

Конопляный белок: получение и функционально-технологические свойства

Ольга С. Корнеева	¹	korneeva-olgas@ya.ru	 0000-0002-2863-0771
Людмила И Василенко	¹	vli2008@ya.ru	 0000-0003-4038-0549
Ольга Л. Мещерякова	¹	gawshina@mail.ru	 0000-0002-7832-8220
Алексей А. Берестовой	¹	berestovoy_1991@mail.ru	 0000-0003-2255-9414
Мария М. Исува	²	mawysta@mail.ru	

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

² Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко, Студенческая улица 10, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Цель этой работы состояла в том, чтобы определить структурные и функциональные характеристики двух основных белков семян конопли, водорастворимого альбумина и растворимого в соли глобулина и щелочерастворимого глютелина. Экстракт 0.1 М CaCl₂ белковой муки семян конопли подвергали последовательному экстрагированию с получением трех фракций: альбумина в водной фазе и глобулина (эдестина) и глютелина в солевой при значении pH-9.0. Данные по аминокислотному составу показали наличие повышенного содержания ароматических и гидрофобных остатков в глобулиновой фракции. Гель-электрофорез показал, что альбуминовая фракция имеет меньше дисульфидных связей и, следовательно, более открытую (гибкую) структуру. Проведен анализ содержания незаменимых аминокислот в изоляте и УФ-концентрате белка и его отдельных фракциях для общего понимания путей их применения. Баланс содержания аминокислот в УФ концентрате близок к «идеальному белку» и в дальнейшем для выделения биоактивных пептидов целесообразно использовать его. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что процессы механического и химического воздействия на конопляную муку обеспечивают получение сырья с высоким содержанием белка, содержащего все незаменимые аминокислоты и характеризующегося преобладающим содержанием суммы воды и солерастворимых фракций. В связи с выявленными изменениями свойств белка, полученного разными способами по освобождению от антипитательных веществ в дальнейшем, планируется обратить внимание на этот вопрос отдельно.

Ключевые слова: конопляный белок, изолят белка, экстракция, ультрафильтрация, фракционирование белков, электрофорез.

Hemp protein: obtaining and functional and technological properties

Olga S. Korneeva	¹	korneeva-olgas@ya.ru	 0000-0002-2863-0771
Ludmila I. Vasilenko	¹	vli2008@ya.ru	 0000-0003-4038-0549
Olga L. Meshcheryakova	¹	gawshina@mail.ru	 0000-0002-7832-8220
Alexey A. Berestovoy	¹	berestovoy_1991@mail.ru	 0000-0003-2255-9414
Maria M. Isuwa	²	mawysta@mail.ru	

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Studencheskaya street 10, Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The aim of this work was to determine the structural and functional characteristics of the two main hemp seed proteins, water-soluble albumin and salt-soluble globulin and alkali-soluble glutelin. The extract of 0.1 M CaCl₂ protein meal of hemp seeds was subjected to sequential extraction to obtain three fractions: albumin in the aqueous phase and globulin (edestin) and glutelin in the salt phase at pH-9.0. Data on the amino acid composition showed the presence of an increased content of aromatic and hydrophobic residues in the globulin fraction. Gel electrophoresis showed that the albumin fraction had fewer disulfide bonds and therefore a more open (flexible) structure. The analysis of the content of essential amino acids in protein isolate and UV concentrate and its individual fractions was carried out for a general understanding of the ways of their application. The balance of amino acid content in the UV concentrate is close to the “ideal protein” and in the future it is advisable to use it to isolate bioactive peptides. Thus, the results obtained indicate that the processes of mechanical and chemical action on hemp flour provide raw materials with a high protein content, containing all essential amino acids and characterized by a predominant content of the sum of water and salt-soluble fractions. In connection with the identified changes in the properties of the protein obtained by different methods for release from antinutrients in the future, it is planned to pay attention to this issue separately.

Keywords: hemp squirrel, protein isolate, extraction, ultrafiltration, protein fractionation, electrophoresis.

