

Исследование качественных показателей, функционально-технологических свойств изолятов растительного белка

Надежда В. Широкова	^{1,2}	nadya.shirockowa@ya.ru	 0000-0002-5607-3044
Андрей В. Шкуров	¹	shkurov.av@ahstep.ru	 0000-0002-5590-8628
Антон В. Трегубов	¹		 0009-0001-3061-3380
Анна А. Куц	²	nastaukuc1@mail.ru	 0009-0001-3061-3380

1 Донской государственный аграрный университет, ул. Кривошлыкова, 24, пос. Персиановский, 346493, Россия

2 Донской государственный технический университет, пл. Гагарина 1, г. Ростов на Дону, 1344003, Россия

Аннотация. В настоящее время в мире, в целом, найдены решения обеспечения населения дешевыми углеводами за счет массового производства злаковых культур, корнеплодов, а также жирами, получаемыми из масличных культур. Имеющаяся до настоящего момента проблема голода в отдельных частях планеты связана в большей степени не с недостаточным производством данных продуктов, а с неэффективным их распределением. Поступление белка в необходимых количествах требуется для полноценной работы мозга, иммунитета, высокого уровня работоспособности и выносливости. В данной статье представлены результаты определения ключевых функционально-технологических свойств – изолятов белка сои, гороха, подсолнечника и люпина при различных термических состояниях. В качестве исследуемых образцов использовались изоляты растительных белков производства РФ. Подсолнечный изолят уступал соевому и гороховому практически по всем параметрам, превосходя гороховый белок только по ГО способности. Данное свойство дает изоляту подсолнечного белка конкурентное преимущество перед гороховым в тех рецептурах, где растительный белок выполняет стабилизирующую функцию. Наихудшими функционально-технологическими свойствами из всех исследуемых белковых препаратов обладал изолят люпинового белка. Низкая влагосвязывающая способность и слабые гелеобразующие свойства позволяют применять его в рецептурах мясных колбасных изделий и полуфабрикатов только в сочетании с другими видами белков (например, соевым), либо с пищевыми добавками. В результате определено содержание белка, подтверждено наличие влагосвязывающей, жиросвязывающей, жирозмульгирующей, гелеобразующей способностей у исследуемых белковых препаратов, проведен сравнительный анализ показателей, предложены направления использования все исследуемые изоляты растительного белка обладают функционально-технологическими свойствами, позволяющими рассматривать их использование в рецептурах мясных колбасных изделий и полуфабрикатов.

Ключевые слова: изолят белка, функционально-технологические свойства, влагосвязывающая способность, жиросвязывающая способность, пенообразующая способность.

Study of quality indicators, functional and technological properties of vegetable protein isolates

Nadezhda V. Shirokova	^{1,2}	nadya.shirockowa@ya.ru	 0000-0002-5607-3044
Andrey V. Shkurov	¹	shkurov.av@ahstep.ru	 0000-0002-5590-8628
Anton V. Tregubov	¹		 0009-0001-3061-3380
Anna A. Kuts	²	nastaukuc1@mail.ru	 0009-0001-3061-3380

1 Don State Agrarian University, 24 Krivoshlykova str., village Persiansky, 346493, Russia

2 Don State Technical University, Gagarin Square 1, Rostov on Don, 1344003, Russia)

Abstract. Currently, in the world as a whole, solutions have been found to provide the population with cheap carbohydrates due to the mass production of cereals, root crops, as well as fats obtained from oilseeds. The current problem of hunger in some parts of the world is mostly related not to insufficient production of these products, but to their inefficient distribution. The intake of protein in the necessary quantities is required for the full functioning of the brain, immunity, a high level of performance and endurance. This article presents the results of determining the key functional and technological properties of soy, pea, sunflower and lupine protein isolates under various thermal conditions. Isolates of vegetable proteins produced in the Russian Federation were used as the studied samples. Sunflower isolate was inferior to soy and pea isolate in almost all parameters, surpassing pea protein only in its ability. This property gives sunflower protein isolate a competitive advantage over pea protein in those formulations where vegetable protein performs a stabilizing function. Lupin protein isolate had the worst functional and technological properties of all the studied protein preparations. Low moisture binding capacity and weak gelforming properties allow it to be used in formulations of meat sausages and semifinished products only in combination with other types of proteins (for example, soy), or with food additives. As a result, the protein content was determined, the presence of moisturebinding, fatbinding, fatemulsifying, gelforming abilities in the studied protein preparations was confirmed, a comparative analysis of the indicators was carried out, directions of use were proposed. All studied vegetable protein isolates have functional and technological properties that allow considering their use in formulations of meat sausages and semifinished products.

