



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК544.773.32: 664.3.033.1

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.003



ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕЛКА ГОРОХА С ПОЛИСАХАРИДАМИ СЕМЯН ЛЬНА В ЭМУЛЬСИЯХ «МАСЛО В ВОДЕ»

Агата Анатольевна Яковлева ¹, Валентин Игоревич Ущাপовский ²,
Ирина Эдуардовна Миневи́ч ³

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

¹ a.goncharova@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5977-5669>

² v.uschapovsky@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1620-3323>

³ i.minevich@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8558-4257>

Аннотация. Полисахариды, получаемые водной экстракцией из семян льна (*Linum usitatissimum* L.), обладают высокой водоудерживающей способностью и являются перспективными связующими агентами для различных технологий в пищевой промышленности. В работе изучено взаимодействие льняных полисахаридов и изолята горохового белка в эмульсиях прямого типа «масло в воде». В эмульсии, состоящие из белка, подсолнечного рафинированного дезодорированного масла и воды, вводили полисахариды семян льна в количестве от 0,1 до 0,4 г. При определении физико-химических свойств исходного сырья было выявлено, что в составе горохового белка основными были водо- и солерастворимые фракции (суммарное содержание 80 %). Значения водоудерживающей и жиродерживающей способностей для исследуемого сырья составили – у белка гороха 2,5 г/г и 0,8 г/г, а у льняных полисахаридов – 15,0 г/г и 1,0 г/г соответственно. Установлено, что наличие полисахаридов в эмульсиях влияет на динамику фазового разделения. В контрольном образце (без полисахаридов льна) осадок выпал в течение первых 5 мин. Исследование образцов с полисахаридами показало, что процесс расслоения резко замедляется. Разделение фаз происходит в течение первых 3 часов хранения. Зависимость разделения эмульсии от наличия полисахаридов нелинейна. В вариантах с содержанием полисахаридов 0,3 г эмульсия остается однородной дольше. Выявлено влияние полисахаридов льна на межфазовую миграцию белка гороха. Полученные данные и продолжение исследования будут актуальными в пищевой промышленности и работах, связанных с физико-химическими свойствами пищевых систем и взаимодействием их компонентов.

Ключевые слова: полисахариды растительных слизей, белки, эмульсии, расслоение эмульсий, УФ спектры растительных белков.

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

Для цитирования: Яковлева А. А., Ущাপовский В. И., Миневи́ч И. Э. Взаимодействие белка гороха с полисахаридами семян льна в эмульсиях «масло в воде» // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 21–28. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.003, EDN: <https://elibrary.ru/GFAUJB>.

Original article

PEA PROTEIN AND FLAXSEEDPOLYSACCHARIDES INTERACTION IN "OIL IN WATER" EMULSIONS

Agata A. Yakovleva ¹, Valentin I. Ushchapovskii ², Irina E. Minevich ³

^{1,2,3} Federal Research Center for Bast Crops, Tver, Russia

¹ a.goncharova@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5977-5669>

² v.uschapovsky@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1620-3323>

³ i.minevich@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8558-4257>

© Яковлева А. А., Ущাপовский В. И., Миневи́ч И. Э., 2024

Abstract. Flaxseed polysaccharides obtained by water extraction from flaxseeds (*Linum usitatissimum* L.) have a high water-holding capacity and are likely binding agents for various technologies in the food industry. The work studied the interaction of flaxseed polysaccharides and pea protein isolate in direct oil-in-water emulsions. As an experiment, emulsions were prepared consisting of: 1 g of protein, 10 g of refined deodorized sunflower oil and flaxseed polysaccharides, which were introduced in an amount of 0.1 to 0.4 g. When determining the physicochemical properties of the raw materials, it was revealed that water- and salt-soluble fractions are the main ones (total content 80%) in the composition of pea protein. The values of water-holding and fat-holding capacity were characteristic of the studied raw materials, respectively, for pea protein 2.5 g/g and 0.8 g/g, and for flax polysaccharides 15.0 g/g and 1.0 g/g. It has been established that the presence of polysaccharides in emulsions affects the dynamics of phase separation. In the control sample (without flax polysaccharides), a precipitate formed within the first 5 minutes. A study of samples with polysaccharides showed that the separation process slows down sharply. Phase separation occurs during the first 3 hours of storage. The dependence of emulsion separation on the presence of polysaccharides is not linear. In the sample containing 0.3 g of polysaccharides, the emulsion remains homogeneous longer. The influence of flax polysaccharides on the interphase migration of pea protein was revealed. The data obtained and the continuation of the research will be relevant in the food industry and work related to the physicochemical properties of food systems and the interaction of their components.

Keywords: plant gum polysaccharides, proteins, emulsions, emulsion separation, UV spectra of plant proteins.

