

Агата Анатольевна Яковлева^{1✉}, Валентин Игоревич Ущাপовский²,

Ирина Эдуардовна Миневиц³

^{1,2,3}Федеральный научный центр лубяных культур, лаборатория переработки лубяных культур, Тверь, Россия

¹a.goncharova@fncl.k.ru

²v.uschapovsky@fncl.k.ru

³i.minevich@fncl.k.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ БИОПОЛИМЕРОВ БЕЛОК – ПОЛИСАХАРИД, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ СЕМЯН ЛЬНА

Цель исследования – изучение взаимодействия белков и полисахаридов, полученных из семян льна. Задачи: изучить фазовое поведение при взаимодействии растворов белкового концентрата и полисахаридов из семян льна; исследовать взаимодействие белков и полисахаридов семян льна при различных pH. Объектами исследования являлись продукты переработки семян льна: белковый концентрат, экстракт полисахаридов и их смеси. Полисахариды выделяли из семян льна экстракцией с последующим концентрированием экстракта с помощью роторного испарителя и высушиванием в распылительной сушилке. Белковый продукт был получен щелочной экстракцией из бесслизевых и обезжиренных семян льна. Для получения однородного 1 %-го раствора белка проводили гомогенизацию продукта с последующей выдержкой раствора при 50 °С и постоянном перемешивании в течение 2 часов. Для исследования белок-полисахаридных взаимодействий смешивание растворов белка и полисахаридов проводили в соотношениях 9:1, 7:3, 1:1, 3:7, 1:9 соответственно. Физико-химические показатели определяли стандартными методами анализа. Содержание белка в продуктах определяли по ГОСТ 10846-91, влажность – по ГОСТ 10856-96. Значение pH измеряли с помощью лабораторного иономера И-160МИ. Спектрофотометрические методы анализа проводили на спектрофотометре ПЭ-5400. Как и в растворе бычьего сывороточного альбумина, в спектре льняного белка в УФ-области были обнаружены остатки триптофана, тирозина, фенилаланина. При измерении оптической плотности растворов белка, полисахаридов и их смесей характер поведения системы определялся содержанием преобладающего компонента. В кислых средах смешанные системы образуют двухфазные системы независимо от соотношения компонентов. При равных концентрациях исходных растворов (0,3 %) смешанные системы оставались монодисперсными и стабильными при нейтральной pH и соотношении компонентов 1:1.

Ключевые слова: масличные семена, лен, белок-полисахаридные комплексы, белковый концентрат, полисахариды растительных слизей, УФ-спектры белков

Для цитирования: Яковлева А.А., Ущাপовский В.И., Миневиц И.Э. Исследование взаимодействий биополимеров белок – полисахарид, выделенных из семян льна // Вестник КрасГАУ. 2024. № 6. С. 235–244. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-6-235-244.

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК (FGSS-2022-0007).

Agatha Anatolyevna Yakovleva^{1✉}, Valentin Igorevich Ushchapovsky², Irina Eduardovna Minevich³

^{1,2,3}Federal Scientific Center of Bast Crops, Laboratory of Bast Crops Processing, Tver, Russia

¹a.goncharova@fncl.ru

²v.uschapovsky@fncl.ru

³i.minevich@fncl.ru

STUDY OF BIOPOLYMERS INTERACTIONS: PROTEIN – POLYSACCHARIDE ISOLATED FROM FLAX SEEDS

The aim of the study is to investigate the interaction of proteins and polysaccharides obtained from flax seeds. Objectives: to study the phase behavior during the interaction of protein concentrate solutions and flax seed polysaccharides; to investigate the interaction of flax seed proteins and polysaccharides at different pH. The objects of the study were flax seed processing products: protein concentrate, polysaccharide extract and their mixtures. Polysaccharides were isolated from flax seeds by extraction, followed by concentration of the extract using a rotary evaporator and drying in a spray dryer. The protein product was obtained by alkaline extraction from mucus-free and defatted flax seeds. To obtain a homogeneous 1 % protein solution, the product was homogenized, followed by holding the solution at 50 °C and constant stirring for 2 hours. To study protein-polysaccharide interactions, protein and polysaccharide solutions were mixed in the ratios of 9:1, 7:3, 1:1, 3:7, 1:9, respectively. Physicochemical parameters were determined using standard analysis methods. The protein content in the products was determined according to GOST 10846-91, and the humidity was determined according to GOST 10856-96. The pH value was measured using an I-160MI laboratory ion meter. Spectrophotometric analysis methods were performed on a PE-5400 spectrophotometer. As in the bovine serum albumin solution, residues of tryptophan, tyrosine, and phenylalanine were found in the spectrum of flax protein in the UV range. When measuring the optical density of solutions of protein, polysaccharides and their mixtures, the behavior of the system was determined by the content of the predominant component. In acidic environments, mixed systems form two-phase systems regardless of the ratio of components. At equal concentrations of the initial solutions (0.3 %), the mixed systems remained monodisperse and stable at neutral pH and a component ratio of 1:1.