Для цитирования

Корнеева О.С., Василенко Л.И., Мещерякова О.Л., Берестовой А.А., Исува М.М. Конопляный белок: получение и функционально-технологические свойства // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 170–177. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-170-177

For citation

Korneeva O.S., Vasilenko L.I., Meshcheryakova O.L., Berestovoy A.A., Isuwa M.M. Hemp protein: obtaining and functional and technological properties. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 170–177. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-170-177

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

Введение

Население мира в настоящее время (2021 г.) растет примерно 1,09% в год и, по прогнозам, к 2100 году достигнет 11,2 млрд. Нехватка пищевого белка является не только экономической, но и социально-медицинской проблемой современного мира, поскольку наличие или отсутствие сбалансированного по белку рациона не даёт нормально развиваться биологическому организму. Для решения этой проблемы необходим научный подход к исследованию возможных альтернатив высококачественных растительных белков, являющихся альтернативой животным белкам и не уступающим им по биологическим функциям. В результате мирового литературного обзора выявлены недооцененные растительные культуры, на основе которых методом биокатализа можно получить биологически полноценные пищевые белки и активные пептиды. В настоящее время повышенное внимание уделяется ревалоризации побочных продуктов пищевой промышленности, в особенности их альтернатив и возможности использования. Поэтому получение альтернативных пищевых белков на основе вторичного масличного сырья технической конопли будет востребовано в ближайшей перспективе [6].

Давно заброшенной культурой, но при этом обладающей уникальным биостатусом является конопля. Кроме того, семена конопли содержат в своем составе до 21% белка, концентрация которого после холодного отжима масла увеличивается в шроте до 38–39,5%. По этой причине усилился интерес к производству конопли за рубежом.

Из высокобелковой конопляной муки был выделен и идентифицирован, богатый метионином и цистином белок (10 кДа) [7]. В изоляте белка конопли (НРІ) эдестин составляет порядка 60% от общего содержания белка конопли [3]. Есть данные [5] о полезности белка глобулина (эдестина и эдестана) из конопляного семени. Сообщается, что физико-химические и функциональные свойства (особенно растворимость белка) изолята конопляного белка хуже по сравнению с изолятом соевого белка [3]. Хотя конопляный белок имеет хороший потенциал для применения в качестве источника белкового питания, но он демонстрирует гораздо функциональные свойства, особенно растворимость белка, по сравнению с изолятом соевого белка [3]. Плохие функциональные свойства могут сильно ограничить применение этого белка во многих рецептурах пищевых продуктов. Для решения

данной проблемы возможно применение мягких способов выделения белка, ферментативной и физической модификации изолята конопляного белка для улучшения его функциональных свойств, а также повышения его биологической активности.

Таблица 1.

Состав высокобелковой конопляной муки

Table 1.

Composition of high-protein hemp flour

Показатель Index	Содержание Value
Массовая доля белка, % Mass fraction of protein, %	47,22
Массовая доля жира, % Mass fraction of fat, %	13,1
Массовая доля углеводов, % Mass fraction of carbohydrates, %	21,4
Зольность (общая зола), % Ash content (total ash), %	9,63
Влажность, % Humidity, %	8,9
Кальций, мг/кг Calcium, mg/kg	3430
Фосфор, мг/кг Phosphorus, mg/kg	23900
Магний, мг/кг Magnesium, mg/kg	9500
Калий, мг/кг Potassium, mg/kg	14800
Железо, мг/кг Iron, mg/kg	277

Обычно ферментативная модификация предпочтительнее из-за более мягких условий процесса, более легкого контроля реакции и минимального образования побочных продуктов [4].

Выделение белка из объектов исследований электрофоретическим методом показало, что он представлен в основном 3–4 фракциями белка с высокой молекулярной массой с различной растворимостью (альбуминами, глобулинами, проламинами, глютелинами и их комплексами, включая нерастворимый белок). Такое массовое распределение белка свидетельствует о вероятности его осаждения в большом количестве в изoeлектрической точке для получения концентрированных белковых препаратов.

Цель работы – исследование влияния способов экстракции и получения на свойства белка конопляной муки

Материалы и методы

Обезжиренная конопляная мука, полученная холодным прессованием, предоставленная ООО «Макошь», дистиллированная вода, NaOH, 0.1 М, CaCl₂ 0.1 М, 0.1 М HCl фитаза TOLERASE™ P 20000G, ООО Банком Белград, Сербия.

При фракционном разделении конопляного белка в качестве экстрагентов использовались вода, 0.1 М раствор CaCl₂ и 0.1 М раствор NaOH.

Затем фракцию, экстрагируемую щелочью, нейтрализуют 0,1 М HCl до pH-6.8–7.0, а фракцию подвергнутую солевой экстракции разбавляют водой в соотношении 1:3. Для получения концентрата белковых фракций их подвергают ультрафильтрации на лабораторной установке ультрафильтрации Водопад УМТКп – 1. Для водной и солевой экстракции подвергали мембранной ультрафильтрации / диафильтрации с использованием мембраны с отсечкой по молекулярной массе 0.14 мкм, а для щелочной фракции 1.4 мкм.

