https://doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-4-183-189
УДК 635.656: [613.292:612.39:532.1]
© 2023

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

Исследование влияния высокого гидростатического давления на функциональные свойства изолята горохового белка

Ольга В. Чугунова [1], Павел С. Бикбулатов[1]*, Александр С. Соколов [2], Наталия В. Заворохина [1]

[1] ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»; ул. 8 Марта, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Российская Федерация

[2] ФГБОУ ВО «Институт физики металлов имени М.Н. Михеева» Уральского отделения Российской академии наук; ул. Софьи Ковалевской, 18, г. Екатеринбург, 620108, Российская Федерация

Аннотация. В статье представлены результаты влияние высокого гидростатического давления (*HHP*) на некоторые функциональные свойства изолята горохового белка. *HHP* сочетали с различными pH-режимами для исследования совокупного влияния условий обработки пищевых продуктов на основе *HHP* на функциональные свойства изолята горохового белка. Растворы изолята горохового белка, приготовленные при различных условиях pH (5,0, 6,0 и 7,0), подвергали обработке *HHP* при 200, 400 и 600 мПа при 18°C в течение 5 мин. Определяли водоудерживающую способность (ВУС), растворимость и эмульгирующие свойства образцов горохового изолята. Установлено, что обработка *HPP* повышает ВУС изолятов горохового белка, в 1,5 раза. Наибольшее увеличение наблюдается у образов, обработанных давление 400 мПа, при pH=7. Увеличение растворимости, установлено при увеличении pH с 6 до 7 при использовании давления 400 и 600 мПа, однако у образца соевого изолята при pH 7 и давлении 200 мПа, наоборот зафиксировано снижение растворимости. Показано, что влияние *HPP* на эмульгирующие свойства горохового белка зависит от условий обработки. В некоторых случаях, *HPP* может улучшить эмульгирующие свойства, обеспечивая более стабильные эмульсии. Однако повышения воздействия высоким давлением до 600 мПа ведет к снижению эмульгирующей стабильности. Оптимальными параметрами применения *HPP* для белков горохового изолята является pH в диапазоне 6-7, и давление 400 мПа.

Ключевые слова: изолят горохового белка, гидростатическое давление, растворимость, эмульгирующие свойства белка

Для цитирования: *Чугунова О.В., Бикбулатов П.С., Соколов А.С. и др. Исследование влияния высокого гидростатического давления на функциональные свойства изолята горохового белка. Новые технологии / New technologies. 2023; 19(4): 183-189. https://doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-4-183-189*

Investigation of the effect of high hydrostatic pressure on functional properties of pea protein isolate

Olga V. Chugunova [1], Pavel S. Bikbulatov[1]*, Alexandr S. Sokolov [2], Natalia V. Zavorokhina [1]

[1] FSBEI HE «Ural State University of Economics»; 62/45, 8 Marta Str., Ekaterinburg, 620144, the Russian Federation

[2] FSBEI HE «M.N. Mikheev Institute of Metal Physics», Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 18 Sofya Kovalevskaya Str., Ekaterinburg, 620108, the Russian Federation

Abstract. The article presents the results of the influence of high hydrostatic pressure (HHP) on some functional properties of pea protein isolate. HHP was combined with different pH conditions to investigate the cumulative effect of HHP-based food processing conditions on the functional properties of pea protein isolate. Pea protein isolate solutions prepared at different pH conditions (5.0, 6.0, and 7.0) were subjected to HHP treatment at 200, 400, and 600 mPa at 18 °C for 5 min. The water resisting capacity (WRC), solubility and emulsifying properties of pea isolate samples were determined. It was found that treatment with NPP increased the VUS of pea protein isolates by 1.5 times. The greatest increase was observed in samples treated with a pressure of 400 mPa, at pH=7. An increase in solubility was found with an increase in pH from 6 to 7 when using a pressure of 400 and 600 mPa, however, for a sample of soybean isolate at pH 7 and a pressure of 200 mPa, on the contrary, a decrease in solubility was recorded. It has been shown that the effect of NPP on the emulsifying properties of pea protein depends on the processing conditions. In some cases, HPP can improve emulsifying properties, providing more stable emulsions. However, increasing exposure to high pressure up to 600 mPa leads to a decrease in emulsifying stability. The optimal parameters for using NPP for pea isolate proteins are a pH in the range of 6-7, and a pressure of 400 mPa.