Keywords: oilseeds, flax, protein-polysaccharide complexes, protein concentrate, polysaccharides of plant mucus, UV spectra of proteins

For citation: Yakovleva A.A., Ushchapovskii V.I., Minevich I.E. Study of biopolymers interactions: protein – polysaccharide isolated from flax seeds // Bulliten KrasSAU. 2024;(6): 235–244 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-6-235-244.

Acknowledgments: the work has been carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the state assignment of the Federal State Budgetary Scientific Institution FSC LK (FGSS-2022-0007).

Введение. Белки и полисахариды являются натуральным биополимерами, которые широко используются в пищевых системах. Взаимодействие между ними является сложным процессом. Белки и полисахариды способны образовывать комплексы с помощью водородных, дисульфидных связей и гидрофобных взаимодействий. Также на поверхности макромолекул белков и полисахаридов присутствуют анионные и катионные группы, между которыми могут возникать электростатические взаимодействия. При этом на образование сложных электростатических комплексов влияют такие параметры, как pH, ионная сила, температура и пр. [1–4].

Характер белок-полисахаридных взаимодействий в большой степени определяет структуру и органолептические свойства продуктов. В связи с этим исследование взаимодействий белков и полисахаридов, выделенных из различных источников, выявление закономерностей этих взаимодействий являются актуальной задачей.

В настоящее время растет интерес к семенам льна как источнику природных биополимеров – белков и полисахаридов. Содержание полисахаридов в семенах льна составляет от 4 до 15 % от общего веса семени [5, 6], а белка – 18–33 % [7–9].

Полисахариды семян льна обладают свойствами, аналогичными растительным камедям, а в сочетании с белками льна они образуют комплексы, которые могут выступать в качестве многофункциональных ингредиентов и потенциально заменять некоторые коммерческие пищевые добавки [10]. Белки и полисахариды могут способствовать улучшению структурных и текстурных (реологических) свойств пищевых продуктов за счет их агрегации и гелеобразования. Синергетические эффекты, возникающие в результате смешивания этих биополимеров, имеют большое прикладное значение для улучшения или создания новых пищевых продуктов и снижения их себестоимости [11]. Однако взаимодействие льяных полисахаридов и белков семян льна друг с другом остается малоизученным.

Белок-полисахаридные комплексы, полученные из семян льна, благодаря наличию всех незаменимых аминокислот в составе белка и функциональным свойствам полисахаридов являются ценными ингредиентами для создания широкого ассортимента продуктов здорового питания.

Цель исследования – изучить взаимодействие белков и полисахаридов, полученных из семян льна.

Задачи: изучить фазовое поведение при взаимодействии растворов белкового концентрата и полисахаридов из семян льна; исследовать взаимодействие белков и полисахаридов семян льна при различных pH.

Объекты и методы. В качестве объектов исследования использовали продукты переработки семян льна: белковый концентрат, экстракт полисахаридов, а также их смеси.

Для получения белкового концентрата использовали бесслизевые и обезжиренные семена льна российской селекции сорта Ручеек (производство 2018 г.). Удаление слизи проводили водной экстракцией в дистиллированной воде при температуре 50 °С в течение 1 ч при постоянном перемешивании. Соотношение семян льна и растворителя Г (гидромодуль) составляло 10. После проведения экстракции семена отделяли от экстракта через четырех-

слойный марлевый фильтр. Полученные бесслизевые семена льна высушивали при температуре 70 °С до влажности ≤ 5 %. Высушенные бесслизевые семена льна промывали водой для удаления остатков слизи и повторно сушили при 80 °С для последующего обезжиривания.

Обезжиривание семян льна проводили экстракцией гексаном: Г – 5, Т – 58 °С, 2 ч, 3 цикла. Затем проводили экстракцию обезжиренных семян льна в щелочной среде при pH 8,5–9,0, Г – 16, Т – 50 °С в течение 2 ч. Реакционную смесь разделяли центрифугированием (4 000 об/мин в течение 15 мин). Полученный экстракт доводили до pH 4,2 и оставляли для коагулирования белка при температуре 5 °С в течение 16 ч. Раствор повторно центрифугировали (4 000 об/мин в течение 15 мин) для удаления надосадочной воды. Полученный осадок диспергировали в воде при 40 °С в течение 30 мин с последующей нейтрализацией (pH 7,0). Нейтрализованный чистый белок отделяли от надосадочной воды с помощью центрифугирования (4 000 об/мин в течение 15 мин). Для проведения экспериментов использовали белковый продукт в виде пасты с влажностью 88–90 % во избежание денатурации белка во время сушки.