Keywords: protein isolate, functional and technological properties, moisture binding ability, fat binding ability, foaming ability.

Для цитирования

Широкова Н.В., Шкуров А.В., Трегубов А.В., Куц А.А. Исследование качественных показателей, функционально-технологических свойств изолятов растительного белка // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 201–206. doi:10.20914/2310-1202-2024-1-201-206

For citation

Shirokova N.V., Shkurov A.V., Tregubov A.V., Kuts A.A. Study of quality indicators, functional and technological properties of vegetable protein isolates. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 201–206. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-1-201-206

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Постоянный рост народонаселения планеты ставит перед человечеством вопросы обеспечения людей всех стран качественной, доступной и полноценной пищей.

Потребительские тенденции развивающихся стран по мере роста благосостояния их граждан меняются не только в сторону увеличения объемов потребления продуктов питания, но и в сторону улучшения ежедневного рациона по качеству.

В настоящее время в мире, в целом, найдены решения обеспечения населения дешевыми углеводами за счет массового производства злаковых культур, корнеплодов, а также жирами, получаемыми из масличных культур. Имеющаяся до настоящего момента проблема голода в отдельных частях планеты связана в большей степени не с недостаточным производством данных продуктов, а с неэффективным их распределением.

В тоже время, до настоящего момента не полное свое решение имеет проблема обеспечения человечества доступным белком, так как для производства наиболее полноценного животного протеина требуется большое количество ресурсов. Вместе с тем белки являются ключевым элементом, обеспечивающим здоровое, эффективное и долгосрочное функционирование организма человека, снабжая его необходимым набором аминокислот для производства собственных белков и ферментов.

Поступление белка в необходимых количествах требуется для полноценной работы мозга, иммунитета, высокого уровня работоспособности и выносливости.

Таким образом, перед человечеством стоит проблема поиска альтернативных источников полноценного белка. В качестве одних из решений данной проблемы в развитых странах возникают стартапы по производству белка насекомых и культивируемого мяса. Однако массовому внедрению такого источника белка препятствует несформировавшиеся потребительские предпочтения.

Одним из направлений, определяющих инновационное развитие биотехнологий, является использование возобновляемых растительных ресурсов, развитие внутреннего спроса и импортозамещение биотехнологической продукции. Важнейшим приоритетом является распространение технологий, превращающих малоценные отходы в белковые продукты и компоненты с высокой добавленной стоимостью, в частности, использование растительных белков в пищевой промышленности.

Пищевая промышленность имеет положительный опыт производства и применения соевого белка, при балансировании которого животным белком можно получить продукты питания с необходимым набором и достаточным количественным содержанием аминокислот.

Распространив такой опыт на другие бобовые, бобовомасличные и масличные культуры, можно получить дополнительные источники растительного белка. Обогащая тем или иным образом такой белок недостающими аминокислотами, можно получать препараты и продукты питания с высокой пищевой ценностью.

В зависимости от содержания белка полученный продукт называется изолятом, если он содержит 90% и более белковых веществ. Если содержание составляет 65% 90%, продукт является концентратом, 50% 65% – белковой мукой.

Растительный белок, на основе которого производят продукты питания, должен удовлетворять показателям качества, определяемые составом, технологией, исходным сырьем. Исходное растительное сырье должно быть чистым и качественным. Влажность сырья должна удовлетворять условиям хранения, то есть должна быть достаточно низкой – не более 10%; зольность не должна превышать 810%; количество сырой клетчатки – 0,5% в случае белкового изолята и 56% для белковой муки и концентрата. При получении пищевых изолятов необходимо контролировать содержание ингибиторов трипсина, гемагглютинаина. Если продукт в дальнейшем будет проходить термообработку, необходимо дополнительно проанализировать питательную ценность изолята и влияние термообработки на изменение функциональных и органолептических свойств. В продуктах на основе растительных белков не должно содержаться тяжелых металлов в концентрациях, опасных для здоровья. Функциональные свойства белков отражают поведение белков в технологическом процессе получения пищевого продукта, а также консистенцию, структуру, влажность и другие характеристики самого продукта. К таким свойствам относят: органолептические и кинестетические (цвет, вкус, запах, зернистость, гладкость, мутность), растворимость, диспергируемость, вязкость, влажность, смачиваемость, эмульгирующая и пенообразующая способности, нелинейная вязкость растворов, способность к тестообразованию, желеобразованию, способность образовывать волокна, гели, термолабильность.

