

Научная статья/Research Article

УДК 665.939.14:664.38

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-2-202-215

Иван Александрович Дегтярев¹, Махмуд Гаравири², Иван Андреевич Фоменко^{3✉},
Наталья Леонидовна Вострикова⁴, Наталья Геннадьевна Машенцева⁵

^{1,2,3,5}Российский биотехнологический университет, Москва, Россия

⁴ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН

¹lvand152@yandex.ru, ORCID 0000-0002-3842-1391

²gharaviri@hotmail.com, ORCID 0000-0002-4318-7077

³fomenkoia@mgupp.ru, ORCID 0000-0003-2478-1705

⁴vostrikova@fncps.ru, ORCID 0000-0002-9395-705X

⁵natali-mng@yandex.ru, ORCID 0000-0002-9287-0585

СРАВНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И АМИНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА ИЗОЛЯТОВ БЕЛКА РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Цель исследования – сравнение функционально-технологических свойств и аминокислотного состава изолятов белка нута и рапса, полученных путем обезжиривания, предобработки целлюлолитическими ферментными препаратами, щелочной экстракции и кислотным осаждением в изoeлектрической точке. Представлены результаты исследования аминокислотного профиля и функционально-технологических свойств изолятов белка рапса и нута. Определены растворимость белка, водосвязывающая и жиросвязывающая способности, жироземмульгирующие свойства, стабильность эмульсии, пенообразующая способность и стабильность пены. Для сравнения использовали коммерческие белковые препараты сои и гороха. Белки нута имели более высокую биологическую ценность в сравнении с изолятом сои, которая составила 75,84 %. По аминокислотному составу полученные изоляты сопоставимы соевому и гороховому изолятам. В изоляте нута преобладает содержание Асп, Глу, Арг, Лей и Лиз, а в изоляте белка рапса содержится большое количество Асп, Глу, Тре, Арг и Ала. Белки нута и рапса имеют растворимость на уровне 21–26 %, что значительно ниже, чем для изолята гороха и сои. Изолят белка рапса обладает относительно высокой водосвязывающей ((310 ± 15) %) и слабой жиросвязывающей способностями ((155 ± 8) %), при этом отмечены высокие жироземмульгирующие свойства ((64 ± 3) %) и стабильность эмульсии ((89 ± 4) %). Изолят белка нута имеет схожие функционально-технологические свойства, при этом значения водосвязывающей ((388 ± 19) %) и жиросвязывающей способностей выше ((195 ± 10) %), чем для изолята рапса. Белки нута имеют лучшую пенообразующую способность и стабильность пены, значения которых составляют (70 ± 3) и 47 % соответственно. Одним из путей улучшения функционально-технологических свойств полученных изолятов белка является направленный протеолиз, в связи с чем дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на определении условий их модификации.

Ключевые слова: изолят белка, нут, рапс, функционально технологические свойства белка, аминокислотной состав

Для цитирования: Дегтярев И.А., Гаравири М., Фоменко И.А., и др. Сравнение функционально-технологических свойств и аминокислотного состава изолятов белка растительного происхождения // Вестник КрасГАУ. 2025. № 2. С. 202–215. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-2-202-215.

Ivan Aleksandrovich Degtyarev¹, Mahmoud Gharawiri², Ivan Andreevich Fomenko^{3✉},
Natalia Leonidovna Vostrikova⁴, Natalia Gennadievna Mashentseva⁵

^{1,2,3,5}Russian Biotechnology University, Moscow, Russia

⁴V.M. Gorbatov FSC of Food Systems of the RAS

¹lvand152@yandex.ru, ORCID 0000-0002-3842-1391

²gharaviri@hotmail.com, ORCID 0000-0002-4318-7077

³fomenkoia@mgupp.ru, ORCID 0000-0003-2478-1705

⁴vostrikova@fncps.ru, ORCID 0000-0002-9395-705X

⁵natali-mng@yandex.ru, ORCID 0000-0002-9287-0585

COMPARISON OF FUNCTIONAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES AND AMINO ACID COMPOSITION OF PROTEIN ISOLATES OF PLANT ORIGIN

The aim of the study is to compare the functional and technological properties and amino acid composition of chickpea and rapeseed protein isolates obtained by defatting, pretreatment with cellulolytic enzyme preparations, alkaline extraction and acid precipitation at the isoelectric point. The paper presents the results of the study of the amino acid profile and functional and technological properties of rapeseed and chickpea protein isolates. The protein solubility, water-binding and fat-binding capacities, fat emulsifying properties, emulsion stability, foaming capacity and foam stability were determined. Commercial soybean and pea protein preparations were used for comparison. Chickpea proteins had a higher biological value compared to soybean isolate, which was 75.84 %. In terms of amino acid composition, the isolates obtained are comparable to soybean and pea isolates. Chickpea isolate is rich in Asp, Glu, Arg, Leu and Lys, while rapeseed protein isolate contains large amounts of Asp, Glu, Tre, Arg and Ala. Chickpea and rapeseed proteins have a solubility of 21–26 %, which is significantly lower than pea and soybean isolates. Rapeseed protein isolate has relatively high water-binding ((310 ± 15) %) and weak fat-binding capacity ((155 ± 8) %), while high fat-emulsifying properties ((64 ± 3) %) and emulsion stability ((89 ± 4) %) are noted. Chickpea protein isolate has similar functional and technological properties, while the values of water-binding ((388 ± 19) %) and fat-binding capacity are higher ((195 ± 10) %) than for rapeseed isolate. Chickpea proteins have better foaming capacity and foam stability, the values of which are (70 ± 3) and 47 %, respectively. One of the ways to improve the functional and technological properties of the obtained protein isolates is targeted proteolysis, in connection with which further research should be focused on determining the conditions for their modification.

Keywords: protein isolate, chickpeas, rapeseed, functional and technological properties of protein, amino acid composition

For citation: Degtyarev IA, Garaviri M, Fomenko IA, et al. Comparison of functional and technological properties and amino acid composition of protein isolates of plant origin. *Bulliten KrasSAU*. 2025;(2):202-215. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-2-202-215.

Введение. Ежегодно спрос на белки растительного происхождения увеличивается. Согласно прогнозам Markets and Markets, мировой рынок растительных белков вырастет с 10,3 млрд до 14,5 млрд долл. в период с 2020 по 2027 г. при среднем приросте 7,1 % в год [1]. В России большая часть растительных белков представлена зарубежными компаниями, в связи с этим особо востребованы технологии получения изолятов белка на основе отечественного сырья, имеющих высокий потенциал практической реализации.

Существенным недостатком производства животного белка является низкая эффективность

конверсии растительного сырья. Для получения 1 кг животного белка в среднем расходуется 6 кг растительного белка [2]. В этой связи целесообразно увеличить использование растительного сырья для получения пищевого белка. Альтернативные белковые источники в сравнении с традиционными имеют низкую стоимость и широко доступны.