Acknowledgements: The work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the state task of the FSSI FRC BC (FGSS-2022-0007).

For citation: Yakovleva, A.A., Ushchapovskii, V.I. & Minevich, I.E. (2024). Pea protein and flaxseed polysaccharides interaction in "oil in water" emulsions. *Polzunovskiy vestnik*.(4), 21-28. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.04.003. EDN: <https://elibrary.ru/GFAUJB>.

ВВЕДЕНИЕ

Многие пищевые продукты частично или полностью представляют собой эмульсии: майонез, пасты, мороженое, муссы, молоко, сливочное масло, сыр, супы, напитки и прочие продукты. Эмульсии являются метастабильными системами, состоящими из двух или более несмешивающихся фаз, в которых одна фаза диспергирована в другой в виде капель [1]. Со временем капли одной фазы начинают самопроизвольно объединяться, что приводит к расслоению эмульсий. В качестве эмульгаторов в продуктах могут использоваться не только традиционные камеди и модифицированные крахмалы, но и белки из-за их амфифильного характера, который облегчает образование эмульсии, улучшает ее стабильность и обеспечивает функциональные свойства [2].

В настоящее время пшеничные и соевые белки занимают доминирующее положение на рынке пищевых протеинов. Однако резко возрастает доля использования горохового белка. Белок гороха не только сравнительно дешев, но и представляет собой гипоаллергенный ингредиент с хорошо сбалансированным аминокислотным профилем. Он содержит повышенное количество незаменимых аминокислот, треонина, изолейцина, лейцина, валина, фенилаланина, лизина, триптофана. При этом скор лизина, который участвует в различных биохимических процессах в организме человека и животных и дефицитен в большинстве растительных белков, состав-

ляет 145 % [3]. Гороховый белок считается эффективным эмульгатором эмульсий масла в воде как в нейтральных, так и кислых средах. При этом в кислых средах частичная агрегация белка (образование белковых частиц), вероятно, происходит путем самосборки молекул белка гороха [4]. Следует отметить, что использование изолята горохового белка в качестве эмульгатора недостаточно распространено, что связано с недостатком глубоких исследований о его функциональных свойствах [5].

Эмульсии, стабилизированные только белками, достаточно чувствительны к флокуляции, коалесценции, седиментации, кремообразованию (рисунок 1) в условиях дестабилизации (нагревании, изменении pH, циклах замораживания–оттаивания и пр.) [6]. Это может ограничивать широкое использование белков в качестве эффективных эмульгаторов.

Для улучшения свойств пищевых систем, в которых в качестве эмульгатора выступает белок, вводят дополнительные компоненты – пищевые гидроколлоиды. Роль гидроколлоидных ингредиентов в эмульсиях «масло в воде» проявляется в том, что многие из них являются структурирующими, загущающими, желеобразующими агентами в водной среде. Считается, что гидроколлоид замедляет и в некоторых случаях предотвращает расслоение, изменяя реологию однородной фазы [8]. Примером может служить ксантановая камедь, которая эффективна в качестве стабилизатора эмульсий. Изменение реологического поведения проявляется осо-

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕЛКА ГОРОХА С ПОЛИСАХАРИДАМИ СЕМЯН ЛЬНА В ЭМУЛЬСИЯХ «МАСЛО В ВОДЕ»

бенно при малых объемных долях масла: отдельные капли иммобилизованы в биополимерной сетке, а небольшая сила плавучести, действующая на каждую каплю, не достаточна для преодоления эффективного предела текучести окружающей ее биополимерной матрицы. Теоретически предела текучести всего в 10^{-2} Па достаточно, чтобы предотвратить расслаивание отдельных диспергированных ка-

пель в диапазоне размеров менее ~ 10 мкм [9]. Также большой размер молекул и преимущественная гидрофильность полисахаридного эмульгатора позволяют формировать более толстый стабилизирующий слой, способный защищать капли от агрегации в широком диапазоне неблагоприятных условий, таких как термошоковая обработка [10].