Keywords: pea protein isolate, hydrostatic pressure, solubility, emulsifying properties of protein

***For citation**: Chugunova O.V., Bikbulatov P.S., Sokolov A.S. et al. Study of the influence of high hydrostatic pressure on the functional properties of pea protein isolate. Novye tehnologii / New technologies. 2023; 19(4): 183-189. https://doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-4-183-189*

В последние несколько лет наблюдается увеличенное внимание к инновационным технологиям, способствующим наращиванию функциональных характеристик пищевых ингредиентов в целях улучшения качества их питательных и органолептических свойств. Одним из важных направлений в разработке новых продуктов и замене традиционных источников белка является использование растительных белков [1, с. 12]. Среди таких растительных источников выделяется соя, пользующаяся огромным спросом в мировом масштабе благодаря содержанию в ней белка и масла (примерно 35%). Исследования соевых белков активно ведутся, и они нашли применение в производстве пищевых продуктов, благодаря своим уникальным питательным и функциональным характеристикам.

Помимо сои, горох становится все более востребованным как альтернативный источник белка, благодаря своей способности произрастать по всему миру. В горохе содержится около 25% белка, и этот компонент находит разнообразное применение в пищевой промышленности. Он используется для эмульгирования, желирования и улучшения текстуры продуктов, что придает гороховому белку все большую популярность [1, с. 13, 2, с. 16].

Отсутствие информации о функционально-технологических свойствах гороховых белков ограничивают их широкое использование в пищевых продуктах. Следует отметить, что высокое давление (*HPP*), воздействуя на структуру, строение и физико-химические характеристики белков, представляет собой перспективный метод модификации этих свойств [4]. Такие процессы как разрушение молекулярных полостей в структуре белковой цепи, гидратация и укорачивание водородных связей, являются существенными последствиями высокого давления [5,6]. Эти эффекты способствуют взаимодействиям между молекулами, приводящим к дестабилизации третичной структуры белка и его последующему разворачиванию [7, с. 182]. После снятия давления структура белков часто отличается от их первоначальных форм, что ведет к изменениям в свойствах, таких как вспенивание, эмульгирование или образование геля [8, с. 98].

С увеличением требований пищевой промышленности к белковому сырью и новым видам пищевых продуктов, исследование белковых систем с целью их изменения для достижения желаемых характеристик становится весьма актуальным.

Цель работы. Оценить влияние различных параметров *HPP*, на структурные и технологические характеристики белка, такие как, растворимость, ВУС и эмульгирующие свойства.

Растворимость белков оказывает существенное влияние на их функционально-технологические свойства. Растворимость белков определяет, насколько легко они могут растворяться в воде или других растворителях, и это свойство может сильно влиять на их способность формировать гели, эмульсии и стабилизировать дисперсные системы [3, с. 15, 5, с. 206].

Например, белки, хорошо растворимые в воде, могут образовывать стабильные гели, что делает их полезными в пищевой промышленности для создания текстурированных продуктов. Они также могут использоваться для стабилизации эмульсий, таких как «Масло в воде» или «Вода в масле», что важно для производства ряда продуктов.

Исследование функциональных характеристик белков является важной научной областью в создании новых видов пищи, путем разработки рецептур для многокомпонентных пищевых

систем и определения оптимальных методов и условий их превращения в готовые продукты.

Следовательно, понимание растворимости белков и их функциональных свойств является ключевым аспектом в разработке продуктов и технологий в пищевой и фармацевтической промышленности.

Объекты и методы исследования

В Свердловской области горох посевной и полевой являются преобладающей культурой среди зернобобовых культур, в то время как вика яровая и люпин занимают небольшие участки [9, с. 54]. Горох характеризуется быстрым сроком созревания, высоким содержанием белка в зерне и зеленой массе [10, с. 88].

В качестве объектов исследования в работе использовали: Контроль – изоляты горохового белка полученные в соответствии с технологией, представленной в работе [11, с. 28]. Белковые препараты диспергировали в дистиллированной воде с концентрацией 1% (по массе) и интенсивно перемешивались в течение 4 часов при комнатной температуре для обеспечения гидратации. Для регулирования pH значения, использовали 0,1 моль/л лимонную кислоту или 0,01 моль/л NaOH, достигая значений pH в диапазоне 6, 7 или 8. Процесс перемешивания при этом продолжался в течение 40 минут, также при комнатной температуре. Полученные дисперсии объемом примерно 40 мл помещали в бутылки из полиэтилена высокой плотности с широким горлышком, для последующей обработки методом *HPP*.