Определение молекулярной массы полученных фракций осуществляли методом SDS-ПААГ электрофореза. При выполнении эксперимента были использованы следующие реактивы: 30%-ный раствор акриламида; 10%-ный раствор DS-NA; 2М ТРИС-HCl (pH 8,8); 1М ТРИС-HCl (pH 6,8); 1%-ный раствор персульфата аммония; 0,5%-ный раствор бромфенолового синего; 2N раствор соляной кислоты; глицин; 2-меркаптоэтанол; кумасси R-250; кумасси G-250; этиловый спирт; ледяная уксусная кислота.

Изучение влияния pH на выход белка и молекулярную массу полученных фракций белка конопли проводили в диапазоне pH от 6.0 до 10.0.

Определение аминокислотного состава полученных фракций белка конопли осуществляли по ГОСТ 32195–2013 (ISO 13903:2005). [7]

Содержание белка определяли с помощью комплекта оборудования по Кьельдалю на базе АКВ-20 (Виллитек, Россия) с коэффициентом пересчета 6,25. Жиры, зола и влагасодержание было определено в соответствии с официальными процедурами АОАС (АОАС, 2019 г.).

Получение белкового изолята из конопляной муки

В качестве объекта исследования в данной работе была использована обезжиренная конопляная мука, полученная при холодном отжиме масла. Муку дополнительно измельчали на молотковой дробилке и просеивали через сито № 1 с размером ячейки 1,0 мм. Степень измельчения оказывает непосредственное влияние на скорость экстракции и гидролиза. Чем мельче помол, тем эффективнее и быстрее идет процесс биодеградации сложных углеводов.

Для получения изолята белка, обезжиренная мука заливалась дистиллированной водой гидро-модуль 1:8. Далее, методом известным как мицеллизация, основанном на способности белков образовывать агрегаты с мицеллярной структурой осуществлялось непосредственное извлечение белков из раствора. Это происходит за счет уменьшения ионной силы раствора,

в котором они солюбилизированы [3]. В соответствии с описанным методом мицеллизации были экстрагированы белки из обезжиренной муки 0,1 М раствором CaCl₂ при pH 7 в течение 1 ч при температуре 37 °С. Концентрат перемешивали в течение 2 ч при температуре 25 °С, затем, раствор центрифугировали при частоте вращения 7000 с⁻¹, в течение 5 минут, затем осаждали 0,1 М HCl в изоэлектрической точке и снова центрифугировали, осадок промывали дистиллированной водой, а затем осуществляли сублимационную сушку.

Получение УФ концентрата конопляного белка

Обезжиренную конопляную муку измельчали на молотковой дробилке и просеивали через сито № 1 с размером ячейки 1,0 мм. Затем, подвергали гидролизу фитиновой кислоты с использованием фитазы TOLERASE™ P 20000G, ООО Банком Белград, Сербия, гидро-модуль 1:8 при 55 °С, 60 мин. Затем pH среды доводился до требуемых значений (таблица 2) и еще 60 минут осуществлялось экстрагирование

После гидролиза смесь кратковременно нагревалась до 90 °С с целью инактивации ферментов и направлялась на центрифугирование в центробежном сепараторе при частоте вращения 3500 с⁻¹ в течение 5 минут. Полученный супернатант концентрировали ультрафильтрацией используя каскад из мембран 1,4 и 0,14 мкм, а затем разбавляли 1:10 дистиллированной водой и отправляли на распылительную сушку.

Результаты

В результате последовательной экстракции различными экстрагентами общая масса полученных белков составила 36,8% от количества исходного сырья. Содержание альбуминов, глобулинов и глотелинов составило 11,4, 22,08, и 3,68 г. на 100 г. муки соответственно. Самой объемной фракцией конопляного белка выявлена глобулиновая (эдестин), содержание альбуминовой фракции соответствовало литературным данным, кроме того, выявлено достаточно высокое содержание глотелиновой фракции, в количестве 10% от общего белка.

В процессе получения изолятов и концентратов белков из конопляной муки были получены белки, сильно отличающиеся внешне (рисунки 2, 3).

