

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-159-170>

Поступила 28.03.2023

Поступила после рецензирования 15.05.2023

Принята в печать 19.05.2023

© Дегтярев И. А., Фоменко И. А., Мижева А. А., Серба Е. М., Машенцева Н. Г., 2023



<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Open access

БЕЛКОВЫЕ ПРЕПАРАТЫ ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ РАПСА: ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Дегтярев И. А.^{1*}, Фоменко И. А.¹, Мижева А. А.¹, Серба Е. М.², Машенцева Н. Г.¹

¹ Российский биотехнологический университет, Москва, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

изолят белка, белковый концентрат, жмых рапса, аминокислотный состав, рапсовый шрот

АННОТАЦИЯ

Спрос на белковые продукты увеличивается за счет роста населения планеты. В качестве альтернативы традиционным источникам белка все большую популярность приобретают отходы переработки растительного сырья. Важное место в мировой экономике занимают масличные культуры, в частности рапс, объемы производства которого на территории Российской Федерации с каждым годом возрастают. Семь рапса (лат. *Brassicaceae napus*) представляют большой интерес за счет их высокой масличности (39,80–46,00%) и богатого жирнокислотного состава, а жмых и шрот, образующиеся в процессе получения масла, характеризуются значительным содержанием сырого протеина (35,00–45,00%) и сырой клетчатки (8,20–17,50%). Однако перечисленные продукты используются в основном в качестве кормовой добавки. Последние исследования, посвященные переработке отходов рапса, указывают на ценность данного сырья в качестве источника пищевого белка, который имеет сбалансированный аминокислотный профиль и высокую степень усвояемости — до 85%. Для получения белка предусматривают обработку рапсового семени: очистку, измельчение, холодное прессование при температуре ≤ 40 °C, экстракцию жира растворителем. На следующих этапах осуществляют экстракцию белка 0,1–0,5 М NaCl при pH 5,3–12,0 и температуре 5–30 °C в течение 1 ч. Экстрагированный белок осаждают в изоэлектрической точке при значении pH 4,0 с помощью HCl, отделяют от смеси и нейтрализуют. В результате получают белковый изолят с содержанием белка 90,0–98,7%. Увеличить качество и выход белкового продукта можно за счет дополнительной стадии обработки обезжиренного жмыха целлюлолитическими ферментными препаратами. В данном случае необходимо проведение дополнительных исследований, связанных с определением субстратной специфичности коммерческих ферментных препаратов целюлаз и оптимальных условий гидролиза. Параметры экстракции и осаждения белка в случае использования стадии ферментализации также должны быть уточнены.

Received 28.03.2023

Accepted in revised 15.05.2023

Accepted for publication 19.05.2023

© Degtyarev I. A., Fomenko I. A., Mizheva A. A., Serba E. M., Mashentseva N. G., 2023

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

PROTEIN PREPARATIONS FROM RAPESEED PROCESSING WASTE: A REVIEW OF THE CURRENT STATUS AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF EXISTING TECHNOLOGIES

Ivan A. Degtyarev^{1,*}, Ivan A. Fomenko¹, Aislu A. Mizheva¹, Elena M. Serba², Natalya G. Mashentseva¹

¹ Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

² Russian Research Institute of Food Biotechnology — Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

KEY WORDS:

protein isolate, protein concentrate, rapeseed cake, amino acid composition, rapeseed meal

ABSTRACT

The demand for protein products is increasing due to the demographic growth of the world's population. As an alternative to traditional sources of protein, waste from plant raw material processing is becoming increasingly popular. An important place in the global economy is occupied by oilseeds, in particular rapeseed, which production volumes are increasing in the Russian Federation every year. Rapeseed (*Brassicaceae napus*) is of great interest due to its high oil content (39.80–46.00%) and rich fatty acid composition, while cake and meal formed in the process of oil production are characterized by a significant content of crude protein (35.00–45.00%) and crude fiber (8.20–17.50%); however, they are used mainly as a feed additive. Recent studies on the processing of rapeseed waste indicate the value of this raw material as a source of dietary protein, which has a balanced amino acid profile and a high degree of digestibility (up to 85%). To obtain protein, rapeseed processing is envisaged:

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Дегтярев, И. А., Фоменко, И. А., Мижева, А. А., Серба, Е. М., Машенцева, Н. Г. (2023). Белковые препараты из отходов переработки рапса: обзор современного состояния и перспектив развития существующих технологий. *Пищевые системы*, 6(2), 159–170. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-159-170>

FOR CITATION: Degtyarev, I. A., Fomenko, I. A., Mizheva, A. A., Serba, E. M., Mashentseva, N. G. (2023). Protein preparations from rapeseed processing waste: A review of the current status and development prospects of existing technologies. *Food Systems*, 6(2), 159–170. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-159-170>

cleaning, grinding, cold pressing at a temperature of $\leq 40^\circ\text{C}$, fat extraction with a solvent. At the next stages, the protein is extracted with 0.1–0.5 M NaCl at pH 5.3–12.0 and a temperature of 5–30 °C for 1 hour. The extracted protein is precipitated at the isoelectric point (pH 4.0) with HCl, separated from the mixture and neutralized. The result is a protein isolate with a protein content of 90.0–98.7%. It is possible to increase the quality and yield of the protein product due to the additional stage of processing the defatted cake with cellulolytic enzyme preparations. In this case, additional studies are required to determine the substrate specificity of commercial cellulase enzyme preparations and the optimal hydrolysis conditions. The parameters of extraction and precipitation of the protein in the case of using the stage of enzymatic lysis should also be specified.

1. Введение

Население планеты достигло к 2023 г. 8 млрд человек, при этом все больше обостряется глобальная проблема дефицита полноценного белка в питании человека [1,2]. Food and Agriculture Organization (FAO) прогнозирует дефицит белка 30 млн т/год к 2050 г. [3], ожидается удвоение спроса на животный белок [4]. В России в большинстве регионов население страдает от дефицита белка: среднее потребление в сутки составляет меньше рекомендуемой нормы [5]. В этой связи важнейшей задачей является поиск новых «немясных» альтернатив протеина.

Развитие производства белковых препаратов на основе растительного сырья способствует частичному решению проблемы дефицита белка, а также снижению количества малоиспользуемых отходов [6,7]. В настоящее время многие производители расширяют ассортимент альтернативной белковой продукции, при этом отмечается положительная динамика спроса на нее [8,9]. Мировой рынок искусственного мяса ежегодно увеличивается на 8,1% [10], основными лидерами являются компании Beyond Meat и Impossible Foods [11], в России выпуском «немясных» альтернатив занимаются компании Welldone, HI! бренд ГК «Эфко», Greenwise, «Наро-Фоминский мясокомбинат», «ОКПИ» и «Уралхим», при этом их продукция встречается во всех крупных торговых сетях и сервисах доставки еды [12].

Среди масличных культур большую популярность приобретает рапс. Рапсовое масло находит широкое применение в различных отраслях промышленности, а сбалансированный аминокислотный состав белков позволяет использовать его в качестве пищевой добавки. По данным FAO, в мире ежегодно теряется треть произведенных продуктов питания — число потерь достигает 1,3 млрд т, 20% которых приходится на масличные культуры [13].

2. Обзор рапсового земледелия

Наиболее распространенными масличными культурами являются соя, рапс и подсолнечник: на их долю приходится 23% обрабатываемых земель в мире [14]. Основными производителями рапса являются страны Европы, Канада, Россия, Китай, Индия и Пакистан; сои — США, Бразилия и Аргентина; подсолнечника — Россия, Украина, Аргентина, США, Китай, Индия и Турция [13]. В Таблице 1 представлена статистика урожая основных масличных культур в мире с 2018 по 2022 гг.

Таблица 1. Урожай основных растительных культур с 2018 по 2022 гг. [15]

Table 1. Yield of the main crops from 2018 to 2022 [15]

Наименование культуры	Объем урожая, т/год			
	2018/2019	2019/2020	2020/2021	2021/2022
Соя	362,66	340,00	368,00	355,00
Рапс	73,00	69,00	73,00	74,00
Подсолнечник	50,66	54,16	49,20	57,32
Арахис	49,62	48,17	50,26	50,38
Пальмовые ядра	19,46	19,33	19,05	19,87
Хлопок	43,08	43,63	41,00	41,73
Копра (мякоть ореха кокосовой пальмы)	5,82	5,70	5,59	5,86

С 2018 по 2022 гг. количество собранного урожая масличных культур практически не менялось, что связано с пандемией COVID-19. В целом урожай сои уменьшился на 2,15%, хлопка — на 3,13%, сбор рапса, арахиса, пальмового ядра и копры увеличился менее чем на 2,0%, а сбор подсолнечника — на 13,14%. Однако за более длительный период (1975–2019 гг.) отмечается повышение доли рапса с 6 до 12%, сои — с 48 до 62% и подсолнечника — с 7 до 10% [16].

В России в 2021 г. зафиксирован рекордный урожай рапса: было собрано 2,79 млн т, что на 8,1% больше, чем в 2020 г. [17]. Наибольшей популярностью пользуются яровые сорта рапса, посевная площадь которых составляет от 65 до 90% [18]. Основными регионами, возделывающими рапс, являются Красноярский край (11,1%), Алтайский край (9,8%), Кемеровская область (6,7%), Новосибирская область (6,2%) и Брянская область (6,0%) [19].

В среднем в России урожайность рапса составляет 20,5 ц/га при максимальном количестве 40 ц/га [21]. В зонах с умеренно-климатическими условиями возделывают озимые сорта с урожайностью 33,5–38,1 ц/га, в Центрально-Черноземной зоне выращивают яровые сорта с урожайностью не более 23,8 ц/га [22].

Озимые сорта содержат больше масла, они менее подвержены различным заболеваниям и лучше приспособлены к климатическим условиям России, но на их долю приходится треть общей посевной площади [23]. Большая часть урожая приходится на яровые сорта, которые характеризуются меньшей продуктивностью в сравнении с озимыми. Это объясняется разницей в продолжительности вегетативного периода: 92–114 дня у ярового и 250–265 дней у озимого [22]. Для нашей страны озимые сорта предпочтительнее. Их можно выращивать при отрицательных температурах без снежного покрова до -18°C и с покровом до -25°C .

Благодаря селекционерам во второй половине XX века удалось получить сорта типа «00», содержащие низкое количество антипитательных веществ — глюкозинолатов (менее 25 ммоль/г семян) и эруковой кислоты (менее 2%) [24]. В результате рапсовое масло стало возможным для использования в пищевой промышленности, а продукты переработки семян получили большой спрос в рационах кормления сельскохозяйственных животных и птицы. В России селекцией сортов занимается ФГБНУ «ВНИИ РАПСА». Новые сорта позволили увеличить урожайность, повысить устойчивость к заболеваниям, улучшить приспособляемость к возделыванию при минимальной обработке почвы [20].