В пищевой промышленности все большую актуальность приобретают растительные белковые ингредиенты – изоляты, концентраты и текстуранты белка [3]. Эти белковые добавки применяют при производстве пищевых продуктов благодаря их высокой питательной ценнос-

ти и хорошему взаимодействию с другими ингредиентами, однако их функционально-технологические свойства (ФТС) зависят от способа получения и источника белка. К функционально-технологическим свойствам относятся растворимость белка, водосвязывающая (ВСС) и жиросвязывающая (ЖСС) способности, жирэмульгирующие свойства (ЖЭС) и стабильность эмульсий (СЭ), пенообразующая способность (ПС) и стабильность пены (СП) [4].

Основными источниками растительного белка являются масличные, бобовые и злаковые культуры [1]. Наибольшую коммерческую распространенность получили соя, пшеница и кукуруза [5]. Для удовлетворения увеличивающегося с каждым годом спроса на растительные белки и увеличения их ассортимента активно ведутся поиски альтернативных источников.

Недорогими источниками белка являются бобовые культуры. В бобах нута содержание белка достигает 29 %, который характеризуется сбалансированным соотношением незаменимых аминокислот [6]. В сравнении с соевыми белки нута обладают более низкой аллергенностью [7]. Актуальность переработки бобов нута для извлечения белка подтверждается значительным ежегодным приростом мирового рынка в 11,2 %, а к 2025 г. его объем в денежном эквиваленте составит 737,8 млн долл. [6]. Однако в настоящий момент не налажено коммерческое производство белковых изолятов нута. Недавно в рамках стартапа на базе Еврейского Университета в Иерусалиме была разработана технология получения белкового изолята нута ChickP компании ChickP. Однако на рынке представлен белковый концентрат нута CP-PRO 70 компании Inpovopro Ltd (Израиль).

В России каждый год отмечается увеличение урожая рапса, возрастает объем отходов переработки – жмыхов и шротов, содержащих большое количество белка – до 42 % в шроте и до 35–38 % в жмыхе [8]. Помимо использования отходов переработки рапса в качестве корма их можно использовать как источник белка для пищевой промышленности. Сообщается о сбалансированном аминокислотном составе белка рапса и высокой усвояемости – 84 % [9]. Недавно на зарубежном рынке были зарегистрированы белковые препараты рапса под коммерческими названиями Supertein и Puratein (Burcon NutraScience Co, Канада), имеющие статус GRAS [10], а также Isolexx (TeuTexx Proteins,

Германия), получивший положительное заключение EFSA [11].

Производство коммерчески доступных изолятов белка нута и рапса в России до сих пор не налажено. Ключевую роль при оценке качества белка играет аминокислотный профиль, а также усвояемость белка [12].

Цель исследования – сравнение функционально-технологических свойств и аминокислотного состава изолятов белка нута и рапса, полученных путем обезжиривания, предобработки целлюлолитическими ферментными препаратами, щелочной экстракции и кислотным осаждением в изoeлектрической точке.

Задачи: определить аминокислотный профиль и функционально-технологические свойства полученных изолятов белка нута и рапса в сравнении с коммерческими образцами; сделать вывод о возможности использования изолятов белка нута и рапса в качестве пищевых ингредиентов; предложить рекомендации по способу модификации функционально-технологических свойств полученных изолятов белка.

Объекты и методы. Для исследования был выбран нут типа кабули. Изолят белка нута получен из бобов, которые предварительно измельчали и обезжиривали *n*-гексаном, проводили ферментативную предобработку с использованием ФП «ЦеллоЛюкс А» (ООО «Сиббиофарм», Россия), затем щелочную экстракцию и изоляцию белков согласно Патенту № 2803851 [13].

Получение изолята белка осуществлялось согласно Патенту № 2815553 [14]. Жмых рапса ярового сорта «Ермак» измельчали на роторной ударной мельнице, затем проводили предобработку измельченного жмыха подкисленной водой при pH 4,0, жмых отделяли от экстракта и обезжиривали *n*-гексаном. Проводили ферментативную предобработку с помощью ФП Rovabio max AP (Adisseo, Франция), щелочную экстракцию и осаждение белков из экстракта.

Для сравнения качественных характеристик полученных изолятов использовали коммерческие белковые препараты: изолят гороховый (АО «ОХК «Уралхим», Россия) и изолят белка сои Shansong-90 (Linyi Shansong Biological Products Co., Китай).

Влажность образцов определяли в соответствии с ГОСТ 54951-2012, зольность – ГОСТ 34845-2022, определение содержания «сырого» протеина – ГОСТ 13496.4-2019.

Для оценки функционально-технологических свойств изолятов белка определяли долю растворимого белка, водосвязывающую, жиросвязывающую способности, жироземмулирующие свойства и стабильность эмульсии, пенообразующие свойства и стабильность пены.

Долю растворимого белка определяли путем растворения 250 мг анализируемой пробы в 20 см³ 0,1 М раствора NaCl при pH 7,0, перемешивании в течение 30 мин на магнитной мешалке US-1500D (ULAB, Китай) [15]. Затем проводили центрифугирование при 20 000 г в течение 30 мин, далее определяли содержание белка в фугате по методу Лоури. Выражали долю растворимого белка в процентах по отношению к его содержанию в анализируемом образце.

Для определения водосвязывающей способности исследуемых образцов готовили суспензию 0,5 г навески в 5 см³ дистиллированной воды, встряхивали в течение 10 с каждые 5 мин в течение 30 мин и центрифугировали при 1000 г в течение 15 мин [16]. ВСС, выраженную в %, рассчитывали, как отношение массы анализируемого образца после центрифугирования к массе исходного образца.

Жиросвязывающую способность определяли путем смешивания 0,5 г навески и 5 см³ подсолнечного масла. Приготовленную суспензию встряхивали в течение 10 с каждые 5 мин в течение 30 мин, затем центрифугировали 15 мин при 1000 г [16]. Величину ЖСС в % определяли как отношение массы навески после центрифугирования к массе исходного образца.

Определение жироземмулирующих свойств осуществляли путем гомогенизации образца массой 3,5 г в 50 см³ дистиллированной воды с использованием гомогенизатора STEGLER DG-360 (STEGLER, Китай) при 10 000 об/мин в течение 30 с. К суспензии добавляли 50 см³ подсолнечного масла и повторно гомогенизировали в течение 120 с. Эмульсию переносили в две центрифужные пробирки и центрифугировали при 1100 г в течение 5 мин. Жироземмулирующие свойства рассчитывали путем деления объема эмульгированного слоя на объем эмульсии перед центрифугированием [15].

Для определения стабильности эмульсии приготовленную эмульсию перед центрифугированием нагревали до 85 °С в течение 15 мин, охлаждали, затем охлажденную эмульсию переносили в две центрифужные пробирки и центрифугировали при 1100 г в течение 5 мин [15].

Пенообразующую способность определяли путем приготовления 50 см³ 3 % раствора анализируемой пробы в дистиллированной воде, после чего гомогенизировали при 10 000 об/мин в течение 60 с, затем суспензию переносили в мерный цилиндр на 250 см³ и измеряли объем пены в процентах от общего объема. Стабильность пены выражали в процентах, как объем пены, остающийся спустя 20 мин, отнесенный к общему объему [15].