Разница в органолептических показателях двух приведенных продуктов, обусловлена переходом гидролизованной фитиновой кислоты в пермеат при ультрафильтрации и практически

полном освобождении от нее, полученного белкового концентрата. В случае получения изолята, она частично связывается с белковыми веществами, образуя нерастворимые комплексы

с катионами и переходит в целевой продукт, что не только ухудшает его функционально-технологические свойства, но и снижает пищевую ценность и усвояемость.



Рисунок 1. Изолят белка конопляной муки
Figure 1. Hemp flour protein isolate



Рисунок 2. Концентрат из конопляной муки, полученный с использованием ультрафильтрации
Figure 2. Hemp flour concentrate obtained using ultrafiltration

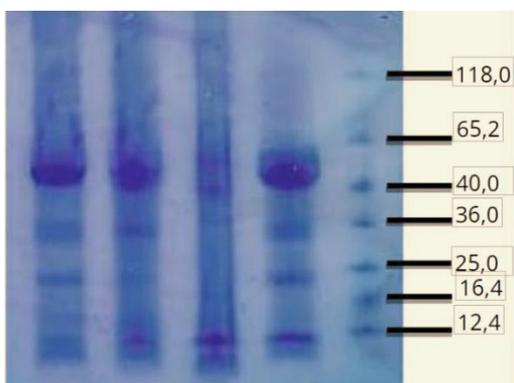


Рисунок 3. Полипептидный состав белковых продуктов семян конопли в невосстанавливающих и условиях электрофореза в полиакриламидном геле с додецилсульфатом натрия: 1 – коммерческий белковый концентрат семян конопли; 2 – осажденный изолят белка семян конопли; 3 – УФ-концентрат белковой муки; 4 – белковая мука из семян конопли

Figure 3. Polypeptide composition of hemp seed protein products under non-reducing and electrophoresis conditions in polyacrylamide gel with sodium dodecyl sulfate: 1 – commercial hemp seed protein concentrate; 2 – precipitated hemp seed protein isolate; 3 – UV-concentrate of protein meal; 4 – protein flour from hempseeds

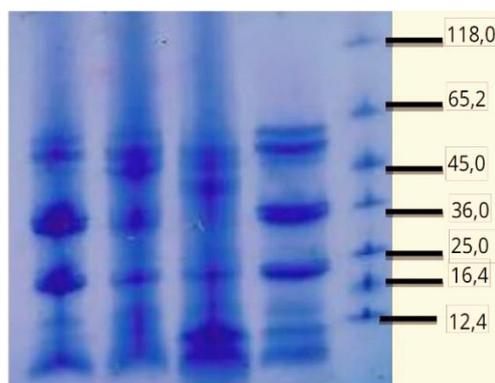


Рисунок 4. Полипептидный состав белковых продуктов семян конопли в восстанавливающих условиях электрофореза в полиакриламидном геле с додецилсульфатом натрия: 1 – коммерческий белковый концентрат семян конопли; 2 – осажденный изолят белка семян конопли; 3 – УФ-концентрат белковой муки; 4 – белковая мука из семян конопли

Figure 4. Polypeptide composition of protein products of hemp seeds under reducing conditions of electrophoresis in polyacrylamide gel with sodium dodecyl sulfate: 1 – commercial protein concentrate of hemp seeds; 2 – precipitated hemp seed protein isolate; 3 – UV-concentrate of protein meal; 4 – protein flour from hemp seeds

Обсуждение

Невосстанавливающие профили SDS-PAGE показали, что полоса 47 кДа содержит основной полипептид в продукте под номером 1 (рисунок 1). Другие полипептиды с более низкой интенсивностью полосы проявляются в полосах 12, 25 и 36 кДа. Однако полосы 25 и 35 кДа, по-видимому, отсутствуют в продукте, полученном с использованием мембранных технологий (номер 3). Сходство полипептидного состава образцов 1, 2 и 4 указывает на то, что методы обработки,

использованные для белковых продуктов, экстрагировали сходные белки из цельных семян. Напротив, продукт, полученный с использованием мембранных технологий имел несколько иной полипептидный состав, что позволяет предположить, что процесс мембранной ультрафильтрации приводил к сохранению более высоких значений полипептидов 12 и 47 кДа и, следовательно, меньшей интенсивности белков 25 и 36 кДа.