На функциональные свойства белковых продуктов влияют различные факторы: тип исходного сырья и его качество, условия проведения технологических процессов выделения, очистки, сушки и хранения сырья.

В ходе проведения технологических процессов на конечные свойства изолята влияют следующие факторы: температура, pH, давление, органические и неорганические экстрагенты.

В связи с этим, особенно важно строгое соблюдение технологического регламента. Воздействие данных факторов может приводить к разрушению и денатурации белков, образованию комплексных и даже токсичных соединений. Реализация процессов выделения и очистки в мягких условиях позволяет в значительной степени избежать негативного воздействия.

Наиболее перспективным для получения растительного протеина сырьем в РФ являются следующие культуры:

1) Подсолнечник и люпин – после удаления масла содержание белка в шроте превышает 50%.

2) Горох – как бобовая культура, горох изначально имеет относительно высокое содержание белка (в среднем 26% в семенах товарных партий), а также содержит в себе другой востребованный пищевой ингредиент – крахмал.

Подсолнечник и горох имеют массовое производство и большие посевные площади в РФ, а производство низко алкалоидных сортов люпина набирает популярность в Центрально-черноземном регионе.

Вместе с тем, до настоящего момента комплексное изучение функционально-технологических свойств белковых препаратов подсолнечника и гороха в сравнении с соевым белком, выполненное по одним и тем же методикам и в одной лаборатории, проведено не было.

Данный факт не позволяет объективно оценить потенциал данных культур.

Наиболее перспективным представляется использование растительных белков в индустрии мясных колбасных изделий и полуфабрикатов, ключевыми качественными показателями и функционально-технологическими свойствами которых являются:

- содержание белка на абсолютно сухое вещество – ключевой показатель, обуславливающий пищевую ценность белкового ингредиента при внесении его в рецептуры продуктов питания;

- влагосвязывающая способность – способность белковых препаратов при участии гидрофильных остатков аминокислот осуществлять адсорбцию воды. Выражается как отношение количества белка к количеству связываемой им воды;

- жиросвязывающая способность – способность белковых препаратов при участии гидрофобных остатков аминокислот осуществлять адсорбцию жира. Выражается как отношение количества белка к количеству связываемого им жира;

- жироземмулирующая способность – способность белков образовывать эмульсии за счет одновременного наличия гидрофильных и гидрофобных остатков аминокислот. В рамках данной статьи рассматриваются эмульсии «вода в масле». Жироземмулирующая способность выражается как соотношение количества белка к эмульгируемому им количеству воды и масла;

- гелеобразующая способность – свойство белков в коллоидных растворах образовывать пространственную сетку, которая удерживает в себе молекулы воды. В рамках настоящей статьи характеризуется отношением количества белка к максимальному количеству воды, при добавлении которого образуется прочный гель.

Материалы и методы

Объектами исследований являются изоляты белка сои, гороха, подсолнечника и люпина.

Массовую долю белка определяли по ГОСТ 1084691 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка», при этом коэффициент пересчета содержания азота на белок принимался равным 6,25 как для масличных культур.

Оценку жиросвязывающей, жироземмулирующей, гелеобразующей способностей у исследуемых белковых препаратов определяли при различных термических состояниях: без тепловой обработки (холодный способ) и с тепловой обработкой при температуре 80 °C (горячий способ).

При определении влагосвязывающей способности (ВСС) использовали метод, основанный на выделении жидкой фазы под действием центробежной силы из суспензий (белковый препарат + вода), находящихся в фиксированном положении, согласно ГОСТ 336922015.

Расчет ВСС осуществляли по формуле:

$$BCC(\%) = \frac{100 \cdot m_1 (m_2 - m_3)}{m_4},$$

где m_1 – масса воды в навеске, г; m_2 – масса выделившейся жидкости, г; m_3 – масса сухого остатка в выделившейся жидкости, г; m_4 – масса белкового препарата в навеске, г.

