

УДК 613.26:633.853.494

Технология получения пищевых волокон рапса на основе твердого отхода экстракции белков

И. А. Дегтярев*, А. И. Карачун, И. А. Фоменко

**Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Россия;
e-mail: Ivand152@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3842-1391>*

Информация о статье

Поступила
в редакцию
18.03.2025;

получена
после доработки
06.05.2025;

принята
к публикации
22.05.2025

Ключевые слова:
жмых рапса, отход
экстракции белка,
пищевые волокна,
отбеливание,
функционально-
технологические
свойства

Реферат

Для повышения потребительских, органолептических и технологических свойств отходов переработки растительного сырья разработаны способы отбеливания, позволяющие значительно осветлить растительные волокна. Оценка эффективности отбеливания волокон рапса с использованием перекиси водорода проводилась визуально. В ходе исследования установлены рациональные параметры процесса отбеливания: концентрация субстрата 10 %, массовая доля перекиси 6 %, температура 80 °С, длительность обработки 6 ч. Пищевые волокна рапса, высушенные в лиофильной сушильной установке, имеют более высокие значения влагосвязывающей (8,27 г воды/г ПВ) и жиросвязывающей (4,35 г масла/г ПВ) способности (на 32 и 23 % соответственно) в сравнении с пищевыми волокнами рапса, высушенными в сушильном шкафу. Пищевые волокна рапса, высушенные в лиофильной сушильной установке, не уступают по величине влаго- и жиросвязывающей способности коммерческому препарату сои (МЭЗ "Амурский"). Анализ химического состава полученных волокон рапса показал, что они содержали меньшее количество сырого протеина, чем соевые волокна (на 60 %), и большее количество сырого протеина, чем пшеничные волокна (на 90 %). Дальнейшие исследования могут быть посвящены изучению влияния волокон рапса на функционально-технологические, реологические и органолептические свойства пищевых продуктов. Способ получения пищевых волокон рапса на основе твердого отхода экстракции белков имеет большой потенциал при организации производства в промышленных масштабах, позволяя предприятиям осуществлять валоризацию продуктов переработки семян рапса.

Для цитирования

Дегтярев И. А. и др. Технология получения пищевых волокон рапса на основе твердого отхода экстракции белков. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 3. С. 385–392. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-385-392>.

Technology for the production of rapeseed dietary fibers based on solid waste from protein extraction

Ivan A. Degtyarev*, Alexandra I. Karachun, Ivan A. Fomenko

**Russian University of Biotechnology (ROSBIOTECH), Moscow, Russia;
e-mail: Ivand152@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3842-1391>*

Article info

Received
18.03.2025;

received
in revised
06.05.2025;

accepted
22.05.2025

Key words:
rapeseed oilcake,
protein extraction
waste, dietary fiber,
bleaching,
functional
and technological
properties

Abstract

In order to improve the consumer, organoleptic and technological properties of waste from the processing of plant raw materials, bleaching methods have been developed that allow for significant lightening of plant fibers. The efficiency of bleaching rapeseed fibers using hydrogen peroxide has been assessed visually. During the study, rational parameters of the bleaching process have been established: substrate concentration of 10 %, mass fraction of peroxide of 6 %, temperature of 80 °C, processing time of 6 hours. Rapeseed dietary fiber dried in a freeze-drying unit has higher values of moisture-binding (8.27 g water/g PV) and fat-binding (4.35 g oil/g PV) capacity (by 32 and 23 %, respectively) compared to rapeseed dietary fiber dried in a drying cabinet. Rapeseed dietary fiber dried in a freeze-drying unit is not inferior in moisture- and fat-binding capacity to a commercial soybean preparation (Amursky MEZ). Analysis of the chemical composition of the obtained rapeseed fibers has shown that they contain less crude protein than soybean fibers (by 60 %), and more crude protein than wheat fibers (by 90 %). Further research can be devoted to studying the effect of rapeseed fibers on the functional, technological, rheological and organoleptic properties of food products. The method for obtaining rapeseed dietary fiber based on solid protein extraction waste has great potential in organizing production on an industrial scale, allowing enterprises to carry out valorization of rapeseed processing products.

For citation

Degtyarev, I. A. et al. 2025. Technology for the production of rapeseed dietary fibers based on solid waste from protein extraction. *Vestnik of MSTU*, 28(3), pp. 385–392. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-385-392>.

