

УДК: 633.521:547.917:66.061.34

Сортовые и технологические особенности получения полисахаридных продуктов из семян льна (*Linum Usitatissimum* L.)

Канд. техн. наук **И.Э. Миневич**, irina_minevich@mail.ruканд. биол. наук **И.В. Ущাপовский, Л.Л. Осипова***Федеральный научный центр лубяных культур**170041, Россия, Тверь, Комсомольский пр., 17/56*Канд. биол. наук **Д.В. Абрамов***ВНИИ маслодела и сыродела – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова, РАН**152613, Россия, Углич, Красноармейский бульвар, 19*

Изучали эффективность выделения полисахаридов слизей из семян льна разных сортов и оценивали перспективы масштабирования процесса получения полисахаридных продуктов. Объектами исследования служили семена льна масличного сортов Ручеек, Omega, Северный, ЛМ-98 и семена льна-долгунца сортов Ленок, Цезарь, Дипломат, Алексим. Полисахаридные продукты получали в лабораторных условиях и в экспериментальном цехе. Полисахариды из семян льна экстрагировали при температуре 45–50°C в течение 2 ч и варьировании гидромодуля. Полисахаридный продукт выделяли из экстракта высаживанием в трехкратном избытке этилового спирта. Продукты сушили методом СВЧ (в лабораторных условиях) и методом распылительной сушки (в экспериментальном цехе). Определяли содержание полисахаридов в семенах льна и их высокомолекулярной фракции, сухого остатка экстракта. Показано, что при водной экстракции полисахаридов из семян льна выход целевого продукта зависит от технологических параметров, суммарного содержания полисахаридов и количества их высокомолекулярной фракции. Максимальный выход полисахаридного продукта был получен из сырья, характеризовавшегося наибольшим содержанием высокомолекулярной фракции полисахаридов. Определены параметры процесса, позволяющие получать целевой продукт с небольшим содержанием белка (6,7%) и высокими органолептическими показателями. Предложено проводить процесс при температурах не выше 50°C в течение не более 2 ч. При этом, соотношение сырья и растворителя (гидромодуль) может варьировать от 13 до 20. Выбор гидромодуля должен проводиться исходя из индивидуальных характеристик партии семян льна, а именно, суммарного количества полисахаридов слизей и содержания в них высокомолекулярной фракции.

Ключевые слова: переработка растительного сырья; сельскохозяйственная биология; лен, масличные семена; пищевые функциональные ингредиенты; полисахариды; экстракция; гидроколлоиды.

DOI: 10.17586/2310-1164-2020-10-2-3-10

Some aspects of producing polysaccharide products from flax seeds

Ph. D. **Irina E. Minevich**, irina_minevich@mail.ruPh. D. **Igor V. Uschapovsky, Lidia L. Osipova***Federal Research Center for Bust Fiber Crops**17/56, Komsomolsky ave., Tver, 170041, Russia*Ph. D. **Dmitry V. Abramov***All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking –
Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS
19, Krasnoarmeysky blvd., Uglich, 152613, Russia*

The aim of the work is to study the efficiency of isolation of mucilage polysaccharides from flax seeds of different varieties and to assess the prospects for scaling the process of obtaining polysaccharide products. The objects of the study were seeds of oil flax and flax varieties of Russian selection (Rucheyek, Omega, Severny, LM-98 and fiber flax seeds of Lenok, Cesar, Diplomat, and Alexim varieties). Polysaccharide products were obtained under laboratory conditions and in the experimental workshop. Polysaccharide from flax seeds were extracted at the temperature of 45–50°C for two hours at variable hydromodule. Polysaccharide products were isolated from the extract by precipitation in three-fold volume of ethanol. The product was microwave dried in (under laboratory conditions) and spray dried (in the experimental workshop). In the process of water extraction of polysaccharides from flax seeds the technological parameters, as well as the total content of polysaccharides and the amount of their high molecular weight fraction, dry residual of the extract, were determined. Those parameters were shown to affecting the yield of target product. The maximum yield of polysaccharide product was obtained for

the seeds with the highest content of high molecular weight polysaccharide fractions. The process parameters were determined, which allowed obtaining the target product with low protein content (6.7%) and the high organoleptic characteristics. The process should be carried out at temperatures of not higher than 50°C for no more than 2 hours. The ratio of raw materials to solvent (hydromodule) can vary, for example, from 13 to 20. Moreover, the choice of hydromodule should be based on the individual characteristics of the flax seeds, that is the total amount of mucilage polysaccharides and the high molecular weight fraction in them.