Определение жиросвязывающей способности (ЖСС) проводилось методом, основанный на выделении жировой фазы под действием центробежной силы из суспензий (белковый препарат + масло), находящихся в фиксированном положении, согласно ГОСТ 336922015.

Для расчета ЖСС использовали формулу:

$$JCC(\%) = \frac{100 \cdot m_1 (m_2 - m_3)}{m_4},$$

где m_1 – масса масла в навеске, г; m_2 – масса выделившегося масла, г; m_3 – масса белкового препарата в навеске, г.

Определение жирозмульгирующей способности (ЖЭС) заключалось в приготовлении эмульсии (вода + масло + белковый препарат) и под действием центробежной силы отделение жидкой фазы (воды или масла), согласно ГОСТ 336922015. Результат выражался в граммах воды и масла на 1 грамм белка.

Гелеобразующую способность (ГО) определяли согласно ГОСТ 336922015. Расчет гелеобразующая способность осуществлялся по формуле:

$$ГО(\%) = \frac{100 \cdot m_1}{m_2},$$

где m_1 – масса воды, г; m_2 – масса белкового препарата, г.

Результаты и обсуждение

Получены результаты основных функционально-технологических свойств белковых изолятов для обоснования использования их в индустрии мясных колбасных изделий. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Функционально-технологические свойства белковых изолятов

Table 1.

Functional and technological properties of protein isolates

Показатель Indicator	Изолят соевого белка Soy Protein Isolate	Изолят горохового белка Pea Protein Isolate	Изолят подсолнечного белка Sunflower Protein Isolate	Изолят люпинового белка Lupin Protein Isolate
Содержание белка на а.с.в.,%, не менее Protein content%, not less	90	85	90	90
BCC (XC),% WHC,%	680	433	334	250
BCC (ГC),% WHC,%	800	427	392	250
ЖСС (XC),% ZHSS,%	119,5	83	59	110
ЖСС (ГC),% ZHSS,%	119,6	78	57	104
ЖЭС (XC),% ZNES,%	1:7:7	1:5:5	1:4:4	1:3:3
ЖЭС (ГC),% ZNES,%	1:8:8	1:5:5	1:5:5	1:3:3
ГО (XC),% TH,%	600	250	300	200
ГО (ГC),% TH,%	600	300	400	150

Примечание: XC – холодный способ; ГC – горячий способ
Note: CM – cold method; HM – hot method

Наилучшими функционально-технологическими свойствами (BCC (XC И ГC) 680% и 800% соответственно, ЖСС (XC И ГC) 119,5% и 119, 6% соответственно, ЖЭС (XC И ГC) 1:7:7 и 1:8:8 соответственно, ГО (XC И ГC) 600% и 600% соответственно) и содержанием белка (не менее 90%) ожидаемо обладает соевый изолят. Гороховый изолят имеет второе после соевого белка значение BCC – 433% (XC) и 427% (ГC). Влагосвязывающая способность является важнейшим показателем белка как пищевого ингредиента для производства мясных колбасных изделий и полуфабрикатов, так как она определяет возможную степень гидратации белкового препарата в рецептуре. При этом содержание белка в гороховом изоляте (не менее 85%) несколько уступало остальным рассматриваемым белкам, что, по видимому, связано с невозможностью полностью очистить гороховый изолят от крахмала в процессе производства. Кроме того, согласно общепринятой в отрасли классификации, белковый препарат с содержанием протеина менее 90% не может считаться изолятом, хотя для горохового белка как правило делаются исключения.

Подсолнечный изолят уступал соевому и гороховому практически по всем параметрам, превосходя гороховый белок только по ГО способности. Данное свойство дает изоляту

подсолнечного белка конкурентное преимущество перед гороховым в тех рецептурах, где растительный белок выполняет стабилизирующую функцию.

Наихудшими функционально-технологическими свойствами из всех исследуемых белковых препаратов обладал изолят люпинового белка. Низкая влагосвязывающая способность и слабые гелеобразующие свойства позволяют применять его в рецептурах мясных колбасных изделий и полуфабрикатов только в сочетании с другими видами белков (например, соевым), либо с пищевыми добавками.

Заключение

Все исследуемые изоляты растительного белка обладают функционально-технологическими свойствами, позволяющими рассматривать их использование в рецептурах мясных колбасных изделий и полуфабрикатов.