Опытные образцы – образцы горохового изолята подвергнутые обработке при различных уровнях давления: 200, 400 и 600 МПа, в течение разных временных интервалов: 5, при стандартной температуре (18±3°C). Эти эксперименты проводились с использованием гидростатического пресса (Пищевой гидростат, модель 600MPa/30L, предоставленный ООО «РАН Технолоджикс Групп»). Данное оборудование HPR (High Pressure Reactor) обладает сосудом высокого давления с внутренним диаметром 200 мм и длиной 2000 мм, способным выдерживать максимальное рабочее давление до 600 мПа. Кроме того, оно подключено к холодильной установке, позволяющей регулировать температуру охлаждающей жидкости, используемой для создания высокого давления в системе.

Для сравнения растворимости исследуемых белковых препаратов использовали:

– образцы сравнения;

– изолят соевого белка (ШАНЬСУН-90 – немодифицированный изолят соевого белка с содержанием белка в сухом веществе не менее 90%, производитель Linyi Shansong Biological Products Co., Ltd., Китай).

Электрофорез в полиакриламидном геле додецилсульфата натрия (SDS-PAGE) – это метод разделения молекул, основанный на разнице их молекулярной массы. При pH, при котором проводят гель-электрофорез, молекулы SDS заряжены отрицательно и связываются с белками в заданном соотношении, примерно по одной молекуле SDS на каждые 2 аминокислоты. Электрофорез проводили в соответствии с ранее описанными методами с использованием 10-15% SDS [5, с. 205, 17, с. 42]. Были приготовлены 10%-ные (по массе) дисперсии образцов с использованием 0,1 М натрийфосфатного буфера, pH 6,8. Затем образцы центрифугировали в течение 10 мин и наносили по 1 мкл супернатанта на каждую полосу. Выделение и проявку геля проводили в установке для электрофореза Phastsystem в соответствии с инструкциями производителя (GE Health Sciences, Монреаль, Южная Каролина, Канада).

Концентрацию растворимого белка определяли в супернатанте по методу [12, с. 252]. В общей сложности 250 мкл реактива Брэдфорда добавляли к аликвоте из 50 мкл белкового раствора (супернатанта), перемешивали в течение 30 с и затем выдерживали в течение 20 мин при комнатной температуре. Поглощение измеряли при 595 нм с помощью спектрофотометра (Спектрофотометр УФ-1200 ЭКОВЬЮ), а концентрацию белка определяли с помощью калибровочной кривой с использованием стандартов BSA (бычий сывороточный альбумин). Растворимость белка рассчитывали, как отношение в надосадочной жидкости к белку в исходном образце в процентах.

Для оценки эмульгирующих свойств были проведены эксперименты как с дисперсиями цельного изолята белка, так и с растворимыми белковыми фракциями, полученными после центрифугирования при 6000 оборотах в минуту в течение 20 минут при 4°C. Эмульсии типа «Масло в воде» были подготовлены путем смешивания 3 мл белкового раствора с концентрацией 8 мг/мл (независимо от центрифугирования) с 1 мл подсолнечного масла. Затем производилась гомогенизация при использовании гомогенизатора HT Machinery (Япония-Тайвань) при скорости вращения 10 000 оборотов в минуту в течение 30 секунд.

Индекс эмульгирующей активности (ЭА) и стабильность эмульсии (ЭС) были определены в соответствии с методикой, описанной в [14]. «Эмульгирование проводят на лабораторном гомогенизаторе при постоянной частоте вращения 3000 об/мин и постоянной скорости добавления масла – 5 мл/мин (примерно 1 капля в секунду). После добавления заданного объема масла перемешивание продолжается ещё 1 мин. Затем эмульсия с помощью шприца разливается в пробирки диаметром 5 мм и высотой 100 мм, термостатируется при температуре 85°C в течение