Введение

Численность мирового населения к 2050 г. достигнет 9 млрд человек, в связи с чем актуализируется проблема поиска новых сырьевых источников для производства продовольствия с целью удовлетворения базовых биологических потребностей людей (*Sim et al.*, 2021).

Одним из важнейших макронутриентов в питании человека является белок. Традиционные источники белка требуют значительных площадей земель и объемов затрачиваемых ресурсов. Для возможного решения проблемы дефицита белка предложены технологии получения белка с использованием исходного растительного сырья и продуктов его переработки. На основе соевых бобов получают соевую муку, белковый концентрат и изолят белка (*Preece et al.*, 2017). Среди бобовых культур наибольшее распространение получил горох, белки которого обладают высокой питательной ценностью, низкой аллергенностью и хорошими функционально-технологическими свойствами, преимущественно высокими стабильностью пены и эмульгирующими свойствами (*Nowacka et al.*, 2023). Из злаковых выделяют глютен, зеин и рисовые белки (*Boukid et al.*, 2020). Также растительные белки могут быть получены из недорогих вторичных сырьевых ресурсов, включая жмыхи и шроты, о чем свидетельствуют исследования, посвященные использованию отходов переработки масличных культур в качестве источников для производства продуктов питания (*Singh et al.*, 2022).

В процессе выделения белков на различных стадиях образуются жидкие и твердые отходы. Жидкие отходы содержат растворимые фракции углеводов и не выпавшие в осадок в ходе изoeлектрического осаждения белки. Примером такого отхода, образующегося в большом количестве на производствах, является соевая сыворотка. Она содержит около 9,5 г/л углеводов и 0,3–3,0 г/л белков (*Chua et al.*, 2019). Сыворотка может быть использована в составе ферментационных сред при культивировании различных микроорганизмов. Ферментация соевой сыворотки является наиболее предпочтительным способом ее утилизации, так как она имеет высокий уровень биохимического потребления кислорода (БПК) (8 000–9 800 мг/л) и химического потребления кислорода (ХПК) (17 000–26 000 мг/л), что не позволяет осуществлять ее непосредственный сброс в составе сточных вод (*Irawan et al.*, 2020).

Твердые отходы образуются в результате экстракции белков и представлены преимущественно нерастворимыми волокнами, которые не находят целесообразного применения. Пищевые волокна (ПВ) имеют высокую доступность, низкую стоимость и большой потенциал в профилактике различных заболеваний (*Betoret et al.*, 2011). Потребление продуктов питания с высоким содержанием пищевых волокон способствует снижению гликемического индекса, нормализации и регуляции роста микроорганизмов ЖКТ, сорбции эндотоксинов и подавлению канцерогенов, регуляции уровня холестерина в крови и снижению веса (*Han et al.*, 2017). Использование волокон, образующихся в ходе экстракции белков, в пищевой промышленности ограничено их внешним видом, чаще всего они имеют темный цвет и непривлекательные органолептические свойства.

Для повышения потребительских, органолептических и технологических свойств отходов переработки растительного сырья разработаны способы отбеливания, позволяющие значительно осветлить растительные волокна. Наиболее простым и экономически целесообразным способом для внедрения в производство является отбеливание с помощью перекиси водорода. В научной литературе описаны условия отбеливания женьшеня 17%-м раствором перекиси водорода при уровне pH 11,0 в течение 30 мин при комнатной температуре, что позволяет примерно на 30 % увеличить водо- и жиросвязывающие способности, а также улучшить цветовые характеристики и повысить пористость (*Jiang et al.*, 2021). Разработан способ отбеливания отработанной пивной дробины при концентрации перекиси водорода 5 % при температуре 70 °C в течение 40 мин и уровне pH 12–12,5 (*Mussatto et al.*, 2008). Описан процесс отбеливания льняной муки при концентрациях перекиси водорода 1–3 %, уровне pH 3, 7 и 9 в течение 10–30 мин (*Aider et al.*, 2012). В ходе исследования было отмечено изменение цвета льняной муки с коричневого до светло-желтого, также отбеливание позволило снизить содержание фенолов, однако не до конца изучено влияние перекиси водорода на содержание незаменимых аминокислот.