Для повышения экономической эффективности применения белковых препаратов гороха, подсолнечника и люпина представляется целесообразным разработать технологии модификации их функционально-технологических свойств (в первую очередь влагосвязывающей, жирозмульгирующей и гелеобразующей способностей) с целью доведения их до показателей соевого белка.

Литература

- 1 Широкова Н.В., Сердюкова Я.П., Казарова И.Г. Использование растительного сырья при производстве рубленых полуфабрикатов в оболочке // Научная жизнь. 2020. Т. 15. № 3(103). С. 408415. doi: 10.35679/199194762020153408415
- 2 АльСухайми С.А., Тошев А.Д., Андросова Н.В. Исследование качественных показателей хлебобулочных изделий функциональной направленности с добавлением продуктов переработки растительного сырья // Вестник КрасГАУ. 2022. №. 8 (185). С. 180-186. doi: 10.36718/1819403620228180186
- 3 El-Sohaimy S.A., Androsova N.V., Toshev A.D., El Enshasy H.A. Nutritional quality, chemical, and functional characteristics of hemp (*Cannabis sativa* ssp. *sativa*) protein Isolate // Plants. 2022. V. 11. №. 21. P. 2825. doi: 10.3390/plants11212825
- 4 Phillips C.J.C., Hosseintabar-Ghasemabad B., Gorlov I.F., Slozhenkina M.I. et al. Immunomodulatory effects of natural feed additives for meat chickens // Life. 2023. V. 13. №. 6. P. 1287. doi: 10.3390/life13061287
- 5 Merenkova S.P., Zinina O.V., Stuart M. et al. Effects of dietary fiber on human health: A review // Human. Sport. Medicine. 2020. V. 20. №. 1. P. 106113. doi: 10.14529/hsm200113
- 6 Adam C.L., Gratz S.W., Peinado D.I. et al. Effects of Dietary Fibre (Pectin) and/or Increased Protein (Casein or Pea) on Satiety, Body Weight, Adiposity and Caecal Fermentation in High Fat DietInduced Obese Rats // PLOS ONE. 2016. V. 11. №. 5. P. e0155871. doi: 10.1371/journal.pone.0155871
- 7 Camerotto C., Cupisti A., D'Alessandro C. et al. Dietary Fiber and Gut Microbiota in Renal Diets // Nutrients. 2019. V. 11. P. 2149. doi: 10.3390/nu11092149
- 8 Широкова Н.В., Казарова И.Г., Малолетова Ю.Р. Разработка технологии колбасного изделия из мяса баранины с использованием растительного сырья // Научная жизнь. 2022. Т. 17. № 5(125). С. 805812. doi: 10.35679/199194762022175805812
- 9 Krochmal-Marczak B., Tobiasz-Salach R., Kaszuba J. The effect of adding oat flour on the nutritional and sensory quality of wheat bread // British Food Journal. 2020. V. 122. №. 7. P. 2329-2339. doi: 10.1108/BFJ0720190493
- 10 Huang G., Guo Q., Wang C., Ding H.H. et al. Fenugreek fibre in bread: Effects on dough development and bread quality // LWT Food Science and Technology. 2016. V. 71. P. 274280. doi: 10.1016/j.lwt.2016.03.040
- 11 Branch S., Maria S. Evaluation of the functional properties of mung bean protein isolate for development of textured vegetable protein // International Food Research Journal. 2017. V. 24. №. 4. P. 1595-1605.
- 12 Ochoa-Rivas A., Nava-Valdez Y., Serna-Saldivar S.O., Chuck-Hernández C. Microwave and ultrasound to enhance protein extraction from peanut flour under alkaline conditions: Effects in yield and functional properties of protein isolates // Food and Bioprocess Technology. 2017. V. 10. P. 543-555.
- 13 Elsohaimy S.A., Refaay T.M., Zaytoun M.A.M. Physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate // Annals of Agricultural Sciences. 2015. V. 60. №. 2. P. 297-305.
- 14 Jarpa-Parra M. Lentil protein: A review of functional properties and food application. An overview of lentil protein functionality // International Journal of Food Science & Technology. 2018. V. 53. №. 4. P. 892-903. doi: 10.1111/ijfs.13685
- 15 Akharume F.U., Aluko R.E., Adediji A.A. Modification of plant proteins for improved functionality: A review // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2021. V. 20. №. 1. P. 198-224. doi: 10.1111/1541-4337.12688
- 16 Timilsena Y.P., Adhikari R., Barrow C.J., Adhikari B. Physicochemical and functional properties of protein isolate produced from Australian chia seeds // Food chemistry. 2016. V. 212. P. 648-656.
- 17 Wani I.A., Sogi D.S., Shivhare U.S., Gill B.S. Physico-chemical and functional properties of native and hydrolyzed kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein isolates // Food research international. 2015. V. 76. P. 11-18.
- 18 He X.H., Liu H.Z., Liu L., Zhao G.L. et al. Effects of high pressure on the physicochemical and functional properties of peanut protein isolates // Food Hydrocolloids. 2014. V. 36. P. 123-129.
- 19 Kaushik P., Dowling K., McKnight S., Barrow C.J. et al. Preparation, characterization and functional properties of flax seed protein isolate // Food chemistry. 2016. V. 197. P. 212-220.
- 20 Shevkani K., Singh N., Kaur A., Rana J.C. Structural and functional characterization of kidney bean and field pea protein isolates: A comparative study // Food Hydrocolloids. 2015. V. 43. P. 679-689.