Keywords: plant raw materials processing; agricultural biology; flax; oilseeds; functional food ingredients; polysaccharides; extraction; hydrocolloids.

Введение

Рациональное использование сырья растительного происхождения и создание на его основе продуктов здорового питания является одним из направлений повышения пищевого статуса населения. Масличные культуры считаются источником функциональных ингредиентов (в физиологическом и технологическом аспектах). Белки, масла с уникальным комплексом полиненасыщенных жирных кислот и пищевые волокна масличных являются незаменимыми компонентами здоровой и полноценной пищи. Среди масличных культур семена льна выделяются по составу и содержанию функциональных ингредиентов и биологически активных веществ. Помимо ценного масла они содержат белки, характеризующиеся полным набором незаменимых аминокислот, растворимые пищевые волокна в виде некрахмальных полисахаридов слизи, а также биологически активные полипептиды и лигнаны [1, 2]. Разнообразие биохимического состава свидетельствует о целесообразности осуществления глубокой переработки семян льна и получения из них ассортимента полезной продукции. Производство полисахаридных и белковых веществ, биологически активных лигнанов позволит получать продукты с добавленной стоимостью и увеличить эффективность производства этой культуры.

В настоящее время семена льна в России используются в качестве сырья для получения льняного масла (пищевого и технического), муки и жмыха. Объемы их переработки внутри страны невелики. На экспорт отправляется большая часть этой культуры: в 2017–2018 годах было отправлено свыше 62% произведенных семян льна [3].

Семена льна используют в целом, измельченном виде, в виде муки (после удаления масла) для создания различных видов продуктов. Их пищевые функциональные ингредиенты (протеины, пищевые волокна, основой которых являются полисахариды слизи семян) стали привлекать большое внимание исследователей и практиков в последние годы в связи с ростом мирового рынка продуктов здорового питания и популяризации здорового образа жизни. Однако в России незаслуженно мало осваиваются в производстве технологии глубокой переработки семян льна, которые позволяют получать эти функциональные ингредиенты и использовать их для расширения ассортимента продуктов здорового питания, биологически активных добавок и фармпрепаратов.

Разработка инновационных технологий пищевых функциональных ингредиентов из семян льна является актуальной задачей особенно сегодня, когда аналогичная продукция не производится в России.

Известны технологии по выделению функциональных ингредиентов (белков, пищевых волокон) и биологически активных веществ, в частности лигнанов из семян льна [4–7]. Однако они используются, в основном, в исследовательской практике и в промышленных масштабах не осуществлены.

Наряду с выделением белков из льняного сырья большими перспективами промышленного масштабирования обладает получение полисахаридов слизей.

Для пищевой промышленности водорастворимые полисахариды растительных слизей представляют интерес в качестве технологических пищевых добавок типа гидроколлоидов, которые играют роль структурообразователя, водосвязывающего и жирудерживающего агента, загустителя, стабилизатора и пр. Их также рассматривают в качестве растворимых пищевых волокон, которые являются незаменимым функциональным пищевым ингредиентом с доказанным физиологическим действием [8, 9]. Потребность в подобных пищевых добавках для производства продуктов здорового питания по данным маркетинговых исследований растет с каждым годом [10].

Ранее растительные полисахариды слизей считали инертными веществами. Однако, как показано многочисленными исследованиями, они обладают широким спектром фармакологической активности,

оказывают комплексное терапевтическое действие на организм человека и не проявляют побочных эффектов, продукты их распада не накапливаются в организме и выводятся естественным путем [11–13].

Полисахариды слизи семян льна как растворимые пищевые волокна являются физиологически необходимым компонентом пищи, с другой стороны, благодаря своим технологическим свойствам – относятся к классу гидроколлоидов, используемых в пищевых технологиях [14].