Рапс является одной из наиболее широко используемых масличных культур; ежегодно в мире производится примерно 70 млн т рапса (*Raboanatahiry et al.*, 2021). В процессе переработки рапса образуется масло и побочные продукты – жмых и шрот; остаточное содержание белка в них составляет около 35–45 % (*Arntfield et al.*, 2011). На основе жмыха и шрота были разработаны и интегрированы в промышленное производство технологии получения белков рапса, а продукция зарегистрирована под коммерческими названиями Supertein™, Puratein, Isolexx и Vitalexx (*Raboanatahiry et al.*, 2021). Однако отсутствуют технологические решения, позволяющие получать пищевые ингредиенты на основе отходов, образующихся в ходе получения белковых препаратов рапса, в частности пищевых волокон из отработанного жмыха после экстракции белка.

Целью настоящего исследования являлось определение параметров отбеливания твердого отхода экстракции белков рапса с использованием перекиси водорода для получения пищевых волокон.

Материалы и методы

В исследовании использовали твердый отход экстракции белков рапса, полученный согласно патенту № 2815553 посредством последовательного обезжиривания гексаном, кислотной экстракции белков, ферментативной деструкции некрахмальных полисахаридов жмыха рапса и щелочной экстракции белков (Degtyarev *et al.*, 2024).

Для сравнения качественных показателей в работе использовали коммерческие препараты пищевых волокон сои (МЭЗ "Амурский", Россия) и пшеницы "Биоцель XL200" ("Биофабрика", Россия), являющиеся традиционными добавками при производстве мясных и колбасных изделий.

Отбеливание пищевых волокон рапса осуществляли путем приготовления 10- и 15%-й водной суспензии при массовой доле перекиси водорода 2, 4 и 6 %, температуре 70, 80 и 90 °С в течение 2–6 ч. По окончании отбеливания пищевых волокон проводили центрифугирование при 4 000 об/мин в течение 20 мин, промывку двумя объемами дистиллированной воды и повторное центрифугирование при тех же условиях.

Определение содержания сырого протеина выполнялось по ГОСТ 13496.4-2019¹; сырой клетчатки – по ГОСТ 31675-2012²; сухих веществ – по ГОСТ 31640-2012³.

Высушивание пищевых волокон рапса осуществляли в сушильном шкафу ШС-80-01-СПУ ("Смоленское СКТБ СПУ", Россия) при 70 °С в течение 24 ч и в лиофильной сушильной установке ProfLyo T50.6 ("Профлаб", Россия). Лيوфильное высушивание состояло из 4 этапов: замораживание образца, вакуумирование, сублимация и десорбция (повышение температуры и одновременное понижение давления в камере). Основные этапы и условия лиофильного высушивания представлены в табл. 1.

Таблица 1. Этапы и условия лиофильного высушивания пищевых волокон
Table 1. Stages and conditions of lyophilic drying of dietary fibers

Условие высушивания	Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4
Длительность	2 ч	10 ч	8 ч	15 мин
Давление в камере, мбар	6,00	1,50	0,50	0,10

Водосвязывающую способность (ВСС) образцов пищевых волокон определяли как количество воды, удерживаемое образцом после центрифугирования (Stone *et al.*, 2015). Для этого отбирали 0,5 г пищевых волокон, добавляли 5 см³ дистиллированной воды. Суспензию перемешивали в течение 30 мин, после чего центрифугировали при 1 000 г в течение 15 мин. Значение ВСС определяли по формуле

$$\text{ВСС} = \frac{(a - c)}{(b - c)} 100, \quad (1)$$

где ВСС – водосвязывающая способность, %; a – масса гидратированного образца с центрифужной пробиркой, г; b – масса сухой навески с центрифужной пробиркой, г; c – масса центрифужной пробирки, г.

Для определения значения жиросвязывающей способности (ЖСС) пищевых волокон отбирали 0,5 г образца, смешивали с 5 см³ подсолнечного масла, перемешивали в течение 30 мин, затем центрифугировали при 1 000 г в течение 5 мин (Stone *et al.*, 2015). Значение ЖСС определяли по формуле

$$\text{ЖСС} = \frac{(a - c)}{(b - c)} 100, \quad (2)$$

где ЖСС – жиросвязывающая способность, %; a – масса навески с центрифужной пробиркой после отделения фугата, г; b – масса сухой навески с центрифужной пробиркой, г; c – масса центрифужной пробирки, г.