Рапс быстро прорастает, является хорошим сидератом, поэтому он может быть использован в качестве предшественника для посева полевых культур. Так, возделывание зерновых культур после рапса способствует приросту урожая на 10–15% [25].

С 2022 г. в России введен временный запрет на экспорт семян рапса для стабилизации внутреннего продовольственного рынка и с целью увеличения мощности перерабатывающих растительное сырье отечественных предприятий [26]. Ожидается повышение валового сбора масличных культур до 26,7 млн т к 2030 г., доля рапса составит 12,8% [27]. В связи с этим актуальность приобретают технологии,

направленные на решение комплексных задач, связанных с переработкой рапса в России.

Цель настоящего исследования — систематизация и обобщение экспериментальных данных о способах получения белковых продуктов рапса, а также выявление существующих пробелов и формулирование предложений по возможным методам увеличения выхода и повышения качества получаемых продуктов.

3. Объекты и методы

Систематический поиск научной литературы был проведен с использованием поисковых систем PubMed, Scopus, Web of Science и Google Scholar по ключевым фразам со включением операторов «и» и «или»: «рапсовый жмых», «рапсовый шрот», «обезжиривание жмыха рапса», «химический состав рапса», «изолят белка рапса», «концентрат белка рапса», «ферментативный гидролиз клетчатки рапса», «экстракция белка». В общей сложности поисковой запрос показал 2990 источников. Исследования были сгруппированы по тематическим областям обзора, статьи исключались на основании предварительного анализа названия и аннотации. Всего было проанализировано 85 научных исследований, в том числе обзорных.

Критерии включения:

1. годы публикации исследований — 2015–2023;
2. источник должен быть проиндексирован;
3. включение статей, опубликованных ранее 2015 г., возможно в случае отсутствия новых источников по заданным критериям поиска;
4. преимущественно зарубежные источники.

Критерии исключения:

1. публикации, вышедшие ранее 2000 г.;
2. работы, посвященные получению биотоплива и полимерных композитов.

Были рассмотрены полные тексты статей, соответствующих критериям поиска. Авторы независимо друг от друга провели анализ отобранных источников на предмет соответствия исследований критериям включения/исключения. Большинство используемых источников было опубликовано не ранее 2013 года.

4. Жмых и шрот рапса

Побочными продуктами получения рапсового масла являются жмых и шрот. Они считаются малоценным сырьем, используемым для получения кормов, компоста, удобрений и энергетических носителей [28]. Однако жмых и шрот содержат большое количество ценных соединений, в частности белка. Белки масличных культур имеют высокую степень усвояемости — до 85% [29]. В Таблице 2 представлена сравнительная характеристика биохимического состава семян сои, рапса, подсолнечника и отходов их переработки.

Семена сои содержат наименьшее количество сырого жира (15,50–24,70%) и имеют самый высокий показатель сырого протеина — до 43,60%. Сырой жир в семенах рапса

и подсолнечника составляет более 40%, при этом рапс содержит большее количество сырого протеина. Состав жмыха и шрота может варьироваться в зависимости от климатических, почвенных и генетических факторов, а также с учетом условий экстракции масла [33]. По содержанию сырого протеина жмых и шрот рапса (35,00–40,10% и 33,90–45,0%) уступают соевым (43,30–49,30% и 44–53,20% соответственно), но находятся на одном уровне с подсолнечными (23,60–29,0% и 15,0–48,0% соответственно).

Качество белка определяется аминокислотным профилем. Растительные белки содержат в недостаточном количестве лизин, изолейцин, триптофан, метионин и валин, поэтому для полной замены мясной продукции целесообразно использовать несколько видов растительного белка. Однако белки масличных культур имеют хорошо сбалансированный аминокислотный состав, в частности белки рапса [34]. Процентное содержание аминокислот в белках сои, рапса и подсолнечника приведено в Таблице 3.

Таблица 3. Сравнительная характеристика аминокислотного состава белков сои, рапса и подсолнечника [4,35]

Table 3. Comparative characteristics of the amino acid composition of soy, rapeseed and sunflower proteins [4,35]

Источник белка	Соя		Рапс		Подсолнечник		Белок ФАО/ВОЗ
Аминокислоты	Семена	Шрот	Жмых	Шрот	Жмых	Шрот	
Аланин	3,6	4,3	—	4,3	4,1	—	—
Аргинин	6,2	5,8	7,4	7,2	9,0	9,1	—
Аспарагин	7,1	7,0	—	11,7	10,2	—	—
Цистеин	2,1	1,7	1,6	1,6	2,2	1,8	—
Глутамин	9,1	17,5	—	18,7	21,9	—	—
Глицин	3,7	4,9	4,5	4,2	5,6	5,6	—
Гистидин	3,0	2,7	2,4	2,6	2,5	2,8	1,6
Изолейцин	5,3	4,0	4,6	4,5	4,5	4,2	3,0
Лейцин	7,1	7,0	7,8	7,8	6,5	6,9	5,3
Лизин	6,1	5,8	6,1	6,4	3,9	3,5	4,5
Метионин	2,7	1,9	1,4	1,3	2,3	2,2	2,2
Фенилаланин	3,9	3,8	5,5	5,0	4,9	5,1	3,8
Пролин	3,6	6,0	—	5,1	5,0	—	—
Серин	6,4	4,6	—	5,1	4,1	—	—
Треонин	3,7	4,5	3,8	4,0	3,6	3,4	2,3
Триптофан	7,6	1,3	1,3	1,3	1,2	1,4	0,6
Тирозин	4,1	3,1	3,5	3,2	2,9	1,4	—
Валин	5,2	5,0	5,2	4,8	5,5	5,8	3,9

Лизин в белках сои и рапса содержится в количестве, сопоставимом стандарту ФАО/ВОЗ. Показатель метионина в составе белка соевого шрота на 13,63% ниже стандартного значения. Также недостаток метионина характерен для всех белков рапса. Белок подсолнечника в целом соответствует стандарту ФАО/ВОЗ, за исключением показателя лизина.

Таблица 2. Биохимический состав основных масличных культур и продуктов их переработки [4,13,30,31,32]

Table 2. Biochemical composition of the main oilseeds and products of their processing [4,13,30,31,32]

Показатель (г/100 г)	Соя			Рапс			Подсолнечник		
	семена	жмых	шрот	семена	жмых	шрот	семена	жмых	шрот
Влага	5,60–11,50	8,40–9,60	10,50–15,20	5,10–12,70	5,10–7,40	7,20–10,00	3,13–5,20	5,60–7,60	8,00–10,40
Сырой протеин	32,00–43,60	43,30–49,30	44,00–53,20	22,00–28,17	35,00–40,10	33,90–45,00	19,80–26,69	23,60–29,00	15,00–48,00
Сырой жир	15,50–24,70	9,30–15,50	0,55–2,00	39,80–46,00	11,80–16,70	1,70–3,80	40,30–54,06	11,00–30,30	1,20–2,00
Сырая клетчатка	6,20–8,90	4,95–11,28	3,50–7,00	5,80–15,70	8,20–17,50	11,00–14,00	8,60–17,10	8,60–30,20	13,20–28,90
Зола	4,50–6,40	5,70–6,80	6,30–7,60	3,70–5,00	5,60–7,00	5,00–6,50	3,00–3,30	5,70–7,50	6,10–7,10

Соевый белок содержит большое количество лизина, триптофана, изолейцина, валина и треонина. Рапсовый белок также характеризуется сбалансированным аминокислотным профилем, но имеет низкое количество серосодержащих аминокислот.

При извлечении белка масличных культур побочные продукты переработки представляют собой перспективное сырье для получения кормов и пищевых добавок, а также являются недорогим субстратом для микробного производства ферментов, антибиотиков и биотоплива [13,36].

5. Белки рапса

У масличных семян основной запасющей тканью является паренхима семядолей, в которой 90% всех белков являются запасными [37]. Они представлены в виде кристаллоидов и глобуидов, откладывающихся в вакуолях растительной клетки [38]. У рапса преобладают два запасных белка — круцефирин и напин с молекулярной массой 300–350 кДа и 12–15 кДа соответственно [39]. Круцефирин (11S глобулин) состоит из двух полипептидных цепей: полипептид *a* включает 254–296 аминокислот, полипептид *b* — 189–191 аминокислоту. 11S глобулин имеет изоэлектрическую точку при значении pH 6, денатурируется при температуре 80 °C [40].

Напин (2S альбумин) включает в себя две полипептидные цепи молекулярной массой 4 кДа и 9 кДа, объединенные дисульфидными связями. Длинная цепь дополнительно стабилизируется четырьмя дисульфидными мостиками. 2S альбумин имеет изоэлектрическую точку при значениях pH выше 10, сохраняя стабильность до температуры 75 °C [40].