References

- 1 Shirokova N.V., Serdyukova Ya.P., Kazarova I.G. The use of plant raw materials in the production of chopped semi-finished products in a shell. Scientific life. 2020. vol. 15. no. 3(103). pp. 408415. doi: 10.35679/199194762020153408415 (in Russian).
- 2 AlSuhaimi S.A., Toshev A.D., Androsova N.V. Research of quality indicators of functional bakery products with the addition of processed vegetable raw materials. Bulletin of KrasGAU. 2022. no. 8 (185). pp. 180-186. doi: 10.36718/1819403620228180186 (in Russian).
- 3 El-Sohaimy S.A., Androsova N.V., Toshev A.D., El Enshasy H.A. Nutritional quality, chemical, and functional characteristics of hemp (*Cannabis sativa* ssp. *sativa*) protein Isolate. Plants. 2022. vol. 11. no. 21. pp. 2825. doi: 10.3390/plants11212825
- 4 Phillips C.J.C., Hosseintabar-Ghasemabad B., Gorlov I.F., Slozhenkina M.I. et al. Immunomodulatory effects of natural feed additives for meat chickens. Life. 2023. vol. 13. no. 6. pp. 1287. doi: 10.3390/life13061287
- 5 Merenkova S.P., Zinina O.V., Stuart M. et al. Effects of dietary fiber on human health: A review. Human. Sport. Medicine. 2020. vol. 20. no. 1. pp. 106113. doi: 10.14529/hsm200113
- 6 Adam C.L., Gratz S.W., Peinado D.I. et al. Effects of Dietary Fibre (Pectin) and/or Increased Protein (Casein or Pea) on Satiety, Body Weight, Adiposity and Caecal Fermentation in High Fat DietInduced Obese Rats. PLOS ONE. 2016. vol. 11. no. 5. pp. e0155871. doi: 10.1371/journal.pone.0155871
- 7 Camerotto C., Cupisti A., D'Alessandro C. et al. Dietary Fiber and Gut Microbiota in Renal Diets. Nutrients. 2019. vol. 11. pp. 2149. doi: 10.3390/nu11092149
- 8 Широкова Н.В., Казарова И.Г., Малолетова Ю.Р. Development of technology for sausage products from lamb meat using vegetable raw materials. Scientific life. 2022. vol. 17. no. 5(125). pp. 805812. doi: 10.35679/199194762022175805812 (in Russian).
- 9 Krochmal-Marczak B., Tobiasz-Salach R., Kaszuba J. The effect of adding oat flour on the nutritional and sensory quality of wheat bread. British Food Journal. 2020. vol. 122. no. 7. pp. 2329-2339. doi: 10.1108/BFJ0720190493

