

УДК577.112:633.85

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2024-387-10-185-191

И.Э. Миневич ✉

В.И. Ущачовский

А.А. Яковлева

Л.А. Зайцева

Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

✉ i.minevich@fncl.ru

Поступила в редакцию: 29.06.2024

Одобрена после рецензирования: 12.09.2024

Принята к публикации: 26.09.2024

© Миневич И.Э., Ущачовский В.И., Яковлева А.А., Зайцева Л.А.

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2024-387-10-185-191

Irina E. Minevich ✉

Valentin I. Ushchapovsky

Agata A. Yakovleva

Lyubov A. Zaitseva

Federal Scientific Center of Bast Crops, Tver, Russia

✉ i.minevich@fncl.ru

Received by the editorial office: 29.06.2024

Accepted in revised: 12.09.2024

Accepted for publication: 26.09.2024

© Minevich I.E., Ushchapovsky V.I., Yakovleva A.A., Zaitseva L.A.

Влияние способа переработки семян рапса на их белковый комплекс

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Переработка вторичного рапсового сырья является перспективным направлением для повышения эффективности производства этой сельскохозяйственной культуры.

Методы. Обезжиривание фракции ядра семян рапса проводили экстракцией гексаном, водно-спиртовую обработку обезжиренного ядра рапса — смесью вода + этанол (3:7). Фракционный состав белкового комплекса семян рапса определяли последовательной экстракцией дистиллированной водой, 7%-ным раствором NaCl и 0,1M раствором NaOH. Выделение белка: экстрагент — раствор NaCl (70 г/л), pH — 9,0, T — 50 °C, продолжительность — 90 мин. Белок осаждали при pH 4,8 и сушили в микроволновой печи при мощности 500 Вт в течение 3–4 мин.

Спектры поглощения белковых фракций семян рапса регистрировали на спектрофотометре ПЭ-5400 УФ с помощью программы SC5400.

Результаты. Было показано, что обезжиривание методом экстракции гексаном способствовало увеличению содержания глобулинов (на 8,5%) при уменьшении альбуминов (на 3,0%) и глютелинов (на 3,3%).

Анализ УФ-спектров этих белковых фракций показал присутствие синаповой кислоты во фракциях альбуминов и глобулинов.

Водно-спиртовая обработка обезжиренного ядра рапса, проводимая для удаления фенольных соединений, способствовала частичному выведению белка из сырья (содержание белка снизилось с 39,06 до 32,34%), ограниченной денатурации белка, которая приводит к снижению растворимости белка и выхода белка в экстракт, на что указывает уменьшение выхода белкового продукта относительно сырья с 26,4 до 15,3%, снижение выхода белка относительно белка, содержащегося в сырье, с 28,9 до 20,3%.

Ключевые слова: семена рапса, фракция ядра рапса, протеины, белковые фракции, шроты, фенольные соединения, УФ-спектроскопия белков

Для цитирования: Миневич И.Э., Ущачовский В.И., Яковлева А.А., Зайцева Л.А. Влияние способа переработки семян рапса на их белковый комплекс. *Аграрная наука*. 2024; 387(10): 185–191.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-185-191>

The influence of the method of processing rapeseed seeds on their protein complex

ABSTRACT

Relevance. The recycling of secondary rapeseed raw materials is a perspective trend for increasing the efficiency of production of this agricultural crop.

Methods. Degreasing of the rapeseed kernel fraction was carried out by hexane extraction, water-alcohol treatment of the low-fat rapeseed kernel with a mixture of water + ethanol (3:7). The fractional composition of the rapeseed protein complex was determined by sequential extraction with distilled water, 7% NaCl solution and 0.1M NaOH solution. Protein isolation: extractant — NaCl solution (70 g/l), pH — 9.0, T — 50 °C, duration — 90 min. The protein was precipitated at pH 4.8 and dried in a microwave oven at 500 W for 3–4 minutes.

Absorption spectra of protein fractions of rapeseed seeds were recorded on a PE-5400 UV spectrophotometer using the SC5400 program.

Results. It was shown that degreasing by hexane extraction contributed to an increase in the content of globulins (by 8.5%) with a decrease in albumins (by 3.0%) and glutelins (by 3.3%).

Analysis of the UV spectra of these protein fractions showed the presence of synapic acid in the fractions of albumins and globulins.

The water-alcohol treatment of the skimmed rapeseed kernel, carried out to remove phenolic compounds, contributed to the partial removal of protein from the raw material (protein content decreased from 39.06 to 32.34%), limited protein denaturation, which leads to a decrease in protein solubility and protein yield in the extract, as indicated by a decrease in the yield of the protein product relative to the raw material from 26.4 to 15.3%, a decrease in protein yield relative to the protein contained in the raw material, from 28.9 to 20.3%.

Key words: rapeseed seeds, rapeseed kernel fraction, proteins, protein fractions, meal, phenolic compounds, UV spectroscopy of proteins

For citation: Minevich I.E., Ushchapovsky V.I., Yakovleva A.A., Zaitseva L.A. The influence of rapeseed processing on their protein complex. *Agrarian science*. 2024; 387(10): 185–191 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-185-191>

Введение/Introduction

Для решения задачи обеспечения населения дешевым и качественным белком современным трендом являются преимущественное использование растительного протеина [1–4] и создание с его использованием широкого ассортимента пищевых продуктов [5, 6].

В настоящее время основным сырьем в мировом производстве растительных белков являются три сельскохозяйственные культуры — соя, пшеница, горох¹. Помимо перечисленных, перспективными сельскохозяйственными культурами для использования в технологиях концентрирования белкового компонента являются зернобобовые и масличные [7, 8].