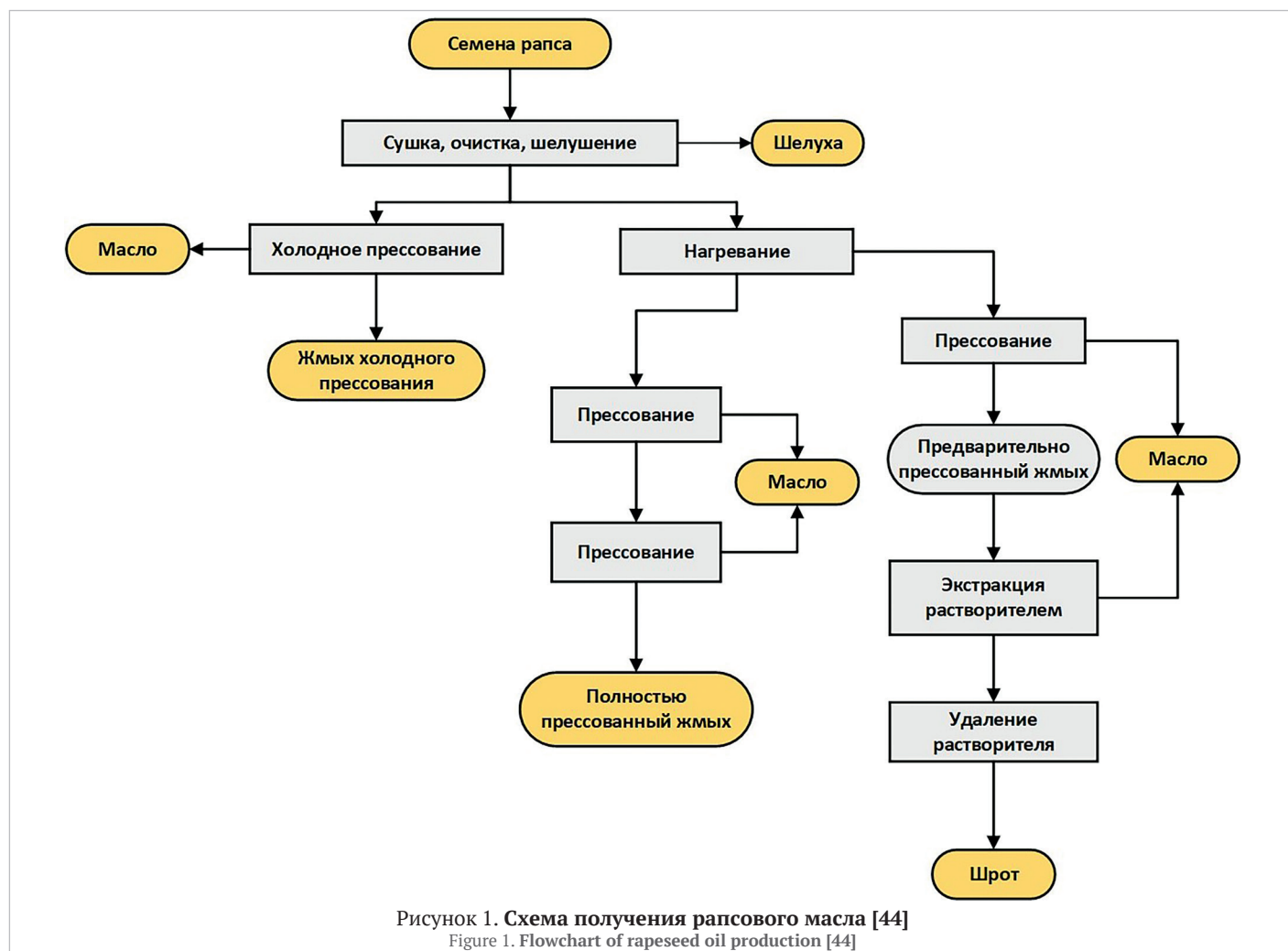
В рапсовом шроте также были обнаружены белки тионины, ингибиторы трипсина и переносчики липидов [41]. В семенах рапса большая часть белков приходится на альбуминовую и глобулиновую фракции. Высокомолекулярные рапсовые белки более гидрофобны по сравнению с белками меньшей молекулярной массы и обладают хорошими показателями стабилизации эмульсий и гелеобразования [42].

5.1. Получение белковых препаратов рапса

Процесс получения рапсового бѣлка начинается с обезжиривания жмыха. Условия извлечения жира из рапсового семени совершенствовались на протяжении многих лет с целью увеличения выхода масла, а также для уменьшения затрат и улучшения качества продукта [43].

Существует три способа извлечения масла (Рисунок 1). Первый способ включает очистку семян и их измельчение на вальцовых мельницах. Из-за большого содержания масла (до 46%) обезжиривание семян методом прямой экстракции не подходит [44]. Поэтому этот процесс осуществляют путем винтового или экспелерного прессования либо предварительного прессования с последующей экстракцией. В результате получают рапсовый жмых с содержанием масла 5–15% после двойного прессования и 15–18% после предварительного прессования.

Различают холодное и горячее прессование. С целью предотвращения денатурации белка применяют холодное прессование с температурой не более 40 °С, что достигается за счет внешнего охлаждения пресса [45], при этом остаточное содержание жира составляет 15–18% [46]. Последующую экстракцию и удаление растворителя осуществляют при температуре не более 60 °С.



Для сохранения нативного состава рапсового масла применяют метод сверхкритической CO_2 -экстракции при температуре 30 °С и давлении 6 МПа [43]. Качество масла определяется окислительной стабильностью, которая зависит от содержания антиоксидантных фосфолипидов, стеролов и свободных жирных кислот. CO_2 -экстракция в сравнении с экстракцией гексаном приводит к получению масла с более низкой окислительной стабильностью, однако увеличение объема CO_2 позволяет повысить окислительную стабильность [47], выход масла при этом составляет около 90% [48].

Выход масла 92,8% можно получить путем водно-спиртовой экстракции [49]. Масло, полученное таким способом, имеет более низкое кислотное и перекисное числа, и более высокое содержание токоферолов в сравнении с маслом, извлеченным в процессе экстракции гексаном. Высококачественное масло можно получить экстракцией этанолом при температуре 95 °С и при давлении 340–350 кПа [50].

Метод экстракции масла без растворителей включает мокрое измельчение и водную экстракцию с применением гомогенизации под высоким давлением, в результате чего выход масла составляет 72% [44]. Водная экстракция с использованием целлюлазы, пектиназы и β -глюконазы позволяет извлечь 90% масла [51].

Изоляты и концентраты определяются не способом их получения, а содержанием белка [52]. Общая схема выделе-

ния белковых препаратов из семени рапса представлена на Рисунке 2.

Концентрирование белка осуществляется путем удаления небелковых примесей, за счет чего происходит увеличение его содержания [54]. Методы получения концентратов включают удаление семенной оболочки (снижение количества клетчатки) и спирторастворимых веществ (сахаров и фенолов), в результате чего содержание белка повышается до 70% [54]. Чаще всего применяют водно-спиртовые растворы (60–80%) и подкисленную воду при pH 4,5 для снижения потерь белка [55].

Изоляция белка происходит за счет водной экстракции и очистки путем осаждения или ультрафильтрации [42,54,56]. Экстракцию белка осуществляют в воде или в растворах NaCl при щелочных значениях pH. Белок из шрота можно экстрагировать 0,5 М раствором NaCl при pH 5,3–6,2 и при температуре от 5 до 35 °С в течение 1 ч [55]; 0,15–0,6 М раствором NaCl [57]; при pH 9,5–12 [58]. Высокие значения pH увеличивают выход белка, но при этом снижается его качество, что обусловлено окислением полифенольных соединений до хинонов. Это приводит к образованию темного цвета получаемого белкового продукта [59].

Осаждение экстрагированных белков может быть достигнуто разбавлением раствора водой при температуре 5–15 °С с выделением агрегатов. Этот способ имеет недостаток в виде большого расхода воды, поэтому в качестве

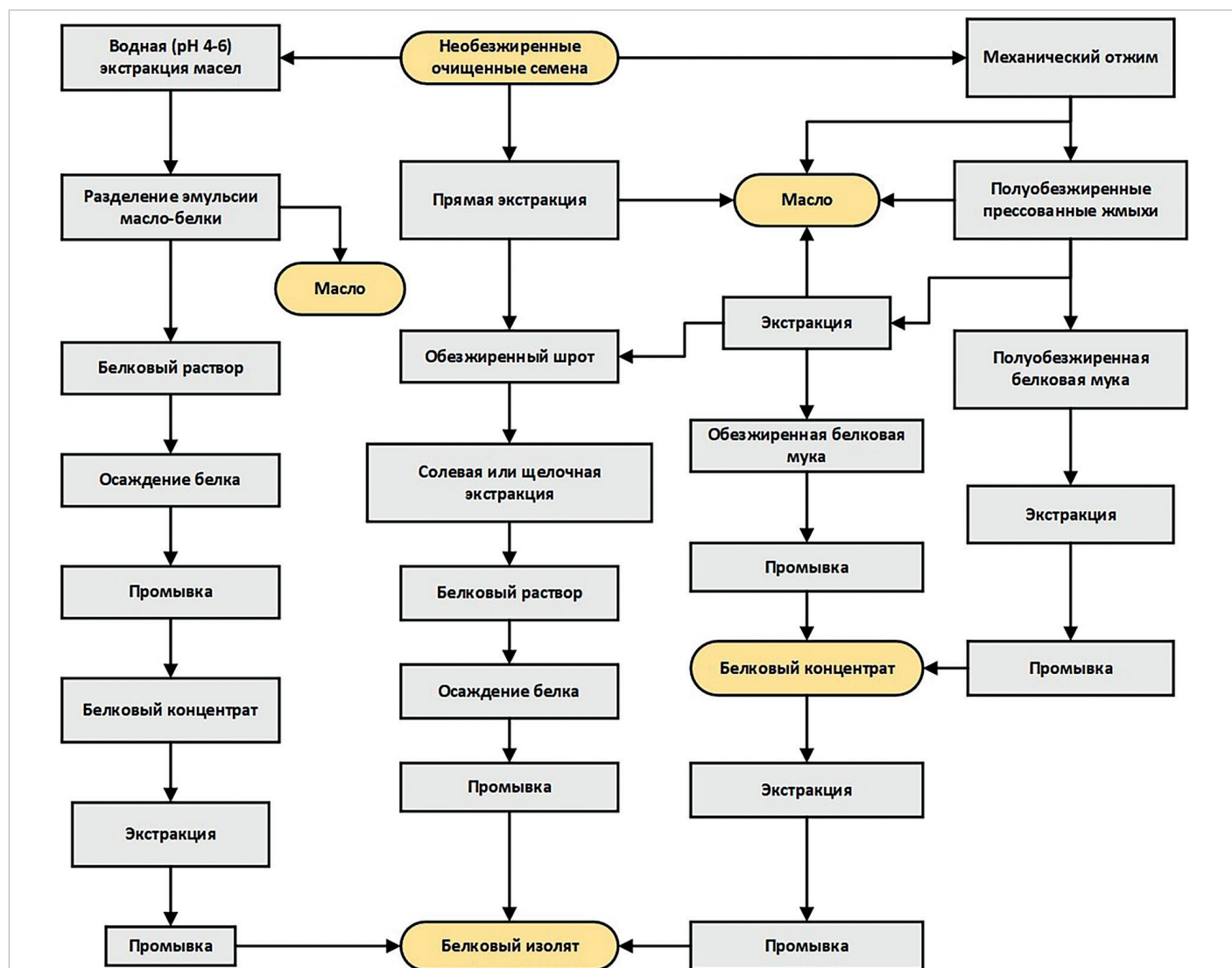


Рисунок 2. Схема переработки семян рапса с получением белковых препаратов и масла [53]

Figure 2. Flowchart of processing rapeseeds with production of protein preparations and oil [53]

альтернативы применяют кислые растворы с использованием HCl и H₂SO₄ при значениях pH, соответствующих изоэлектрической точке белка. Белки рапса осаждают при уровнях pH от 3,5 до 7,5 [55], также в сильнощелочных условиях повышается степень денатурации и агрегации белка [60], происходит гидролиз низкомолекулярных белковых фракций [61]. В Таблице 4 представлены основные биохимические показатели семян рапса, продуктов переработки и белковых препаратов на основе рапса.