- 10 Huang G., Guo Q., Wang C., Ding H.H. et al. Fenugreek fibre in bread: Effects on dough development and bread quality. *LWT Food Science and Technology*. 2016. vol. 71. pp. 274280. doi: 10.1016/j.lwt.2016.03.040
- 11 Branch S., Maria S. Evaluation of the functional properties of mung bean protein isolate for development of textured vegetable protein. *International Food Research Journal*. 2017. vol. 24. no. 4. pp. 1595-1605.
- 12 Ochoa-Rivas A., Nava-Valdez Y., Serna-Saldivar S.O., Chuck-Hernández C. Microwave and ultrasound to enhance protein extraction from peanut flour under alkaline conditions: Effects in yield and functional properties of protein isolates. *Food and Bioprocess Technology*. 2017. vol. 10. pp. 543-555.
- 13 Elsohaimy S.A., Refaay T.M., Zaytoun M.A.M. Physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences*. 2015. vol. 60. no. 2. pp. 297-305.
- 14 Jarpa-Parra M. Lentil protein: A review of functional properties and food application. An overview of lentil protein functionality. *International Journal of Food Science & Technology*. 2018. vol. 53. no. 4. pp. 892-903. doi: 10.1111/ijfs.13685
- 15 Akharume F.U., Aluko R.E., Adedeji A.A. Modification of plant proteins for improved functionality: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2021. vol. 20. no. 1. pp. 198-224. doi: 10.1111/1541-4337.12688
- 16 Timilsena Y.P., Adhikari R., Barrow C.J., Adhikari B. Physicochemical and functional properties of protein isolate produced from Australian chia seeds. *Food chemistry*. 2016. vol. 212. pp. 648-656.
- 17 Wani I.A., Sogi D.S., Shivhare U.S., Gill B.S. Physico-chemical and functional properties of native and hydrolyzed kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein isolates. *Food research international*. 2015. vol. 76. pp. 11-18.
- 18 He X.H., Liu H.Z., Liu L., Zhao G.L. et al. Effects of high pressure on the physicochemical and functional properties of peanut protein isolates. *Food Hydrocolloids*. 2014. vol. 36. pp. 123-129.
- 19 Kaushik P., Dowling K., McKnight S., Barrow C.J. et al. Preparation, characterization and functional properties of flax seed protein isolate. *Food chemistry*. 2016. vol. 197. pp. 212-220.
- 20 Shevkani K., Singh N., Kaur A., Rana J.C. Structural and functional characterization of kidney bean and field pea protein isolates: A comparative study. *Food Hydrocolloids*. 2015. vol. 43. pp. 679-689.

Сведения об авторах

Надежда В. Широкова д.б.н., доцент, кафедра пищевых технологий, Донской государственный аграрный университет, ул. Кривошлыкова, 24, пос. Персиановский, 346493, Россия, nadya.shirokova@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5607-3044>

Андрей В. Шкуров аспирант, кафедра пищевых технологий, Донской государственный аграрный университет, ул. Кривошлыкова, 24, пос. Персиановский, 346493, Россия, shkurov.av@ahstep.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5590-8628>

Антон В. Трегубов к.э.н., инженер, кафедра пищевых технологий, Донской государственный аграрный университет, ул. Кривошлыкова, 24, пос. Персиановский, 346493, Россия

 <https://orcid.org/0009-0001-3061-3380>

Анна А. Куц студент, кафедра техники и технологии пищевых производств, Донской государственный технический университет, пл. Гагарина 1, г. Ростов на Дону, 1344003, Россия, nastaukuc1@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0001-3061-3380>

Вклад авторов

Надежда В. Широкова предложила методику проведения эксперимента

Андрей В. Шкуров обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

Антон В. Трегубов консультация в ходе исследования

Анна А. Куц написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Nadezhda V. Shirokova Dr. Sci. (Biol.), associate professor, food technologies department, Don State Agrarian University, Krivoshlykov str., 24, pos. Persianovsky, 346493, Russia, nadya.shirokova@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5607-3044>

Andrey V. Shkurov graduate student, food technologies department, Don State Agrarian University, Krivoshlykov str., 24, pos. Persianovsky, 346493, Russia, shkurov.av@ahstep.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5590-8628>

Anton V. Tregubov Cand. Sci. (Econ.), engineer, food technologies department, Don State Agrarian University, Krivoshlykov str., 24, pos. Persianovsky, 346493, Russia

 <https://orcid.org/0009-0001-3061-3380>

Anna A. Kuts student, food production engineering and technology department, Don State Technical University, Gagarin Square 1, Rostov on Don, 1344003, Russia, nastaukuc1@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0001-3061-3380>

Contribution

Nadezhda V. Shirokova proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Andrey V. Shkurov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Anton V. Tregubov consultation during the study

Anna A. Kuts wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 17/01/2024	После редакции 08/02/2024	Принята в печать 26/02/2024
Received 17/01/2024	Accepted in revised 08/02/2024	Accepted 26/02/2024