Анализ аминокислотного состава исследуемых образцов изолята белка определяли на основе ГОСТ 34132-2017. Для анализа отбирали предварительно высушенную и обезжиренную навеску образца изолята белка массой (10,0 ± 0,1) мг, проводили гидролиз концентрированной соляной и пропионовой кислотами (соотношение 50 : 50) при температуре 110 °С в течение 18 ч, после чего гидролизат упаривали. К упаренному досуха гидролизату добавляли 1 см³ буфера (pH 2,2), количественно переносили в виалу. Для первичных аминокислот с целью предколоночной дериватизации с использованием системы автосемплера ВЭЖХ Agilent 1260 Infinity LC (Agilent Technologies, США) использовали ортофталевый альдегид, для вторичных – 9-фторметилхлорформат. Хроматографическое разделение проводили с использованием колонны ZORBAX C18 PA 3,5 мкм 4,6 × 150 мм (Agilent Technologies, США) в режиме градиентного элюирования в течение 25 мин.

Расчет аминокислотного сора (АС), коэффициента различия аминокислотного сора (КРАС) и биологической ценности (БЦ) исследуемых образцов изолятов белка осуществляли в соответствии с методикой, предложенной в работе Д.Р. Тазеддиновой и А.Д. Тошева (2022) [17].

Обработку экспериментальных данных осуществляли с использованием программного пакета MS Excel в ходе которой определяли среднее значение искомой величины при 3-кратной повторности, а также среднеквадратическое отклонение и доверительный интервал. Величина доверительной вероятности составляла 95 %.

Результаты и их обсуждение. В изоляте белка нута содержание основного вещества составило (90,51 ± 2,26) %, в изоляте рапса – (90,75 ± 2,27) %. Полученные данные согласуются со значениями, представленными в работах [18, 19]. Изолят сои Shansong-90 содержит (90,58 ± 2,26) % белка, изолят гороха «Уралхим» содер-

жит менее 90 %. Характеристика исследуемых изолятов белка приведена в таблице 1.

Содержание золы в изолятах нута и рапса значительно ниже, чем в изоляте гороха, но находится на одном уровне с изолятом сои. По внешнему виду все образцы представляют

собой однородный мелкодисперсный порошок светло-бежевого цвета. Изоляты нута, рапса и сои обладают нейтральными органолептическими параметрами, в отличие от изолята гороха, имеющего незначительный характерный гороховый привкус.

Таблица 1

Характеристика исследуемых изолятов белка
Characteristics of the studied protein isolates

Показатель	Образец			
	Изолят нута	Изолят рапса	Изолят сои Shansong-90	Изолят гороха «Уралхим»
Содержание «сырого» протеина, % от СВ*	90,51±2,26	90,75±2,27	90,58±2,26	88,71±2,21
Зола, % от СВ	2,59±0,12	3,91±0,35	5,18±0,46	4,83±0,43
Массовая доля влаги, %	4,34±0,15	6,42±0,12	7,03±0,14	5,94±0,11
Внешний вид	Однородный мелкодисперсный порошок	Однородный мелкодисперсный порошок	Однородный мелкодисперсный порошок	Однородный мелкодисперсный порошок
Цвет	Светло-бежевый	Светло-бежевый	Светло-бежевый	Светло-бежевый
Органолептические параметры	Нейтральные	Нейтральные	Нейтральные	Незначительный гороховый привкус

*СВ – сухие вещества.

Был получен и проанализирован аминокислотный профиль каждого исследуемого образца (рис. 1). Изоляты характеризуются сбалансированным аминокислотным профилем. Белковый изолят рапса превосходит остальные образцы по содержанию аспарагиновой кислоты ((12,35 ± 1,85) %), аланина (7,65 ± 1,15), гистидина (4,40 ± 0,66), глицина (5,04 ± 0,76), треонина (6,84 ± 1,03) и тирозина (3,76 ± 0,56), при минимальном значении, но удовлетворяющем требованиям ФАО/ВОЗ, серина (3,89 ± 0,58), цистеина (0,81 ± 0,12), валина (3,46 ± 0,52), изолейцина (3,08 ± 0,46), лейцина (4,53 ± 0,68), лизина (4,15 ± 0,62) и пролина ((2,48 ± 0,37) %). Похожий аминокислотный профиль установлен для коммерческих белков препаратов рапса Supertein и Puratein (Burcon NutraScience, Канада), Isolexx (TeuTex Proteins, Германия) и Canola PRO (Koninklijke DSM N.V., Нидерланды) [20].

Изолят нута характеризуется максимальным количеством аргинина ((8,56 ± 1,28) %) и фенилаланина ((4,86 ± 0,73) %). Полученный аминокислотный состав изолята белка нута имеет

большую корреляцию с данными работы Ramani A. et al. (2021) за исключением содержания аланина, цистеина, метионина, валина и аргинина [21]. Лимитирующими аминокислотами являются пролин ((3,75 ± 0,56) %) и метионин ((1,54 ± 0,23) %). Для изолята сои лимитирующей аминокислотой является Мет+Цис ((1,92 ± 0,28) %). В сравнении с другими образцами изолятов он содержит максимальное количество глутаминовой кислоты ((17,40 ± 2,61) %), лейцина (6,84 ± 1,02), валина (4,09 ± 0,61), изолейцина (3,92±0,58) и пролина ((4,31 ± 0,64) %). Гороховый изолят «Уралхим» наиболее сбалансирован в сравнении с другими изолятами.

Дефицит аминокислот в рационе питания человека вызывает нарушение метаболизма [22]. Незаменимые аминокислоты не синтезируются самостоятельно, должны поступать с пищей. С учетом аминокислотного профиля можно сделать вывод, что полученные изоляты белка нута и рапса могут быть использованы в рецептурах различных продуктов, почти не уступая изолятам сои.

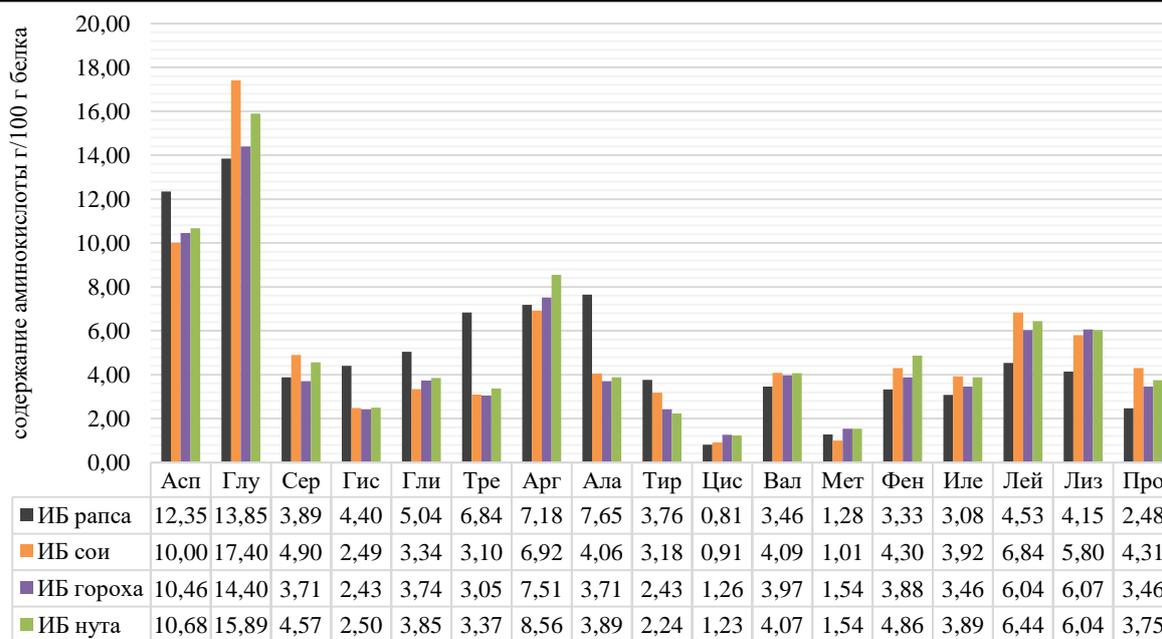


Рис. 1. Сравнение аминокислотного состава изолятов белка нута, рапса, сои и гороха