Таблица 4. Биохимический состав рапса, жмыха, шрота и белковых продуктов [4, 31]

Table 4. Biochemical composition of rapeseed, cake, meal and protein products [4,31]

Наименование показателя, %	Семена рапса	Жмых рапса	Шрот рапса	Рапсовый белковый концентрат	Изолят белка рапса
Сухие вещества	87,3–94,9	92,6–94,9	71,0–99,2	91,5–96,4	94,6–97,8
Сырой протеин	17,5–24,6	29,4–38,4	30,0–60,6	48,3–80,6	90,0–98,7
Сырой жир	39,8–51,0	10,3–20,3	1,7–3,8	0,3–9,5	0,9–4,1
Сырая клетчатка	5,8–15,7	8,3–19,7	9,7–13,9	0,5–4,9	< 0,01–2,1
Зола	3,7–5,0	5,5–6,7	3,8–15,1	5,9–20,8	0,4–6,8

Белковый концентрат и изолят белка рапса характеризуются высоким содержанием сырого протеина — от 48,3 до 98,7%. По сравнению со шротом и жмыхом, в белковом концентрате содержание сырого жира не превышает 9,5%, в изоляте белка — 4,1%.

Главным недостатком описанных технологий является отсутствие методов снижения содержания некрахмальных полисахаридов. Жмых и шрот рапса содержат большое количество сырой клетчатки, которая уменьшает усвояемость белка [62,63]. Снизить содержание волокон возможно с применением химических и биотехнологических методов. Химические методы высокоэффективны, но их использование приводит к потере ценных веществ сырья и к преждевременному износу технологического оборудования [64,65]. Применение ферментов более предпочтительно, так как это позволяет сохранить нативный состав перерабатываемого растительного материала.

5.2. Снижение содержания некрахмальных полисахаридов

Клеточные стенки растений содержат смесь полимеров сложной структуры: целлюлозу, гемицеллюлозу, пектин и гликопротеиды [66,67]. Для облегчения извлечения белка

из труднодоступных целлюлозных субстратов можно использовать методы ферментативной экстракции. Данный способ считается быстрым, процесс протекает в мягких условиях и приводит к образованию меньшего количества отходов в сравнении с химической и физической экстракцией белка [68]. В то время как традиционный метод предполагает проведение экстракции в течение длительного времени в водных растворах, экстракция с применением ферментов позволяет ускорить процесс и увеличить выход белка [69].

Из-за разнообразного состава клеточной стенки растений чаще всего производители предлагают комплексные ферментные препараты, содержащие целлюлазы, гемицеллюлазы, ксиланазы и т. д. Большое влияние на специфичность и активность одной и той же группы ферментов оказывает продуцент фермента (Таблица 5).

Одновременное использование традиционных и нетрадиционных методов экстракции позволяет увеличить выход белка и улучшить его качество. При получении белковых продуктов измельчение, нагревание и применение ферментных препаратов для деструкции некрахмальных полимеров способствуют увеличению эффективности экстракции за счет деградации полисахаридного матрикса, к которому присоединяются белки [70,71]. Протеазы, целлюлазы и гемицеллюлазы являются ключевыми ферментами, применяемыми для экстракции белка из растительного сырья. Ферментативный гидролиз проводится при значениях pH 6,0–8,0 и при температуре 40–60 °C [72]. В Таблице 5 представлены коммерческие ферментные препараты, используемые в процессе экстракции белка.

Обычно ферментные препараты используются для предобработки растительного материала перед традиционными методами экстракции. Для экстракции белков можно задействовать различные протеазы и карбогидразы. Применение ферментных препаратов, выделенных из семян подсолнечника, позволяет повысить эффективность процесса в 1,2 раза в сравнении с неферментативными методами экстракции [74]. Обезжиренную соевую муку обрабатывают комплексным ферментным препаратом (ксиланаза, пектиназа, целлюлаза) с последующей щелочной экстракцией, что позволяет увеличить выход белка на 21% [75]. Применение ферментного препарата Viscozyme L в соотношении твердой и жидкой фазы 1:20, pH 9,0 при температуре 60 °C и длительности экстракции 30 мин повышает выход белка на 23% [76]. Использование протеаз позволяет извлечь 74% белка из жмыха рапса [13].

Таблица 5. Перечень ферментных препаратов, используемых в процессе экстракции белка [67,73]

Table 5. List of enzymatic preparations used in the process of protein extraction [67,73]

Коммерческое название	Ферменты	Продуценты	Наименование компании
Viscozyme L	Арабаназа, целлюлаза, β-глюканаза, пектиназы, гемицеллюлазы, ксиланаза	<i>Aspergillus aculeatus</i>	Novozymes
Rapidase	Пектиназы и гемицеллюлазы	<i>Aspergillus niger</i> u <i>Trichoderma longibrachiatum</i>	Oenobrands
Termamyl 120L	Термостабильная α-амилаза	<i>Bacillus licheniformis</i>	Novozymes
Celluclast 1.5 L	Целлюлаза	<i>Trichoderma reesei</i>	Novozymes
Cellic Ctec	Целлюлаза, β-глюкозидаза, ксиланаза	<i>Trichoderma reesei</i>	Novozymes
AMG 300 L	Экзо-1,4-α-d-глюкозидаза	<i>Aspergillus niger</i>	Novozymes
Ultraflo L	Термостабильная β-глюканаза и ферулоилэстераза	<i>Humicola insolens</i>	Novozymes
Pentopan 500 BG	Эндо-1-4-β-ксилаза, ферулоилэстераза и пектиназа	<i>Thermomyces lanuginosus</i>	Novozymes
Pectinex	Целлюлаза, гемицеллюлазы и пектиназы	<i>Aspergillus aculeatus</i>	«Novozymes
Lallzyme Beta	Пектиназы и β-глюкозидаза	<i>Aspergillus niger</i>	«Lallemand
Rovabio	Эндо-1,4-ксилаза, β-1,4-ксилозидаза арабинофуранозидаза, α-галактозидаза, целлобиогидролаза, полигалактуроназа	<i>Talaromyces versatilis</i>	Adisseo
Multifec	Ксиланаза	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	Genencor

За счет действия ферментов сокращается время щелочной экстракции, увеличивается выход белка и усиливаются его функциональные свойства [77]. Кроме того, улучшается растворимость белка, а также его эмульгирующая и пенообразующая способности [78]. Мягкие условия протекания ферментативных реакций не нарушают целостность извлекаемого белка, в отличие от химических методов обработки, приводящих к рацемизации L-форм аминокислот в D-формы, а также к денатурации белка и к образованию большого количества отходов [79,80]. Целлюлазы Viscozyme и Celluclast способны не только повысить уровень белка, но и снижать содержание фенольных соединений [81].

5.3. Применение рапсовых белковых ингредиентов

Изолят и концентрат рапса обладают хорошими функционально-технологическими характеристиками и могут использоваться в пищевой промышленности в качестве пищевых добавок. Также они имеют статус GRAS (уведомление № 327) [82] и одобрены EFSA (The European Food Safety Authority, Европейское агентство по безопасности продуктов питания) [83, 84].

Цвет белковых препаратов варьируется от светло-коричневого до темно-коричневого [40]. Концентраты и изоляты рапса применяют в производстве колбасных изделий, что позволяет снизить потери при термической обработке на 7,6–7,8% за счет повышения водоудерживающей способности фарша [85]. В рецептуре майонеза можно заменить до 15% яичного желтка рапсовым белком без потери свойств эмульсии [42].

На сегодняшний день на рынке присутствуют следующие коммерческие белковые препараты из жмыха и шрота рапса:

- с содержанием белка более 90% — Puratein и Supertein, полученные путем экстракции солевым раствором и осаждением белка с нейтральным значением pH (Burcon NutraScience, Канада);
- с содержанием белка 60–65% — Isolexx, экстрагированный при нейтральном pH и осажденный в мягких условиях (TeuTexx Proteins, Германия);
- гидролизат белка Vitalexx, полученный из нерастворимой фракции белков шрота рапса путем гидролиза (TeuTexx Proteins, Германия) [40].

6. Рекомендации по получению белковых компонентов рапса

1. Процесс получения пищевых белковых препаратов рапса целесообразно начинать с предварительного «холодного» прессования рапсового семени при температуре не более 40 °C и с дальнейшей экстракцией гексаном. Гексан обладает рядом преимуществ в сравнении со сверхкритическим CO₂ при давлении 350 кПа с использованием водно-спиртовой смеси. Он обеспечивает наибольший выход жира за короткий промежуток времени. Проблему большого расхода гексана можно решить путем использования ректификационных колонн и повторного применения ректификата гексана.

2. Высокое содержание некрахмальных полисахаридов обезжиренного рапсового шрота ограничивает качество и выход белка. Снижения количества клетчатки можно достигнуть путем использования целлюлолитических и гemicеллюлазных ферментных препаратов. В обзоре приведены данные исследований одновременной экстракции и ферментативного гидролиза растительного сырья. Выход белка увеличивается на 20–25%.

3. Заключительные стадии включают центрифугирование, экстракцию белка из твердой фракции (ферментализованного жмыха) и осаждение в изoeлектрической точке при значениях pH 4,0–4,5. Фугат закисят до аналогичного уровня pH, центрифугируют. Полученный продукт высушивают до остаточной влажности 6–8%.

