advances in protein chemistry. 1986. Vol. 38. P. 181-364.
- Liu J., Shim Y., Poth A.G., Reaney M.J.T. Conlinin in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) gum and its contribution to emulsification properties // Food Hydrocolloids. 2016. Vol. 52. P. 963-971. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.09.001>
- Martinez-Flores H.E., Soto E.B., Garnica-Romo M.G., Saldaña A.L., Penagos C.J.C. Chemical and Functional Properties of Flaxseed Protein Concentrate obtained using Surface Response Methodology // J. Agri. Food Chem. 2002. Vol. 50. P. 6515-6520.
- Rabetafika H.N., Remoortel V. Flaxseed proteins: food uses and health benefits // Int. J. Food Sci. Tech. 2011. Vol. 46(2). P. 221-228.
- Shim Y.Y., Gui B., Arnison P.G., Wang Y., Reaney M.J.T. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: A review // Trends in Food Science & Technology. 2014. Vol. 38. No. 1. P. 5-20.
- Udengwe C.C., Aluko R.E. Another side of the flaxseed proteins and peptides // AgroFood industry hi-tech. 2011. Vol. 22. No. 2. P. 50-53.

The Research of the Influence of the Flax Seed Processing Conditions on the Macronutrients Ratio in the Target Products by IR-Spectroscopy FTIR

Irina E. Minevich

*The Federal State Budget Research Institution Federal Research Center for Bust Fiber Crops
17/56, Komsomolsky ave., Tver, 170041, Russian Federation
E-mail: irina_minevich@mail.ru*

Lidiia L. Osipova

*The Federal State Budget Research Institution Federal Research Center for Bust Fiber Crops
17/56, Komsomolsky ave., Tver, 170041, Russian Federation
E-mail: l.osipova@vniiml.ru*

Alla P. Nechiporenko

*ITMO University
9, Lomonosova str., Saint Petersburg, 191002, Russian Federation
E-mail: allanech2512@yandex.ru*

Tatyana B. Tsyganova

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: ztatianaz@yandex.ru*

Diana A. Gromova

*ITMO University
9, Lomonosova str., Saint Petersburg, 191002, Russian Federation
E-mail: 16adianaz@gmail.com*

The wide scientific and practical interest to the substances of protein and polysaccharide nature is explained by the diversity of their functions in metabolic processes. Flax seeds are one of the promising sources of high-grade protein, polypeptides, and well soluble polysaccharides. These nutrients are the physiologically necessary components of food and have a great nutraceutical potential. The aim of the research was the study of the processing conditions influence of whole flax seeds and shredded flax seeds on the ratio of the main components - polysaccharides, protein, lipids and their spectral manifestation in the target products - polysaccharide extracts and complexes. Polysaccharide extracts were obtained by aqueous extraction, polysaccharide complexes were obtained by subsequent precipitation from the extracts with ethanol. The extraction products were degreased by treatment with hexane. The following was established. In the mucus of the shell of the whole flax seed, regardless of its variety, polypeptides prevail spectrally in the form of a single broad structured band ($1680-1540\text{ cm}^{-1}$). The protein components extracted from the kernel and the shredded seeds are represented by a doublet of the characteristic bands of Amida-I and Amida-II in the area of $1700-1500\text{ cm}^{-1}$. Degreasing with hexane does not affect the content of protein components. But these process leads to the removing of mainly saturated and monounsaturated fatty acids that are the part of the lipid-polysaccharide complexes. The spectroscopic research showed a variety of protein-polysaccharide interactions in the processing of flax seeds. Using aqueous extraction in the processing flax seeds is of practical importance for the isolation of nutrients (proteins, polypeptides, polysaccharides) with high nutraceutical potential.

Keywords: oilseeds; polysaccharides; proteins; polypeptides; extraction; dietary fiber; spectroscopy

Funding

The study was carried out in accordance with the plan of scientific research of The Federal State Budget Research Institution Federal Research Center for Bust Fiber Crops.