Полисахариды были получены в экспериментальном цехе ВНИИ маслоделия и сыроделия (ВНИИМС) (Углич, Россия). Использовали цельные семена льна сорта ЛМ-98 (производство 2021 г.). Процесс экстракции проводили в дистиллированной воде при температуре 45–50 °С, при постоянном перемешивании в течение 2 ч, при варьировании соотношения воды и семян льна в интервале 10–15 : 1. После отделения полисахаридного экстракта от сырья его концентрировали с помощью роторного испарителя до 1/3 объема, далее подвергали распылительной сушке.

Содержание белка в продуктах определяли по ГОСТ 10846-91, влажность – по ГОСТ 10856-96. Значение pH измеряли с помощью лабораторного иономера И-160МИ. Физико-химические показатели белковых и полисахаридных продуктов представлены в таблице.

Физико-химические показатели белковых и полисахаридных продуктов

Показатель	Белковые продукты	Полисахаридные продукты
Цвет	Светло-серый	Светло-бежевый
Содержание белка в сухом продукте, %	83–97	5–10
Влажность сухого продукта, %	2–5	6–7
pH (1% раствор)	6,8–7,9	7,0–7,9

Для получения однородного 1 % раствора белка проводили гомогенизацию продукта с последующей выдержкой раствора при 50 °С и постоянном перемешивании в течение 2 ч, данный раствор использовался как контрольный образец Б.

Спектры поглощения растворов белков, льняного белка (Б), бычьего сывороточного альбумина (БСА) регистрировали на спектрофотометре ПЭ-5400 УФ с помощью программы SC5400 в диапазоне длин волн 240–340 нм, шаг сканирования 0,1 нм. Измерения проводили в стандартной кварцевой кювете с длиной оптического пути 10 мм.

При изучении влияния pH на взаимодействие белка с полисахаридами проводили измерения оптической плотности при 540 нм в

стандартной стеклянной кювете с длиной оптического пути 10 мм.

Результаты и их обсуждение. Для исследований были приготовлены 1 %-й раствор белка (Б) и 0,3 %-й раствор полисахаридов (ПС). Предварительные эксперименты показали, что повышение концентрации полисахаридов более 0,3 % приводит к получению вязких и мутных растворов.

Внешний вид исходных растворов Б и ПС представлен на рисунке 1

УФ-спектры белкового раствора (Б) и раствора бычьего сывороточного альбумина (БСА) в качестве известного образца представлены на рисунке 2..

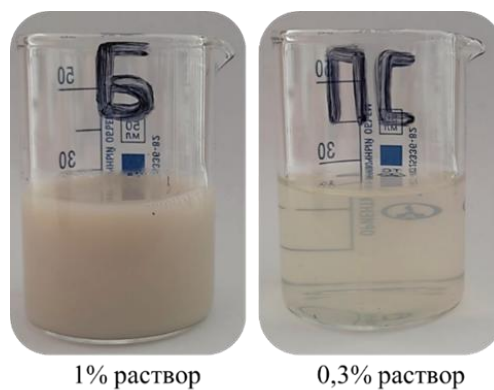


Рис. 1. Исходные растворы белка (Б) и полисахаридов (ПС) из семян льна

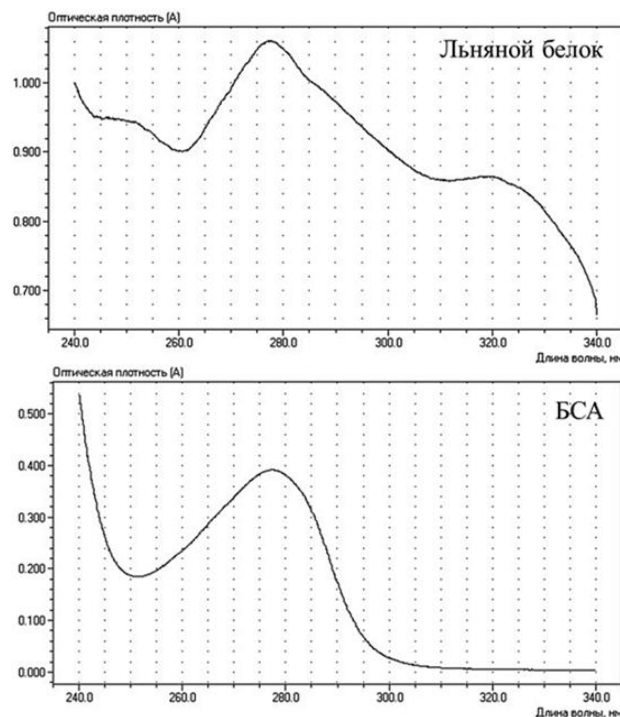


Рис. 2. УФ-спектры поглощения льняного белка (Б) и бычьего сывороточного альбумина (БСА)

Раствор белка (Б) представлял собой коллоидную систему непрозрачного молочно-бежевого цвета, со значением pH 6,8. Раствор ПС – полупрозрачный, липкий на ощупь, значение pH составило 7,9.