4. Необходимы исследования по уменьшению содержания некрахмальных полисахаридов рапса в процессе получения концентратов и изолятов. Применение ферментных препаратов в данном случае позволит получать белковые препараты более высокого качества. Однако имеется необходимость тщательного отбора высокоспецифичных ферментных препаратов для совместной экстракции жмыха и шрота рапса. Побочный продукт ферментализата можно использовать в качестве углеродного компонента в составе питательных сред для культивирования микроорганизмов — продуцентов ферментов, органических кислот и антибиотиков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Daszkiewicz, T. (2022). Food production in the context of global developmental challenges. *Agriculture*, 12(6), Article 832. <https://doi.org/10.3390/agriculture12060832>
2. Красноштанова, А.А., Шульц, Л.В. (2022). Получение и оценка функциональных свойств белковых изолятов и гидролизатов из растительного сырья. *Химия растительного сырья*, 4, 299–309. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220410952>
3. Колпакова, В.В., Уланова, Р.В., Куликов, Д.С., Гулакова, В.А., Семёнов, Г.В., Шевякова, Л.В. (2022). Показатели качества гороховых и нутовых белковых концентратов. *Техника и технология пищевых производств*, 52(4), 650–664. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2394>
4. Arrutia, F., Binner, E., Williams, P., Waldron, K.W. (2020). Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 88–102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.044>
5. Молибога, Е.А., Сухостав, Е.В., Козлова, О.А., Зинич, А.В. (2022). Анализ рынка функционального питания: российский и международный аспект. *Техника и технология пищевых производств*, 52(4), 775–786. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2405>
6. Cheng, A., Raai, M.N., Zain, N.A.M., Massawe, F., Singh, A., Wan-Mohtar, W.A.A.Q.I. (2019). In search of alternative proteins: unlocking the potential of underutilized tropical legumes. *Food Security*, 11, 1205–1215. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00977-0>
7. Langyan, S., Yadava, P., Khan, F.N., Dar, Z.A., Singh, R., Kumar, A. (2022). Sustaining protein nutrition through plant-based foods. *Frontiers in Nutrition*, 8, Article 772573. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.772573>
8. Tyndall, S.M., Maloney, G.R., Cole, M.B., Hazell, N.G., Augustin, M.A. (2022). Critical food and nutrition science challenges for plant-based meat alternative products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, 1–16. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2107994>
9. Монгуш, С.В., Бойцова, Ю.С., Орлова, О.Ю. (2022). Анализ рынка альтернативного мяса в России и за рубежом. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*, 4–4(67), 95–99. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2022-4-4-95-99>
10. Boukid, F., Rosell, C.M., Rosene, S., Bover-Cid, S., Castellari, M. (2022). Non-animal proteins as cutting-edge ingredients to reformulate animal-free foodstuffs: Present status and future perspectives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(23), 6390–6420. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1901649>
11. Gastaldello, A., Giampieri, F., De Giuseppe, R., Grosso, G., Baroni, L., Battino, M. (2022). The rise of processed meat alternatives: A narrative review of the manufacturing, composition, nutritional profile and health effects of newer sources of protein, and their place in healthier diets. *Trends in Food Science & Technology*, 127, 263–271. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.07.005>
12. Степанова, О. (2021). Кто в России производит растительное мясо и сколько привлекает денег? Электронный ресурс: <https://vc.ru/food/272194-kto-v-rossii-proizvodit-rastitelnoe-myaso-i-skolko-privlekaet-deneg?> Дата доступа: 16.12.2022.
13. Ancuța, P., Sonia, A. (2020). Oil press-cakes and meals valorization through circular economy approaches: A review. *Applied Sciences*, 10(21), Article 7432. <https://doi.org/10.3390/app10217432>
14. Fawcett, C.A., Senhorinho, G.N.A., Laamanen, C.A., Scott, J.A. (2022). Microalgae as an alternative to oil crops for edible oils and animal feed. *Algal Research*, 64, Article 102663. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102663>
15. USDA. (2022). Oilseeds: World Markets and Trade. Retrieved from <https://fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade>. Accessed December 04, 2022.

16. Pilorgé, E. (2020). Sunflower in the global vegetable oil system: situation, specificities and perspectives. *OCL*, 27, Article 34. <https://doi.org/10.1051/ocl/2020028>
17. Институт конъюнктуры аграрного рынка. (2022). ИКАР: итоги года — 2021. Масличные. Электронный ресурс: <http://ikar.ru/1/lenta/739>. Дата доступа 15.12.2022.
18. Поморова, Ю.Ю., Пятковский, В.В., Бескоровайный, Д.В., Серова, Ю.М., Болховитина, Ю.С., Шемет, Ю.Ю. (2021). Общий химический и аминокислотный состав семян наиболее распространенных масличных культур семейства brassicaceae (обзор). *Масличные культуры*, 5(187), 78–90. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2021-3-187-78-90>
19. Агровестник. (2022). Рынок рапса по итогам 2021 — тенденции и прогнозы. Электронный ресурс: <https://agrovosti.net/lib/industries/oilseeds/rynok-rapsa-po-itogam-2021-tendentsii-i-prognozy.html>. Дата доступа 25.12.2022.
20. Пальчиков, Е.В., Волков, С.А., Шукин, Р.А., Манаенкова, Ю.С., Палфитов, В.Ф. (2022). Сравнительная оценка сортов ярового рапса отечественной селекции по хозяйственно-биологическим признакам. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*, 2, 159–165. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2022-2-159-165>
21. Паршуков, Д.В. (2022). Экономическая эффективность и перспективы производства рапса в Красноярском крае. *Социально-экономический и гуманитарный журнал*, 2(24), 20–34. <https://doi.org/10.36718/2500-1825-2022-2-20-34>
22. Гулидова, В.А. (2019). Рапс — высокомаржинальная культура России. Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2019.
23. Бушнев, А.С., Орехов, Г.И., Горлова, Л.А. (2020). Потенциал производства рапса озимого на юге России. *Агрофорум*, 5, 31–34.
24. Баюров, Л.И. (2021). Рапс-культура будущего! *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 167, 1–19. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-167-00>
25. Пальчиков, Е.В., Волков, С.А. (2011). Сидерат как дополнительный источник органики. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*, 2–1, 128–130.
26. Ашинова, М.К., Ешгулова, С., Кадакоева, Г.В. (2022). Обеспечение продовольственной безопасности в условиях санкционного давления. *Новые технологии*, 18(3), 134–141. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-3-134-141>
27. Rudoy, E.V., Petukhova, M.S., Petrov, A.F., Kapustyanchik, S. Yu., Ryumkina, I.N., Ryumkin, S.V. (2020). Crop production in Russia 2030: Alternative data of the development scenarios. *Data in Brief*, 29, Article 105077. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.105077>
28. Borrello, M., Caracciolo, F., Lombardi, A., Pascucci, S., Cembalo, L. (2017). Consumers' perspective on circular economy strategy for reducing food waste. *Sustainability*, 9(1), Article 141. <https://doi.org/10.3390/su9010141>
29. Sá, A.G.A., da Silva, D.C., Pacheco, M.T.B., Moreno, Y.M.F., Carciofi, B.A.M. (2021). Oilseed by-products as plant-based protein sources: Amino acid profile and digestibility. *Future Foods*, 3, Article 100023. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100023>
30. Carré, P., Citeau, M., Robin, G., Estorges, M. (2016). Hull content and chemical composition of whole seeds, hulls and germs in cultivars of rapeseed (*Brassica napus*). *OCL*, 23(3), Article A302. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016013>
31. Kaiser, F., Harbach, H., Schulz, C. (2022). Rapeseed proteins as fish-meal alternatives: A review. *Reviews in Aquaculture*, 14(4), 1887–1911. <https://doi.org/10.1111/raq.12678>
32. Muttagi, G.C., Joshi, N. (2020). Physico-chemical composition of selected sunflower seed cultivars. *International Journal of Chemical Studies*, 8, 2095–2100. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i4w.9936>
33. Lomascolo, A., Uzan-Boukhris, E., Sigoillot, J.C., Fine, F. (2012). Rapeseed and sunflower meal: a review on biotechnology status and challenges. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 95(5), 1105–1114. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4250-6>
34. Sibte-e-Abbas, M., Butt, M.S., Khan, M.R., Sultan, M.T., Saddique, M.S., Shahid, M. (2020). Nutritional and functional characterization of de-fatted oilseed protein isolates. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 57(1), 219–228.
35. Kotecka-Majchrzak, K., Sumara, A., Fornal, E., Montowska, M. (2020). Oilseed proteins—properties and application as a food ingredient. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 160–170. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.004>
36. Hosur, K.H., Betha, U.K., Yadav, K.K., Mekapogu, M., Kashyap, B.K. (2020). Byproduct valorization of vegetable oil industry through biotechnological approach. Chapter in a book: *Waste to Energy: Prospects and Applications*. Springer, Singapore, 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4347-4_8
37. Wanasundara, J.P.D., Tan, S., Alashi, A.M., Pudiel, F., Blanchard, C. (2017). Proteins from canola/rapeseed: Current status. Chapter in a book: *Sustainable protein sources*, Academic Press, 2017. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00018-4>
38. Chmielewska, A., Kozłowska, M., Rachwał, D., Whukowski, P., Amarowicz, R., Nebesny, E. et al. (2021). Canola/rapeseed protein — nutritional value, functionality and food application: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(22), 3836–3856. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1809342>
39. Shen, P., Yang, J., Nikiforidis, C.V., Mocking-Bode, H.C.M., Sagis, L.M.C. (2023). Cruciferin versus napin — Air-water interface and foam stabilizing properties of rapeseed storage proteins. *Food Hydrocolloids*, 136, Article 108300. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108300>
40. Wanasundara, J.P.D., McIntosh, T.C., Perera, S.P., Withana-Gamage, T.S., Mitra, P. (2016). Canola/rapeseed protein-functionality and nutrition. *OCL*, 23(4), Article D407. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016028>
41. Ottens, M., Chilamkurthi, S. (2013). Advances in process chromatography and applications in the food, beverage and nutraceutical industries. Chapter in a book: *Separation, extraction and concentration processes in the food, beverage and nutraceutical industries*. Woodhead Publishing Limited, 2013. <https://doi.org/10.1533/9780857090751.1.109>
42. Aider, M., Barbana, C. (2011). Canola proteins: composition, extraction, functional properties, bioactivity, applications as a food ingredient and allergenicity — A practical and critical review. *Trends in Food Science & Technology*, 22(1), 21–39. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.11.002>
43. Gaber, M.A.F.M., Tujillo, F.J., Mansour, M.P., Juliano, P. (2018). Improving oil extraction from canola seeds by conventional and advanced methods. *Food Engineering Reviews*, 10, 198–210. <https://doi.org/10.1007/s12393-018-9182-1>
44. Fetzer, A., Müller, K., Schmid, M., Eisner, P. (2020). Rapeseed proteins for technical applications: Processing, isolation, modification and functional properties — A review. *Industrial Crops and Products*, 158, Article 112986. <https://doi.org/10.1007/s12393-018-9182-1>
45. Kraljić, K., Škevin, D., Pospšil, M., Obrnović, M., Nederal, S., Bosolt, T. (2013). Quality of rapeseed oil produced by conditioning seeds at modest temperatures. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90(4), 589–599. <https://doi.org/10.1007/s11746-012-2195-7>
46. Fetzer, A., Herfellner, T., Stäbler, A., Menner, M., Eisner, P. (2018). Influence of process conditions during aqueous protein extraction upon yield from pre-pressed and cold-pressed rapeseed press cake. *Industrial Crops and Products*, 112, 236–246. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.011>
47. Uquiche, E., Romero, V., Ortiz, J., del Valle, J.M. (2012). Extraction of oil and minor lipids from cold-press rapeseed cake with supercritical CO₂. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 29(3), 585–597. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322012000300016>
48. Boutin, O., Badens, E. (2009). Extraction from oleaginous seeds using supercritical CO₂: Experimental design and products quality. *Journal of Food Engineering*, 92(4), 396–402. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.12.007>
49. Tian, L., Ren, Y., Yang, R., Zhao, Q., Zhang, W. (2019). Combination of thermal pretreatment and alcohol-assisted aqueous processing for rapeseed oil extraction. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(7), 3509–3516. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9570>
50. Citeau, M., Slabi, S.A., Joffre, F., Carré, P. (2018). Improved rapeseed oil extraction yield and quality via cold separation of ethanol miscella. *OCL*, 25(2), Article D207. <https://doi.org/10.1051/ocl/2018012>
51. Zhang, S.B., Wang, Z., Xu, S.Y. (2007). Downstream processes for aqueous enzymatic extraction of rapeseed oil and protein hydrolysates. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84, 693–700. <https://doi.org/10.1007/s11746-007-1080-2>
52. Fetzer, A., Herfellner, T., Eisner, P. (2019). Rapeseed protein concentrates for non-food applications prepared from pre-pressed and cold-pressed press cake via acidic precipitation and ultrafiltration. *Industrial Crops and Products*, 132, 396–406. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.039>
53. Шеколина, Т.В. (2015). Технологии получения белоксодержащего сырья из продуктов переработки семян подсолнечника. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 109, 360–378.
54. Wanasundara, J.P. (2011). Proteins of Brassicaceae oilseeds and their potential as a plant protein source. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(7), 635–677. <https://doi.org/10.1080/10408391003749942>
55. Rodrigues, I.M., Coelho, J.F.J., Carvalho, M.G.V.S. (2012). Isolation and valorisation of vegetable proteins from oilseed plants: Methods, limitations and potential. *Journal of Food Engineering*, 109(3), 337–346. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.027>
56. Tan, S.H., Mailer, R.J., Blanchard, C.L., Agboola, S.O. (2011). Canola proteins for human consumption: extraction, profile, and functional properties. *Journal of Food Science*, 76(1), R16–R28. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01930.x>
57. Milanova, R., Murray, E.D., Westdal, P.S. (2006). U. S. Patent No. 6,992,173. Washington, DC: U. S. Patent and Trademark Office.
58. Ghodvali, A., Khodaparast, M.H.H., Vosoughi, M., Diosady, L.L. (2005). Preparation of canola protein materials using membrane technology and evaluation of meals functional properties. *Food Research International*, 38(2) 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.10.007>
59. Momen, S., Alavi, F., Aider, M. (2021). Alkali-mediated treatments for extraction and functional modification of proteins: Critical and application review. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 778–797. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.052>
60. Gao, Z., Shen, P., Lan, Y., Cui, L., Ohm, J.-B., Chen, B. et al. (2020). Effect of alkaline extraction pH on structure properties, solubility, and beany flavor of yellow pea protein isolate. *Food Research International*, 131, Article 109045. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109045>
61. Ruiz, G.A., Xiao, W., van Boekel, M., Minor, M., Stieger, M. (2016). Effect of extraction pH on heat-induced aggregation, gelation and microstructure