References

- Generalov E.A. Fiziko-himicheskie podhody k analizu prirodnih polisaharidov [Physico-chemical approaches to the analysis of natural polysaccharides]. Auditorium, 2015, no. 4(8). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fiziko-himicheskie-podhody-k-analizu-prirodnih-polisaharidov> (accessed 25.04.2018).
- Grishin D.V., Podobed O.V., Gladilina Yu.A., Pokrovskaya M.V., Sokolov N.N. Bioaktivnye belki i peptidy: sovremennoe sostoyanie i novye tendencii prakticheskogo primeneniya v pishchevoj promyshlennosti [Bioactive proteins and peptides: current state and new trends of practical application in the food industry and feed production]. *Voprosy pitaniya [Issues of nutrition]*, 2017, vol. 86, no. 3, pp. 19-31. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00041>
- Metodicheskie rekomendatsii MR 2.3.1.2432-08. Normy fiziologicheskikh potrebnostej v energii i pishchevyh veshchestvah dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossijskoj Federacii. [Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation]. Moscow: Federalnyj centr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora, 2009. 36 p.
- Minevich I.E., Osipova L.L., Nechiporenko A.P., Smirnova E.I., Melnikova M.I. Osobennosti processa ekstrakcii polisaharidov slizi iz semyan lna [Features of the process of extraction of polysaccharide mucilage from flax seeds]. *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya «Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv» [Scientific journal of ITMO Research Institute. Series "Processes and devices of food production"]*, 2018, no. 2(36), pp. 3-11. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2018-11-2-3-11>
- Minevich I.E., Osipova L.L., Ushchapovskij I.V., Abramov D.V., Krayushkina V.N. Tekhnologiya polucheniya belkovykh koncentratov iz lnyanogo zhmyha dlya ispolzovaniya v promyshlennom proizvodstve [Development of the technology of protein concentrates from flaxseed cake, adapted to introduction at small enterprises]. *Hleboprodukty [Bread products]*, 2019, no. 8, pp. 34-37. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-30-8-34-37>
- Nechaev A.P., Traubenberg S.E., Kochetkova A.A. Pishchevaya himiya [Food chemistry]. Saint-Petersburg: GIOR, 2003. 640 p.
- Nechiporenko U.Yu., Plotnikova L.V., Melnikova M.I. Lipidy, ih kupazhi, ekstrakty i shroty rastitelnogo syrya [Lipids, their blends, extracts and meal of plant materials]. Riga: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019. 156 p.
- Olennikov D.N., Kashchenko N.I. Polisaharidy. Sovremennoe sostoyanie izuchennosti: eksperimentalno-naukometricheskoe issledovanie [Polysaccharides. The current state of knowledge: experimental-scientometric study]. *Himiya rastitelnogo syrya [Chemistry of plant raw materials]*, 2014, no. 1, pp. 5-26. <https://doi.org/10.14258/jcprm.1401005>
- Prech E., Byulmann F., Affolter K. Opredelenie stroeniya organicheskikh soedinenij. Tablicy spektralnykh dannykh [Determination of the structure of organic compounds. Spectral data tables]. Moscow: Mir; Binom, 2006. 440 p.
- Tarasevich B.N. IK spektry osnovnykh klassov organicheskikh soedinenij. Spravochnye materialy [IR spectra of the main classes of organic compounds. Reference materials]. Moscow: MGU, 2012a. 55 p.
- Tarasevich B.N. Osnovy IK spektroskopii s preobrazovaniem Fure. Podgotovka prob v IK spektroskopii [Fundamentals of the Fourier transformation in IR spectroscopy. Sample preparation in IR spectroscopy]. Moscow: MGU, 2012b. 22 p.
- de Kruif C.G., Weinbreck F., de Vries R. Complex coacervation of proteins and anionic polysaccharides. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 2004, no. 9, pp. 340-349.
- Drakaki E., Vergou T., Dessinioti C., Stratigos A.J., Salavastru C., Antoniou C. Spectroscopic methods for the photodiagnosis of nonmelanoma skin cancer. Review. *Biomed. Opt.*, 2013, vol. 18(6), pp. 161-221.
- Gutte K.B., Sahoo A.K., Ranveer R.C. Bioactive components of flaxseed and its health benefits. *Int. J. Pharm. Sci. Res.*, 2015, no. 9, pp. 42-51.
- Krimm S., Bandekar J. Vibrational spectroscopy and conformation of peptides, polypeptides, and proteins. *Advances in protein chemistry*, 1986, vol. 38, pp. 181-364.
- Liu J., Shim Y., Poth A.G., Reaney M.J.T. Conlinin in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) gum and its contribution to emulsification properties. *Food Hydrocolloids*, 2016, vol. 52, pp. 963-971. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.09.001>

- Martinez-Flores H.E., Soto E.B., Garnica-Romo M.G., Saldaña A.L., Penagos C.J.C. Chemical and Functional Properties of Flaxseed Protein Concentrate obtained using Surface Response Methodology. *J. Agri. Food Chem.*, 2002, vol. 50, pp. 6515-6520.
- Rabetafika H.N., Remoortel V. Flaxseed proteins: food uses and health benefits. *Int. J. Food Sci. Tech.*, 2011, vol. 46(2), pp. 221-228.
- Shim Y.Y., Gui B., Arnison P.G., Wang Y., Reaney M.J.T. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 2014, vol. 38, no. 1, pp. 5-20.
- Udengwe C.C., Aluko R.E. Another side of the flaxseed proteins and peptides. *AgroFood industry hi-tech*, 2011, vol. 22, no. 2, pp. 50-53.