Масличные культуры имеют экономические преимущества по сравнению с зернобобовыми: их белок, как правило, является вторичным продуктом, и его себестоимость значительно ниже, чем у зернобобовых, которые возделывают только ради получения белка [9]. В связи с этим масличные культуры (подсолнечник, рапс, лен, арахис и др.) становятся источником не только масла, но и белка.

Среди масличных культур в России преобладает подсолнечник (14,5 млн т в 2022 г.), затем идут соя и рапс, объемы производства которых в 2022 г. составили 5,8 млн т и 4,5 млн т соответственно².

Следует отметить устойчивый рост производства рапса последние 10 лет, что связано с востребованностью продуктов его переработки (и прежде всего рапсового масла) в различных отраслях промышленности.

Несмотря на растущие объемы производства рапса в России, Правительство РФ продлило временный запрет на вывоз этой сельскохозяйственной культуры из страны³, что связано с удовлетворением потребностей в сырье отечественных перерабатывающих предприятий, производящих рапсовое масло и корма.

Увеличение объемов вторичного сырья (рапсовых жмыхов и шротов) актуализировало направление комплексной переработки этой культуры для получения дополнительной продукции с высокой добавленной стоимостью.

После выделения масла из семян рапса первым компонентом в жмыхе и шроте является белок с содержанием 33–45% [10].

Рапсовый жмых (шрот) рассматривают как источник белка вследствие его высокого содержания в сырье. О потенциале использования белков рапса в пищевой промышленности свидетельствуют сбалансированность по всем незаменимым аминокислотам, их хороший аминокислотный профиль [11–13].

Белковый комплекс рапса (рис. 1) характеризуется полным набором незаменимых аминокислот, высоким содержанием глутаминовой кислоты, значительным количеством аспарагиновой кислоты, аргинина и пролина, участвующих в нормализации обмена веществ, кровяного давления, функционировании нервной и эндокринной систем, поддержки сердечно-сосудистой системы [14, 15].

Сумма незаменимых аминокислот в белковом комплексе семян рапса превышает 0,400 мг/г белка, что свидетельствует о его пищевом потенциале.

Белки рапса (аналогично практически всем масличным семенам) большей частью являются запасными, при этом более 80% составляют водо- и солерастворимые фракции — альбумины и глобулины.

Глобулины представляет глобулярный белок круциферин (11S глобулин) с молекулярной массой 300–500 кДа. Круциферин состоит из двух полипептидных цепей α и β с молекулярной массой 32 кДа и 20 кДа соответственно.

Полипептид α включает 254–296 аминокислот, полипептид β — 189–191 аминокислоту.

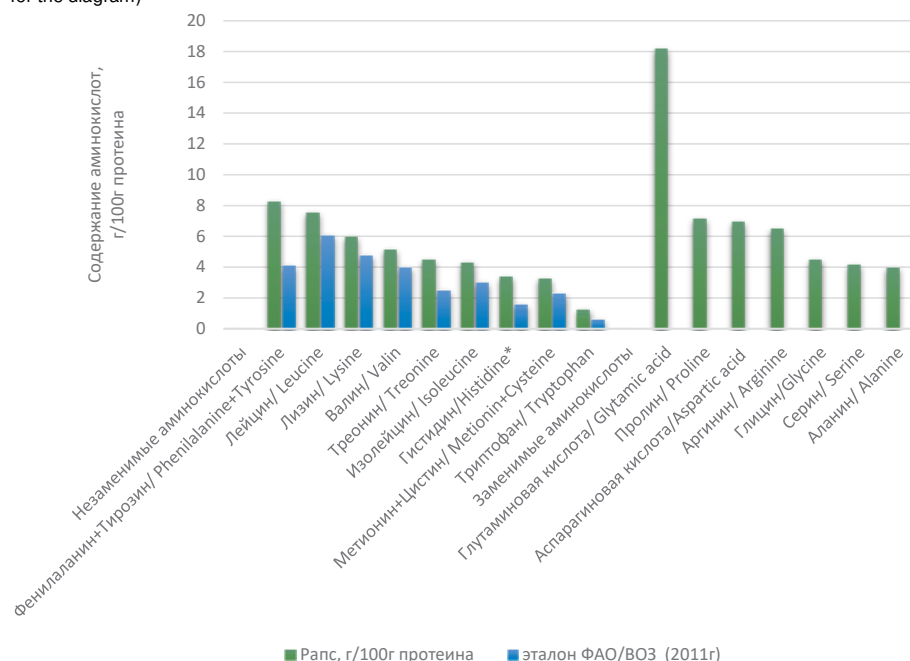
Нативная четвертичная белковая структура круциферина представляет гексамер и может распадаться на тримеры или мономеры при низких значениях pH.

Альбумин рапсового белка называют напином (молекулярная масса 12–15 кДа). Напин (2S альбумин) состоит из двух полипептидов массой 7 кДа и 11 кДа, связанных между собой дисульфидными связями. Напин содержит высокий уровень основных и серосодержащих аминокислот [17–19].

Особенностью биохимического состава семян рапса является высокий уровень фенольных соединений (не только в оболочке, но и в ядре). Рапс содержит примерно в 10 раз больше фенольных соединений, чем соевые бобы [20].

Рис. 1. Аминокислотный профиль белкового комплекса семян рапса (для диаграммы использованы усредненные данные по: [12, 13, 16])

Fig. 1. Amino acid profile of the protein complex of rapeseed seeds (averaged data on: [12, 13, 16] were used for the diagram)



¹ Рынок растительных протеинов. Мир и РФ [электронный ресурс]. — URL: <https://prcs.ru/analytics-article/rynok-rastitelny-proteinov/> (дата обращения: 12.04.2024).