Целью работы является изучение эффективности выделения полисахаридов слизей из семян льна разных сортов и оценка перспектив масштабирования процесса получения полисахаридных продуктов.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования служили семена льна масличного сортов Ручеек, Omega, Северный, ЛМ-98 и семена льна-долгунца сортов Ленок, Цезарь, Дипломат, Алексим российской селекции. Семенной материал был получен из структурных подразделений Федерального научного центра лубяных культур (ФНЦ ЛК). Полисахаридные продукты были получены в лабораторных условиях ФНЦ ЛК (Тверь, Россия) и в экспериментальном цехе ВНИИ маслоделия и сыроделия (ВНИИМС) (Углич, Россия).

Экстракцию полисахаридов из цельных семян льна проводили в дистиллированной воде при температуре 45–50°C, при постоянном перемешивании в течение 2 ч, варьировании гидромодуля процесса. После отделения экстракта от сырья из него выделяли полисахаридный продукт (ПС комплекс) высаживанием в трехкратном избытке этилового спирта.

Полисахаридные продукты в лабораторных условиях сушили в микроволновой печи LG Intellrowave (MS-1724U) при мощности 500 Вт, в течение 3–4 мин. Опытный образец полисахаридного продукта сушили методом распылительной сушки.

Суммарное содержание полисахаридов в семенах льна и их высокомолекулярной фракции определяли по методике, основанной на количественном определении водорастворимых полисахаридов методом гравиметрии при экстракции суммы полисахаридов из сырья водой с последующим осаждением их этиловым спиртом (96%) [15]. Определение сухого остатка экстракта проводили по ГОСТ 31640-2012. Математическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием статистического пакета программы MS Excel.

Результаты и их обсуждение

По характеру образования слизи семян льна относятся к интерцеллюлярным, то есть межклеточным. Слизь при растворении в воде образует характерные вязкие коллоидные системы. Качественный и количественный состав полисахаридов слизей семян льна зависит от сортовых особенностей, региона и годовых климатических условий [16, 17]. Состав и свойства выделенных полисахаридных продуктов зависят в свою очередь от условий экстракции, способов обработки экстракта и сушки целевого продукта [18–20]. Согласно современным представлениям, слизь представляет собой смесь высокомолекулярных полисахаридов [21]. В состав моноз полисахаридов входят ксилоза, глюкоза, галактоза, рамноза, фукоза и галактуроновая кислота. Полисахариды льняных слизей содержат две фракции: нейтральную и кислую, соотношение которых определяется сортом, условиями выделения из сырья. 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 [22, 17]. В зависимости от условий выделения количество белка в полисахаридных продуктах может варьировать в очень широком интервале – от 5 до 60%, что во многом определяет их функциональные свойства [23].

Полисахариды слизи семян льна хорошо растворимы в воде и слабых растворах солей. В воде они разбухают, превращаясь в стекловидную прозрачную массу. Это приводит к увеличению веса сырья (льняного семени) до 2,5 раз, вследствие чего возникают определенные трудности при проведении ряда технологических операций (экстракция, фильтрование).

Эффективность экстракции полисахаридов слизей, оцененная по таким параметрам, как суммарное количество полисахаридов (СумПС), содержание в них высокомолекулярной фракции (ВМФр), сухой остаток экстракта, а также по доле выхода полисахаридного комплекса относительно сырья, зависела от изучаемого сорта льна (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика сырья и продуктов водной экстракции семян льна

Table 1. Properties of raw materials and water-extraction products of flax seeds

Характеристика семян льна						Сухой остаток экстракта, %	Выход ПС комплекса %
Сорт	Направление использования	Цвет семян	Содерж. белка, %	Содержание, %			
				СумПС	ВМФр		
Ручеек	масличный	коричневый	20,29	2,95	55,5	1,18	5,68
Omega	масличный	желтый	15,00	3,3	44,0	1,14	5,30
Северный	масличный	коричневый	19,80	3,67	39,5	1,25	5,68
Ленок	лен-долгунец	коричневый	21,25	3,3	39,4	1,40	5,50
Цезарь	лен-долгунец	коричневый	23,13	1,98	45,5	1,44	3,00
Дипломат	лен-долгунец	коричневый	25,81	3,14	47,8	1,52	6,09
ЛМ-98	масличный	желтый	24,25	4,89*	44,4	1,60*	6,12
Алексим	лен-долгунец	коричневый	22,68	2,70	68,0*	1,60*	7,25*