В структуре белка поглощение в УФ-области (250–300 нм) обуславливают главным образом ароматические аминокислоты (триптофан, тирозин и фенилаланин) и в меньшей степени при 250 нм серосодержащие аминокислоты – цистин, цистеин и метионин, а также гистидин. При этом триптофан даже при относительно невысоком содержании в белке в значительной степени определяет характер его спектра, так как молярный коэффициент экстинкции его индольного ядра в 4 раза превышает этот показатель для тирозина и почти в 30 раз – фенилаланина [12, 13].

Поглощение в диапазоне длин волн 250–300 нм растворов Б и БСА обусловлено остатками триптофана, тирозина, фенилаланина [14]. Количество и соотношение аминокислот в исследуемом белке из семян льна и БСА различ-

но, следовательно, интенсивность и форма пиков несколько отличаются. В области 250 нм в спектре исследуемого белка, вероятно, проявляются тирозин и серосодержащие аминокислоты: цистин, цистеин, метионин [13]. Также в спектре льняного белка в области 320 нм виден размытый пик. Возможно, это проявление радикалов боковых групп аминокислот, которые поглощают свет в более широком интервале длин волн, вплоть до 320 нм (триптофан, тирозин в форме фенолята) [14, 15].

Для исходных растворов Б и ПС была проведена серия экспериментов по влиянию pH на значение их оптической плотности, которая характеризует растворимость в данном случае белков и полисахаридов, выделенных из семян льна. Значение pH играет главную роль в изменении плотности заряда биополимеров и, следовательно, биополимерных взаимодействий [16]. Как видно из рисунка 3, значение оптической плотности менялось в пределах тестируемого диапазона pH.

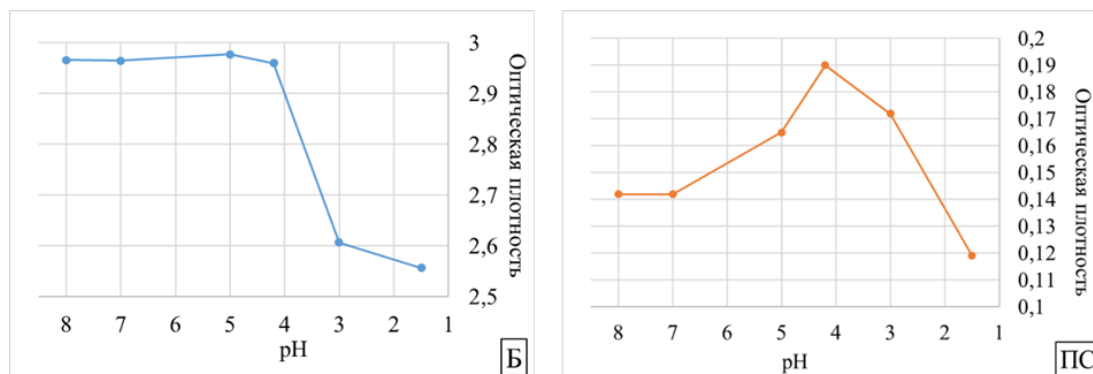


Рис. 3. Влияние pH на значение оптической плотности растворов Б и ПС

Оптическая плотность растворов Б и ПС снижалась в области pH 4,2. У льняных белков pH 4,2 является их изоэлектрической точкой (pI) и при приближении к данному значению происходит снижение растворимости белка и его коагуляция из-за отсутствия электростатического отталкивания между молекулами белка.

Оптическая плотность растворов ПС увеличивалась до значения 0,19 при pH 4,2 с последующим резким снижением этого показателя в кислой среде. Переход от прозрачных растворов до мутных свидетельствует о присутствии белка в составе используемых полисахаридов. Внешний вид белковых растворов (Б) при варьировании pH представлен на рисунке 4.

Как видно на фото, представленных на рисунке 4, белковый раствор при pH 5,0 начинает расслаиваться, при pH 4,2 этот процесс продолжается и при pH 1,5 оформляется четкая граница разделения фаз. При pH 3,0 раствор сильно отличался по цвету от остальных и характеризовался оранжевым оттенком.