² Масложировой рынок движется к рекордам. Итоги первой половины сезона 2022/23. Агроинвестор. 3 марта 2023 г. [электронный ресурс]. — URL: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/39884-maslozhirvoy-rynok-dvizhetsya-k-rekordam-itogi-pervoy-pолоviny-sezona-2022-23/> (дата обращения: 12.04.2024).

³ Постановлением Правительства РФ от 06.03.2024 № 265 по 31 августа 2024 года включительно.

Основные фенольные компоненты семян рапса — синаповая кислота и ее производные (холиновый эфир синаповой кислоты). Так, сложный эфир синаповой кислоты (холин) является водорастворимым компонентом комплекса витаминов В, и вариabельность его содержания в зависимости от генотипа может колебаться в широких пределах — в интервале 5–17,7 г/кг семян, по данным авторов [21], или 3,2–12,7 мг/г семян, как в работе [22].

Присутствие фенольных соединений, снижающих органолептические свойства белков рапса, является основным антипитательным фактором, ограничивающим их использование для пищевых целей. Именно фенольные соединения вызывают появление темной окраски белковых продуктов из семян масличных культур, особенно в случае рапса.

В щелочных условиях фенольные соединения легко подвергаются ферментативному и неферментативному окислению с образованием хинонов, которые, вступая в реакцию с белком, окрашивают белковые экстракты в темно-зеленый или коричневый цвет, а после осаждения белков в изoeлектрической точке цвет белковых продуктов невозможно отмыть. Фенольные соединения ухудшают вкус белковых продуктов, придавая им горечь [23–25].

Содержание и состав белкового комплекса, соотношения его фракций в исходных семенах рапса и продуктах их переработки могут в некоторой степени отличаться. Это объясняется влиянием вида технологической обработки сырья.

Обезжиривание масличных семян методами промышленного прессования (винтового или экспеллерного) способствует ограниченной денатурации белка, что снижает его растворимость и, следовательно, выход белка при водной экстракции⁴ [26]. Меньший выход белка из жмыха рапса, полученного шнековым прессованием (по сравнению со шротом, полученным экстракцией растворителем), показали авторы [27].

Содержание лизина в экспеллерном жмыхе или десольвентированном поджаренном шроте всегда ниже (на 9–10%), чем в исходном сырье, из-за влияния повышенной температуры при выделении масла (вероятно, вследствие протекания реакций типа Майяра) [28].

На качество белка может оказывать влияние и предварительная обработка рапсового сырья, проводимая для удаления антипитательных факторов, в том числе и фенольных соединений [29].

Таким образом, необходимы дополнительные данные по изучению влияния способа предварительной обработки на белковый комплекс семян рапса. Такие данные представляют практический интерес при разработке технологии белковых продуктов из рапсового сырья.

Цель исследования — определение соотношения белковых фракций и выхода белка в зависимости от способа переработки рапсового сырья.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

В качестве объектов исследования использовали фракцию ядра, полученную д. т. н. С. В. Зверевым при обрушивании семян рапса (производство 2021 г, Смоленская обл. Российская Федерация) в лабораторных условиях ВНИИЗ (Всероссийский научно-исследовательский

институт зерна и продуктов его переработки), и протеиновые фракции, выделенные в лаборатории переработки лубяных культур Федерального научного центра лубяных культур.

Обезжиривание фракции ядра семян рапса проводили экстракцией гексаном (хч) при 58 °С и соотношении сырья и растворителя 1:5 в течение 2 часов. Процесс экстракции при указанных параметрах повторяли три раза. После отделения от растворителя обезжиренную фракцию ядра промывали эфиром и сушили под вытяжкой при комнатной температуре.

Водно-спиртовую обработку проводили следующим образом: обезжиренное ядро рапса, измельченное в ступке, заливали смесью вода + этанол (3:7) при соотношении сырья к растворителю 10, выдерживали при комнатной температуре при постоянном перемешивании в течение 1 часа. Смесью растворителей удаляли через бумажный фильтр. Ядро рапса сушили при комнатной температуре.

Фракционный состав белкового комплекса семян рапса определяли по методу Ермакова: последовательной экстракцией дистиллированной водой, 7%-ным раствором NaCl и 0,1M раствором NaOH⁵.

Содержание белка определяли по ГОСТ 10846-91⁶, массовую долю влаги — по ГОСТ 10856-96⁷, массовую долю общей золы — по ГОСТ 13979.6-69⁸, массовую долю жира — по ГОСТ 10857-64⁹. Углеводы рассчитывали по разнице между суммой определенных значений показателей и 100%.

Экстракцию белка из рапсового сырья проводили раствором NaCl в щелочной среде с последующим кислотным осаждением белка. Параметры процесса были определены на основании предварительно проведенных экспериментов и методики, предложенной авторами [30].

Концентрация экстрагента — 70 г/л, соотношение «сырье — экстрагент» — 1:10, pH — 9,0, T — 50 ± 2 °С, продолжительность — 90 мин.

Отделение экстракта проводили центрифугированием при 4000 об/мин в течение 20 мин. («Армед 80-2S», Россия). Белок осаждали при pH 4,8 (с использованием 1н раствора HCL), выдерживали для коагуляции в течение 2 ч. После коагуляции белок отделяли центрифугированием в условиях, указанных выше. Белковый продукт сушили в микроволновой печи (LG Intellrowave, Южная Корея) при мощности 500 Вт в течение 3–4 мин.

Спектры поглощения белковых фракций семян рапса регистрировали на спектрофотометре ПЭ-5400 УФ («Экротим», Россия) с помощью программы SC5400 в диапазоне длин волн 240–340 нм, шаг сканирования — 0,1 нм. Измерения проводили в стандартной кварцевой кювете с длиной оптического пути 10 мм.