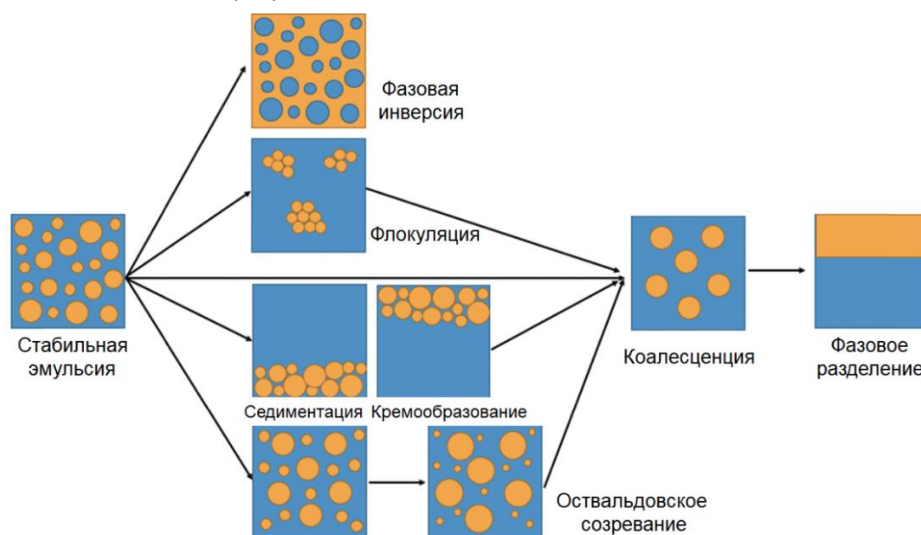


Рисунок 1 – Схема поведения капель дестабилизированной и стабильной эмульсии (адаптировано из [7])

Figure 1 – The scheme of droplets behavior of destabilized and stable emulsion (adapted from [7])

Полисахариды семян льна, относящиеся к гидроколлоидам, являются перспективным ингредиентом пищевой промышленности. Полисахариды льняной слизи образуют устойчивые эмульсии, гели и пены [11]. Их предлагают использовать для производства заправок для салатов, колбас, молочных десертов [12, 13]. Однако полисахариды семян льна целесообразно использовать с небольшим количеством белка. Как известно, при полной очистке льняной слизи от белков эмульгирующие свойства полисахаридов ухудшаются [14].

Проведение исследований по взаимодействию полисахаридов семян льна с растительными белками является актуальным, так как их взаимодействие и влияние белок-полисахаридных комплексов на пищевые системы представляет практический интерес для пищевых технологий.

Цель исследования – изучение влияния полисахаридов семян льна на эмульсии типа «масло в воде» с белком гороха.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- определить физико-химические характеристики и функционально-технологические свойства исходных компонентов: изолята белка гороха и полисахаридов семян льна;
- исследовать фазовое поведение

эмульсионных систем при взаимодействии белка гороха с полисахаридами семян льна.

МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования использовали изолят белка гороха, полисахариды семян льна, эмульсии прямого типа «масло в воде» с участием указанных компонентов.

Изолят горохового белка (ТУ 10.89.19-002-0200216635-2019, Лобня, Россия) был приобретен в торговой розничной сети.

Полисахариды семян льна были получены в экспериментальном цехе ВНИИ маслоделия и сыроделия (ВНИИМС – филиал ФГБНУ ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова) (Углич, Россия). В качестве исходного источника полисахаридов использовали цельные семена желтосемянного сорта ЛМ-98 (урожай 2021 г., ФГБНУ ФНЦ ЛК, Торжок). Процесс экстракции проводили в дистиллированной воде при температуре 45–50 °С, при постоянном перемешивании в течение 2 часов, при соотношении воды и семян льна 15:1. После отделения полисахаридного экстракта от сырья его концентрировали с помощью роторного испарителя до 1/3 объема, далее подвергали распылительной сушке.

Эмульсии готовили в пересчете на 100 г,

состоящие из 1 г белка, 10 г подсолнечного рафинированного дезодорированного масла и льняных полисахаридов, которые вводили в количестве от 0,1 до 0,4 г. Для приготовления эмульсий полисахариды предварительно растворяли в необходимом количестве воды и выдерживали при температуре 5 °С в течение 12 ч до полного растворения. Затем в полученный раствор добавляли сухой белок и тщательно перемешивали для получения белок-полисахаридного комплекса. В полученную смесь добавляли масло и взбивали в течение 1 минуты с помощью гомогенизатора (MPW-302, Польша). Контрольный образец не содержал полисахариды семян льна.

Содержание белка определяли по ГОСТ 10846-91, влажность – по ГОСТ 10856-96, зольность – по ГОСТ 51411-99.

Значение pH 1 % растворов белка гороха и полисахаридов семян льна измеряли с помощью лабораторного иономеров И-160 МИ. При определении водоудерживающей способности (ВУС) готовили серию образцов с интервалом 0,5 г воды. В градуированные центрифужные пробирки помещали навеску и добавляли воду, перемешивали и выдерживали 30 минут при комнатной температуре. Затем пробирки центрифугировали при 2000 об/мин в течение 10 мин. За величину ВУС принимали максимальное количество добавляемой воды, при котором не наблюдалось выделение воды в процессе испытания. ВУС выражали в граммах воды на 1 г препарата. ЖУС определяли таким же образом, выражая в граммах масла на 1 г препарата.