В случае ПС семян льна (рис. 4) прозрачные растворы становятся слегка мутными при pH 4,2 и вновь прозрачными при pH 1,5. Это свидетельствует о незначительном содержании белка в системе, который коагулируется в условиях рI. Данные растворы не изменяли внешний вид по прошествии времени и хранении при 5 °С.

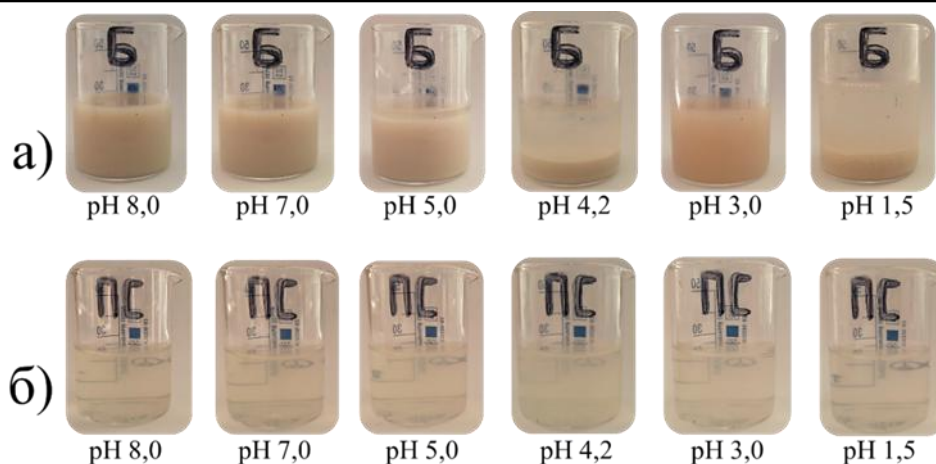


Рис. 4. Белковые (а) и полисахаридные (б) растворы при варьировании рН

Для исследования белок-полисахаридных взаимодействий смешивание компонентов растворов Б и ПС проводили в следующих соотношениях (Б : ПС): 9 : 1; 7 : 3; 1 : 1; 3 : 7; 1 : 9. Про-

цесс белок-полисахаридных взаимодействий с течением времени иллюстрируют фото на рисунке 5.

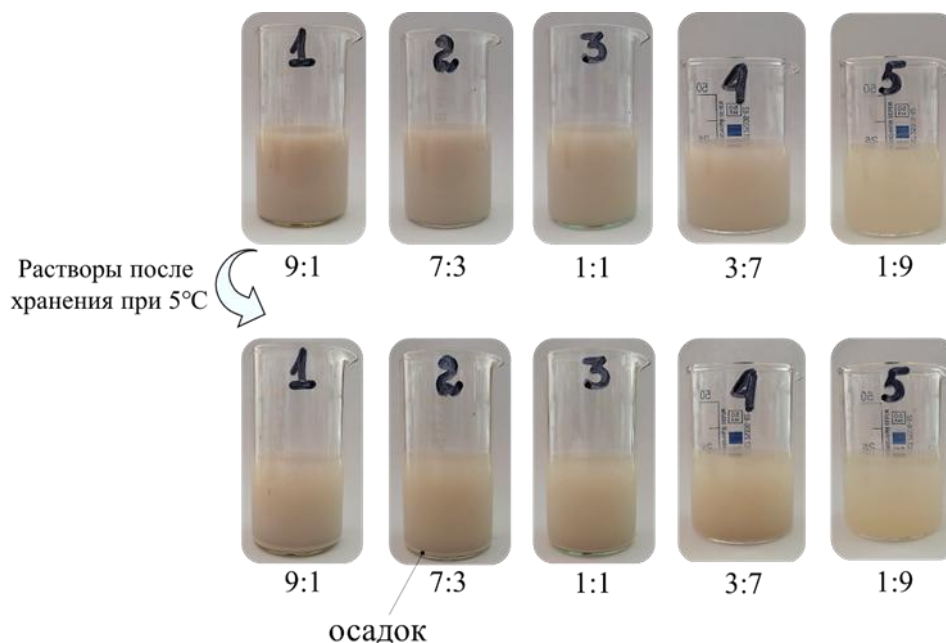


Рис. 5. Белок-полисахаридные системы после смешивания и после хранения в течение 24 ч

При смешивании растворов компонентов были получены монодисперсные системы, цвет которых изменялся от непрозрачного бежевого при максимальном содержании белка до полупрозрачного светло-бежевого при максимальном содержании полисахаридов. После выдерживания в течение 24 ч при температуре 5 °С наблюдалось небольшое расслоение. Можно предположить, что при начальном взаимодей-

ствии, вероятно, образуются растворимые белок-полисахаридные комплексы, в которых с течением времени происходит перераспределение зарядов, что способствует частичному агрегированию белков и полисахаридов с образованием нерастворимых комплексов.