Все исследования проводили в 3-кратной повторяемости. Математический анализ данных проводили с использованием пакета программ Excel 2016® (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В качестве сырья при выделении белка из масличных семян обычно используют жмых и шрот, которые остаются после удаления масла различными способами. Предварительное обрушивание масличных семян (удаление оболочки) повышает как качество масла, так и качество вторичного сырья, увеличивая в нем содержание

⁴ Пищевая химия / под ред. А. П. Нечаева. СПб.: ГИОРД. 2003; 640.

⁵ Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. Методы биохимического исследования растений. 3-е изд., перераб. и доп. // Л.: Агропромиздат. Ленинградское отделение. 1987; 430.

⁶ ГОСТ 10846-91 Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка.

⁷ ГОСТ 10856-96 Семена масличные. Метод определения влажности.

⁸ ГОСТ 13979.6-69 Жмыхи, шроты и горчичный порошок. Методы определения золы.

⁹ ГОСТ 10857-64 Семена масличные. Методы определения масличности.

белка и снижая антипитательные факторы, характерные для индивидуальной сельхозкультуры [31].

Анализ экономической целесообразности обрушивания семян рапса в промышленных масштабах, проведенный авторами, показал, что удаление темной оболочки является экономически рентабельным вариантом, при котором можно получать белковые продукты с высокой добавленной стоимостью [31].

Для исследований использовали фракцию ядра семян рапса, характеристики которой представлены в таблице 1.

Массовая доля примесей (оболочка и необрушенные семена) во фракции ядра составляла не более 2%.

Обезжиривание фракции ядра семян рапса в лабораторных условиях проводили экстракцией гексаном. Для определения влияния этого способа обезжиривания на состояние белкового комплекса определяли количество и соотношение белковых фракций в сырье до и после обработки.

Результаты исследования представлены на рисунке 2.

Обработка гексаном при температуре 58 °С приводит к изменению соотношения белковых фракций: увеличению количества глобулинов (на 8,5%), снижению альбуминов (на 3,0%) и глютелинов (на 3,3%).

Известно, что органические растворители нарушают гидрофобные взаимодействия и разрывают водородные связи, что приводит к изменению конформации белков¹⁰.

Дополнительно были сняты УФ-спектры этих фракций (в виде неочищенных белковых экстрактов), которые последовательно выделяли из сырья. УФ-спектры белковых фракций, выделенных из фракции ядра семян рапса до и после обезжиривания, представлены на рисунке 3.

Полосы поглощения белков чувствительны к различным влияниям, которые действуют на л-электроны ароматических аминокислот. Это различные типы комплексообразования, ионные и дипольные взаимодействия, образование водородных и иных связей функциональными группами, присоединенными к ароматическим (бензольным, индольным) ядрам¹¹.

Белки рапса (и прежде всего низкомолекулярные альбумины рапса) образуют устойчивые комплексы с синаповой кислотой и ее производными, о чем свидетельствуют данные ряда источников [19, 33].

Следует отметить на спектрах максимум при λ 321(318) нм, который относят к проявлению синаповой кислоты, связанной с белками [34, 35]. Связи

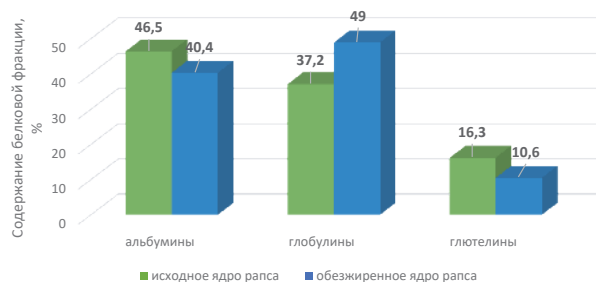
Таблица 1. Физико-химические показатели исходной фракции ядра рапса

Table 1. Physico-chemical indicators of the initial fraction of the rapeseed kernel

Показатель	Значение показателя, %
Массовая доля белка	25,20 ± 1,26
Массовая доля жира	37,40 ± 1,87
Массовая доля влаги	5,30 ± 0,26
Массовая доля общей золы	3,55 ± 0,18
Массовая доля углеводов	28,55 ± 1,43

Рис. 2. Изменение соотношения белковых фракций в ядре семян рапса в процессе его обезжиривания

Fig. 2. Changes in the ratio of protein fractions in the kernel of rapeseeds during its defatting



белков альбуминовой и глобулиновой фракций семян рапса с синаповой кислотой и ее производными были выявлены авторами [34–36] методами ВЭЖХ и капиллярным электрофорезом.

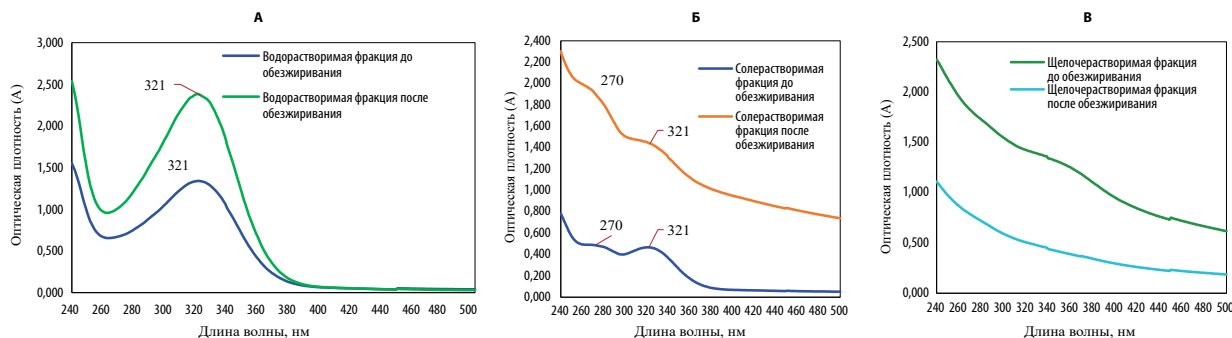
Учитывая изложенные выше результаты опубликованных исследований, можно предположить, что в комплексах белка с синаповой кислотой аминокислоты, содержащие хромофоры, находятся во внутренней области белка («спрятаны») и не проявляются на УФ-спектрах.