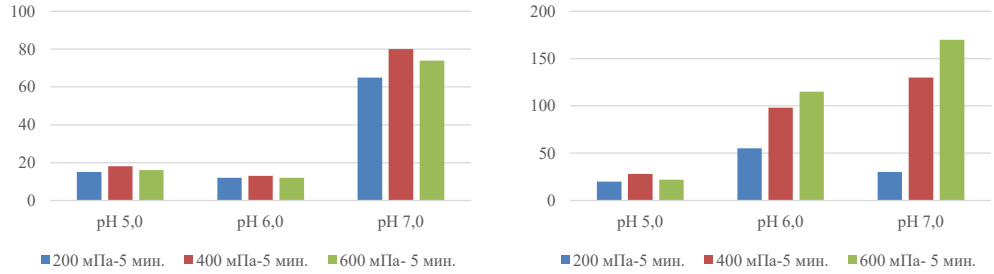

***Рис. 1**. Растворимость белков горохового и соевого изолята в зависимости от режимов HPP, % (w/w)*

***Fig. 1.** Solubility of pea and soy isolate proteins depending on HPP modes, % (w/w)*

20 мин. Пробирки охлаждают проточной водой в течение 15 мин. и центрифугируются при 6000 об/мин в течение 20 мин» [15, с. 35].

Аликвоту объемом 50 мкл из эмульсии извлекали немедленно после приготовления (0 минут) и через 10 минут, разбавляя ее в соотношении 1:500 (объем/объем) в 0,1% (по массе) в растворе додецилсульфата натрия (SDS). Затем измеряли поглощение на спектрофотометре (Спектрофотометр УФ-1200 ЭКОВЬЮ) при длине волны 500 нм.

Критерием стабильности эмульсии при исходном соотношении жировой и водной фаз служит среднее для пробирок отношение высоты эмульсионной слоя, отделившегося после испытания, к общей высоте слоя (в % по объему).

Результаты и их обсуждение

Исследована растворимость обработанных HPP образцов горохового изолята (200, 400 и 600 мПа) при различных значениях pH (5,0, 6,0 и 7,0) и температуре (18 °C). Образцы сравнения – изоляты соевого белка. Результаты приведены отдельно для каждого изученного значения pH (рисунок 1).

В целом растительные белки демонстрируют более низкую растворимость в диапазоне pH от 4 до 6, вблизи изоэлектрической точки, с ожидаемым повышением выше и ниже этого диапазона.

Соевый белковый изолят показал более высокую растворимость белка, чем гороховый изолят, а именно 27,8 ± 1,2 и 96,7 ± 1,6 при pH 5 и 6, и давлении 400 мПа. Повышение растворимости белков горохового изолята, установлено при увеличении pH до 7 при использовании давления 400 и 600 мПа, однако у образца горохового изолята при pH 7 и давлении 600 мПа, регистрируется снижение растворимости, по сравнению с образцами, обработанными 200 и 400 мПа. Вероятно, относительно высокая изоэлектрическая точка основной аминокислоты – глицинина [13, с. 15] способствует снижению растворимости изолятов при pH 7.

Установлено, что увеличение растворимости белка оказалось значительно выше для образцов соевых изолятов по сравнению с образцами гороховго изолята. При значениях pH равных 6 и 7, высокое давление, приводило к более чем 90% растворимости соевых белков. Однако, при pH 5, увеличение растворимости было менее выраженным как для соевых, так и для гороховых белковых изолятов. Важно отметить, что при этом pH значении, увеличение давления приводило к уменьшению уровня растворимости, возможно из-за образования агрегатов белка под воздействием давления [4, с. 26, 18, с. 370]. В целом более существенное увеличение растворимости наблюдалось при pH 7, независимо от типа белкового изолята.

Далее изучена влагоудерживающая способность (ВУС) белков горохового изолята (рисунок 2).

По данным литературных источников, ВУС горохового белка варьируется от 1,18 до 2,70 г воды на г белка, без существенных различий между различными методами экстракции [8, с. 89]. Проведенные исследования показывают, что