- of protein isolate from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Food Chemistry*, 209, 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.052>
62. Zhu, X., Wang, L., Zhang, Z., Ding, L., Hang, S. (2021). Combination of fiber-degrading enzymatic hydrolysis and lactobacilli fermentation enhances utilization of fiber and protein in rapeseed meal as revealed in simulated pig digestion and fermentation in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 278, Article 115001. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2021.115001>
 63. Rakita, S., Kokić, B., Manoni, M., Mazzoleni, S., Lin, P., Luciano, A. et al. (2023). Cold-Pressed Oilseed Cakes as Alternative and Sustainable Feed Ingredients: A Review. *Foods*, 12(3), Article 432. <https://doi.org/10.3390/foods12030432>
 64. Alexandrino, T.D., Ferrari, R.A., de Oliveira, L.M., Rita de Cássia, S.C., Pacheco, M.T.B. (2017). Fractioning of the sunflower flour components: Physical, chemical and nutritional evaluation of the fractions. *LWT*, 84, 426–432. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.062>
 65. Yang, B., Dai, Z., Ding, S.Y., Wyman, C.E. (2011). Enzymatic hydrolysis of cellululosic biomass. *Biofuels*, 2(4), 421–449. <https://doi.org/10.4155/bfs.11.116>
 66. Castañeda-Pérez, E., Jiménez-Morales, K., Castellanos-Ruelas, A., Chel-Guerrero, L., Betancur-Ancona, D. (2021). Antidiabetic potential of protein hydrolysates and peptide fractions from lima bean (*Phaseolus lunatus* L.): An in vitro study. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, 27(3), 1979–1988. <https://doi.org/10.1007/s10989-021-10226-8>
 67. Nadar, S.S., Rao, P., Rathod, V.K. (2018). Enzyme assisted extraction of biomolecules as an approach to novel extraction technology: A review. *Food Research International*, 108, 309–330. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.006>
 68. Cheng, M.H., Rosentrater, K.A., Sekhon, J., Wang, T., Jung, S., Johnson, L.A. (2019). Economic feasibility of soybean oil production by enzyme-assisted aqueous extraction processing. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 539–550. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2228-9>
 69. Nasrabadi, M.N., Doost, A.S., Mezzenga, R. (2021). Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products. *Food Hydrocolloids*, 118, Article 106789. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106789>
 70. Chalamaiah, M., Rao, G.N., Rao, D.G., Jyothirmayi, T. (2010). Protein hydrolysates from meriga (*Cirrhinus mrigala*) egg and evaluation of their functional properties. *Food Chemistry*, 120(3), 652–657. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.057>
 71. Esfandi, R., Willmore, W.G., Tsopmo, A. (2019). Peptidomic analysis of hydrolyzed oat bran proteins, and their in vitro antioxidant and metal chelating properties. *Food Chemistry*, 279, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.110>
 72. Gençdağ, E., Görgüç, A., Yilmaz, F.M. (2021). Recent advances in the recovery techniques of plant-based proteins from agro-industrial by-products. *Food Reviews International*, 37(4), 447–468. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1709203>
 73. Filiatrault-Chastel, C., Heiss-Blanquet, S., Margeot, A., Berrin, J.-G. (2021). From fungal secretomes to enzymes cocktails: The path forward to bioeconomy. *Biotechnology Advances*, 52, Article 107833. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107833>
 74. Latif, S., Anwar, F. (2009). Effect of aqueous enzymatic processes on sunflower oil quality. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86(4), 393–400. <https://doi.org/10.1007/s11746-009-1357-8>
 75. Perović, M.N., Jugović, Z.D.K., Antov, M.G. (2020). Improved recovery of protein from soy grit by enzyme-assisted alkaline extraction. *Journal of Food Engineering*, 276, Article 109894. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109894>
 76. Rosset, M., Acquaro, V.R., Beléia, A.D.P. (2014). Protein extraction from defatted soybean flour with Viscozyme L Pretreatment. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3), 784–790. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12030>
 77. Wei, C.-L., Lu, W., Yang, J., Wang, M.-P., Yang, X.-Q., Wang, J.-M. (2018). Physicochemical properties of soy protein prepared by enzyme-assisted countercurrent extraction. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(6), 1389–1396. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13716>
 78. Zhao, Y., Tian, R., Xu, Z., Jiang, L., Sui, X. (2023). Recent advances in soy protein extraction technology. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 100(3), 187–195. <https://doi.org/10.1002/aocs.12676>
 79. Sari Y. W., Sanders J. P.M., Bruins M.E (9–10 October 2015). *Technoeconomical evaluation of protein extraction for microalgae biorefinery*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — IOP Publishing, Bogor, Indonesia, 31(1), Article 012034. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/31/1/012034>
 80. Kleeckayai, T., Khalesi, M., Amigo-Benavent, M., Cermeño, M., Harnedy-Rothwell, P., FitzGerald, R.J. (2023). Enzyme-assisted extraction of plant proteins. Chapter in a book: *Green Protein Processing Technologies from Plants*. Cham: Springer International Publishing, 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16968-7_6
 81. Mendez, R.L., Kwon, J.Y. (2021). Effect of extraction condition on protein recovery and phenolic interference in Pacific dulse (*Devaleraea mollis*). *Journal of Applied Phycology*, 33(4), 2497–2509. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02467-3>
 82. GRAS Notice 327. (2010). GRAS notification for crucifer-rich and napin-rich protein isolates derived from canola/rapeseed (Puratein® and Super-tein™). Retrieved from https://www.cfsanappexternal.fda.gov/scripts/fd/cc/?set=GRASNotices&id=327&sort=GRN_No&order=DESC&startrow=1&type=basic&search=rapeseed. Accessed December 23, 2022.
 83. Campbell, L., Rempel, C.B., Wanasundara, J.P. (2016). Canola/Rapeseed protein: Future opportunities and directions-workshop proceedings of IRC2015. *Plants*, 5(2), Article 17. <https://doi.org/10.3390/plants5020017>
 84. EFSA. (2013). Scientific Opinion on the safety of "rapeseed protein isolate" as a Novel Food ingredient. *EFSA Journal*, 11(10), Article 3420. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3420>
 85. Von Der Haar, D., Müller, K., Bader-Mittermaier, S., Eisner, P. (2014). Rapeseed proteins—Production methods and possible application ranges. *OCL*, 21(1), Article D104. <https://doi.org/10.1051/ocl/2013038>