На спектре глютелиновой фракции нет значительного проявления фенольных соединений (небольшой холм в области 318–400 нм). Так как выделение фракций проводилось последовательно, то можно предположить, что фенольные соединения, в частности синаповая кислота, образуют связи в основном с белками альбуминовой и глобулиновой фракций.

Несмотря на одинаковую форму спектров до и после процесса обработки, оптическая плотность была значительно выше для образцов, выделенных из обезжиренного сырья (рис. 3, табл. 2).

Рис. 3. УФ-спектры белковых фракций, выделенных из ядра семян рапса до обезжиривания и после обезжиривания: А — водорастворимая фракция, Б — солерастворимая фракция, В — щелочерастворимая фракция

Fig. 3. UV spectra of protein fractions isolated from the kernel of rapeseeds before defatting and after defatting: А — water-soluble fraction, В — salt-soluble fraction, С — alkali-soluble fraction



¹⁰ Химия пищевых продуктов. Ш. Дамодаран, К.Л. Паркин, О.Р. Феннема (ред.-сост.). Перев. с англ. СПб.: Профессия. 2017; 1040.

¹¹ Артюхов В.Г., Ковалева Т.А., Наквасина М.А., Башарина О.В., Путинцева О.В., Шмелева В.П. Биофизика. Академический проект. 2020; 294.

¹² Карнаухова Л.И., Тупицын Е.Н. УФ-спектроскопия биологических макромолекул: учебно-методическое пособие. Саратов. 2002.

Таблица 2. Оптическая плотность образцов белковых фракций до и после обезжиривания

Table 2. Optical density of protein fraction samples before and after defatting

Фракция ядра рапса	Белковые фракции		
	водорастворимая	солерастворимая	щелочерастворимая
	Оптическая плотность (D)		
До обезжиривания	$\lambda_{321} — 1350$	$\lambda_{321} — 0,455$ $\lambda_{265} — 0,500$	$\lambda_{318} — 1400$
После обезжиривания	$\lambda_{321} — 2380$	$\lambda_{321} — 1500$ $\lambda_{265} — 2000$	

Можно предположить, что повышение оптической плотности зависит от изменения конформации белков, связанных с синаповой кислотой.

Как было сказано выше, нарушение водородных связей при обработке органическим растворителем и нагревании приводит к переходу полипептидных цепей из упорядоченного состояния в разупорядоченное, объем молекулы увеличивается, в результате происходит изменение интенсивности поглощения, хотя положение пиков и форма спектров практически не меняются или меняются незначительно. Поэтому увеличение оптической плотности УФ-спектров поглощения может происходить в результате ограниченной денатурации белков, связанных в комплексы с фенольными соединениями.

Таким образом, в обезжиренной фракции ядра рапса белки частично денатурированы, причем белки альбуминовой и глобулиновой фракций, вероятно, находятся в виде комплексов с синаповой кислотой или ее производными.

Полученные данные следует учитывать при последующей переработке обезжиренной фракции ядра.

Основным направлением переработки обезжиренного ядра рапса является получение белковых продуктов. Выделение белка из такого сырья осложняет наличие фенольных соединений, снижающих прежде всего органолептические свойства целевого белкового продукта (темный цвет, горький привкус).

В данной работе были проведены исследования по предварительному удалению фенольных соединений из сырья и получению белкового продукта. Удаление фенольных соединений проводили водно-спиртовой обработкой обезжиренной фракции ядра рапса.

Эффективность выделения белка из фракции ядра семян рапса представлена в таблице 3.

Анализ результатов (табл. 3) позволяет сделать выводы. Предварительное удаление фенольных соединений водно-спиртовой обработкой способствует: частичному выведению белка из сырья — содержание белка снизилось с 39,06% (до обработки) до 32,34% (после обработки); ограниченной денатурации белка, которая приводит к снижению растворимости белка и выхода белка в экстракт, на что указывает понижение

уровня такого показателя, как сухой остаток экстракта (с 9,04 до 3,82%); сокращению выхода белкового продукта относительно сырья (с 26,4 до 15,3%), о чем свидетельствует анализ остатка сырья; уменьшению выхода белка относительно белка, содержащегося в сырье (с 28,9 до 20,3%).

Полученные данные коррелируют с результатами, представленными в работе [29], где пока-

зано снижение выхода белка после водно-этанольной обработки рапсовой муки.

Таким образом, предварительная водно-спиртовая обработка рапсового сырья не подходит для использования в промышленном технологическом процессе, необходимо рассматривать удаление фенольных соединений, связанных с белками рапса, на других технологических стадиях при получении пищевого белкового продукта из рапсового сырья.

Выводы/Conclusions

В результате исследований выявлены изменения в белковом комплексе рапса, протекающие при обезжиривании фракции ядра методом экстракции гексаном и при удалении фенольных соединений методом водно-спиртовой обработки обезжиренной фракции ядра рапса.

Было показано, что обезжиривание методом экстракции гексаном способствовало перераспределению белковых фракций, а именно увеличению содержания глобулинов (на 8,5%) при уменьшении альбуминов (на 3,0%) и глютелинов (на 3,3%).

Методом УФ-спектроскопии показано наличие в альбуминовой и глобулиновой фракциях синаповой кислоты с характерным для нее максимумом поглощения (321 нм). Выявлено повышение оптической плотности УФ-спектров альбумина и глобулина после обработки гексаном при сохранении их формы.