Comparison of amino acid composition of protein isolates of chickpeas, rapeseed, soy and peas

В таблице 2 представлены значения аминокислотного сора (АС), коэффициента различия аминокислотного сора (КРАС) и биологическая ценность (БЦ) исследуемых образцов. Расчет интегральных показателей биологической ценности полученных белков проводился относительно состава идеального белка по шкале ФАО/ВОЗ [23]. АС для рассматриваемых аминокислот изолята белка нута и гороха составляет более 100 %, белок рапса характеризуется недостаточным содержанием валина (АС 88,76 %), серосодержащих аминокислот (АС 94,75 %),

лейцина (АС 85,47 %) и лизина (АС 92,12 %). Соевый изолят традиционно характеризуется дефицитом Мет и Цис (АС 86,88 %), что согласуется с литературными данными [24].

Наибольшую биологическую ценность (БЦ 80,27 %) имеет изолят гороха «Уралхим». БЦ изолятов рапса составляет 61,28, нута – 75,84 %. Значение БЦ для изолята сои Shansong-90 составило 66,35 %. При этом в работе Е.Е. Курчаевой и др. (2017) БЦ изолята белка рапса была выше, чем у соевого изолята [25].

Таблица 2

Аминокислотный сора и биологическая ценность исследуемых изолятов белка
Amino acid score and biological value of the studied protein isolates

Образец	Аминокислотный сора							КРАС, %	БЦ, %
	Тре	Тир +Фен	Вал	Мет +Цис	Иле	Лей	Лиз		
Изолят нута	146,63	186,60	104,29	125,28	129,07	121,46	134,19	24,16	75,84
Изолят рапса	297,29	186,19	88,76	94,75	102,22	85,47	92,12	38,72	61,28
Изолят сои Shansong-90	134,78	196,33	104,87	86,88	130,23	129,06	128,89	33,65	66,35
Изолят гороха «Уралхим»	132,61	165,68	101,91	126,95	115,10	113,89	134,84	19,73	80,27

В связи с перспективой применения полученных изолятов в качестве пищевых добавок большое значение имеют их функционально-технологические свойства. ФТС состоят из комплекса показателей, значения которых позволяют прогнозировать способность изолятов

участвовать в формировании структурных и физико-химических характеристиках пищевых продуктов [26].

Профили растворимости для изолятов нута и рапса при значении рН 7,0 ± 0,1 достаточно схожи – (21 ± 1,5) и (26 ± 1,7) % (рис. 2).

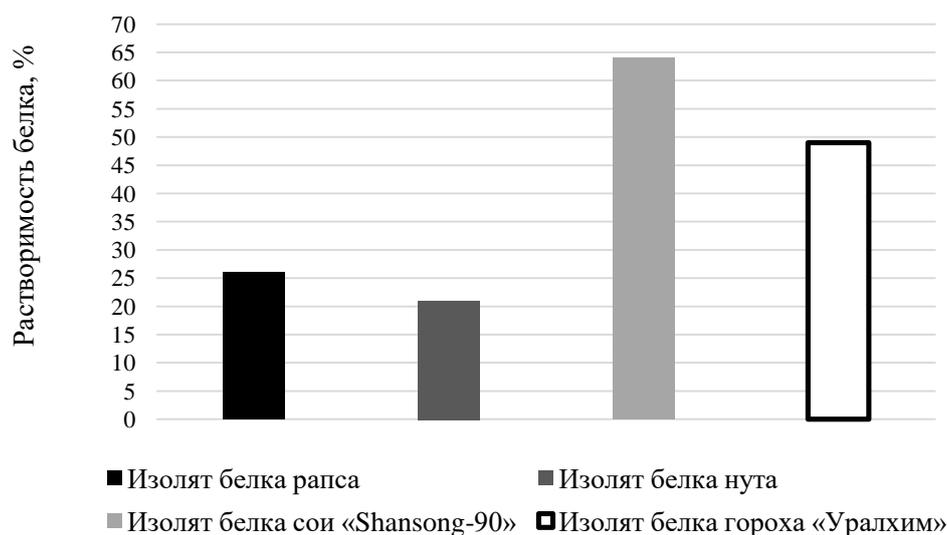


Рис. 2. Профили растворимости изолятов белка рапса, нута, сои Shansong-90 и гороха «Уралхим» при значении pH $7,0 \pm 0,1$

Solubility profiles of protein isolates of rapeseed, chickpeas, soy Shansong-90 and Uralchem peas at pH 7.0 ± 0.1

В работе Floris et al. (2008) было показано, что снижение растворимости, т. е. образование белковых агрегатов, связано с окислением SH-группы [27, 28]. Незначительно более высокую растворимость имеет изолят белка гороха ($49 \pm 2,4$ %), в то время как максимальное значение установлено для изолята сои ($64 \pm 3,2$ %). Данный показатель служит мерой степени денатурации белка, что позволяет определить пищевые продукты или напитки, в которые изолят может быть добавлен.

В ходе определения ВСС (рис. 3) наибольшее значение установлено для соевого изолята (600 ± 30 %), что согласуется с данными Ma et al. (2022). По данному показателю наиболее приближен к соевому изоляту гороховый изолят «Уралхим» (520 ± 26 %). Наименьшую ВСС имеют образцы изолята нута (388 ± 19 %) и рапса (310 ± 15 %). Для белков нута данный показатель по литературным данным находится в диапазоне от 234 до 431 % [29], для белков рапса значение в среднем ВСС составляет от 160 до 290 % [18, 30].