REFERENCES

1. Daszkiewicz, T. (2022). Food production in the context of global developmental challenges. *Agriculture*, 12(6), Article 832. <https://doi.org/10.3390/agriculture12060832>
2. Krasnoshtanova, A.A., Shul'c, L.V. (2022). Preparation and evaluation of the functional properties of protein isolates and hydrolysates from plant raw materials. *Himiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 4, 299–309. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220410952> (In Russian)
3. Kolpakova, V.V., Ulanova, R.V., Kulikov, D.S., Gulakova, V.A., Semyonov, G.V., Shevjakova, L.V. (2022). Pea and chickpea protein concentrates: Quality indicators. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(4), 650–664. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2394> (In Russian)
4. Arrutia, F., Binner, E., Williams, P., Waldron, K.W. (2020). Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 88–102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.044>
5. Moliboga, E.A., Suhostav, E.V., Kozlova, O.A., Zinich, A.V. (2022). Functional food market analysis: Russian and international aspects. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(4), 775–786. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2405> (In Russian)
6. Cheng, A., Raai, M.N., Zain, N.A.M., Massawe, F., Singh, A., Wan-Mohtar, W.A.A.Q.I. (2019). In search of alternative proteins: unlocking the potential of underutilized tropical legumes. *Food Security*, 11, 1205–1215. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00977-0>
7. Langyan, S., Yadava, P., Khan, F.N., Dar, Z.A., Singh, R., Kumar, A. (2022). Sustaining protein nutrition through plant-based foods. *Frontiers in Nutrition*, 8, Article 772573. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.772573>
8. Tyndall, S.M., Maloney, G.R., Cole, M.B., Hazell, N.G., Augustin, M.A. (2022). Critical food and nutrition science challenges for plant-based meat alternative products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, 1–16. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2107994>
9. Mongush, S.V., Boytsova, Yu.S., Orlova, O. Yu. (2022). Analysis of the market of alternative meat in Russia and abroad. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 4–4(67), 95–99. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2022-4-4-95-99> (In Russian)
10. Boukid, F., Rosell, C.M., Rosene, S., Bover-Cid, S., Castellari, M. (2022). Non-animal proteins as cutting-edge ingredients to reformulate animal-free foodstuffs: Present status and future perspectives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(23), 6390–6420. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1901649>
11. Gastaldello, A., Giampieri, F., De Giuseppe, M., Grosso, G., Baroni, L., Battino, M. (2022). The rise of processed meat alternatives: A narrative review of the manufacturing, composition, nutritional profile and health effects of newer sources of protein, and their place in healthier diets. *Trends in Food Science & Technology*, 127, 263–271. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.07.005>
12. Stepanova, O. (2021). Who produces vegetable meat in Russia and how much money does it attract? Retrieved from <https://vc.ru/food/272194-kto-v-rossii-proizvodit-rastitelnoe-myaso-i-skolko-privlekaet-deneg?> Accessed December 16, 2022. (In Russian)
13. Ancuța, P., Sonia, A. (2020). Oil press-cakes and meals valorization through circular economy approaches: A review. *Applied Sciences*, 10(21), Article 7432. <https://doi.org/10.3390/app10217432>
14. Fawcett, C.A., Senhorinho, G.N.A., Laamanen, C.A., Scott, J.A. (2022). Microalgae as an alternative to oil crops for edible oils and animal feed. *Algal Research*, 64, Article 102663. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102663>
15. USDA. (2022). Oilseeds: World Markets and Trade. Retrieved from <https://fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade>. Accessed December 04, 2022.
16. Pilorgé, E. (2020). Sunflower in the global vegetable oil system: situation, specificities and perspectives. *OCL*, 27, Article 34. <https://doi.org/10.1051/ocl/2020028>
17. Institute for Agricultural Market Studies. (2022). Agricultural markets: results-2020 and prospects-2021 from IKAR. Oilseeds. Retrieved from <http://ikar.ru/1enta/739>. Accessed December 15, 2022. (In Russian)
18. Pomorova, Yu. Yu., Pyatovsky, V.V., Beskorovayny, D.V., Serova, Yu.M., Bolkhovitina, Yu.S., Shemet, Yu. Yu. (2021). General chemical and amino acid compositions of the most widespread oil crops of brassicaceae family (Review). *Oil Crops*, 3(187), 78–90. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2021-3-187-78-90> (In Russian)

19. Agrovestnik. (2022). Rapeseed market by the end of 2021 — trends and forecasts. Retrieved from <https://agrovesti.net/lib/industries/oilseeds/rynok-rapsa-po-itogam-2021-tendentsii-i-prognozy.html>. Accessed December 25, 2022. (In Russian)
20. Palchikov, E.V., Volkov, S.A., Shchukin, R.A., Manaenkova, Y.S., Palfitov, V.F. (2022). Comparative evaluation of spring rapeseed varieties of domestic breeding by economic and biological characteristics. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex-Healthy Food Products*, 2, 159–165. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2022-2-159-165> (In Russian)
21. Parshukov, D.V. (2022). Economic efficiency and rapeseed production prospects in the Krasnoyarsk region. *Socio-Economic and Humanitarian Journal*, 2(24), 20–34. <https://doi.org/10.36718/2500-1825-2022-2-20-34> (In Russian)
22. Gulidova, V.A. (2019). Rapeseed is a high-margin culture of Russia. *Elets: I. A. BuninYelets State University*, 2019. (In Russian)
23. Bushnev, A.S., Orekhov, G.I., Gorlova, L.A. (2020). The potential of winter rapeseed production in the south of Russia. *Agroforum*, 5, 31–34. (In Russian)
24. Bayurov, L.I. (2021). Rapeseed — the culture of the future. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 167, 1–19. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-167-00> (In Russian)
25. Palchikov, E.V., Volkov, S.A. (2011). Green manure as an additional source of organics. *The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*, 2–1, 128–130. (In Russian)
26. Ashinova, M.K., Eshugova, S., Kadakoeva, G.V. (2022). Ensuring food security under sanctions pressure. *New Technologies*, 18(3), 134–141. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-3-134-141> (In Russian)
27. Rudoy, E.V., Petukhova, M.S., Petrov, A.F., Kapustychik, S. Yu., Ryumkina, I.N., Ryumkin, S.V. (2020). Crop production in Russia 2030: Alternative data of the development scenarios. *Data in Brief*, 29, Article 105077. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.105077>
28. Borrello, M., Caracciolo, F., Lombardi, A., Pascucci, S., Cembalo, L. (2017). Consumers' perspective on circular economy strategy for reducing food waste. *Sustainability*, 9(1), Article 141. <https://doi.org/10.3390/su9010141>
29. Sá, A.G.A., da Silva, D.C., Pacheco, M.T.B., Moreno, Y.M.F., Carciofi, B.A.M. (2021). Oilseed by-products as plant-based protein sources: Amino acid profile and digestibility. *Future Foods*, 3, Article 100023. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100023>
30. Carré, P., Citeau, M., Robin, G., Estorges, M. (2016). Hull content and chemical composition of whole seeds, hulls and germs in cultivars of rapeseed (*Brassica napus*). *OCL*, 23(5), Article A302. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016013>
31. Kaiser, F., Harbach, H., Schulz, C. (2022). Rapeseed proteins as fish-meal alternatives: A review. *Reviews in Aquaculture*, 14(4), 1887–1911. <https://doi.org/10.1111/raq.12678>
32. Muttagi, G.C., Joshi, N. (2020). Physico-chemical composition of selected sunflower seed cultivars. *International Journal of Chemical Studies*, 8, 2095–2100. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i4w.9936>
33. Lomascolo, A., Uzan-Boukhris, E., Sigoillot, J.C., Fine, F. (2012). Rapeseed and sunflower meal: a review on biotechnology status and challenges. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 95(5), 1105–1114. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4250-6>
34. Sibte-Abbas, M., Butt, M.S., Khan, M.R., Sultan, M.T., Saddique, M.S., Shahid, M. (2020). Nutritional and functional characterization of de-fatted oilseed protein isolates. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 57(1), 219–228.
35. Kotecka-Majchrzak, K., Sumara, A., Fornal, E., Montowska, M. (2020). Oilseed proteins—properties and application as a food ingredient. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 160–170. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.004>
36. Hosur, K.H., Betha, U.K., Yadav, K.K., Mekapogu, M., Kashyap, B.K. (2020). Byproduct valorization of vegetable oil industry through biotechnological approach. Chapter in a book: *Waste to Energy: Prospects and Applications*. Springer, Singapore, 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4347-4_8
37. Wanasundara, J.P.D., Tan, S., Alashi, A.M., Pudil, F., Blanchard, C. (2017). Proteins from canola/rapeseed: Current status. Chapter in a book: *Sustainable protein sources*, Academic Press, 2017. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00018-4>
38. Chmielewska, A., Kozłowska, M., Rachwał, D., Wnukowski, P., Amarowicz, R., Nebesny, E. et al. (2021). Canola/rapeseed protein — nutritional value, functionality and food application: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(22), 3836–3856. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1809342>
39. Shen, P., Yang, J., Nikiforidis, C.V., Mocking-Bode, H.C.M., Sagis, L.M.C. (2023). Cruciferin versus napin — Air-water interface and foam stabilizing properties of rapeseed storage proteins. *Food Hydrocolloids*, 136, Article 108300. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108300>
40. Wanasundara, J.P.D., McIntosh, T.C., Perera, S.P., Withana-Gamage, T.S., Mitra, P. (2016). Canola/rapeseed protein-functionality and nutrition. *OCL*, 23(4), Article D407. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016028>
41. Ottens, M., Chilamkurthi, S. (2013). Advances in process chromatography and applications in the food, beverage and nutraceutical industries. Chapter in a book: *Separation, extraction and concentration processes in the food, beverage and nutraceutical industries*. Woodhead Publishing Limited, 2013. <https://doi.org/10.1533/9780857090751.1.109>
42. Aider, M., Barbana, C. (2011). Canola proteins: composition, extraction, functional properties, bioactivity, applications as a food ingredient and allergenicity — A practical and critical review. *Trends in Food Science & Technology*, 22(1), 21–39. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.11.002>
43. Gaber, M.A.F.M., Tujillo, F.J., Mansour, M.P., Juliano, P. (2018). Improving oil extraction from canola seeds by conventional and advanced methods. *Food Engineering Reviews*, 10, 198–210. <https://doi.org/10.1007/s12393-018-9182-1>
44. Fetzer, A., Müller, K., Schmid, M., Eisner, P. (2020). Rapeseed proteins for technical applications: Processing, isolation, modification and functional properties — A review. *Industrial Crops and Products*, 158, Article 112986. <https://doi.org/10.1007/s12393-018-9182-1>
45. Kraljić, K., Škevin, D., Pospišil, M., Obradović, M., Nederal, S., Bosolt, T. (2013). Quality of rapeseed oil produced by conditioning seeds at modest temperatures. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90(4), 589–599. <https://doi.org/10.1007/s11746-012-2195-7>
46. Fetzer, A., Herfellner, T., Stäbler, A., Menner, M., Eisner, P. (2018). Influence of process conditions during aqueous protein extraction upon yield from pre-pressed and cold-pressed rapeseed press cake. *Industrial Crops and Products*, 112, 236–246. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.011>
47. Uquiche, E., Romero, V., Ortiz, J., del Valle, J.M. (2012). Extraction of oil and minor lipids from cold-press rapeseed cake with supercritical CO₂. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 29(3), 585–597. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322012000300016>
48. Boutin, O., Badens, E. (2009). Extraction from oleaginous seeds using supercritical CO₂: Experimental design and products quality. *Journal of Food Engineering*, 92(4), 396–402. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.12.007>
49. Tian, L., Ren, Y., Yang, R., Zhao, Q., Zhang, W. (2019). Combination of thermal pretreatment and alcohol-assisted aqueous processing for rapeseed oil extraction. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(7), 3509–3516. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9570>
50. Citeau, M., Slabi, S.A., Joffre, F., Carré, P. (2018). Improved rapeseed oil extraction yield and quality via cold separation of ethanol miscella. *OCL*, 25(2), Article D207. <https://doi.org/10.1051/ocl/2018012>
51. Zhang, S.B., Wang, Z., Xu, S.Y. (2007). Downstream processes for aqueous enzymatic extraction of rapeseed oil and protein hydrolysates. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84, 693–700. <https://doi.org/10.1007/s11746-007-1080-2>
52. Fetzer, A., Herfellner, T., Eisner, P. (2019). Rapeseed protein concentrates for non-food applications prepared from pre-pressed and cold-pressed press cake via acidic precipitation and ultrafiltration. *Industrial Crops and Products*, 132, 396–406. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.039>
53. Shchekoldina, T.V. (2015). Technology for production of protein-containing raw materials from the products of sunflower seeds. *Polythematic Online Scientific JOURNAL of Kuban State Agrarian University*, 109, 360–378. (In Russian)
54. Wanasundara, J.P. (2011). Proteins of Brassicaceae oilseeds and their potential as a plant protein source. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(7), 635–677. <https://doi.org/10.1080/10408391003749942>
55. Rodrigues, I.M., Coelho, J.F.J., Carvalho, M.G.V.S. (2012). Isolation and valorisation of vegetable proteins from oilseed plants: Methods, limitations and potential. *Journal of Food Engineering*, 109(3), 337–346. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.027>
56. Tan, S.H., Mailer, R.J., Blanchard, C.L., Agboola, S.O. (2011). Canola proteins for human consumption: extraction, profile, and functional properties. *Journal of Food Science*, 76(1), R16–R28. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01930.x>
57. Milanova, R., Murray, E.D., Westdal, P.S. (2006). U.S. Patent No. 6,992,173. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
58. Ghodsvali, A., Khodaparast, M.H.H., Vosoughi, M., Diosady, L.L. (2005). Preparation of canola protein materials using membrane technology and evaluation of meals functional properties. *Food Research International*, 38(2) 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.10.007>
59. Momen, S., Alavi, F., Aider, M. (2021). Alkali-mediated treatments for extraction and functional modification of proteins: Critical and application review. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 778–797. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.052>
60. Gao, Z., Shen, P., Lan, Y., Cui, L., Ohm, J.B., Chen, B. et al. (2020). Effect of alkaline extraction pH on structure properties, solubility, and beany flavor of yellow pea protein isolate. *Food Research International*, 131, Article 109045. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109045>
61. Ruiz, G.A., Xiao, W., van Boekel, M., Minor, M., Stieger, M. (2016). Effect of extraction pH on heat-induced aggregation, gelation and microstructure of protein isolate from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 209, 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.052>
62. Zhu, X., Wang, L., Zhang, Z., Ding, L., Hang, S. (2021). Combination of fiber-degrading enzymatic hydrolysis and lactobacilli fermentation enhances utilization of fiber and protein in rapeseed meal as revealed in simulated pig digestion and fermentation in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 278, Article 115001. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115001>
63. Rakita, S., Kokić, B., Manoni, M., Mazzoleni, S., Lin, P., Luciano, A. et al. (2023). Cold-Pressed Oilseed Cakes as Alternative and Sustainable Feed Ingredients: A Review. *Foods*, 12(3), Article 432. <https://doi.org/10.3390/foods12030432>