Спектры поглощения горохового белка 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.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Внешний вид белка гороха и полисахаридов семян льна представлен на рисунке 2. Оба компонента представляют собой мелкодисперсные порошки светло-кремового цвета. Для полисахаридов семян льна свойственен нейтральный запах, белковый изолят обладал характерным для гороха растительным запахом.

Результаты экспериментальной оценки характеристик белка гороха и полисахаридов семян льна представлены в таблице 1.

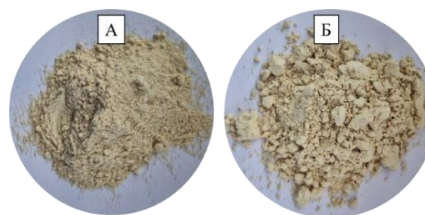


Рисунок 2 – Компоненты для создания эмульсий: А – Белок гороха; Б – Полисахариды семян льна

Figure 2 – Emulsion ingredients: A – Pea protein; B – Flaxseed polysaccharides

Таблица 1 – Физико-химические показатели изолята белка гороха и полисахаридов семян льна

Table 1 – Physico-chemical parameters of pea protein isolate and flax seed polysaccharides

Наименование характеристики	Показатель	
	Белок гороха	Полисахариды семян льна
Содержание белка в сухом продукте, %	85,0	7,5
Влажность продукта, %	4,5	6,5
pH 1% раствора	7,7	7,5
ВУС, г/г	2,5	15,0
ЖУС, г/г	0,8	1,0
Зольность, %	2,4	9,9

Значения pH 1% растворов этих продуктов близки к нейтральным, поэтому при получении пищевых систем они не влияют на органолептические показатели.

Показатели функциональных свойств (ВУС, ЖУС) характерны для этих видов пищевых добавок. Гидроколлоиды, к которым относятся полисахариды семян льна, характеризуются высокими значениями ВУС – 16–30 г воды/г полисахарида [15]. Значения показателей ВУС и ЖУС используемого изолята горохового белка коррелируют с данными авторов [16].

Содержание белковых фракций в белковом изоляте гороха, используемом в исследовании, представлено на рисунке 3.

В белковом комплексе гороха преобладают водо- и солерастворимые фракции: альбумины и глобулины. Их суммарное содержание превышает 80 %. Щелочерастворимые белки составляют не более 16 %.

На рисунке 4 представлен УФ спектр горохового белка. Пик поглощения при 260 нм подтверждает преобладающее содержание глобулиновой фракции в белковом комплексе гороха.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕЛКА ГОРОХА С ПОЛИСАХАРИДАМИ СЕМЯН ЛЬНА В ЭМУЛЬСИЯХ «МАСЛО В ВОДЕ»

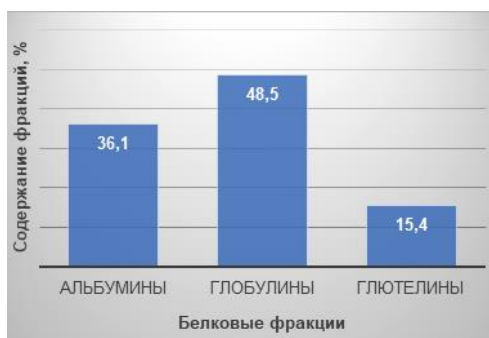


Рисунок 3 – Содержание белковых фракций в изоляте горохового белка

Figure 3 – Protein fractions content in the pea protein isolate

Полученные данные коррелируют с результатами спектрофотометрических исследований белковых фракций гороха различных сортов, представленных в работе [17], где показано, что глобулины гороха имеют пик поглощения в области 260 нм, в отличие от альбуминов с пиком поглощения при 280 нм и глютелинов с пиком поглощения 282 нм.