Водно-спиртовая обработка обезжиренного ядра семян рапса способствовала частичному выведению белка из сырья — содержание белка снизилось с 39,06% (до обработки) до 32,34% (после обработки), снижению растворимости белка, о чем свидетельствует снижение выхода белкового продукта относительно сырья (с 26,4 до 15,3%).

В связи с этим предварительная водно-спиртовая обработка рапсового сырья неэффективна для использования в промышленном технологическом процессе, необходимо рассматривать удаление фенольных соединений, связанных с белками рапса, на других технологических стадиях при получении пищевого белкового продукта из рапсового сырья.

Таблица 3. Эффективность выделения белка из фракции ядра рапса

Table 3. Efficiency of protein isolation from rapeseed kernel fraction

Сырье		Белковые продукты				Остаток сырья	
Наименование	Содержание белка, %	белковый экстракт	Белковый продукт			Количество, %	Белок, %
		P — сухой остаток, %	белок, %	выход по сырью, %	выход по белку, %		
Обезжиренная фракция ядра рапса	39,06 ± 1,95	9,04 ± 0,45	42,14 ± 2,11	26,40 ± 1,30	28,90 ± 1,40	52,90 ± 2,60	21,61 ± 1,08
Обезжиренная фракция ядра рапса после водно-спиртовой обработки	32,34 ± 1,62	3,82 ± 0,19	43,00 ± 2,15	15,30 ± 0,80	20,30 ± 1,00	74,80 ± 3,70	27,26 ± 1,36

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования России в части выполнения работ, предусмотренных государственным заданием (тема № FGSS-2022-0007 «Федеральный научный центр лубяных культур»).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексаночкин Д.И., Фоменко И.А., Алексеева Е.А., Чернуха И.М., Машенцева Н.Г. Получение растительного белка из семян и жмыха промышленной конопли: обзор способов переработки для использования в пищевой промышленности. *Пищевые системы*. 2024; 7(2): 188–197. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-188-197>
2. Колпакова В.В., Фан К.Ч., Гайворонская И.С., Чумикина Л.В. Свойства и структурные особенности белков нативных и модифицированных концентратов из белого и коричневого риса. *Пищевые системы*. 2023; 6(3): 317–328. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-317-328>
3. Shafiq M. *et al.* Development and quality cum nutritional assessment based on physical properties for corn extruded snacks enriched with protein and carbohydrates: a remedy to malnutrition for society. *Potravinarstvo*. 2024; (18): 633–653. <https://doi.org/10.5219/1942>
4. Зубова Е.В., Залетова Т.В., Капитанова Г.И., Терехова О.Б., Родыгина Н.В. Пищевая ценность белого люпина и перспективы его использования в производстве продуктов питания из растительного сырья. *Аграрная наука*. 2023; (4): 137–144. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-137-144>
5. Дегтярев И.А., Фоменко И.А., Мижева А.А., Серба Е.М., Машенцева Н.Г. Белковые препараты из отходов переработки рапса: обзор современного состояния и перспектив развития существующих технологий. *Пищевые системы*. 2023; 6(2): 159–170. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-159-170>
6. Варивода А.А., Кенийз Н.В., Ребезов М.Б. Разработка научно обоснованных подходов к проектированию специализированных пищевых продуктов для геродиетического питания. *Аграрная наука*. 2023; (12): 143–150. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-143-150>
7. Бычкова Е.С., Рождественская Л.Н., Погорова В.Д., Госман В.Д., Бычков А.Л., Ломовский О.И. Технологические особенности и перспективы использования растительных белков в индустрии питания. Часть 1. Анализ пищевой и биологической ценности высокобелковых продуктов растительного происхождения. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2018; (2): 53–57. <https://www.elibrary.ru/xurrzb>
8. Доморошченкова М.Л. Современные тенденции развития технологий и рынка растительных белков из масличных семян. *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров*. 2013; (2): 38–43. <https://www.elibrary.ru/qcsiax>
9. Кудинов П.И., Шчехолдина Т.В., Слизка А.С. Современное состояние и структура мировых ресурсов растительного белка. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2012; (5–6): 7–10. <https://www.elibrary.ru/pjqjwd>
10. Рензяева Т.В., Рензяев А.О., Кравченко С.Н., Резниченко И.Ю. Потенциал рапсовых жмыхов в качестве сырья пищевого назначения. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2020; (2): 143–160. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.213>
11. Рензяев А.О., Кравченко С.Н. Метод переработки рапса обрушиванием семян и удалением оболочки. *Вестник КРАСГАУ*. 2022; (6): 210–216. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-6-210-216>
12. Поморова Ю.Ю., Пятковский В.В., Бескоровайный Д.В., Серова Ю.М., Болховитина Ю.С., Шемет Ю.Ю. Общий химический и аминокислотный состав семян наиболее распространенных масличных культур семейства *Brassicaceae* (обзор). *Масличные культуры*. 2021; (3): 78–90. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2021-3-187-78-90>
13. Wanasundara J.P.D., Tan S., Alashi A.M., Pudiel F., Blanchard C. Proteins From Canola/Rapeseed: Current Status. Nadathur S.R., Wanasundara J.P.D., Scanlin L. (eds.). Sustainable Protein Sources. *Academic Press*. 2016; 285–304. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00018-4>
14. Tan S.H., Mailer R.J., Blanchard C.L., Agboola S.O. Canola Proteins for Human Consumption: Extraction, Profile, and Functional Properties. *Journal of Food Science*. 2011; 76(1): R16–R28. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01930.x>
15. Кудряшева А.А., Преснякова О.П. Медико-биологические особенности натуральных пищевых аминокислот. *Пищевая промышленность*. 2014; (3): 68–73. <https://www.elibrary.ru/rwftmt>
16. Дегтярев И.А., Фоменко И.А., Мижева А.А., Серба Е.М., Машенцева Н.Г. Белковые препараты из отходов переработки рапса: обзор современного состояния и перспектив развития существующих технологий. *Пищевые системы*. 2023; 6(2): 159–170. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-159-170>
17. Perera S.P., McIntosh T.C., Wanasundara J.P.D. Structural Properties of Cruciferin and Napin of *Brassica napus* (Canola) Show Distinct Responses to Changes in pH and Temperature. *Plants*. 2016; 5(3): 36. <https://doi.org/10.3390/plants5030036>
18. Nietzel T. *et al.* The Native Structure and Composition of the Cruciferin Complex in *Brassica napus*. *Journal of Biological Chemistry*. 2013; 288(4): 2238–2245. <https://doi.org/10.1074/jbc.M112.356089>