*максимальные значения показателей

В таблице 1 данные расположены в порядке возрастания экстрактивных веществ, показателем которых является величина сухого остатка экстракта. Наибольшее содержание полисахаридов в исследуемых семенах льна было определено в семенах масличного льна ЛМ-98. Этот же сорт семян показал максимальную величину экстрактивных веществ и большой выход целевого продукта. Максимальный выход ПС комплекса был выявлен у сорта льна-долгунца Алексим – 7,25%. При этом содержание полисахаридов в нем небольшое, а содержание высокомолекулярной фракции полисахаридов максимальное из всех исследуемых сортов.

При осаждении избытком спирта не все экстрактивные вещества переходят в целевой продукт. Так, часть соединений, обычно с невысокой молекулярной массой, стабильна в водных растворах и не осаждается. Это объясняет отсутствие прямой корреляции между количеством экстрактивных веществ и выходом целевого продукта.

Сравнение данных по эффективности водной экстракции из исследуемых сортов свидетельствует о большом значении количества высокомолекулярной фракции в суммарном содержании полисахаридов семени льна. Так при относительно небольшом содержании водорастворимых полисахаридов (2,7%) в семенах льна сорта Алексим содержание экстрактивных веществ (сухой остаток) оказалось самым высоким, как и у масличного сорта ЛМ-98. Максимальный выход ПС комплекса в данном случае, вероятно, обеспечило высокое содержание высокомолекулярной фракции (ВМФр) полисахаридов слизи.

Соотношение ВМФр/ПС позволяет определить значимость указанных характеристик и эффективность водной экстракции. Этот показатель для исследованных сортов находится в широком диапазоне от 9 до 25 (рисунок 1). При этом максимальному содержанию экстрактивных веществ соответствовали крайние (минимальное и максимальное) значения ВМФр/ПС.

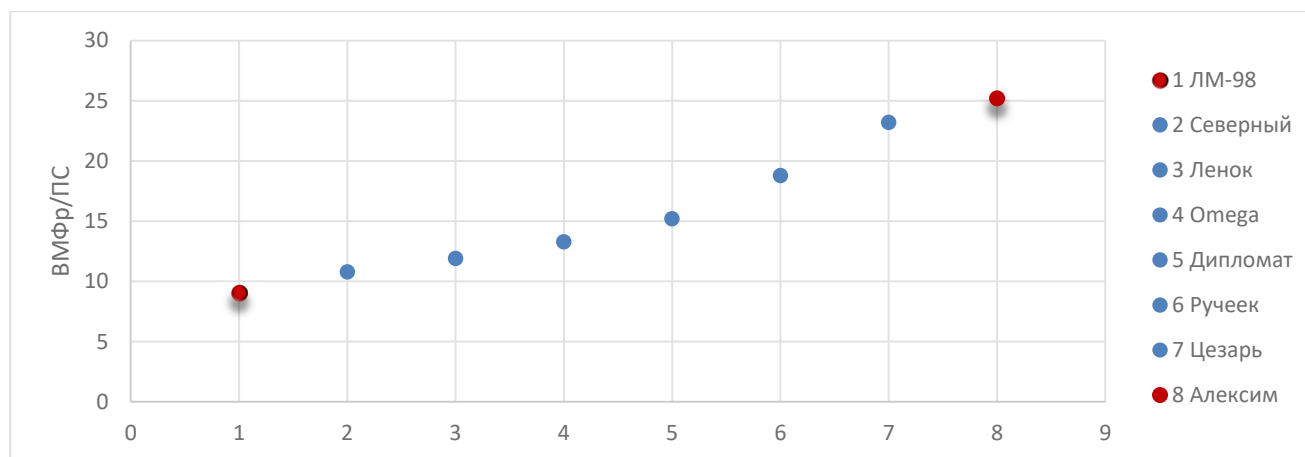


Рисунок 1 – Соотношение количества высокомолекулярной фракции полисахаридов и суммы полисахаридов в семенах льна различных сортов (1 – ЛМ-98; 2 – Северный; 3 – Ленок; 4 – Omega; 5 – Дипломат; 6 – Ручеек; 7 – Цезарь; 8 – Алексим)

Figure 1. Ratio of high molecular weight fraction of polysaccharides and total amount of polysaccharides in the varieties of flax seeds (1 – LM-98; 2 – Severny; 3 – Lenok; 4 – Omega; 5 – Diplomat; 6 – Rucheyek; 7 – Cesar; 8 – Alexim)

Выявлено, что на выход ПС комплекса оказывает влияние сочетание таких факторов, как суммарное количество полисахаридов слизи и содержание в них высокомолекулярной фракции.