Простые белки классифицируются на основе дифференциальной растворимости каждой

фракции как в воде, так и в растворах неорганических растворителей. Альбуминовую фракцию получают путем суспендирования в воде, глобулиновую – в разбавленных солевых растворах, проламины представляют собой спирторастворимую фракцию, а глютелины – это наиболее труднорастворимая фракция и экстрагируется слабощелочными растворами [1]. В случае с конопляной мукой наличие проламинов при экстрагировании выявлено не было.

Величина pH при экстракции существенно влияет на выход белка. В связи с этим, экстракцию проводили, используя в качестве экстрагентов воду и раствор CaCl₂ при значениях pH от 6.0 до 10.0. Слабокислые растворы для экстрагирования не использовались, так как для преобладающих в конопляном белке глобулинов значение изоэлектрической точки лежит в районе 5.6–5.8 ед., что может привести к их преждевременному выпадению в осадок.

В таблице 2 представлены результаты экстрагирования отдельных фракций белков при разных значениях pH.

Таблица 2.
Фракционирование белка конопли
с использованием различных экстрагентов
Table 2.
Fractionation of hemp protein using various
extractants

Фракция белка Protein fraction	Экстрагент Extractant	Масса белка, г/100 г. муки при pH Protein weight, g/100 g.				
		6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
Альбумины Albumin	Вода Water	7.3	8.50	10.8	11.4	12.0
Глобулины Globulins	0,1 М CaCl ₂	15,8	16.4	20,08	22.8	23.2
Глютелины Glutelins	0,1 М NaOH	-	1.83	2.81	3.68	3.70

Интенсивная окраска, наблюдаемая в водных экстрактах выше pH 9, вероятнее всего обусловлена солюбилизацией и окислением фенольных соединений, концентрация которых увеличилась примерно в семь раз от pH 6 до 10. При самом высоком применяемом pH от 11 до 12 (в таблице не рассматривается) образование ковалентных комплексов между фенольными соединениями и некоторые полипептиды конопли становятся нерастворимыми, что ухудшает ее функциональные и органолептические свойства.

Аминокислотный состав был проанализирован для оценки белкового концентрата, изолята и фракционированных белков конопли и возможного влияния аминокислотного профиля на биоактивность продуктов.

Таблица 3.
Аминокислотный состав белка конопли, %

Table 3.
Amino acid composition of hemp protein, %

Аминокислота Amino acid	УФ-концентрат белка UV protein acetate	Изолят белка Protein isolate	Альбумины Albumin	Глобулины Globulins	Глютелины Glutelins
Ala	4,19	3,81	3,91	2,84	1,22
Arg	13,20	15,06	12,82	16,7	3,35
Asp	10,78	11,31	7,01	9,47	2,97
Gln	18,48	19,10	20,07	20,7	10,9
Gly	4,67	4,31	8,26	-	4,01
His	3,48	3,26	3,68	2,4	2,7
Ile	3,59	3,63	2,02	4,7	4,9
Leu	6,87	6,46	4,05	6,5	7,73
Lys	6,94	2,73	7,37	3,69	4,09
Met + Cys	3,8	3,17	1,74	2,9	0,39
Phe + Tyr	7,72	8,33	3,34	9,79	6,68
Pro	4,37	4,30	3,82	4,25	3,87
Ser	5,6	5,58	5,12	1,48	5,73
Thr	3,75	3,42	4,63	3,85	2,60
Val	4,69	4,66	2,90	6,5	3,41

Данные по аминокислотному составу показывают, что в целом аминокислотный состав альбуминовой фракции был сравним с таковым у глобулиновой лишь с некоторыми небольшими отличиями (таблица 3). Например, глобулин имеет более высокое содержание серосодержащих аминокислот, особенно метионина, по сравнению с альбумином. Общеизвестно, что белки семян бобовых бедны серосодержащими аминокислотами, но наши результаты показывают, что фракция глобулина может быть лучшим источником этой аминокислоты, если ее использовать отдельно. Во фракции глобулина также было больше гидрофобных и ароматических аминокислот, что могло способствовать усилению межбелковых взаимодействий между полипептидными цепями.

Заключение

Потенциальное использование изолятов и концентратов белка в значительной степени зависит от их физико-химических и функциональных свойств, при этом большое влияние оказывает усвояемость белка.