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

FUNDING

The study was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of Russia in terms of the work provided for by the state assignment (topic No. FGSS-2022-0007 “Federal Scientific Center of Bast Crops”).

REFERENCES

1. Aleksanochkin D.I., Fomenko I.A., Alekseeva E.A., Chernukha I.M., Mashentseva N.G. Production of plant protein from seeds and cake of industrial hemp: Overview of processing methods for food industry. *Food systems*. 2024; 7(2): 188–197 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-188-197>
2. Kolpakova V.V., Fan Q.Ch., Gaivoronskaya I.S., Chumikina L.V. Properties and structural features of native and modified proteins of concentrates from white and brown rice. *Food systems*. 2023; 6(3): 317–328 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-317-328>
3. Shafiq M. *et al.* Development and quality cum nutritional assessment based on physical properties for corn extruded snacks enriched with protein and carbohydrates: a remedy to malnutrition for society. *Potravinarstvo*. 2024; (18): 633–653. <https://doi.org/10.5219/1942>
4. Zubova E.V., Zaletova T.V., Kapitanova G.I., Terekhova O.B., Rodygina N.V. Nutritional value of white lupin and prospects of its use in the production of food from vegetable raw materials. *Agrarian science*. 2023; (4): 137–144 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-137-144>
5. Degtyarev I.A., Fomenko I.A., Mizheva A.A., Serba E.M., Mashentseva N.G. Protein preparations from rapeseed processing waste: A review of the current status and development prospects of existing technologies. *Food systems*. 2023; 6(2): 159–170 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-159-170>
6. Varivoda A.A., Keniyz N.V., Rebezov M.B. Development of scientifically based approaches to the design of specialized food products for gerodietetic nutrition. *Agrarian science*. 2023; (12): 143–150 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-143-150>
7. Bychkova E.S., Rozhdestvenskaya L.N., Pogorova V.D., Gosman D.V., Bychkov A.L., Lomovsky O.I. Technological features and prospects of using vegetable proteins in the food industry. Part 1. Analysis of the nutritional and biological value of high-protein vegetable products. *Storage and Processing of Farm Products*. 2018; (2): 53–57 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xurrzb>
8. Domoroshchenkova M.L. Modern tendencies of oil seed protein technologies and market development. *Vestnik of the All-Russia scientific research Institute of fats*. 2013; (2): 38–43 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qcsiax>
9. Kudinov P.I., Shchekoldina T.V., Slizkaya A.S. Current status and structure of vegetable protein world resources. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2012; (5–6): 7–10 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/pjqjwd>
10. Renzyaeva T.V., Renzyaev A.O., Kravchenko S.N., Reznichenko I.Yu. Capabilities of Rapeseed Oilcake as Food Raw Materials. *Storage and Processing of Farm Products*. 2020; (2): 143–160 (in Russian). <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.213>
11. Renzyaev A.O., Kravchenko S.N. Method for rapeseed processing by seed hulling and shell removal. *Bulletin of KrasGAU*. 2022; (6): 210–216 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-6-210-216>
12. Pomorova Yu.Yu., Pyatovsky V.V., Beskorovayny D.V., Serova Yu.M., Bolkhovitina Yu.S., Shemet Yu.Yu. General chemical and amino acid compositions of the most widespread oil crops of *Brassicaceae* family (review). *Oil Crops*. 2021; (3): 78–90 (in Russian). <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2021-3-187-78-90>
13. Wanasundara J.P.D., Tan S., Alashi A.M., Pudiel F., Blanchard C. Proteins From Canola/Rapeseed: Current Status. Nadathur S.R., Wanasundara J.P.D., Scanlin L. (eds.). Sustainable Protein Sources. *Academic Press*. 2016; 285–304. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00018-4>
14. Tan S.H., Mailer R.J., Blanchard C.L., Agboola S.O. Canola Proteins for Human Consumption: Extraction, Profile, and Functional Properties. *Journal of Food Science*. 2011; 76(1): R16–R28. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01930.x>
15. Kudryasheva A.A., Presnyakova O.P. Medical and biological features of natural food amino acids. *Food Industry*. 2014; (3): 68–73 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/rwftmt>
16. Degtyarev I.A., Fomenko I.A., Mizheva A.A., Serba E.M., Mashentseva N.G. Protein preparations from rapeseed processing waste: A review of the current status and development prospects of existing technologies. *Food systems*. 2023; 6(2): 159–170 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-159-170>
17. Perera S.P., McIntosh T.C., Wanasundara J.P.D. Structural Properties of Cruciferin and Napin of *Brassica napus* (Canola) Show Distinct Responses to Changes in pH and Temperature. *Plants*. 2016; 5(3): 36. <https://doi.org/10.3390/plants5030036>
18. Nietzel T. *et al.* The Native Structure and Composition of the Cruciferin Complex in *Brassica napus*. *Journal of Biological Chemistry*. 2013; 288(4): 2238–2245. <https://doi.org/10.1074/jbc.M112.356089>