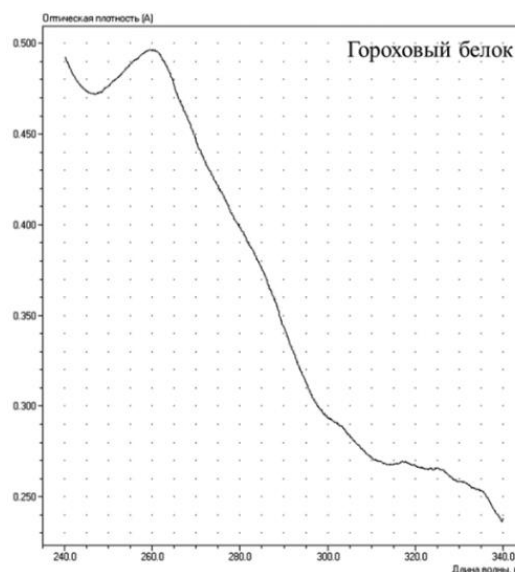


Рисунок 4 – УФ спектр поглощения горохового белка

Figure 4 – The UV absorption spectrum of the pea protein

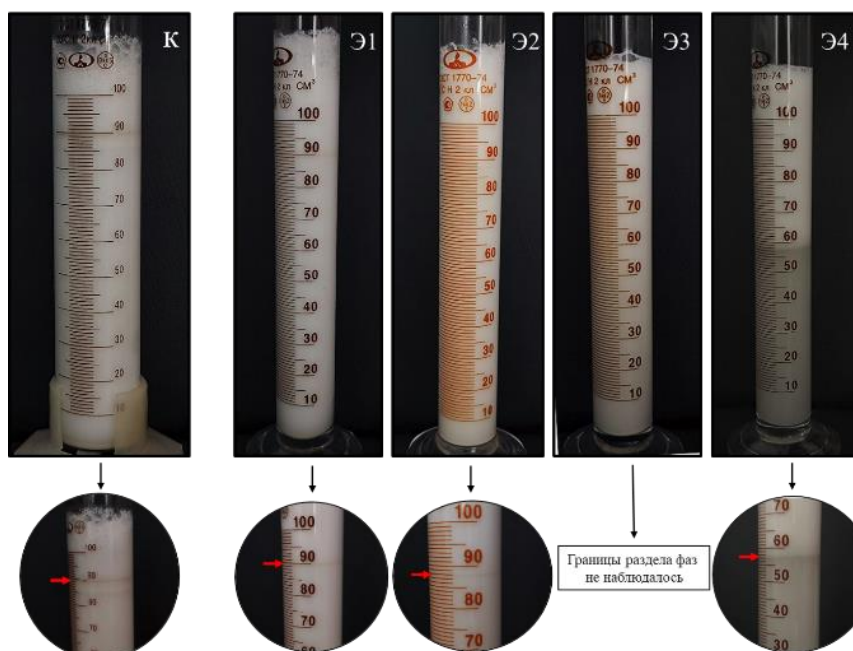


Рисунок 5 – Образцы эмульсий с изолятом горохового белка и полисахаридами семян льна: К – контрольный образец без полисахаридов семян льна;

Э1, Э2, Э3, Э4 – эмульсии с добавлением 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 г полисахаридов соответственно

Figure 5 – Samples of emulsions with pea protein isolate and flaxseed polysaccharides: K - control sample without flaxseed polysaccharides; E1, E2, E3, E4 - emulsions with the addition of 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 g polysaccharides, respectively

Растительные белки, чаще всего соевый и в последние годы гороховый, используют для приготовления эмульсий «масло в воде». В диапазоне pH, близких к изоэлектрической точке белка, наблюдается дестабилизация эмульсий. Образование комплексов между растительными

белками и полисахаридами способствует стабильности эмульсий в широком диапазоне pH. При этом на результат белок – полисахаридных взаимодействий оказывает влияние множество факторов: соотношение биополимеров, их строение, pH, ионная сила, температура и пр. [18].

Были исследованы эмульсии с использованием горохового белка и разнообразными по своей природе полисахаридами в качестве стабилизаторов: ксантановая камедь, камедь тары, каррагинан, гуммиарабик, альгинат натрия. Показано, что гороховый белок при взаимодействии с различными полисахаридами может образовывать как растворимые комплексы, так и нерастворимые комплексы, перспективные в качестве заменителя жира [19–21].

В настоящей работе исследовали эмульсии с изолятом горохового белка и различным содержанием полисахаридов (ПС), выделенных из семян льна отечественной селекции. Содержание белка во всех образцах эмульсий не изменялось и составляло 1 г. Были приготовлены образцы эмульсий: контрольный (К) – без ПС; Э1 – 0,1 г ПС; Э2 – 0,2 г ПС; Э3 – 0,3 г ПС; Э4 – 0,4 г ПС. Соотношение белок : полисахарид в этих системах варьировало соответственно, как 10,0; 5,0; 3,3; 2,5.

Общий вид эмульсий и увеличенные фото образующейся границы раздела фаз представлены на рисунке 5.

Эмульсия сама по себе является нестабильной термодинамической системой. Две фазы стремятся разделиться, чтобы сформировать более стабильное состояние для минимизации свободной энергии. У контрольного образца в первые минуты после приготовления образовывался осадок на дне цилиндра, у образцов с добавлением полисахаридов такого не наблюдалось вне зависимости от их концентрации в составе. Образующийся мелкодисперсный осадок белого цвета, который можно видеть на дне цилиндра контрольного образца, свидетельствует об ограниченной растворимости горохового протеина в нейтральной среде [22].