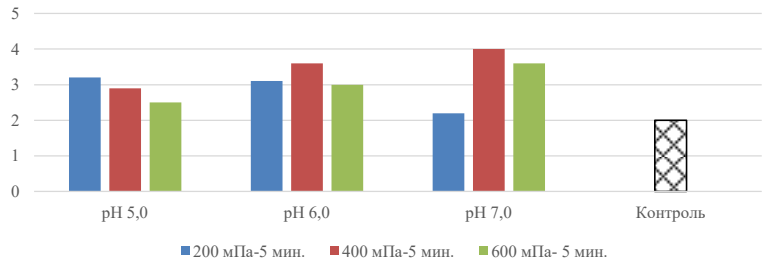

***Рис. 2.** ВУС белков горохового изолята в зависимости от режимов HPP, г белка/г воды)*

***Fig. 2.** VUS of pea isolate proteins depending on HPP modes, g protein/g water)*

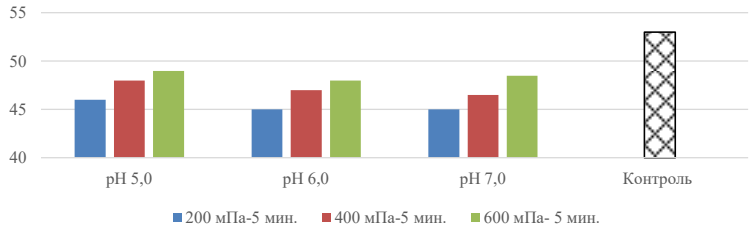

Рис. 3. *Индекс эмульгирующей активности белков горохового изолята в зависимости от режимов HPP, %*

Fig. 3. *Index of emulsifying activity of pea proteins isolate depending on HPP modes, %*

обработка *HPP* повышает ВУС изолятов горохового белка, в 1,3 раза. Наибольшее увеличение наблюдается у образов, обработанных давление 400 мПа, при pH=7.

На следующем этапе изучена эмульгирующая активность (ЭА) белков горохового изолята в зависимости от режимов *HPP*. Установлено, что для контрольного образца индекс ЭА составил 53±2 м^2/г и снижается примерно на 8-15% при использовании *HPP*.

Поскольку *HPP* может изменять растворимость белков, их конформацию и гидрофобность, это может повлиять на влияние белков на образование и стабильность эмульсий и, следовательно, на значения ЭА и ЭС. Однако воздействие *HPP* на эмульгирующую активность горохового изолята было незначительным и, в большинстве случаев, не имело статистически значимых различий ни по сравнению с необработанным контрольным образцом, ни по сравнению с различными условиями обработки.

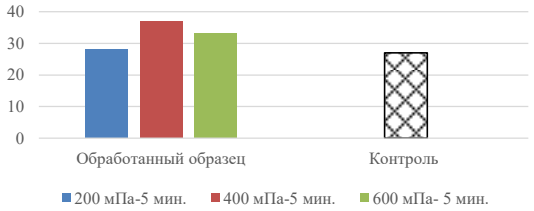

Рис. 4. *Эмульгирующая стабильность белков горохового изолята в зависимости от режимов HPP, %*

Fig. 4. *Emulsifying stability of pea proteins isolate depending on PHH modes, %*

Данные рисунка 4 показывают, что наблюдается общая тенденция к увеличению ЭС при обработке *HPP*. Влияние *HPP* на эмульгирующие свойства горохового белка зависит от условий обработки. В некоторых случаях, *HPP* может улучшить эмульгирующие свойства, обеспечивая более стабильные эмульсии. Однако повышения воздействия высоким давлением до 600 мПа ведет к снижению эмульгирующей стабильности (ЭС).

Таким образом, общая тенденция, выявленная в предыдущих исследованиях в отношении воздействия *HPP* на эмульгирующие свойства растительных белков, заключалась в увеличении ЭА при повышении давления [14, с. 1548, 19, с. 758]. Эти эффекты объяснялись в основном разворачиванием белка, вызванным *HPP*, и последующим выставлением наружу гидрофобных групп, что улучшало эмульгирующие свойства [16, с. 231, 20, с. 138]. Результаты собственных исследований указывают на потенциал *HPP* для улучшения свойств горохового белка и его применения в пищевой промышленности. Оптимальными параметрами применения *HPP* для белков горохового изолята является pH в диапазоне 6-7, и давление 400 мПа. Однако для полного понимания механизмов и оптимальных условий обработки требуется дальнейшее исследование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Савченко И.В., Медведев А.М., Лукомец В.М. и др. Пути увеличения производства растительного белка в России. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2009; 1: 11-13.

2. Степуро М.В., Лобанов В.Г. Роль функциональных свойств белков в пищевой промышленности. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2007; 5/6 (300/301): 25-27.

3. Серкл С., Смит А. Функциональные свойства промышленных пищевых белковых продуктов из сои. Белки семян зерновых и масличных культур. М.: Колос; 1983.

4. Tein B., Eremeev V., Keres I. Effect of different plant production methods on yield and quality of pea cultivar «Madonna». Research for Rural Development. 2011; 17: 24-28.