Влияние рН в диапазоне 8,0–1,5 на оптическую плотность этих систем представлено на рисунке 6.

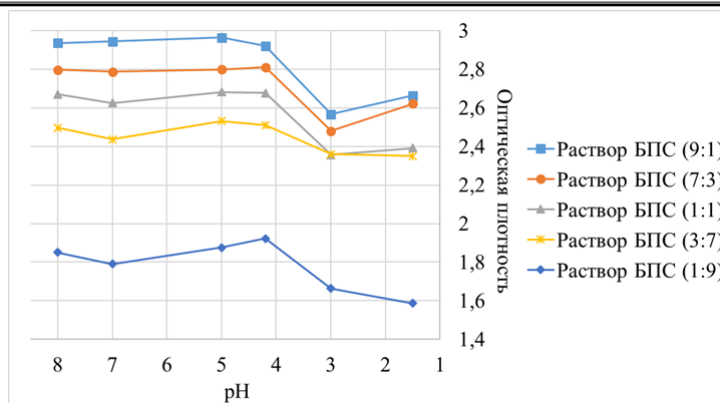


Рис. 6. Влияние pH на оптическую плотность БПС комплексов

Анализ графиков (рис. 3, 6) показал, что изменение оптической плотности смешанных систем аналогично изменению этого показателя для индивидуальных компонентов и определяется преобладающим содержанием одного из них. Характер поведения в кислой среде может быть связан с формированием более прочных комплексов между биополимерами: белками и

полисахаридами. Вероятно, это вызвано электростатическим притяжением между анионными группами полисахаридов и катионными функциональными группами белка [17].

Фото и фазовая диаграмма смешанных систем Б-ПС при различных соотношениях компонентов и pH представлены на рисунке 7 (а, б).

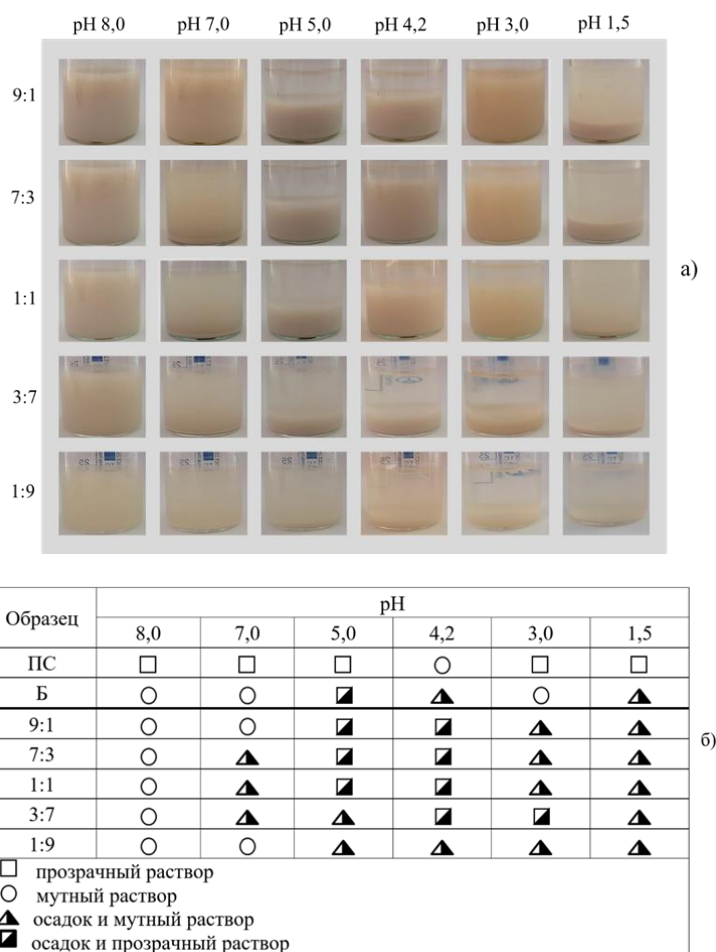


Рис. 7. Фото (а) и фазовая диаграмма (б) смешанных систем Б – ПС при различных соотношениях компонентов и pH

Смешанные системы в кислых средах образуют двухфазные системы с агрегацией белок-полисахаридных комплексов в нижней фазе, практически независимо от соотношения компонентов. Комплексы образуются за счет электростатического притяжения противоположно заряженных функциональных групп этих биополимеров. Даже в нейтральной среде (pH 7,0) наблюдалось явное расслоение при равном

соотношении компонентов, а при преобладании одного из компонентов системы оставались монодисперсными и стабильными.