В образцах Э1 и Э2 уже в первые минуты после приготовления образовывалась система из 2 фаз: полностью непрозрачной кремообразной фазы и мутного водного слоя. Подобная ситуация характерна, когда флокулирована только часть капель эмульсии (нефлокулированные капли образуют мутный водный слой, а флокулированные образуют кремообразный слой) [23].

Визуально, у всех образцов кроме Э3 (соотношение Б:ПС = 3,3) в первые минуты после приготовления появлялась граница раздела фаз, разделяющая эмульсии на нижний (водный) и верхний (кремообразный) слои. Этот процесс разделения фаз свидетельствует о нестабильности эмульсий. Увеличение содержания полисахаридов способствовало более быстрому расслоению системы, что иллюстрируют фото на рисунке 5.

У образца Э4 (соотношение Б:ПС = 2,5)

водная фракция была заметно светлее, чем у остальных образцов. Вероятно, из-за высокой концентрации полисахаридов начиналась флокуляция с образованием капель белок-полисахаридного комплекса, которые быстро сливались и поднимались вверх, образуя кремообразный слой [23].

Образец Э3 представлял собой однофазную однородную дисперсию, отличался от остальных отсутствием границы раздела фаз сразу после приготовления, поэтому был выбран для определения степени расслоения в течение 24 часов хранения (рисунок 6).

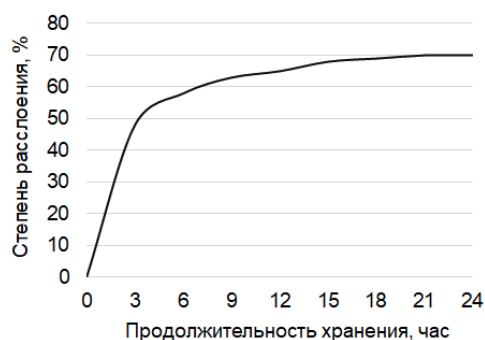


Рисунок 6 – Изменение степени расслоения образца Э3 при хранении в течение 24 часов

Figure 6 – Separation level change of the emulsion E3 within 24 hours storage

Как видно из графика на рисунке 6, расслоение эмульсии активно протекало в течение первых 3 часов хранения со степенью расслоения более 50 %, затем в районе 15 часов хранения степень расслоения достигла 70 % и в дальнейшем практически не изменялась. Таким образом, за 24 часа хранения степень расслоения образца Э3 составила 70 %. На 4-е сутки проведения эксперимента степень расслоения составила 75 %.

У образцов Э1 и К нижний слой оставался мутным в течение 4 суток хранения (рисунок 7), в остальных эмульсиях водный слой был полупрозрачным.

Для исследования межфазовой миграции белка при хранении выше указанных образцов эмульсий определяли его содержание в водном слое после 4 суток хранения (рисунок 8). Количество миграции белка в полностью непрозрачный кремообразный слой, то есть его адсорбцию на границу раздела фаз водно-жирового слоя рассчитывали по формуле:

$$AP = [(C_0 - C_s)/C_0] \cdot 100 \%,$$

где C_0 – исходная концентрация белка в образцах эмульсий, мг/мл; C_s – концентрация белка в водной фазе, мг/мл.

На рисунке 8 представлена диаграмма с величиной AP в зависимости от количества ПС в образцах.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕЛКА ГОРОХА С ПОЛИСАХАРИДАМИ СЕМЯН ЛЬНА В ЭМУЛЬСИЯХ «МАСЛО В ВОДЕ»