Наименьший выход ПС комплекса был определен в случае экстракции из семян льна-долгунца сорта Цезарь. При этом и суммарное содержание полисахаридов в этих семенах оказалось наименьшим (таблица 1).

Таким образом, при выборе сырья для получения ПС комплекса помимо условий самого процесса экстракции и способа выделения целевого продукта необходимо учитывать сортовые характеристики по содержанию полисахаридов и их высокомолекулярной фракции.

Во многом отсутствие промышленного производства полисахаридов слизи семян льна зависит от необходимости масштабирования процесса экстракции полисахаридов слизи семян льна, разработанного ФНЦ ЛК.

Эффективность процесса экстракции определяется, в основном, тремя факторами: соотношением сырье–экстрагент, температурой и продолжительностью процесса. В ряде работ были определены параметры, обеспечивающие максимальный выход полисахаридов из семян льна, которые варьировали: температура – 80–85°C, продолжительность – 0,5–3 ч, соотношение сырья и реагента 18–25 [24–26]. Оптимальные параметры соответствовали высокому выходу продукта, однако не обеспечивали его высокого качества. Как показали авторы [26], несмотря на максимальный выход, получаемые продукты характеризовались низкими функциональными свойствами, темным цветом, высоким содержанием белка. Снижение качества целевого продукта, прежде всего, его потемнение и повышение содержания белка в конечном продукте происходит при повышении температуры экстракции, когда в экстракт активно переходят пигменты и зольные вещества [27].

Такая тенденция наблюдалась и при исследовании водной экстракции из семян льна. В таблице 2 представлены полученные авторами данные по влиянию температуры на выход и характеристики полисахаридного продукта. Увеличение температуры сопровождалось повышением содержания белка в целевом продукте при ухудшении его органолептических свойств, в частности, – потемнением.

Таблица 2. Характеристика полисахаридного продукта, полученного при различных температурах экстракции
 Table 2. Properties of polysaccharide product obtained at various extraction temperatures

t, °C	Выход целевого продукта	Содержание белка в продукте, %	Цвет продукта
20	4,2	5,5	от светло-бежевого до белого
40	4,8	6,3	от светло-бежевого до белого
50	5,8	6,7	светло-бежевый
60	6,5	7,5	бежевый
80	8,0	9,5	от темно-бежевого до коричневого

Данные указывают, что проведение процесса экстракции выше 50°C нежелательно в связи с ухудшением качества целевого продукта. Продолжительность экстракции более 2 ч, как было показано нами ранее [7, 14], не приводит к значительному повышению содержания экстрактивных веществ, но повышает энергоёмкость процесса.

Экстракция полимеров, в том числе и полисахаридов льняной слизи, определяется их молекулярным весом. Емкость растворителя для каждого полимера индивидуальна, поэтому и соотношение сырья и экстрагента (гидромодуль) имеет большое значение для достижения максимальной эффективности процесса.

Эффективность экстракции из семян льна Ручеек и Омега при различных гидромодулях для температур 50 и 80°C различна (рисунок 2). В данном случае, гидромодуль 20 можно считать оптимальным. С целью исключения снижения качества целевого продукта, несмотря на более низкий выход, процесс следует проводить при температуре не выше 50°C.