Конопляный белок по отдельным фракциям является неполноценным, так как, хотя он содержит все незаменимые аминокислоты, некоторые из них обладают ненадлежащим качеством, чтобы обеспечить допустимый минимум незаменимых питательных веществ для человека; лимитирующей аминокислотой в конопле обычно является лизин, при этом лейцин и L-триптофан представляют собой вторую и третью лимитирующие аминокислоты. При экстракции глобулиновой фракции зафиксировано, что глицин не переходит в экстракт, а предположительно, остается в альбуминовой фракции, также снижается содержание треонина. Но за счет совокупности фракций его биологическая ценность повышается. Баланс содержания

аминокислот в УФ концентрате гораздо ближе к «идеальному белку» и в дальнейшем для выделения биоактивных пептидов целесообразно использовать его.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что процессы механического и химического воздействия на конопляную муку обеспечивают получение сырья с высоким содержанием белка, содержащего все незаменимые аминокислоты и характеризующегося преобладающим содержанием суммы воды и солей растворимых фракций.

В связи с выявленными изменениями свойств белка, полученного разными способами по освобождению от антипитательных веществ в дальнейшем, планируется обратить внимание на этот вопрос отдельно.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-26-00277 «Альтернативные протеины: влияние структуры на функционально-технологические свойства и биологические функции»)

Литература

- 1 Ущаповский В.И., Гончарова А.А., Миневиц И.Э. Влияние переработки на белковый комплекс семян конопли // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 1. С. 66–72. doi:10.20914/2310-1202-2022-1 – 66–72
- 2 Pap N., Hamberg L., Pihlava J.M., Hellström J. et al. Impact of enzymatic hydrolysis on the nutrients, phytochemicals and sensory properties of oil hemp seed cake (*Cannabis sativa* L. FINOLA variety) // Food Chemistry. 2020. V. 320. P. 126530. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126530
- 3 Aiello G., Lammi C., Boschin G., Zanoni C. et al. Exploration of potentially bioactive peptides generated from the enzymatic hydrolysis of hempseed proteins // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2017. № 65. P. 10174–10184.
- 4 Grebenshchikov A.V., Vasilenko L.I., Ozherelyeva O.N., Mal'tseva O.U. et al. The Biogenic Stimulator for Nonspecific Immunity Provocation in the Experiment “in vivo” in the Stress Condition // The International Conference “Health and wellbeing in modern society”(ICHW 2020). Atlantis Press, 2020. P. 6-11. doi: 10.2991/ahsr.k. 201001.002
- 5 Pihlanto A., Nurmi M., Mäkinen S. Industrial hemp proteins: Processing and properties // Industrial Hemp. Academic Press, 2022. P. 125-146. doi: 10.1016/B978-0-323-90910-5.00014-2
- 6 Кабунина И.В. Современная структура мирового рынка производства конопли // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 64 (4). С. 40–44.
- 7 ГОСТ 13496.4-93 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения азота и сырого протеина (Докипедия: Межгосударственный стандарт ГОСТ 8056-96 "Шрот соевый пищевой. Технические условия" (введен в действие постановлением Государственного Комитета РФ по стандартизации, метрологии и сертификации от 24 декабря 1996 г. № 688)).
- 8 Lin Y., Pangloli P., Dia V. P. Physicochemical, functional and bioactive properties of hempseed (*Cannabis sativa* L.) meal, a co-product of hempseed oil and protein production, as affected by drying process // Food Chemistry. 2021. V. 350. P. 129188. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129188
- 9 Koren A., Pojić M., Sikora V. The significance of industrial hemp knowledge management // Industrial Hemp. Academic Press, 2022. P. 147-172. doi: 10.1016/B978-0-323-90910-5.00004-X
- 10 Korus J., Witczak M., Ziobro R., Juszczak L. Hemp (*Cannabis sativa* subsp. *sativa*) flour and protein preparation as natural nutrients and structure forming agents in starch based gluten-free bread // LWT. 2017. V. 84. P. 143-150. doi: 10.1016/j.lwt.2017.05.046
- 11 Shen P., Gao Z., Fang B., Rao J. et al. Ferretting out the secrets of industrial hemp protein as emerging functional food ingredients // Trends in Food Science & Technology. 2021. V. 112. P. 1-15. doi: 10.1016/j.tifs.2021.03.022
- 12 Malomo S.A., He R., Aluko R.E. Structural and functional properties of hemp seed protein products // Journal of food science. 2014. V. 79. №. 8. P. C1512-C1521. doi: 10.1111/1750-3841.12537
- 13 Wang Q., Xiong Y.L. Processing, nutrition, and functionality of hempseed protein: A review // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2019. V. 18. №. 4. P. 936-952. doi: 10.1111/1541-4337.12450
- 14 Zając M., Guzik P., Kulawik P., Tkaczewska J. et al. The quality of pork loaves with the addition of hemp seeds, dehulled hemp seeds, hemp protein and hemp flour // Lwt. 2019. V. 105. P. 190-199. doi: 10.1016/j.lwt.2019.02.013
- 15 Shen P., Gao Z., Xu M., Ohm J. B. et al. The impact of hempseed dehulling on chemical composition, structure properties and aromatic profile of hemp protein isolate // Food Hydrocolloids. 2020. V. 106. P. 105889. doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105889
- 16 Mamone G., Picariello G., Ramondo A., Nicolai M.A. et al. Production, digestibility and allergenicity of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolates // Food Research International. 2019. V. 115. P. 562-571. doi:10.1016/j.foodres.2018.09.017
- 17 Potin F., Lubbers S., Husson F., Saurel R. Hemp (*Cannabis sativa* L.) protein extraction conditions affect extraction yield and protein quality // Journal of food science. 2019. V. 84. №. 12. P. 3682-3690. doi: 10.1111/1750-3841.14850
- 18 Wang Q., Xiong Y.L. Zinc-binding behavior of hemp protein hydrolysates: Soluble versus insoluble zinc-peptide complexes // Journal of functional foods. 2018. V. 49. P. 105-112. doi: 10.1016/j.jff.2018.08.019
- 19 Plati F., Ritzoulis C., Pavlidou E., Paraskevopoulou A. Complex coacervate formation between hemp protein isolate and gum Arabic: Formulation and characterization // International Journal of Biological Macromolecules. 2021. V. 182. P. 144-153. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.04.003
- 20 Dapčević-Hadnadev T., Dizdar M., Pojić M., Krstonošić V. et al. Emulsifying properties of hemp proteins: Effect of isolation technique // Food Hydrocolloids. 2019. V. 89. P. 912-920. doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.12.002