В условиях равенства концентраций исходных растворов компонентов (0,3 %) и их содержания в системе (Б : ПС = 1 : 1) в нейтральной среде система остается монодисперсной и стабильной (рис. 8).

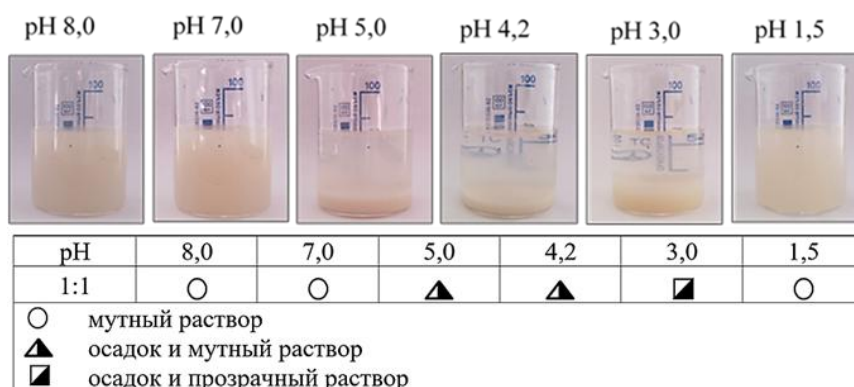


Рис. 8. Состояние смешанной системы (Б : ПС = 1 : 1, C_{p-rov} – 0,3 %) при различных pH

Таким образом, варьируя показатели концентрации исходных растворов, соотношения компонентов в системе, pH среды, можно получать растворимые и нерастворимые белок-полисахаридные комплексы при использовании биополимеров, выделенных из семян льна.

Заключение. Изучено фазовое поведение системы при взаимодействии растворов белкового концентрата и полисахаридов из семян льна. Монодисперсные системы, цвет которых зависел от соотношения компонентов, при хранении в течение суток незначительно расслаивались, что, вероятно, связано с агрегированием белков и образованием белок-полисахаридных комплексов.

Исследование влияния pH в диапазоне 8,0–1,5 на оптическую плотность смешанных систем показало, что в кислой среде образуются нерастворимые белок-полисахаридные комплексы и система становится двухфазной практически независимо от соотношения компонентов.

Список источников

1. Interactions between whey protein isolate and gum Arabic / M. Klein [et al.] // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2010. № 79 (2). P. 377–383.
2. Effect of hydrocolloids on gluten proteins, dough, and flour products: A review / Z. Huijuan [et al.] // Food Research International. 2022. № 164. P. 112–292.
3. The Interaction of Starch Gums and Their Effect on Gel Properties and Protein Conformation of Silver Carp Surimi / M. Hongbo // Food Hydrocolloids. 2021. Vol. 112 (8). P. 106–290.
4. Ghosh A.K., Bandyopadhyay P. A simple strategy for charge selective biopolymer sensing // Chem. Commun. 2011. № 47 (31). P. 8937–8939.
5. Наумова Н.Л., Бец Ю.А. Химический состав и пищевая ценность семян льна и продуктов его переработки // Modern Science. 2020. № 11 (4). С. 27–33.
6. Hu Y., Shim Y.Y., Reaney M.J.T. Flaxseed Gum Solution Functional Properties // Foods. 2020. № 9 (5). P. 681.
7. Bernacchia R., Preti R., Vinci G. Chemical Composition and Health Benefits of Flaxseed // Austin J Nutri Food Sci. 2014. V. 2 (8). P. 1045.
8. Пищевая ценность и функциональные свойства семян льна / А.Н. Мартинчик [и др.] // Вопросы питания. 2012. № 3. С. 4–10.
9. Динамика макронутриентов в процессе кратковременного проращивания семян

- льна / И.Э. Миневич [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11, № 3 (38). С. 449–459.
10. Structural Characterization and Functional Properties of Flaxseed Hydrocolloids and Their Application. / F. Lorenc [et al.] // Foods. 2022. V. 11.
 11. The influence of carrageenan on interfacial properties and short-term stability of milk whey protein emulsions / L. Seta [et al.] // Food Hydrocolloids. 2013. V. 32. P. 373–382.
 12. Молекулярная спектроскопия: основы теории и практика: учеб. пособие / под ред. Ф.Ф. Литвина. М.: ИНФРА-М, 2022. 263 с.
 13. Биофизика: учебник / В.Г. Артюхов [и др.]; под ред. В.Г. Артюхова. М.: Академический Проект, 2020. 294 с.
 14. Antosiewicz J.M., Shugar D. UV-Vis spectroscopy of tyrosine side-groups in studies of protein structure. Part 2: selected applications // Biophys Rev. 2016 V. 8. P. 163–177.
 15. Применение спектральных методов для изучения структурных перестроек в молекулах фотомодифицированного сывороточного альбумина / О.В. Башарина [и др.] // Вестник ВГУ. 2022. № 1. С. 53–59.
 16. Hasanvand E., Rafe A., Emadzadeh B. Phase separation behavior of flaxseed gum and rice bran protein complex coacervation // Food Hydrocolloids. 2018. V. 82. P. 412–423.
 17. Complex coacervation between flaxseed protein isolate and flaxseed gum / P. Kaushik [et al.] // International Food Research Journal. 2015. V. 72. P. 91–97.