Результаты и обсуждение

Отбеливание пищевых волокон осуществляли с использованием перекиси водорода в щелочных условиях. Экстракцию белков рапса проводили при уровне pH 9,0 (Degtyarev *et al.*, 2024). У водной суспензии твердого отхода экстракции pH составляет около 8,5–9,0 в зависимости от концентрации пищевых волокон рапса. В исследовании изучали влияние концентрации субстрата на эффективность отбеливания пищевых волокон рапса при различном содержании перекиси водорода в суспензии, температуры и длительности обработки. Для корректировки pH использовали 20%-й раствор NaOH.

¹ ГОСТ 13496.4-2019. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. М. : Изд-во стандартов, 2019. 20 с.

² ГОСТ 31675-2012. Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации. М. : Изд-во стандартов, 2020. 12 с.

³ ГОСТ 31640-2012. Корма. Методы определения содержания сухого вещества. М. : Изд-во стандартов, 2020. 11 с.

Оценку эффективности отбеливания пищевых волокон проводили по условной шкале, где знак "+++" соответствует белым волокнам, "++" – волокнам светло-желтого цвета, "+" – отбеленным волокнам, имеющим темный цвет, "-" – неотбеленным волокнам. В табл. 2 представлены результаты отбеливания пищевых волокон рапса при концентрации субстрата 15 %.

Из данных, представленных в табл. 2, следует, что концентрация субстрата 15 % не позволяет получить светлые пищевые волокна. Волокна светло-желтого цвета были получены при массовой доле перекиси 6 %, температуре отбеливания 80 °С в течение 6 ч и при 90 °С в течение 4 и 6 ч.

Таблица 2. Визуальная оценка эффективности отбеливания пищевых волокон рапса при концентрации субстрата 15 %
Table 2. Visual assessment of the effectiveness of bleaching of rapeseed dietary fibers at a substrate concentration of 15 %

Массовая доля перекиси водорода, %	Температура отбеливания, °С	Длительность отбеливания, ч	Визуальная оценка пищевых волокон
2	70	2	–
		4	–
		6	–
	80	2	–
		4	–
		6	–
	90	2	–
		4	–
		6	–
4	70	2	–
		4	–
		6	–
	80	2	–
		4	–
		6	–
	90	2	–
		4	+
		6	+
6	70	2	–
		4	–
		6	+
	80	2	+
		4	+
		6	++
	90	2	+
		4	++
		6	++

Для проведения отбеливания осуществляли приготовление водной суспензии пищевых волокон, ее нагрев до соответствующей температуры и периодическое внесение 37 % перекиси водорода марки А до заданной массовой доли в суспензии. При внесении сразу всего необходимого объема перекиси будет происходить обильное и трудно контролируемое пенообразование, сопровождающееся уносом продукта, ввиду чего такой способ подачи перекиси не является рациональным.

Однако при концентрации субстрата 10 % были получены пищевые волокна белого цвета с массовой долей перекиси водорода 6 %, температуре отбеливания 80 °С в течение 6 ч и температуре отбеливания 90 °С в течение 2, 4 и 6 ч (табл. 3). Отбеливание пищевых волокон рапса целесообразно осуществлять при концентрации субстрата 10 %, массовой доле перекиси водорода 6 %, температуре отбеливания 80 °С в течение 6 ч.

Далее проводили подбор способа высушивания пищевых волокон рапса. Сушка образцов осуществлялась в сушильном шкафу на поддонах при температуре 70 °С и в лиофильной сушильной установке с предварительным замораживанием в течение 2 ч.

В ходе высушивания пищевых волокон в сушильном шкафу образовывалась твердая корка, которая затрудняла дальнейший процесс сушки и могла являться причиной снижения их функционально-технологических свойств (водо- и жиросвязывающей способности).