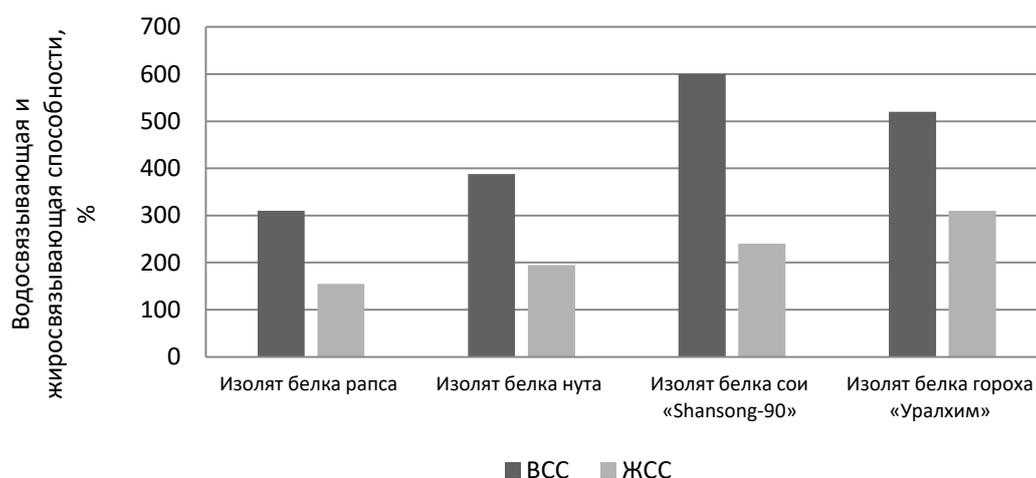


Рис. 3. Значение показателей ВСС и ЖСС изолятов белка рапса, нута, сои Shansong-90 и гороха «Уралхим»

The value of BCC and HCC indicators of protein isolates of rapeseed, chickpeas, soy Shansong-90 and Uralchem peas

ЖСС изолята белка гороха имеет максимальный показатель (310 ± 15 %), он почти сопоставим соевому (см. рис. 3). ЖСС изолята белка нута составил (195 ± 10 %), рапса – (155 ± 8 %). В работе Jacobson et al. (2023) показатель ЖСС для нута составил 170 %, для рапса – 280 % [31].

Жироэмульгирующие свойства изолятов нута и рапса составили (72 ± 4) и (64 ± 3) % соответственно (рис. 4). Для изолята гороха показатель ЖЭС составил (68 ± 3 %). Образец Shansong-90 имеет значение ЖЭС (62 ± 3 %), что на 2 % меньше в сравнении с изолятом рапса и на 23 % меньше, чем для изолята нута. Для растительных изолятов белка данный показатель составляет в среднем около 50 % [31]. Наибольшая стабильность эмульсии отмечена у изолята нута – (95 ± 5 %). Образцы изолята белка рапса, сои и гороха имеют сопоставимые значения стабильности эмульсии – около 90 %. В обзоре A. Mouge и др. (2006) для белков рапса

жироэмульгирующие свойства и стабильность эмульсии варьируется от 28,3 до 54 % и от 5 до 71 %, соответственно, полученные данные согласуются с литературными [32].

Пенообразующая способность пищевых добавок высоко ценится в таких продуктах, как соусы и заправки [33]. Данный показатель для изолята белка нута составил (70 ± 3 %), а для рапса – (45 ± 2 %) (рис. 5). В работе Jakobson et al. (2023) пенообразующая способность образца нута и рапса составила 62 и 68 % соответственно [31]. Также для изолята белка рапса установлена достаточно низкая стабильность пены – (20 ± 1 %), в то время как для нута данный показатель составляет (47 ± 2 %). В зависимости от способа экстракции и изоляции для белков рапса значения пенообразующей способности и стабильности пены составляют от 43,3 до 211 % и от 8,2 до 74,7 % соответственно [34].

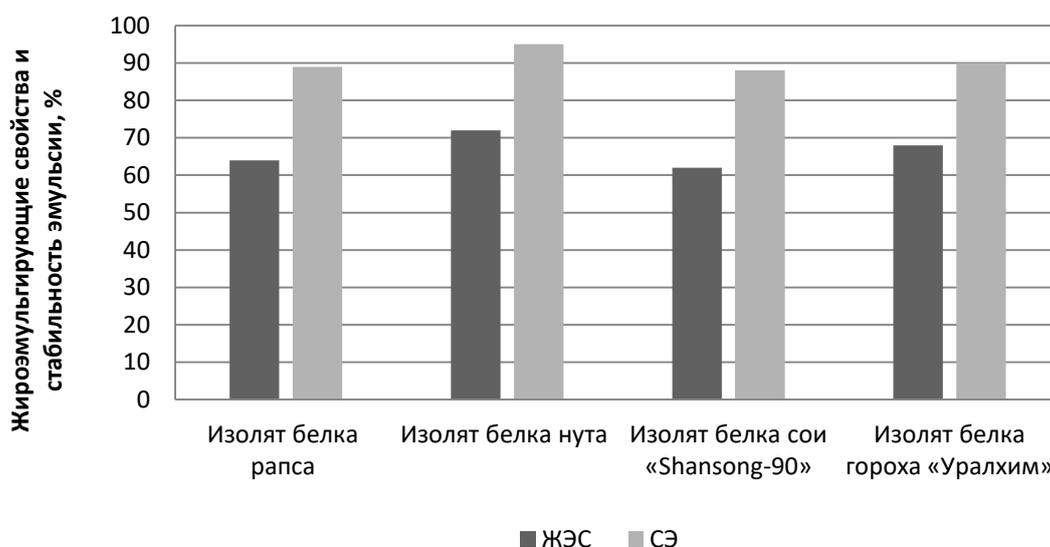


Рис. 4. Значение показателей ЖЭС и СЭ изолятов белка рапса, нута, сои (Shansong-90) и гороха «Уралхим»

The value of HES and SE protein isolates of rapeseed, chickpeas, soybeans (Shansong-90) and Uralchem peas

Модификация функционально-технологических свойств полученных изолятов белка может быть достигнута за счет использования протеолитических ферментных препаратов [35]. В исследовании Chabanon et al. (2007) сообщалось об улучшении растворимости белка, водо- и жиросвязывающей способностей, увеличении жирозэмульгирующих свойств и пенообразующей способности изолята белка рапса, обработанно-

го ферментным препаратом Alcalase 2.4L [36]. Ферментативная обработка изолята белка нута протеазами приводит к увеличению показателей растворимости белка, ВСС, жирозэмульгирующих свойств, стабильности эмульсии и пенообразующих свойств [37]. При этом отмечалось ухудшение стабильности пены и жиросвязывающей способности.

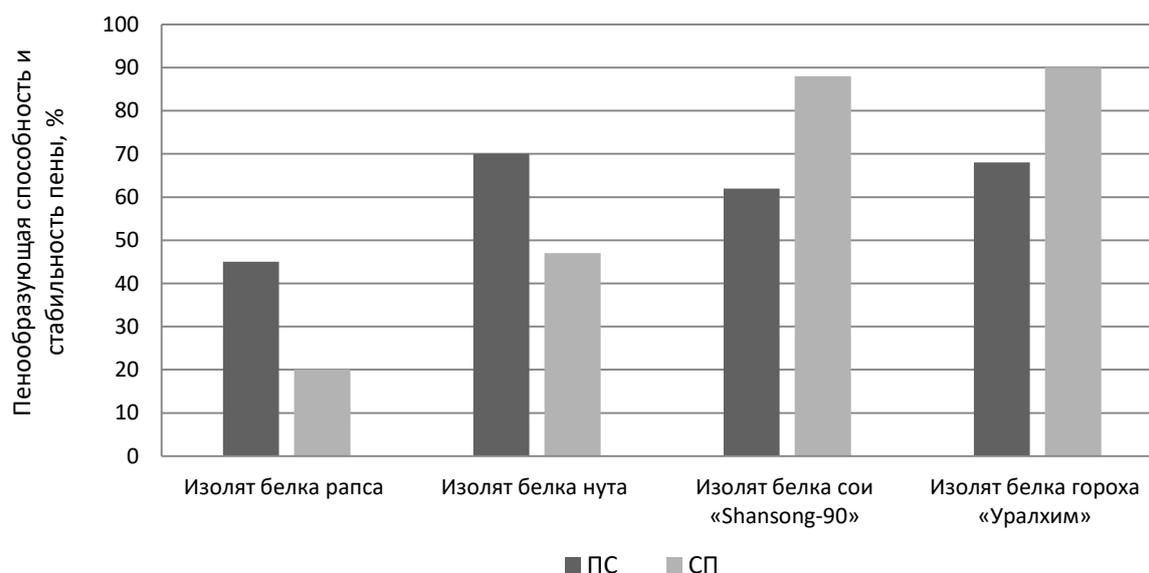


Рис. 5. Значение показателей ПС и СП изолятов белка рапса, нута, сои Shansong-90 и гороха «Уралхим»