64. Alexandrino, T.D., Ferrari, R.A., de Oliveira, L.M., Rita de Cássia, S.C., Pacheco, M.T.B. (2017). Fractioning of the sunflower flour components: Physical, chemical and nutritional evaluation of the fractions. *LWT*, 84, 426–432. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.062>
65. Yang, B., Dai, Z., Ding, S.Y., Wyman, C.E. (2011). Enzymatic hydrolysis of cellulosic biomass. *Biofuels*, 2(4), 421–449. <https://doi.org/10.4155/bfs.11.116>
66. Castañeda-Pérez, E., Jiménez-Morales, K., Castellanos-Ruelas, A., Chel-Guerrero, L., Betancur-Ancona, D. (2021). Antidiabetic potential of protein hydrolysates and peptide fractions from lima bean (*Phaseolus lunatus* L): An in vitro study. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, 27(3), 1979–1988. <https://doi.org/10.1007/s10989-021-10226-8>
67. Nadar, S.S., Rao, P., Rathod, V.K. (2018). Enzyme assisted extraction of biomolecules as an approach to novel extraction technology: A review. *Food Research International*, 108, 309–330. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.006>
68. Cheng, M.H., Rosentrater, K.A., Sekhon, J., Wang, T., Jung, S., Johnson, L.A. (2019). Economic feasibility of soybean oil production by enzyme-assisted aqueous extraction processing. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 539–550. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2228-9>
69. Nasrabadi, M.N., Doost, A.S., Mezzenga, R. (2021). Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products. *Food Hydrocolloids*, 118, Article 106789. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106789>
70. Chalamaiah, M., Rao, G.N., Rao, D.G., Jyothirmayi, T. (2010). Protein hydrolysates from meriga (*Cirrhinus mrigala*) egg and evaluation of their functional properties. *Food Chemistry*, 120(3), 652–657. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.057>
71. Esfandi, R., Willmore, W.G., Tsopmo, A. (2019). Peptidomic analysis of hydrolyzed oat bran proteins, and their in vitro antioxidant and metal chelating properties. *Food Chemistry*, 279, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.110>
72. Gençdağ, E., Görgüç, A., Yılmaz, F.M. (2021). Recent advances in the recovery techniques of plant-based proteins from agro-industrial by-products. *Food Reviews International*, 37(4), 447–468. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1709203>
73. Filiatrault-Chastel, C., Heiss-Blanquet, S., Margeot, A., Berrin, J.-G. (2021). From fungal secretomes to enzymes cocktails: The path forward to bioeconomy. *Biotechnology Advances*, 52, Article 107833. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107833>
74. Latif, S., Anwar, F. (2009). Effect of aqueous enzymatic processes on sunflower oil quality. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86(4), 393–400. <https://doi.org/10.1007/s11746-009-1357-8>
75. Perović, M.N., Jugović, Z.D.K., Antov, M.G. (2020). Improved recovery of protein from soy grit by enzyme-assisted alkaline extraction. *Journal of Food Engineering*, 276, Article 109894. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109894>
76. Rosset, M., Acquaro, V.R., Beléia, A.D.P. (2014). Protein extraction from defatted soybean flour with Viscozyme L Pretreatment. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3), 784–790. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12030>
77. Wei, C.-L., Lu, W., Yang, J., Wang, M.-P., Yang, X.-Q., Wang, J.-M. (2018). Physicochemical properties of soy protein prepared by enzyme-assisted countercurrent extraction. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(6), 1389–1396. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13716>
78. Zhao, Y., Tian, R., Xu, Z., Jiang, L., Sui, X. (2023). Recent advances in soy protein extraction technology. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 100(3), 187–195. <https://doi.org/10.1002/aocs.12676>
79. Sari Y. W., Sanders J. P.M., Bruins M.E (9–10 October 2015). *Techno-economical evaluation of protein extraction for microalgae biorefinery*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — IOP Publishing, Bogor, Indonesia. 31(1), Article 012034. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/31/1/012034>
80. Kleekayai, T., Khalesi, M., Amigo-Benavent, M., Cermeño, M., Harnedy-Rothwell, P., FitzGerald, R.J. (2023). Enzyme-assisted extraction of plant proteins. Chapter in a book: *Green Protein Processing Technologies from Plants*. Cham: Springer International Publishing, 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16968-7_6
81. Mendez, R.L., Kwon, J.Y. (2021). Effect of extraction condition on protein recovery and phenolic interference in Pacific dulse (*Devaleraea mollis*). *Journal of Applied Phycology*, 33(4), 2497–2509. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02467-3>
82. GRAS Notice 327. (2010). GRAS notification for crucifera-rich and napin-rich protein isolates derived from canola/rapeseed (Puratein® and Superatein™). Retrieved from https://www.cfsanappsexternal.fda.gov/scripts/fdc/?set=GRASNotices&id=327&sort=GRN_No&order=DESC&startrow=1&type=basic&search=rapeseed. Accessed December 23, 2022.
83. Campbell, L., Rempel, C.B., Wanasundara, J.P. (2016). Canola/Rapeseed protein: Future opportunities and directions-Workshop proceedings of IRC2015. *Plants*, 5(2), Article 17. <https://doi.org/10.3390/plants5020017>
84. EFSA. (2013). Scientific Opinion on the safety of “rapeseed protein isolate” as a Novel Food ingredient. *EFSA Journal*, 11(10), Article 3420. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3420>
85. Von Der Haar, D., Müller, K., Bader-Mittermaier, S., Eisner, P. (2014). Rapeseed proteins—Production methods and possible application ranges. *OCL*, 21(1), Article D104. <https://doi.org/10.1051/ocl/2013038>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Дегтярев Иван Александрович — магистрант, кафедра «Биотехнология и технология продуктов биоорганического синтеза», Российский биотехнологический университет 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 Тел.: +7-909-985-58-59 E-mail: Ivand152@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3842-1391 * автор для контактов	Ivan A. Degtyarev, Master Student, Department “Biotechnology and Technology of Bioorganic Synthesis Products”, Russian Biotechnological University 11, Volokolamsk highway, 125080, Moscow, Russia Tel.: +7-909-985-58-59 E-mail: Ivand152@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3842-1391 * corresponding author
Фоменко Иван Андреевич — кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра «Биотехнология и технология продуктов биоорганического синтеза», Российский биотехнологический университет 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 Тел.: +7-906-036-06-05 E-mail: iv.fomenko@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2478-1705	Ivan A. Fomenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department “Biotechnology and Technology of Bioorganic Synthesis Products”, Russian Biotechnological University 11, Volokolamsk highway, 125080, Moscow, Russia Tel.: +7-906-036-06-05 E-mail: iv.fomenko@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2478-1705
Мизева Айслу Альбертовна — магистрант, кафедра «Биотехнология и технология продуктов биоорганического синтеза», Российский биотехнологический университет 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 Тел.: +7-961-453-12-93 E-mail: mizheva.aislu@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0847-0819	Aislu A. Mizheva, Master Student, Department “Biotechnology and Technology of Bioorganic Synthesis Products”, Russian Biotechnological University 11, Volokolamsk highway, 125080, Moscow, Russia Tel.: +7-961-453-12-93 E-mail: mizheva.aislu@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0847-0819
Серба Елена Михайловна — доктор биологических наук, доцент, профессор РАН, член-корреспондент РАН, Заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи 111033, Москва, Самокатная ул. 4-Б Тел.: +7-916-515-92-73 E-mail: serbae@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1660-2634	Elena M. Serba, Doctor of Biological Sciences, Docent, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Research, Russian Research Institute of Food Biotechnology — Branch of Federal Research Center of Food, Biotechnology and Food Safety 4-B, Samokatnaya str., 4-B111033, Moscow, Russia Tel.: +7-916-515-92-73 E-mail: serbae@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1660-2634
Машенцева Наталья Геннадьевна — доктор технических наук, профессор, профессор РАН, профессор кафедры «Биотехнология и технология продуктов биоорганического синтеза», Российский биотехнологический университет 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 Тел.: +7-916-812-76-59 E-mail: natali-mng@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9287-0585	Natalya G. Mashentseva, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, “Department Biotechnology and Technology of Bioorganic Synthesis Products”, Professor of the Russian Academy of Sciences, Russian Biotechnological University 11, Volokolamsk highway, 125080, Moscow, Russia Tel.: +7-916-812-76-59 E-mail: natali-mng@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9287-0585
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.