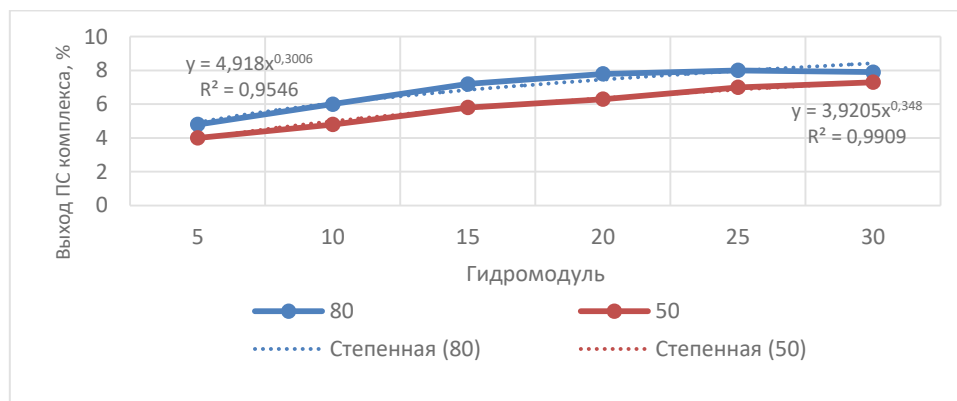


Рисунок 2 – Влияние гидро модуля на эффективность экстракции полисахаридов из семян льна промышленного производства при различных температурах

Figure 2. The influence of hydromodule on the efficiency of polysaccharide extraction from commercially made flax seeds at various temperatures

Проведенная наработка полисахаридного продукта в условиях экспериментального цеха ВНИИМС показала возможность снижения гидро модуля экстракции в случае семян с невысоким суммарным количеством полисахаридов слизи и их высокомолекулярной фракции (сорт Цезарь). Процесс проводили при 50°С в течение 2 ч при гидро модуле 15. Сырой экстракт перед распылительной сушкой подвергали концентрированию на роторном испарителе. Характеристика полученного полисахаридного продукта представлена в таблице 3.

Таблица 3. Характеристика промышленного образца полисахаридного продукта

Table 3. Properties of polysaccharide product production prototype

Наименование показателя	Значение показателя
содержание суммы полисахаридов, %	89,0
содержание высокомолекулярной фракции полисахаридов в сумме полисахаридов, %	22,0
содержание белка, %	7,8
содержание влаги, %	3,0
органолептические показатели	
внешний вид	мелкодисперсный порошок
цвет	светло-бежевый
запах	отсутствует
вкус	отсутствует

Заключение

Анализ технологических параметров экстракции полисахаридов слизи из семян льна показал, что процесс следует проводить при температурах не выше 50°С в течение не более 2 ч. Соотношение сырья и растворителя (гидро модуль) может находиться в пределах от 13 до 20. При этом выбор гидро модуля должен проводиться исходя из сортовых и индивидуальных характеристик семян льна, а именно суммарного количества полисахаридов слизи и содержания в них высокомолекулярной фракции. Сравнительный анализ характеристик семян льна исследуемых сортов и эффективности экстракции из них полисахаридных продуктов позволил предположить, что выход целевого продукта выше 5% возможен при содержании суммы полисахаридов не менее 3,0% и высокомолекулярной фракции не менее 40%.

Полученные результаты могут служить основой для масштабирования процесса с целью промышленного производства полисахаридных продуктов из семян льна.

Литература

1. Gutte K.B., Sahoo A.K., Ranveer R.C. Bioactive components of flaxseed and its health benefits. *Int. J. Pharm. Sci. Res.* 2015, V. 31, no. 1, pp. 42–51.
2. Kajla P., Sharma A., Sood D.R. Flaxseed – A potential functional food source. *J. Food Sci. Technol.* 2015, V. 52, pp. 1857–1871.