The value of PS and SP indicators of protein isolates of rapeseed, chickpeas, soy Shansong-90 and Uralchem peas

Заключение. Полученные результаты позволяют рассматривать изоляты белка нута и рапса в качестве белкового пищевого ингредиента. На основе проведенного исследования установлено, что изоляты нута и рапса обладают схожими функционально-технологическими свойствами. При этом полученные изоляты обладают низкой растворимостью, относительно высокой водосвязывающей и низкой жиросвязывающей способностями, пенообразующей способностью и стабильностью пены. Биологическая ценность белков нута и рапса выше, чем у сои. Для восполнения белкового дефицита в рационе пита-

ния человека изоляты рапса и нута могут быть использованы для разработки новых продуктов питания.

Дальнейшие исследования будут сосредоточены на определении путей модификации функционально-технологических свойств полученных изолятов белка посредством направленного протеолиза, что дополнительно позволит обогатить их биологически активными пептидами, образующимися в ходе деструкции белка, а также расширить область применения белковых препаратов рапса и нута в пищевой промышленности.

Список источников

1. Mondor M., Hernández-Álvarez A.J. Processing technologies to produce plant protein concentrates and isolates // Plant protein foods. Cham: Springer International Publishing. 2022. P. 61–108. DOI: 10.1007/978-3-030-91206-2_3.
2. Hertzler S.R., Lieblein-Boff JA.C., Weiler M., et al. Plant proteins: assessing their nutritional quality and effects on health and physical function // Nutrients. 2020. T. 12, № 12. P. 3704. DOI: 10.3390/nu12123704. EDN: RSSGTF.
3. Boye J.I., Aksay S., Roufik S., et al. Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques // Food Research International. 2010. T. 43, № 2. P. 537–546. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.07.021.
4. Sá A.G.A., Laurindo J.B., Moreno Y.M.F., et al. Influence of emerging technologies on the utilization of plant proteins // Frontiers in nutrition. 2022. T. 9. P. 809058. DOI: 10.3389/fnut.2022.809058. EDN: PQMASS.

5. Sari Y.W., Mulder W.J., Sanders J.P.M., et al. Towards plant protein refinery: review on protein extraction using alkali and potential enzymatic assistance // *Biotechnology journal*. 2015. Т. 10, № 8. P. 1138–1157. DOI: 10.1002/biot.201400569.
6. Boukid F. *Chickpea (Cicer arietinum L.) protein as a prospective plant-based ingredient: a review* // *International Journal of Food Science & Technology*. 2021. Т. 56, № 11. P. 5435–5444. DOI: 10.1111/ijfs.15046.
7. Wang S., Chelikani V., Serventi L. Evaluation of chickpea as alternative to soy in plant-based beverages, fresh and fermented // *LWT-Food Science and Technology*. 2018. Т. 97. P. 570–572. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.07.067.
8. Фоменко П.А., Богатырева Е.В. Белковые корма растительного происхождения // *Молочно-хозяйственный вестник*. 2022. № 4 (48). С. 125–138. DOI: 10.52231/2225-4269_2021_3_12
9. Bos C., Airinei G., Mariotti F., et al. The poor digestibility of rapeseed protein is balanced by its very high metabolic utilization in humans // *The Journal of nutrition*. 2007. Т. 137, № 3. P. 594–600. DOI: 10.1093/jn/137.3.594.
10. Campbell L., Rempel C.B., Wanasundara J.P. Canola/rapeseed protein: Future opportunities and directions – Workshop proceedings of IRC 2015 // *Plants*. 2016. Т. 5, № 2. P. 17. DOI: 10.3390/plants5020017.
11. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific Opinion on the safety of “rapeseed protein isolate” as a Novel Food ingredient // *EFSA Journal*. 2013. Т. 11, № 10. P. 3420. DOI: 10.2903/j.efsa.2013.3420.
12. Sá A.G.A., Moreno Y.M.F., Carciofi B.A.M. Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Т. 97. P. 170–184. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.01.011.
13. Пат. № 2803851 Российская Федерация. Способ получения белкового изолята из бобов нута типа Дези или Кабули / Гаравири М., Ахангаран М., Афанасьев Д.А., Фоменко И.А., Машенцева Н.Г.; заявитель и патентообладатель РОСБИОТЕХ. № 2023119096; заявл. 19.07.2023; опубл. 21.09.2023, Бюл. № 27.
14. Пат. № 2815553 Российская Федерация. Способ получения изолята белка из жмыха рапса / Дегтярев И.А., Фоменко И.А., Иванова Л.А., Мижева А.А., Фоменко В.В., Машенцева Н.Г.; заявитель и патентообладатель РОСБИОТЕХ. № 2023121367; заявл. 16.08.2023; опубл. 18.03.2024, Бюл. № 8.
15. Lqari H, Vioque J, Pedroche J., et al. Lupinus angustifolius protein isolates: chemical composition, functional properties and protein characterization // *Food chemistry*. 2002. Т. 76, № 3. P. 349–356. DOI: 10.1016/S0308-8146(01)00285-0.
16. Li C., Shi D., Stone A., et al. Select functional properties of protein isolates obtained from canola meals modified by solid-state fermentation // *Authorea Preprints*. 2022. DOI: 10.22541/au.166576503.35339303/v1.
17. Тазеддинова Д.Р., Тошев А.Д. Характеристика изолята белка бобов нута // *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 8 (185). С. 202–206. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-8-202-206.
18. Jia W., Rodriguez-Alonso E., Bianeis M., et al. Assessing functional properties of rapeseed protein concentrate versus isolate for food applications // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2021. Т. 68. P. 102636. DOI: 10.1016/j.ifset.2021.102636.
19. Kaur M., Singh N. Characterization of protein isolates from different Indian chickpea (*Cicer arietinum L.*) cultivars // *Food chemistry*. 2007. Т. 102, № 1. P. 366–374. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.05.029.
20. Chmielewska A., Kozłowska M., Rachwał D., et al. Canola/rapeseed protein—nutritional value, functionality and food application: a review // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021. Т. 61, № 22. P. 3836–3856. DOI: 10.1080/10408398.2020.1809342.
21. Ramani A., Kushwaha R., Malaviya R., et al. Molecular, functional and nutritional properties of chickpea (*Cicer arietinum L.*) protein isolates prepared by modified solubilization methods // *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2021. Т. 15. С. 2352–2368. DOI: 10.1007/s11694-020-00778-6.