5. Monteiro S.R., Lopes-da-Silva J.A. Critical Evaluation of the Functionality of Soy Protein Isolates Obtained from Different Raw Materials. Eur. Food Res. Technol. 2019; 245: 199-212.

6. Кругликов Н.А., Быструшкин А.Г., Беляев А.Ю. Влияние экстремальных физических факторов на биологические свойства семян солодки уральской. Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2022; 86(2): 228-232.

7. Dongfang Chao, Stephanie Jung, Rotimi E. Aluko, Physicochemical and functional properties of high pressure-treated isolated pea protein, Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2018; 45: 179-185.

8. Yanting Chen, Shang Hong, Yonghui Li. Pea protein composition, functionality, modification, and food applications: A review, Editor(s): Jianping Wu, Advances in Food and Nutrition Research, Academic Press. 2022; 101: 71-127.

9. Мингалев С.К. Оценка сортов гороха в разных зонах Северной лесостепи Среднего Урала. Аграрный вестник Урала. 2016; 11(153): 51-55.

10. Лихачева Л.И., Гималетдинова В.С., Козионова Е.Г. Результаты селекции гороха в «Уральском НИИСХ». Пермский аграрный вестник. 2017; 4(20): 87-91.

11. Бикбулатов П.С. Разработка технологии получения изолята горохового белка пищевого назначения. Информационные системы и технологии АПК и ПГС: материалы Международной научно-практической конференции (Курск, 6 окт. 2023 г.). Курск: КГАУ им. И.И. Иванова; 2023: 28-30.

12. Bradford M.M. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. Anal. Biochem. 1976; 72: 248-254.

13. Derbyshire E., Wright D.J., Boulter D. Legumin and Vicilin, Storage Proteins of Legume Seeds. Phytochemistry 1976; 15: 3-24.

14. Queirós R.P., Saraiva J.A., da Silva J.A.L. Tailoring Structure and Technological Properties of Plant Proteins Using High Hydrostatic Pressure. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2018; 58: 1538-1556.

15. Бердутина А.В., Громов А.С. Методика определения эмульсионных свойств белковых препаратов. Пищевая промышленность. 2009; 9: 35-37.

16. Wang C., Yin H., Zhao Y. et al. Optimization of High Hydrostatic Pressure Treatments on Soybean Protein Isolate to Improve Its Functionality and Evaluation of Its Application in Yogurt. Foods 2021; 10: 667.

17. Горбачева Д.В. Электрофоретическое исследование белков в лабораторной практике. Гомель: РНПЦ РМиЭЧ; 2020.

18. Vogelsang-O'Dwyer M., Zannini E., Arendt E.K. Production of pulse protein ingredients and their application in plant-based milk alternatives. Trends in Food Science & Technology. 2021; 110: 364-374.

19. Arteaga G.V., Schott M., Muranyi I. Screening of Twelve Pea (Pisum sativum L.) Cultivars and Their Isolates Focusing on the Protein Characterization, Functionality, and Sensory Profiles. Foods. 2021; 10: 758.

20. Klost M., Drusch S. Functionalisation of pea protein by tryptic hydrolysis – Characterisation of interfacial and functional properties. Food Hydrocolloids. 2019; 86: 134-140.

REFERENCES:

1. Savchenko I.V., Medvedev A.M., Lukomets B.M. et al. Ways to increase the production of vegetable protein in Russia. Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2009; 1:11-13.

2. Stepuro M.V., Lobanov V.G. The role of the functional properties of proteins in the food industry. News of higher educational institutions. Food technology. 2007; 5/6 (300/301): 25-27.

3. Circle S., Smith A. Functional properties of industrial food protein products from soybeans. Proteins from grains and oilseeds. M.: Kolos; 1983.

4. Tein B., Eremeev V., Keres I. Effect of different plant production methods on yield and quality of pea cultivar «Madonna». Research for Rural Development. 2011; 17:24-28.

5. Monteiro S.R., Lopes-da-Silva J.A. Critical Evaluation of the Functionality of Soy Protein Isolates Obtained from Different Raw Materials. Eur. Food Res. Technol. 2019; 245: 199-212.

6. Kruglikov N.A., Bystrushkin A.G., Belyaev A.Yu. The influence of extreme physical factors on the biological properties of Ural licorice seeds. News of the Russian Academy of Sciences. Physical series. 2022; 86(2): 228-232.

7. Dongfang Chao, Stephanie Jung, Rotimi E. Aluko, Physicochemical and functional properties of high pressure-treated isolated pea protein, Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2018; 45: 179-185.