References

- 1 Ushchapovsky V.I., Goncharova A.A., Minevich I.E. The influence of processing on the protein complex of hemp seeds. *Proceedings of VSUET*. 2022. vol. 84. no. 1. pp. 66–72. doi:10.20914/2310-1202-2022-1-66-72 (in Russian).
- 2 Pap N., Hamberg L., Pihlava J.M., Hellström J. et al. Impact of enzymatic hydrolysis on the nutrients, phytochemicals and sensory properties of oil hemp seed cake (*Cannabis sativa* L. FINOLA variety). *Food Chemistry*. 2020. vol. 320. pp. 126530. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126530
- 3 Aiello G., Lammi C., Boschin G., Zanoni C. et al. Exploration of potentially bioactive peptides generated from the enzymatic hydrolysis of hempseed proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017. no. 65. pp. 10174–10184.
- 4 Grebenshchikov A.V., Vasilenko L.I., Ozherelyeva O.N., Mal'tseva O.U. et al. The Biogenic Stimulator for Nonspecific Immunity Provocation in the Experiment “in vivo” in the Stress Condition. The International Conference “Health and wellbeing in modern society”(ICHW 2020). Atlantis Press, 2020. pp. 6-11. doi: 10.2991/ahsr.k.201001.002
- 5 Pihlanto A., Nurmi M., Mäkinen S. Industrial hemp proteins: Processing and properties. *Industrial Hemp*. Academic Press, 2022. pp. 125-146. doi: 10.1016/B978-0-323-90910-5.00014-2
- 6 Kabunina I.V. Modern structure of the world hemp production market. *International Agricultural Journal*. 2021. no. 64 (4). pp. 40–44. (in Russian).
- 7 GOST 13496.4–93 Feed, compound feed, compound feed raw materials. Methods for determining nitrogen and crude protein (Dokipedia: Interstate standard GOST 8056–96 “Soybean meal for food. Technical conditions” (put into effect by the Decree of the State Committee of the Russian Federation for Standardization, Metrology and Certification dated December 24, 1996 No. 688)). (in Russian).
- 8 Lin Y., Pangloli P., Dia V. P. Physicochemical, functional and bioactive properties of hempseed (*Cannabis sativa* L.) meal, a co-product of hempseed oil and protein production, as affected by drying process. *Food Chemistry*. 2021. vol. 350. pp. 129188. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129188
- 9 Koren A., Pojić M., Sikora V. The significance of industrial hemp knowledge management. *Industrial Hemp*. Academic Press, 2022. pp. 147-172. doi: 10.1016/B978-0-323-90910-5.00004 X
- 10 Korus J., Witzczak M., Ziobro R., Juszcak L. Hemp (*Cannabis sativa* subsp. *sativa*) flour and protein preparation as natural nutrients and structure forming agents in starch based gluten-free bread. *LWT*. 2017. vol. 84. pp. 143-150. doi: 10.1016/j.lwt.2017.05.046
- 11 Shen P., Gao Z., Fang B., Rao J. et al. Ferretting out the secrets of industrial hemp protein as emerging functional food ingredients. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. vol. 112. pp. 1-15. doi: 10.1016/j.tifs.2021.03.022
- 12 Malomo S.A., He R., Aluko R.E. Structural and functional properties of hemp seed protein products. *Journal of food science*. 2014. vol. 79. no. 8. pp. C1512-C1521. doi: 10.1111/1750-3841.12537
- 13 Wang Q., Xiong Y.L. Processing, nutrition, and functionality of hempseed protein: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019. vol. 18. no. 4. pp. 936-952. doi: 10.1111/1541-4337.12450
- 14 Zając M., Guzik P., Kulawik P., Tkaczewska J. et al. The quality of pork loaves with the addition of hemp seeds, dehulled hemp seeds, hemp protein and hemp flour. *Lwt*. 2019. vol. 105. pp. 190-199. doi: 10.1016/j.lwt.2019.02.013