Таблица 3. Визуальная оценка эффективности отбеливания пищевых волокон рапса при концентрации субстрата 10 %
Table 3. Visual assessment of the effectiveness of bleaching of rapeseed dietary fibers at a substrate concentration of 10 %

Массовая доля перекиси водорода, %	Температура отбеливания, °C	Длительность отбеливания, ч	Визуальная оценка пищевых волокон
2	70	2	—
		4	—
		6	—
	80	2	—
		4	—
		6	—
	90	2	—
		4	+
		6	+
4	70	2	—
		4	—
		6	+
	80	2	—
		4	+
		6	++
	90	2	+
		4	++
		6	++
6	70	2	+
		4	+
		6	++
	80	2	+
		4	++
		6	+++
	90	2	+++
		4	+++
		6	+++

В случае использования лиофильной сушильной установки удастся получить однородные пищевые волокна без корки; также отмечены нейтральные органолептические свойства пищевых волокон рапса после отбеливания в сравнении с исходным твердым отходом экстракции, для которого характерен растительный аромат и привкус. Внешний вид пищевых волокон рапса до и после отбеливания, высушенных в лиофильной сушильной установке, представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид исходных и отбеленных пищевых волокон, высушенных в лиофильной сушильной установке
Fig. 1. Appearance of the raw and bleached dietary fibers dried in a freeze-drying unit

В настоящее время большое значение растительные волокна имеют в пищевой промышленности. Рекомендуемая суточная норма потребления пищевых волокон в Европе составляет 25 г, а в России этот показатель составляет 20–25 г/сут согласно МР 2.3.1.0253-21⁴, при этом рацион значительной части населения не может удовлетворить эту потребность (EFSA..., 2010). Их включение в рецептуры мясных и колбасных изделий позволяет улучшить функционально-технологические свойства, стабилизировать структуру продукта в процессе замораживания или дефростации, а также снизить потерю массы при приготовлении (Mishra et al., 2023). Особое внимание уделяется способам снижения содержания холестерина в мясных изделиях, что может быть достигнуто за счет включения пищевых волокон в их рецептуры (Younis et al., 2022). Было отмечено, что использование муки из проса в рецептуре мясных котлет позволило снизить процент усадки и увеличить высоту подъема в ходе тепловой обработки (Kumar et al., 2015). Аналогичные эффекты наблюдались при использовании пшеничной муки в составе куриных наггетсов, бобовой муки в говяжьих сосисках и соевой муки в котлетах для гамбургеров (Talukder, 2015). Полученные результаты объясняются более высокой водо- и жиросвязывающей способностью мясных изделий с добавлением источников пищевых волокон.

Оценка химического состава, а также значений ВСС и ЖСС пищевых волокон рапса, высушенных в сушильном шкафу и с использованием лиофильной сушильной установки, проведена в сравнении с коммерческими препаратами пищевых волокон сои (МЭЗ "Амурский", Россия) и пшеницы "Биоцель XL200" ("Биофабрика", Россия). Результаты сравнения отражены в табл. 4.

Как было отмечено, пищевые волокна рапса, высушенные в сушильном шкафу, покрываются твердой коркой. Значение ВСС для ПВ рапса, полученных данным способом высушивания, составило 6,25 г воды/г ПВ, ЖСС – 3,52 г масла/г ПВ. Однако для ПВ рапса, высушенных в лиофильной сушильной установке, значение ВСС было выше на 32 %, а ЖСС – на 23 % и составило 8,27 г воды/г ПВ и 4,35 г масла/г ПВ соответственно.

Таблица 4. Сравнение химического состава, ВСС и ЖСС пищевых волокон рапса с коммерческими препаратами пищевых волокон сои и пшеницы
Table 4. Comparison of the chemical composition, moisture-binding and fat-binding capacity of rapeseed dietary fibers with commercial preparations of soy and wheat dietary fibers

Влажность, %	Сырой протеин, % от массы ПВ	Сырая клетчатка, % от массы ПВ	Сырой жир, % от массы ПВ	Зола, % от массы ПВ	ВСС, г воды/г ПВ	ЖСС, г масла/г ПВ
Пищевые волокна рапса, высушенные в сушильном шкафу при 70 °С						
8,35 ± 0,20	11,79 ± 0,29	74,00 ± 1,85	0,68 ± 0,05	5,18 ± 0,12	6,25	3,52
Пищевые волокна рапса, высушенные в лиофильной сушильной установке						
7,58 ± 0,19	11,53 ± 0,28	75,04 ± 1,87	0,69 ± 0,05	5,16 ± 0,13	8,27	4,35
Пищевые волокна сои (МЭЗ "Амурский")						
7,63 ± 0,19	18,68 ± 0,46	67,31 ± 1,68	0,58 ± 0,02	5,8 ± 0,14	8,98	4,98
Пищевые волокна пшеницы "Биоцель XL200"						
8,54 ± 0,21	1,14 ± 0,11	84,57 ± 1,93	0,21 ± 0,06	5,54 ± 0,13	9,42	5,18