3. *Иваницкая Ю.* Россия: рынок масличного льна и горчицы в 2018/19 МГ // АПК-Информ. 2019. № 2(56). С. 115–118.
4. Kaushik P., Dowling R., McKnight S., Barrow C.J., Wang B., Adhikari D. Preparation, characterization and functional properties of flax seed protein isolate. *J. Food Chemistry*. 2016, no. 197, pp. 212–220.
5. *Миневич И.Э., Осипова Л.Л., Зубцов В.А.* Способ получения белка из жмыха семян льна: пат. 2437552 Российская Федерация. 2011. Бюл. № 36.
6. Kaewmanee T., Bagnasco L., Benjakul S., Lanteri S., Morelli C.F., Speranza G., Cosulich M.E. Characterisation of mucilages extracted from seven Italian cultivars of flax. *Food Chemistry*. 2014, V.148, pp. 60–69.
7. *Миневич И.Э., Зубцов В.А., Осипова Л.Л.* Способ получения полисахаридного комплекса из семян льна: пат. 2639770 Российская Федерация. 2017. Бюл. № 36.
8. *Цыганова Т.Б., Миневич И.Э., Зубцов В.А., Осипова Л.Л.* Перспективы глубокой переработки семян льна // Хлебопечение России. 2016. № 4. С. 12–15.
9. Englyst K.N., Liu S., Englyst H. N. Nutritional characterization and measurement of dietary carbohydrates. *Eur. J Clin. Nutr.* 2007, V.61 (Suppl 1), pp. S19–39.
10. *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).
11. *Криштанова Н.А., Сафонова М.Ю., Болотова В.Ц., Павлова Е.Д., Саканян Е.И.* Перспективы использования растительных полисахаридов в качестве лечебных и лечебно-профилактических средств // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2005. № 1. С. 212–221.
12. *Сычев И. А., Калинин О.В., Лаксаева Е.А.* Биологическая активность растительных полисахаридов // Рос. мед.-биол. вестн. им. акад. И.П. Павлова. 2009. № 4. С. 143–148.
13. *Супрунчук В.Е., Денисова Е.В.* Белок-полисахаридные микрокапсулы, сформированные на матрицах различной природы // Биологические науки. Наука. Инновации. Технологии. 2017. Т. 2. С. 201–211.
14. *Миневич И.Э., Осипова Л.Л.* Гидроколлоиды семян льна: характеристика и перспективы их использования в пищевых технологиях // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2017. № 3. С. 16–25.
15. Pavlov A., Paynel F., Rihoney C., Porokhovina E., Bruteh N., Morvan C. Variability of seed traits and properties of soluble mucilages in lines of the flax genetic collection of Vavilov Institute. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2014, V. 80, pp. 348–361.
16. *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.
17. Ke-Ying Qian. Structure-Function Relationship of Flaxseed Gum from Flaxseed Hulls. *Doctor's thesis*. Ontario, Canada. 2014. 107 p.
18. Moczowska M., Karp S., Niu Y., Kurek M.A. Enzymatic, enzymatic-ultrasonic and alkaline extraction of soluble dietary fibre from flaxseed – A physicochemical approach. *Food Hydrocolloids*. 2019, V. 90, pp. 105–112.
19. 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.
20. *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: материалы междунар. научно-практ. конф. (Тверь, 18 мая 2017 г.). Тверь: Твер.гос.ун-т, 2017. С. 369.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. Ziolkovska A. Laws of flaxseed mucilage extraction. *Food Hydrocolloids*. 2012, V. 26, no.1, pp. 197–204.
25. Maherani B., Sahari M.F., Barzegar M. Extraction conditions and physico-chemical properties of flaxseed gum. *J. Food Sci and Technology-Mysore*. 2007, V. 44, no. 3, pp. 250–254.
26. 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, no. 3, pp. 605–621.
27. Kishk Y.E.M. Optimization of isolation flaxseed mucilage from methanolic extract and its functional characteristics. *J. Food and Dairy Sci., Mansoura Univ.* 2013, V.4, no. 10, pp. 539–556.

References

1. Gutte K.B., Sahoo A.K., Ranveer R.C. Bioactive components of flaxseed and its health benefits. *Int. J. Pharm. Sci. Res.* 2015, V. 31, no. 1, pp. 42–51.