22. He F., Wu C., Li P., et al. Functions and signaling pathways of amino acids in intestinal inflammation // *BioMed Research International*. 2018. Feb. 10. P. 1–13. DOI: 10.1155/2018/9171905.
23. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. Т. 92. P. 79.
24. Krishnan H.B., Jez J.M. The promise and limits for enhancing sulfur-containing amino acid content of soybean seed // *Plant Science*. 2018. Т. 272. P. 14–21. DOI: 10.1016/j.plantsci.2018.03.030.
25. Курчаева Е.Е., Манжесов В.И., Кубасова А.Н., и др. Использование модифицированных биополимерных систем семян нута и рапса при производстве эмульгированных мясных изделий // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*. 2017. № 4 (18). С. 49–57.
26. Рензеева Т.В. Функциональные свойства белковых продуктов из жмыхов рапса и рыжика // *Техника и технология пищевых производств*. 2009. № 4. С. 23–27.
27. Floris R. Dynamic rearrangement of disulfide bridges influences solubility of whey protein coatings // *International Dairy Journal*. 2008. Т. 18, № 5. P. 566–573. DOI: 10.1016/j.idairyj.2007.10.013.
28. Ma K.K., Grossmann L., Nolden A.A., et al. Functional and physical properties of commercial pulse proteins compared to soy derived protein // *Future Foods*. 2022. Т. 6. P. 100155. DOI: 10.1016/j.fufo.2022.100155.
29. Withana-Gamage T.S., Wanasundara J.P.D., Pietrasik Z., et al. Physicochemical, thermal and functional characterisation of protein isolates from Kabuli and Desi chickpea (*Cicer arietinum* L.): A comparative study with soy (*Glycine max*) and pea (*Pisum sativum* L.) // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2011. Т. 91, № 6. P. 1022–1031. DOI: 10.1002/jsfa.4277.
30. Von Der Haar D., Müller K., Bader-Mittermaier S., et al. Rapeseed proteins—Production methods and possible application ranges // *OCL-Oilseeds and Fats, Crops and Lipids*. 2014. Т. 21, № 1. P. D104. DOI: 10.1051/ocl/2013038.
31. Jakobson K., Kaleda A., Adra K., et al. Techno-Functional and Sensory Characterization of Commercial Plant Protein Powders // *Foods*. 2023. Т. 12, № 14. P. 2805. DOI: 10.3390/foods12142805.
32. Moure A., Domínguez H., Parajó J.C., et al. Functionality of oilseed protein products: A review // *Food research international*. 2006. Т. 39, № 9. P. 945–963. DOI: 10.1016/j.foodres.2006.07.002.
33. McClements D.J., Grossmann L. The science of plant-based foods: Constructing next-generation meat, fish, milk, and egg analogs // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2021. Т. 20, № 4. P. 4049–4100. DOI: 10.1111/1541-4337.12771.
34. Das Purkayastha M., Kalita D., Mahanta C.L., et al. Physicochemical and functional properties of rapeseed protein isolate: influence of antinutrient removal with acidified organic solvents from rapeseed meal // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014. Т. 62, № 31. P. 7903–7914. DOI: 10.1021/jf5023803.
35. 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. Т. 20, № 1. P. 198–224.
36. Chabanona G., Chevalot I., Framboisier X., et al. Hydrolysis of rapeseed protein isolates: Kinetics, characterization and functional properties of hydrolysates // *Process Biochemistry*. 2007. Т. 42, № 10. P. 1419–1428.
37. Goertzen A.D., Nickerson M.T., Tanaka T. The improvement of the functional properties of a chickpea protein isolate through proteolysis with three proteases // *Cereal Chemistry*. 2021. Т. 98, № 3. P. 439–449.

References

1. Mondor M, Hernández-Álvarez AJ. Processing technologies to produce plant protein concentrates and isolates. In: *Plant protein foods*. Cham: Springer International Publishing. 2022. P. 61–108. DOI: 10.1007/978-3-030-91206-2_3.
2. Hertzler SR, Lieblein-Boff JAC, Weiler M, et al. Plant proteins: assessing their nutritional quality and effects on health and physical function. *Nutrients*. 2020;12(12):3704. DOI: 10.3390/nu12123704. EDN: RSSGTF.

3. Boye JI, Aksay S, Roufik S, et al. Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*. 2010;43(2):537-546. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.07.021.
4. Sá AGA, Laurindo JB, Moreno YMF, et al. Influence of emerging technologies on the utilization of plant proteins. *Frontiers in nutrition*. 2022;9:809058. DOI: 10.3389/fnut.2022.809058. EDN: PQMASS.
5. Sari YW, Mulder WJ, Sanders JPM, et al. Towards plant protein refinery: review on protein extraction using alkali and potential enzymatic assistance. *Biotechnology journal*. 2015;10(8):1138-1157. DOI: 10.1002/biot.201400569.
6. Boukid F. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein as a prospective plant-based ingredient: a review. *International Journal of Food Science & Technology*. 2021;56(11):5435-5444. DOI: 10.1111/ijfs.15046. EDN: FJYYBQ.
7. Wang S, Chelikani V, Serventi L. Evaluation of chickpea as alternative to soy in plant-based beverages, fresh and fermented. *LWT-Food Science and Technology*. 2018;97:570-572. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.07.067.
8. Fomenko PA, Bogatyreva EV. Protein feeds of vegetable origin (Meal and cake). *Molochnohozyajstvennyj vestnik*. 2022;(4):125-138. DOI: 10.52231/2225-4269_2021_3_125. EDN: HWWKEW.
9. Bos C, Airinei G, Mariotti F, et al. The poor digestibility of rapeseed protein is balanced by its very high metabolic utilization in humans. *The Journal of nutrition*. 2007;137(3):594-600. DOI: 10.1093/jn/137.3.594.
10. Campbell L, Rempel CB, Wanasundara JP. Canola/rapeseed protein: Future opportunities and directions – Workshop proceedings of IRC 2015. *Plants*. 2016;5(2):17. DOI: 10.3390/plants5020017.
11. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific Opinion on the safety of "rapeseed protein isolate" as a Novel Food ingredient. *EFSA Journal*. 2013;11(10):3420. DOI: 10.2903/j.efsa.2013.3420.
12. Sá AGA, Moreno YMF, Carciofi BAM. Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. *Trends in Food Science & Technology*. 2020;97:170-184. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.01.011. EDN: AFZXRQ.
13. Degtyarev IA, Fomenko IA, Ivanova LA, Mizheva AA, Fomenko VV, Mashenceva NG; zayavitel' i patentoobladatel' ROSBIOTEH. *Sposob polucheniya belkovogo izolyata iz bobov nuta tipa Dezi ili Kabuli*. Patent RUS № 2803851. 21.09.2023. Byul. № 27.
14. Degtyarev IA, Fomenko IA, Ivanova LA, Mizheva AA, Fomenko VV, Mashenceva NG; zayavitel' i patentoobladatel' ROSBIOTEH. *Sposob polucheniya izolyata belka iz zhmyha rapsa*. Patent RUS № 2815553. 18.03.2024. Byul. № 8.
15. Lqari H, Vioque J, Pedroche J, et al. Lupinus angustifolius protein isolates: chemical composition, functional properties and protein characterization. *Food chemistry*. 2002;76(3):349-356. DOI: 10.1016/S0308-8146(01)00285-0.
16. Li C, Shi D, Stone A, et al. Select functional properties of protein isolates obtained from canola meals modified by solid-state fermentation. *Authorea Preprints*. 2022. Oct. 14. DOI: 10.22541/au.166576503.35339303/v1.
17. Tazeddinova DR, Toshev AJ. Chickpea beans protein isolate characteristics. *Bulletin of KSAU*. 2022;(8):202-206. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-8-202-206.
18. Jia W, Rodriguez-Alonso E, Bianeis M, et al. Assessing functional properties of rapeseed protein concentrate versus isolate for food applications. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2021;68:102636. DOI: 10.1016/j.ifset.2021.102636. EDN: YRBVSV.
19. Kaur M, Singh N. Characterization of protein isolates from different Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food chemistry*. 2007;102(1):366-374. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.05.029.
20. Chmielewska A, Kozłowska M, Rachwał D, et al. Canola/rapeseed protein-nutritional value, functionality and food application: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021;61(22):3836-3856. DOI: 10.1080/10408398.2020.1809342. EDN: ULJJVF.
21. Ramani A, Kushwaha R, Malaviya R, et al. Molecular, functional and nutritional properties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein isolates prepared by modified solubilization methods. *Journal of Food*