ПВ рапса, высушенные в лиофильной сушильной установке, незначительно уступают по величине ВСС и ЖСС коммерческому препарату сои (МЭЗ "Амурский"). При этом ПВ пшеницы "Биоцель XL200" превосходит ПВ рапса по ВСС на 14 % и ЖСС – на 19 %. Также было определено, что образцы пищевых волокон рапса содержали меньшее количество сырого протеина, чем соевые волокна (примерно на 60 %) и пищевые волокна пшеницы (на 90 %).

Заключение

В рамках проведенного исследования:

- определены условия отбеливания твердого отхода экстракции белков из жмыха рапса с использованием перекиси водорода, позволяющие значительно улучшить его цветные характеристики, а также получить пищевые волокна с высокими значениями ВСС, ЖСС и нейтральными органолептическими свойствами;
- рассчитаны рациональные параметры отбеливания: концентрация субстрата 10 %, массовая доля перекиси водорода 6 %, температура отбеливания 80 °С, длительность обработки 6 ч;
- установлено, что сушку отбеленных пищевых волокон рапса целесообразно осуществлять с использованием лиофильной сушильной установки. Значение ВСС при данном способе высушивания составило 8,27 г воды/г ПВ, ЖСС – 4,35 г масла/г ПВ, т. е. увеличилось на 32 и 23 % соответственно в сравнении с ПВ рапса, высушенными в сушильном шкафу.

⁴ Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г. Москва : Роспотребнадзор, 2021. 72 с.

Дальнейшие исследования могут быть посвящены изучению технологии включения пищевых волокон рапса в рецептуры мясных изделий и их влияния на функционально-технологические, реологические и органолептические свойства данных продуктов. Способ получения ПВ рапса на основе твердого отхода экстракции белков имеет большой потенциал при организации производства в промышленных масштабах, позволяя предприятиям осуществлять валоризацию продуктов переработки семян рапса.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