8. Yanting Chen, Shang Hong, Yonghui Li. Pea protein composition, functionality, modification, and food applications: A review, Editor(s): Jianping Wu, Advances in Food and Nutrition Research, Academic Press. 2022; 101: 71-127.

9. Mingalev S.K. Assessment of pea varieties in different zones of the Northern forest-steppe of the Middle Urals. Agrarian Bulletin of the Urals. 2016; 11(153): 51-55.

10. Likhacheva L.I., Gimaletdinova V.S., Kozionova E.G. Results of pea selection at the Ural Research Institute of Agriculture. Perm Agrarian Bulletin. 2017; 4(20): 87-91.

11. Bikbulatov P.S. Development of technology for producing pea protein isolate for food use. Information systems and technologies of agro-industrial complex and AGS: materials of the International scientific and practical conference (Kursk, October 6, 2023). Kursk: KSAU named after. I.I. Ivanova; 2023: 28-30.

12. Bradford M.M. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. Anal. Biochem. 1976; 72: 248-254.

13. Derbyshire E., Wright D. J., Boulter D. Legumin and Vicilin, Storage Proteins of Legume Seeds. Phytochemistry 1976; 15: 3-24.

14. Queirós R.P., Saraiva J.A., da Silva J.A.L. Tailoring Structure and Technological Properties of Plant Proteins Using High Hydrostatic Pressure. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2018; 58: 1538-1556.

15. Berdutina A.V., Gromov A.S. Methodology for determining the emulsion properties of protein preparations. Food industry. 2009; 9: 35-37.

16. Wang C., Yin H., Zhao Y. et al. Optimization of High Hydrostatic Pressure Treatments on Soybean Protein Isolate to Improve Its Functionality and Evaluation of Its Application in Yogurt. Foods 2021; 10: 667.

17. Gorbacheva D.V. Electrophoretic study of proteins in laboratory practice. Gomel: Republican Scientific and Practical Center RMiEC; 2020.

18. Vogelsang-O'Dwyer M., Zannini E., Arendt E.K. Production of pulse protein ingredients and their application in plant-based milk alternatives. Trends in Food Science & Technology. 2021; 110: 364-374.

19. Arteaga G.V., Schott M., Muranyi I. Screening of Twelve Pea (Pisum sativum L.) Cultivars and Their Isolates Focusing on the Protein Characterization, Functionality, and Sensory Profiles. Foods. 2021; 10: 758.

20. Klost M., Drusch S. Functionalization of pea protein by tryptic hydrolysis – Characterization of interfacial and functional properties. Food Hydrocolloids. 2019; 86: 134-140.

Информация об авторах / Information about the authors

Ольга Викторовна Чугунова, заведующий кафедрой Технологии питания, доктор технических наук, профессор, вице-президент Ассоциации кулинаров и рестораторов Свердловской области, ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

chugun.ova@yandex.ru

Павел Станиславович Бикбулатов, аспирант кафедры технологии питания, ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

bikbulatovpavel@mail.ru

Александр Леонидович Соколов, ведущий научный сотрудник ФГБОУ ВО «Институт физики металлов имени М.Н. Михеева» Уральского отделения Российской академии наук

tp@usue.ru

Наталия Валерьевна Заворохина, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

tp@usue.ru

Olga V. Chugunova, Dr Sci. (Engineering), Head of the Department of Nutrition Technology, Professor, Vice-President of the Association of Culinary Artists and Restauranteurs of the Sverdlovsk Region, FSBEI HE «Ural State Economic University»

chugun.ova@yandex.ru

Pavel S. Bikbulatov, Post graduate student, the Department of Nutrition Technology, FSBEI HE «Ural State Economic University»

bikbulatovpavel@mail.ru

Alexander L. Sokolov, Leading researcher, FSBEI HE «Institute of Metal Physics named after M.N. Mikheev», Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

tp@usue.ru

Natalia V. Zavorokhina, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, FSBEI HE «Ural State Economic University»

tp@usue.ru

Заявленный вклад соавторов

Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Claimed Contributions of Co-authors

All authors of the research were directly involved in the design, execution, and analysis of the research. All authors of the article have read and approved the final version submitted.

Поступила в редакцию 12.10.2023; поступила после рецензирования 23.11.2023; принята к публикации 24.11.2023

Received 12.10.2023; Revised 23.11.2023; Accepted 24.11.2023