References

1. Interactions between whey protein isolate and gum Arabic / M. Klein [et al.] // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2010. № 79 (2). P. 377–383.
2. Effect of hydrocolloids on gluten proteins, dough, and flour products: A review / Z. Huijuan [et al.] // Food Research International. 2022. № 164. P. 112–292.
3. The Interaction of Starch Gums and Their Effect on Gel Properties and Protein Conformation of Silver Carp Surimi / M. Hongbo // Food Hydrocolloids. 2021. Vol. 112 (8). P. 106–290.
4. Ghosh A.K., Bandyopadhyay P. A simple strategy for charge selective biopolymer sensing // Chem. Commun. 2011. № 47 (31). P. 8937–8939.
5. Naumova N.L., Bec Yu.A. Himicheskij sostav i pischevaya cennost' semyan l'na i produktov ego pererabotki // Modern Science. 2020. № 11 (4). S. 27–33.
6. Hu Y., Shim Y.Y., Reaney M.J.T. Flaxseed Gum Solution Functional Properties // Foods. 2020. № 9 (5). P. 681.
7. Bernacchia R., Preti R., Vinci G. Chemical Composition and Health Benefits of Flaxseed // Austin J Nutri Food Sci. 2014. V. 2 (8). P. 1045.
8. Pischevaya cennost' i funkcional'nye svojstva semyan l'na / A.N. Martinchik [i dr.] // Voprosy pitaniya. 2012. № 3. S. 4–10.
9. Dinamika makronutrientov v processe kratkovremennogo proraschivaniya semyan l'na / I. E. Minevich [i dr.] // Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotehnologiya. 2021. T. 11, № 3 (38). S. 449–459.
10. Structural Characterization and Functional Properties of Flaxseed Hydrocolloids and Their Application. / F. Lorenc [et al.] // Foods. 2022. V. 11.
11. The influence of carrageenan on interfacial properties and short-term stability of milk whey protein emulsions / L. Seta [et al.] // Food Hydrocolloids. 2013. V. 32. P. 373–382.
12. Molekulyarnaya spektroskopiya: osnovy teorii i praktika: ucheb. posobie / pod red. F.F. Litvina. M.: INFRA-M, 2022. 263 s.
13. Biofizika: uchebnik / V.G. Artyuhov [i dr.]; pod red. V.G. Artyuhova. M.: Akademicheskij Proekt, 2020. 294 s.
14. Antosiewicz J.M., Shugar D. UV-Vis spectroscopy of tyrosine side-groups in studies of protein structure. Part 2: selected applications // Biophys Rev. 2016 V. 8. P. 163–177.
15. Primenenie spektral'nyh metodov dlya izucheniya strukturnyh perestroek v molekulah fotomodifitsirovannogo syvorotochnogo al'bumina / O.V. Basharina [i dr.] // Vestnik VGU. 2022. № 1. S. 53–59.
16. Hasanvand E., Rafe A., Emadzadeh B. Phase separation behavior of flaxseed gum and rice bran protein complex coacervation // Food Hydrocolloids. 2018. V. 82. P. 412–423.
17. Complex coacervation between flaxseed protein isolate and flaxseed gum / P. Kaushik [et al.] // International Food Research Journal. 2015. V. 72. P. 91–97.

Статья принята к публикации 08.02.2024 / The article accepted for publication 08.02.2024.

Информация об авторах:

Агата Анатольевна Яковлева¹, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции

Валентин Игоревич Ущачовский², младший научный сотрудник лаборатории переработки лубяных культур

Ирина Эдуардовна Миневич³, главный научный сотрудник лаборатории переработки лубяных культур, доктор технических наук

Information about the authors:

Agatha Anatolyevna Yakovleva¹, Junior Researcher Laboratory of Molecular Genetic Research and Cell Selection

Valentin Igorevich Ushchapovsky², Junior Researcher, Laboratory of Bast Crops Processing

Irina Eduardovna Minevich³, Chief Researcher, Laboratory for Processing Bast Crops, Doctor of Technical Sciences