- Measurement and Characterization. 2021;15:2352-2368. DOI: 10.1007/s11694-020-00778-6. EDN: GCFVYZ.
22. Fang He, Chenlu Wu, Pan Li, et al. Functions and signaling pathways of amino acids in intestinal inflammation. *BioMed Research International*. 2018. Feb. 10. P. 1–13. DOI: 10.1155/2018/9171905.
 23. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation. Rome: *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 2013;92:79.
 24. Krishnan HB, Jez JM. The promise and limits for enhancing sulfur-containing amino acid content of soybean seed. *Plant Science*. 2018;272:14-21. DOI: 10.1016/j.plantsci.2018.03.030.
 25. Kurchaeva EE, Manzhesov VI, Kubasova AN, et al. Using biopolymer systems modification seeds of chickpeas and rapeseed in the production of spreadable meat products. *Tekhnologii pishchevoj i pererabatyvayushchej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya*. 2017;(4):49-57.
 26. Renzyaeva TV. Functional properties of protein products from the oil cake of rape and false flax. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv*. 2009;(4):23-27. EDN: KYQLJ.
 27. Floris R. Dynamic rearrangement of disulfide bridges influences solubility of whey protein coatings. *International Dairy Journal*. 2008;18(5):566-573. DOI: 10.1016/j.idairyj.2007.10.013.
 28. Ma KK, Grossmann L, Nolden AA, et al. Functional and physical properties of commercial pulse proteins compared to soy derived protein. *Future Foods*. 2022;6:100155. DOI: 10.1016/j.fufo.2022.100155. EDN: OLRVRB.
 29. Withana-Gamage TS, Wanasundara JPD, Pietrasik Z, et al. Physicochemical, thermal and functional characterisation of protein isolates from Kabuli and Desi chickpea (*Cicer arietinum* L.): A comparative study with soy (*Glycine max*) and pea (*Pisum sativum* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2011;91(6):1022-1031. DOI: 10.1002/jsfa.4277.
 30. Von Der Haar D, Müller K, Bader-Mittermaier S, et al. Rapeseed proteins-Production methods and possible application ranges. *OCL-Oilseeds and Fats, Crops and Lipids*. 2014;21(1):D104. DOI: 10.1051/ocl/2013038.
 31. Jakobson K, Kaleda A, Adra K, et al. Techno-Functional and Sensory Characterization of Commercial Plant Protein Powders. *Foods*. 2023;12(14):2805. DOI: 10.3390/foods12142805. EDN: VFZK VX.
 32. Moure A, Domínguez H, Parajó JC, et al. Functionality of oilseed protein products: A review. *Food research international*. 2006;39(9):945-963. DOI: 10.1016/j.foodres.2006.07.002. EDN: MARJLP.
 33. McClements DJ, Grossmann L. The science of plant-based foods: Constructing next-generation meat, fish, milk, and egg analogs. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2021;20(4):4049-4100. DOI: 10.1111/1541-4337.12771. EDN: BKFUQW.
 34. Das Purkayastha M, Kalita D, Mahanta CL, et al. Physicochemical and functional properties of rapeseed protein isolate: influence of antinutrient re-removal with acidified organic solvents from rapeseed meal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014;62(31):7903-7914. DOI: 10.1021/jf5023803. EDN: UVXHP.
 35. Akharume FU, Aluko RE, Adedeji AA. Modification of plant proteins for improved functionality: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2021;20(1):198-224. DOI: 10.1111/1541-4337.12688. EDN: MMIDNW.
 36. Chabanona G, Chevalot I, Framboisier X, et al. Hydrolysis of rapeseed protein isolates: Kinetics, characterization and functional properties of hydrolysates. *Process Biochemistry*. 2007;42(10):1419-1428. DOI: 10.1016/j.procbio.2007.07.009.
 37. Goertzen AD, Nickerson MT, Tanaka T. The improvement of the functional properties of a chick-pea protein isolate through proteolysis with three proteases. *Cereal Chemistry*. 2021;98(3):439-449. DOI: 10.1002/cche.10383. EDN: SSNFLB.

Статья принята к публикации 23.01.2025 / The article accepted for publication 23.01.2025.

Информация об авторах:

Иван Александрович Дегтярев¹, аспирант кафедры биотехнологии и технологии продуктов биорганического синтеза

Махмуд Гаравири², аспирант кафедры биотехнологии и технологии продуктов биоорганического синтеза

Иван Андреевич Фоменко³, доцент кафедры биотехнологии и технологии продуктов биоорганического синтеза, кандидат технических наук

Наталья Леонидовна Вострикова⁴, руководитель научно-исследовательского испытательного центра, доктор технических наук

Наталья Геннадьевна Машенцева⁵, профессор кафедры биотехнологии и технологии продуктов биоорганического синтеза, доктор технических наук

Information about the authors:

Ivan Aleksandrovich Degtyarev¹, Postgraduate student at the Department of Biotechnology and Technology of Bioorganic Synthesis Products

Mahmoud Gharawiri², Postgraduate student at the Department of Biotechnology and Technology of Bioorganic Synthesis Products

Ivan Andreevich Fomenko³, Associate Professor at the Department of Biotechnology and Technology of Bioorganic Synthesis Products, Candidate of Technical Sciences

Natalia Leonidovna Vostrikova⁴, Head of the Research and Testing Center, Doctor of Technical Sciences

Natalia Gennadievna Mashentseva⁵, Professor at the Department of Biotechnology and Technology of Bioorganic Synthesis Products, Doctor of Technical Sciences