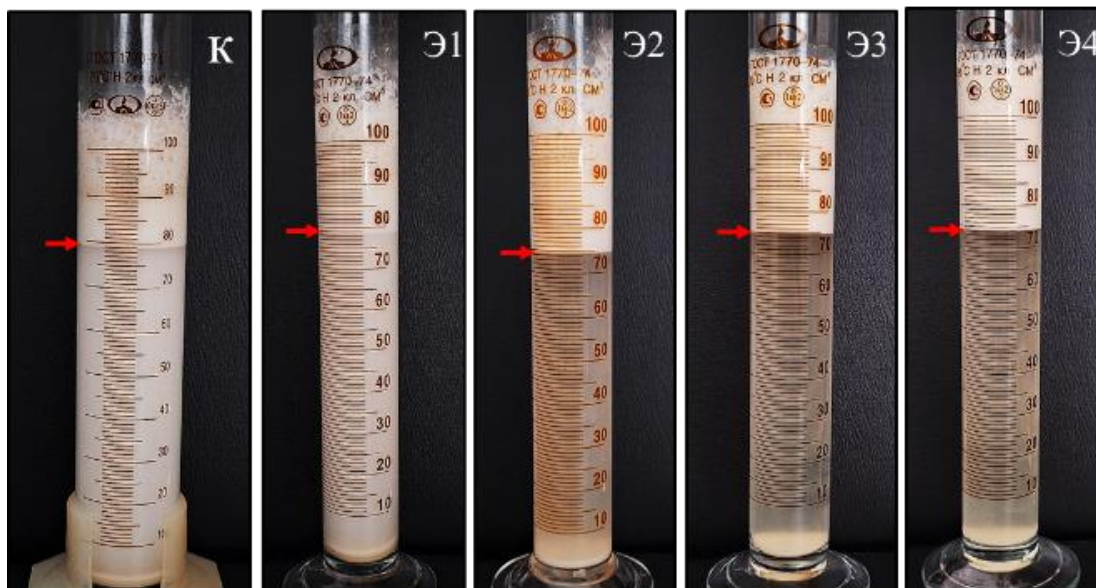


Рисунок 7 – Модельные образцы эмульсий после 4-х суток хранения

Figure 7 – Emulsion samples after 4 days of storage



Рисунок 8 – Межфазная миграция белка

Figure 8 – Interphase protein migration

Как следует из диаграммы на рисунке 8, содержание белка в водной фазе снижалось при увеличении концентрации полисахарида. Вероятно, полисахариды семян льна конкурируют с белком гороха в водной среде и способствуют агрегации белка. Также возможно, что ассоциация индивидуальных биополимеров (в данном случае белка) вызвана термодинамической несовместимостью между отрицательно заряженными группами аминокислот горохового белка и функциональными группами полисахаридов семян льна в нейтральной среде. Аналогичное фазовое поведение горохового белка в нейтральной среде наблюдали авторы [24] при добавлении в качестве анионного полисахарида карбометилцеллюлозу (КМЦ).

Продолжение исследований в этом направлении поможет расширить понимание

взаимодействий полисахаридов льна и белков в пищевых системах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были определены физико-химические характеристики и функционально-технологические свойства изолята белка гороха и полисахаридов семян льна. Показатели функциональных свойств (ВУС, ЖУС) горохового белка и полисахаридов семян льна характерны для этих видов пищевых добавок (белков и гидроколлоидов). Методами химического и спектрофотометрического анализа показано преобладающее содержание глобулиновой фракции в белковом комплексе гороха.

При варьировании количества полисахаридов семян льна в модельных образцах эмульсий выявлено влияние соотношения белок / полисахарид на расслоение эмульсий при их приготовлении и хранении. Снижение содержания белка в водной фазе, вероятно, является результатом агрегации белка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- McClements, D.J. & Jafari, S.M. (2018). Improving emulsion formation, stability and performance using mixed emulsifiers: A review. *Advances in colloid and interface science*, 251, 55-79. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.12.001>.
- McClements, D.J. (2004). Protein-stabilized emulsions. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 9 (5), 305-313.
- Kolpakova, V.V., Kulikov, D.S., Ulanova, R.V. & Chumikina, L.V. (2021). Food and feed protein preparations from peas and chickpeas: production, properties, application. *Equipment and technology of food production*, 51 (2), 333-348. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-333-348>.
- Sridharan, S., Meinders, M., Bitter, J.H. & Nikiforidis, C.V. (2020). On the Emulsifying Properties of Self-Assembled Pea Protein Particles. *Langmuir*, 36(41), 12221-12229. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c01955>.