2. Kajla P., Sharma A., Sood D.R. Flaxseed – A potential functional food source. *J. Food Sci. Technol.* 2015, V. 52, pp. 1857–1871.
3. Ivanitskaya Yu. Russia: oil flax and mustard market in 2018/19 MY. *APK Inform-Agency.* 2019, no. 2(56), pp. 115–118 (In Russian).
4. Kaushik P., Dowling R., McKnight S., Barrow C.J., Wang B., Adhikari D. Preparation, characterization and functional properties of flax seed protein isolate. *J. Food Chemistry.* 2016, no. 197, pp. 212–220.
5. Minevich I.E., Osipova L.L., Zubcov V.A. A method of obtaining protein from a meal of flax seeds. *Patent RF*, no. 2437552. 2011.
6. Kaewmanee T., Bagnasco L., Benjakul S., Lanteri S., Morelli C.F., Speranza G., Cosulich M.E. Characterisation of mucilages extracted from seven Italian cultivars of flax. *Food Chemistry.* 2014, V.148, pp. 60–69.
7. Minevich I.E., Zubcov V.A., Osipova L.L. A method of obtaining a polysaccharide complex from flax seeds. *Patent RF*, no. 2639770.2017.
8. Cyganova T.B., Minevich I.E., Zubcov V.A., Osipova L.L. Prospects for deep processing of flax seeds. *Baking in Russia.* 2016, no. 4, pp. 12–15 (In Russian).
9. Englyst K.N., Liu S., Englyst H. N. Nutritional characterization and measurement of dietary carbohydrates. *Eur. J Clin. Nutr.* 2007, V.61 (Suppl 1), pp. S19–39.
10. Petysh Ya. Overview of the Russian market of ingredients. *Russian Food Market.* 2014, no. 2. URL: <http://www.foodmarket.spb.ru/current.php?article=1948> (Accessed 14.07.2017). (In Russian)
11. Krishtanova N.A., Safonova M.YU., Bolotova V.C., Pavlova E.D., Sakanyan E.I. Prospects for the use of plant polysaccharides as therapeutic agents. *Sci. J. Proceeding of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy.* 2005, no. 1, pp. 212–221 (In Russian).
12. Sychev I.A., Kalinkina O.V., Laksaeva E.A. The biological activity of plant polysaccharides. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald.* 2009, V. 17, no. 4, pp. 143–148 (In Russian).
13. Suprunchuk V.E., Denisova E.V. Protein-polysaccharide microcapsules formed on matrices of various nature. *Biological sciences. The science. Innovation Technology.* 2017, V. 2, pp. 201–211 (In Russian).
14. Minevich I.E., Osipova L.L. Hydrocolloids of flax seeds: characteristics and prospects of their use in food technology. *Processes and Food Production Equipment.* 2017, no 3, pp. 16–25 (In Russian).
15. Pavlov A., Paynel F., Rihoney C., Porokhovina E., Bruteh N., Morvan C. Variability of seed traits and properties of soluble mucilages in lines of the flax genetic collection of Vavilov Institute. *Plant Physiology and Biochemistry.* 2014, V. 80, pp. 348–361.
16. Ushchapovsky I.V., Ozhimkova E.V., Sulman E.M., Martirosova E.I., Plashchina I.G. Genetic diversity of flax (*Linum usitatissimum* L.) by glycan-protein composition of seed mucus. *Russian Agricultural Science.* 2015, no. 4, pp. 14–17 (In Russian).
17. Ke-Ying Qian. Structure-Function Relationship of Flaxseed Gum from Flaxseed Hulls. *Doctor's thesis.* Ontario, Canada. 2014. 107 p.
18. Moczowska M., Karp S., Niu Y., Kurek M.A. Enzymatic, enzymatic-ultrasonic and alkaline extraction of soluble dietary fibre from flaxseed – A physicochemical approach. *Food Hydrocolloids.* 2019, V. 90, pp. 105–112.
19. 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.
20. Minevich I.E., Osipova L.L., Zubtsov V.A., Smirnova E.I. Rheological properties of hydrocolloids of flax seeds. *Innovative developments for the production and processing of bast crops.* Proceeding of Intern. scientific and practical conf. (Tver, May 18, 2017). Tver, Tver State University Publ. 2017. P. 369 (In Russian).
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. Ziolkovska A. Laws of flaxseed mucilage extraction. *Food Hydrocolloids.* 2012, V. 26, no.1, pp. 197–204.
25. Maherani B., Sahari M.F., Barzegar M. Extraction conditions and physico-chemical properties of flaxseed gum. *J. Food Sci and Technology-Mysore.* 2007, V. 44, no. 3, pp. 250–254.
26. 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, no. 3, pp. 605–621.
27. Kishk Y.E.M. Optimization of isolation flaxseed mucilage from methanolic extract and its functional characteristics. *J. Food and Dairy Sci., Mansoura Univ.* 2013, V.4, no. 10, pp. 539–556.

Статья поступила в редакцию 24.04.2020