- Aïder, M., Martel, A. A., Ferracci, J., de Halleux, D. 2012. Purification of whole brown flaxseed meal from coloring pigments by treatment in hydrogen peroxide solutions: Impact on meal color. *Food and Bioprocess Technology*, 5, pp. 3051–3065. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0632-5>.
- Arntfield, S., Hickling, D. 2011. Meal nutrition and utilization. In: *Canola: Chemistry, production, processing, and utilization*. Eds: Daun J. K., Eskin N. A. M., Hickling D., AOCS Press, Urbana, IL, pp. 281–312. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-9818936-5-5.50014-0>.
- Betoret, E., Betoret, N., Vidal, D., Fito, P. 2011. Functional foods development: Trends and technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 22(9), pp. 498–508. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.05.004>.
- Boukid, F., Rosene, S. 2020. Grain proteins: Challenges and solutions in developing consumer-relevant foods. *Cereal Foods World (CFW)*, 65(6). DOI: <https://doi.org/10.1094/CFW-65-6-0062>.
- Chua, J. Y., Liu, S. Q. 2019. Soy whey: More than just wastewater from tofu and soy protein isolate industry. *Trends in Food Science & Technology*, 91, pp. 24–32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.06.016>.
- Degtyarev, I. A., Fomenko, I. A., Ivanova, L. A., Mizheva, A. A. et al. Russian University of Biotechnology. 2023. Method of obtaining protein isolate from rapeseed cake, Russian Federation, Pat. 2815553. (In Russ.) = Способ получения изолята белка из жмыха рапса : пат. 2815553, Рос. Федерация / И. А. Дегтярев, И. А. Фоменко, Л. А. Иванова, А. А. Мижева [и др.] ; № 2023121367; заявл. 16.08.2023; опубл. 18.03.2024, Бюл. № 8.
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA). 2010. *Scientific opinion on dietary reference values for carbohydrates and dietary fibre*. *EFSA Journal*, 8(3), pp. 1462. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1462>.
- Han, W., Ma, S., Li, L., Wang, X. X. et al. 2017. Application and development prospects of dietary fibers in flour products. *Journal of Chemistry*, 2017(1). Article ID: 2163218. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/2163218>. (Special Issue: Dietary Fiber: Chemistry, Structure, and Properties).
- Irawan, C., Yuniar, S., Khotimah, H., Nata, I. F. et al. 2020. High adsorption capacity of activated carbon from rubber seed shells on tofu (soybean whey) wastewater. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 499. Article number: 012009. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/499/1/012009>. (International Symposium on Wetlands Environmental Management 5–7 November 2019, Banjarbaru, Indonesia).
- Jiang, G., Bai, X., Wu, Z., Li, S. et al. 2021. Modification of ginseng insoluble dietary fiber through alkaline hydrogen peroxide treatment and its impact on structure, physicochemical and functional properties. *LWT*, 150. Article number: 111956. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111956>.
- Kumar, D., Chatli, M. K., Mehta, N., Verma, A. K. et al. 2015. Quality evaluation of chevon patties fortified with dietary fibre. *Indian Journal of Small Ruminants (The)*, 21(1), pp. 85–91. DOI: <http://dx.doi.org/10.5958/0973-9718.2015.00040.9>.
- Mishra, B. P., Mishra, J., Paital, B., Rath, P. K. et al. 2023. Properties and physiological effects of dietary fiber-enriched meat products: A review. *Frontiers in Nutrition*, 10. Article number: 1275341. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1275341>.
- Mussatto, S. I., Rocha, G. J. M., Roberto, I. C. 2008. Hydrogen peroxide bleaching of cellulose pulps obtained from brewer's spent grain. *Cellulose*, 15, pp. 641–649. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-008-9198-4>.
- Nowacka, M., Trusinska, M., Chraniuk, P., Drudi, F. et al. 2023. Developments in plant proteins production for meat and fish analogues. *Molecules*, 28(7). Article number: 2966. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28072966>.
- Preece, K. E., Hooshyar, N., Zuidam, N. J. 2017. Whole soybean protein extraction processes: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 43, pp. 163–172. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.024>.
- Rabonatahiry, N., Li, H., Yu, L., Li, M. 2021. Rapeseed (*Brassica napus*): Processing, utilization, and genetic improvement. *Agronomy*, 11(9). Article number: 1776. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11091776>.
- Sim, S. Y. J., SRV, A., Chiang, J. H., Henry, C. J. 2021. Plant proteins for future foods: A roadmap. *Foods*, 10(8). Article number: 1967. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10081967>.
- Singh, R., Langyan, S., Sangwan, S., Rohtagi, B. et al. 2022. Protein for human consumption from oilseed cakes: A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. Article number: 856401. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.856401>.

- Stone, A. K., Karalash, A., Tyler, R. T., Warkentin, T. D. et al. 2015. Functional attributes of pea protein isolates prepared using different extraction methods and cultivars. *Food Research International*, 76, Part 1, pp. 31–38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.017>.
- Talukder, S. 2015. Effect of dietary fiber on properties and acceptance of meat products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(7), pp. 1005–1011. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.682230>.
- Younis, K., Yousuf, O., Qadri, O. S., Jahan, K. et al. 2022. Incorporation of soluble dietary fiber in comminuted meat products: Special emphasis on changes in textural properties. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 27. Article number: 100288. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100288>.

Сведения об авторах

Дегтярев Иван Александрович – Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 125080;
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), аспирант;
e-mail: Ivand152@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3842-1391>

Ivan A. Degtyarev – 11 Volokolamsk Highway, Moscow, Russia, 125080;
Russian University of Biotechnology (ROSBIOTECH), PhD Student;
e-mail: Ivand152@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3842-1391>

Карачун Александра Игоревна – Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 125080;
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), бакалавр;
e-mail: alexandra155@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2137-762X>

Alexandra I. Karachun – 11 Volokolamsk Highway, Moscow, Russia, 125080;
Russian University of Biotechnology (ROSBIOTECH), Bachelor;
e-mail: alexandra155@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2137-762X>

Фоменко Иван Андреевич – Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 125080;
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), канд. техн. наук, доцент;
e-mail: iv.fomenko@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2478-1705>

Ivan A. Fomenko – 11 Volokolamsk Highway, Moscow, Russia, 125080;
Russian University of Biotechnology (ROSBIOTECH), Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: iv.fomenko@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2478-1705>