5. Burger, T.G. & Zhang, Y. (2019). Recent progress in the utilization of pea protein as an emulsifier for food applications. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.007>.
6. Nooshkam, M., Varidi, M., Zareie, Z. & Alkobeisi, F. (2023). Behavior of protein-polysaccharide conjugate-stabilized food emulsions under various destabilization conditions. *Food Chemistry: X*, 18, 100725. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100725>.
7. Hu, Y.T., Ting, Y., Hu, J. & Hsieh, S. [et al.]. (2017). Techniques and methods to study functional characteristics of emulsion systems. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25 (1), 16-26.
8. Dickinson, E. (2009). Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. *Food Hydrocolloids*, 23 (6), 1473-1482. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.08.005>.
9. Dickinson, E. (2006). Colloid science of mixed ingredients. *Soft Matter*, 2(8), 642. <https://doi.org/10.1039/b605670a>.
10. Chanamai, R. & McClements, D.J. (2002). Comparison of gum arabic, modified starch, and whey protein isolate as emulsifiers: influence of pH, CaCl₂ and temperature. *Journal of Food Science*, 67(1), 120125. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb11370.x>.
11. Liu, J., Shim, Y.Y., Poth, A.G. & Reaney, M.J.T. (2016). Conlinin in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) gum and its contribution to emulsification properties. *Food Hydrocolloids*, 52, 963-971. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.09.001>.
12. Liu, J., Shim, Y.Y., Tse, T.J., Wang, Y. & Reaney, M.J. (2018). Flaxseed gum a versatile natural hydrocolloid for food and non-food applications. *Trends in Food Science and Technology*, 75, 146-157. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.01.011>.
13. Zhou, W.W., Meng, L., Li, X., Ma, L. & Dai, R. (2010). Effect of the interaction between carrageenan, gellan gum and flaxseed gum on quality attributes of starch-free emulsion-type sausage. *Journal of Muscle Foods*, 21(2), 255-267.
14. Qian, K., Cui, S.W., Wu, Y. & Goff, H.D. (2012). Flaxseed gum from flaxseed hulls: Extraction, fractionation and characterization. *Food Hydrocolloids*, 28(2), 275-283. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.019>.
15. Lorenc, F., Jarošová, M., Bedniček, J., Smetana, P. & Bárta, J. (2022). Structural characterization and functional properties of flaxseed hydrocolloids and their application. *Foods*, 11(15), 2304. <https://doi.org/10.3390/foods11152304>.
16. Kapoor, R., Karabulut, G., Mundada, V. & Feng, H. (2024). Unraveling the potential of non-thermal ultrasonic contact drying for enhanced functional and structural attributes of pea protein isolates: A comparative study with spray and freeze-drying methods. *Food Chemistry*, 439, 138137. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138137>.
17. Chavan, U.D., McKenzie, D.B. & Shahidi, F. (2001). Protein classification of beach pea (*Lathyrus maritimus* L.). *Food Chemistry*, 75(2), 145-153. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(01\)00122-4](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(01)00122-4).
18. Benichou, A., Aserin, A. & Garti, N. (2002). Protein-Polysaccharide interactions for stabilization of food emulsions. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 23(1-3), 93-123. <https://doi.org/10.1080/01932690208984192>.
19. Güldiken, B., Saffon, M., Nickerson, M.T. & Ghosh, S. (2023). Improving physical stability of pea protein-based emulsions near the isoelectric point via polysaccharide complexation. *Food Hydrocolloids*, 145, 109029. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109029>.
20. McCarthy, N.A., Kennedy, D., Hogan, S.A., Kelly, P.M., Thapa, K., Murphy, K.M. & Fenelon, M.A. (2016). Emulsification properties of pea protein isolate using homogenization, microfluidization and ultrasonication. *Food Research International*, 89, 415-421. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.07.024>.
21. Vélez-Eraza, E.M., Bosqui, K., Rabelo, R.S., Kurozawa, L.E. & Hubinger, M.D. (2020). High internal phase emulsions (HIPE) using pea protein and different polysaccharides as stabilizers. *Food Hydrocolloids*, 105, 105775. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105775>.
22. Hinderink, E.B., Schröder, A., Sagis, L.M., Schroën, K. & Berton-Carabin, C. (2021). Physical and oxidative stability of food emulsions prepared with pea protein fractions. *LWT*, 146, 111424. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111424>.
23. McClements, D.J. (2007). Critical review of Techniques and methodologies for characterization of emulsion stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(7), 611-649. <https://doi.org/10.1080/10408390701289292>.
24. Yue, Y., Pang, S., Li, N., Tong, L., Wang, L., Fan, B., Li, C., Wang, F. & Liu, L. (2021). Interactions between Pea Protein Isolate and Carboxymethylcellulose in Neutral and Acid Aqueous Systems. *Foods*, 10(7), 1560. <https://doi.org/10.3390/foods10071560>.

Информация об авторах

А. А. Яковлева – младший научный сотрудник лаборатории "Молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции" ФГБНУ Федерального научного центра лубяных культур.

В. И. Ущাপовский – младший научный сотрудник лаборатории Переработки лубяных культур ФГБНУ Федерального научного центра лубяных культур.

И. Э. Миневич – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории Переработки лубяных культур ФГБНУ Федерального научного центра лубяных культур.

Information about the authors

A.A. Yakovleva - Junior researcher at the Laboratory of "Molecular Genetic Research and Cell Selection" of the Federal Research Center for Bast Crops.

V.I. Ushchapovskii - Junior researcher at the Laboratory of Processing of Bast Crops of the Federal Research Center for Bast Crops.

I.E. Minevich - Doctor of Technical Sciences, Chief scientific officer at the Laboratory of Processing of Bast Crops of the Federal Scientific Center for Bast Crops.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 22 февраля 2024; одобрена после рецензирования 20 ноября 2024; принята к публикации 04 декабря 2024.

The article was received by the editorial board on 22 Feb 2024; approved after editing on 20 Nov 2024; accepted for publication on 04 Dec 2024.