- 15 Shen P., Gao Z., Xu M., Ohm J. B. et al. The impact of hempseed dehulling on chemical composition, structure properties and aromatic profile of hemp protein isolate. *Food Hydrocolloids*. 2020. vol. 106. pp. 105889. doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105889
- 16 Mamone G., Picariello G., Ramondo A., Nicolai M.A. et al. Production, digestibility and allergenicity of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolates. *Food Research International*. 2019. vol. 115. pp. 562-571. doi:10.1016/j.foodres.2018.09.017
- 17 Potin F., Lubbers S., Husson F., Saurel R. Hemp (*Cannabis sativa* L.) protein extraction conditions affect extraction yield and protein quality. *Journal of food science*. 2019. vol. 84. no. 12. pp. 3682-3690. doi: 10.1111/1750-3841.14850
- 18 Wang Q., Xiong Y.L. Zinc-binding behavior of hemp protein hydrolysates: Soluble versus insoluble zinc-peptide complexes. *Journal of functional foods*. 2018. vol. 49. pp. 105-112. doi: 10.1016/j.jff.2018.08.019
- 19 Plati F., Ritzoulis C., Pavlidou E., Paraskevopoulou A. Complex coacervate formation between hemp protein isolate and gum Arabic: Formulation and characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. vol. 182. pp. 144-153. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.04.003
- 20 Dapčević-Hadnađev T., Dizdar M., Pojić M., Krstonošić V. et al. Emulsifying properties of hemp proteins: Effect of isolation technique. *Food Hydrocolloids*. 2019. vol. 89. pp. 912-920. doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.12.002

Сведения об авторах

Ольга С. Корнеева д.б.н., профессор, кафедра Биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, korneeva-olgas@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2863-0771>

Людмила И Василенко к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vli2008@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4038-0549>

Information about authors

Olga S. Korneeva Dr. Sci. (Biol.), professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, korneeva-olgas@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2863-0771>

Ludmila I. Vasilenko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vli2008@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4038-0549>

Ольга Л. Мещерякова к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gawshina@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7832-8220>

Алексей А. Берестовой к.т.н., доцент, кафедра информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции 19, г. Воронеж, 394036, Россия, berestovoy_1991@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2255-9414>

Мария М. Исува, ординатор, кафедра лечебного дела, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, ул. Студенческая 10, г. Воронеж, 394036, Россия, mawysta@mail.ru

Olga L. Meshcheryakova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gawshina@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7832-8220>

Alexey A. Berestovoy Cand. Sci. (Engin.), associate professor, information security department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, berestovoy_1991@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2255-9414>

Maria M. Isuwa resident, General Medicine Department, Voronezh State Medical University named after V.I. N.N. Burdenko, 10 Studencheskaya street, Voronezh, 394036, Russia, mawysta@mail.ru

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 05/04/2023	После редакции 28/04/2023	Принята в печать 22/05/2023
Received 05/04/2023	Accepted in revised 28/04/2023	Accepted 22/05/2023