19. Wanasundara J.P.D., McIntosh T.C., Perera S.P., Withana-Gamage T.S., Mitra P. Canola/rapeseed protein-functionality and nutrition. *OCL — Oilseeds and fats, Crops and Lipids*. 2016; 23(4): D407. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016028>
20. Xu L., Diosady L.L. Removal of phenolic compounds in the production of high-quality canola protein isolates. *Food Research International*. 2002; 35(1): 23–30. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00159-9](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00159-9)
21. Velasco L., Möllers C. Nondestructive Assessment of Sinapic Acid Esters in Brassica Species: II. Evaluation of Germplasm and Identification of Phenotypes with Reduced Levels. *Crop Science*. 1998; 38(6): 1650–1654. <https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800060039x>
22. Zum Felde T., Baumert A., Strack D., Becker H.C., Möllers C. Genetic variation for sinapate ester content in winter rapeseed (*Brassica napus* L.) and development of NIRS calibration equations. *Plant Breeding*. 2007; 126(3): 291–296. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2007.01342.x>
23. Yang S.-C. et al. Identification and Determination of Phenolic Compounds in Rapeseed Meals (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*. 2015; 4(1): 14–23. <https://doi.org/10.4236/jacen.2015.41002>
24. Rawel H.M., Meidtnr K., Kroll J. Binding of Selected Phenolic Compounds to Proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005; 53(10): 4228–4235. <https://doi.org/10.1021/jf0480290>
25. Шагинова Л.О., Крылова И.В., Демьяненко Т.Ф., Доморошченкова М.Л. Исследование процесса получения белкового препарата из семян подсолнечника для использования в пищевой промышленности. *Новые технологии*. 2021; 17(3): 41–50. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-3-41-50>
26. Fetzer A., Herfellner T., Stäbler A., Menner M., Eisner P. Influence of process conditions during aqueous protein extraction upon yield from pre-pressed and cold-pressed rapeseed press cake. *Industrial Crops and Products*. 2018; 112: 236–246. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.011>
27. Manampri W.A.R., Chang S.K.C., Wiesenborn D.P., Pryor S.W. Impact of Meal Preparation Method and Extraction Procedure on Canola Protein Yield and Properties. *Biological Engineering Transactions*. 2012; 5(4): 191–200. <https://doi.org/10.13031/2013.42456>
28. Newkirk R.W., Classen H.L., Edney M.J. Effects of prepress-solvent extraction on the nutritional value of canola meal for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*. 2003; 104(1–4): 111–119. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(02\)00331-0](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(02)00331-0)
29. Kalaydzhev H. et al. Valorization of Rapeseed Meal: Influence of Ethanol Antinutrients Removal on Protein Extractability, Amino Acid Composition and Fractional Profile. *Waste and Biomass Valorization*. 2020; 11(6): 2709–2719. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-00553-1>
30. Nosenko T., Kot T., Kichshenko V. Rape Seeds as a Source of Feed and Food Proteins. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2014; 64(2): 109–114. <https://doi.org/10.2478/pjfn-2013-0007>
31. Dimić E., Premović T., Takači A. Effects of the contents of impurities and seed hulls on the quality of cold-pressed sunflower oil. *Czech Journal of Food Sciences*. 2012; 30(4): 343–350. <https://doi.org/10.17221/179/2011-CJFS>
32. Carré P., Quinsac A., Citeau M., Fine F. A re-examination of the technical feasibility and economic viability of rapeseed dehulling. *OCL — Oilseeds and fats, Crops and Lipids*. 2015; 22(3): D304. <https://doi.org/10.1051/ocl/2014044>
33. Yang J. Rethinking plant protein extraction: Interfacial and foaming properties of mildly derived plant protein extracts. PhD Thesis. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University. 2021; 210. <https://doi.org/10.18174/543524>
34. Kosińska A., Chavan U.D., Amarowicz R. Separation of low molecular weight rapeseed proteins by RP-HPLC-DAD — a short report. *Czech Journal of Food Sciences*. 2006; 24(1): 41–44. <https://doi.org/10.17221/3292-CJFS>
35. Karamać M., Maryniak A., Amarowicz R. Application of HPLC-DAD for detection of phenolic compounds bound to rapeseed 12S globulin — a short report. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2004; 54(3): 233–236.
36. Amarowicz R., Panasiuk R., Pari L. Separation of low molecular rapeseed proteins by capillary electrophoresis. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2003; 53(S1): 7–9.
19. Wanasundara J.P.D., McIntosh T.C., Perera S.P., Withana-Gamage T.S., Mitra P. Canola/rapeseed protein-functionality and nutrition. *OCL — Oilseeds and fats, Crops and Lipids*. 2016; 23(4): D407. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016028>
20. Xu L., Diosady L.L. Removal of phenolic compounds in the production of high-quality canola protein isolates. *Food Research International*. 2002; 35(1): 23–30. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00159-9](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00159-9)
21. Velasco L., Möllers C. Nondestructive Assessment of Sinapic Acid Esters in Brassica Species: II. Evaluation of Germplasm and Identification of Phenotypes with Reduced Levels. *Crop Science*. 1998; 38(6): 1650–1654. <https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800060039x>
22. Zum Felde T., Baumert A., Strack D., Becker H.C., Möllers C. Genetic variation for sinapate ester content in winter rapeseed (*Brassica napus* L.) and development of NIRS calibration equations. *Plant Breeding*. 2007; 126(3): 291–296. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2007.01342.x>
23. Yang S.-C. et al. Identification and Determination of Phenolic Compounds in Rapeseed Meals (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*. 2015; 4(1): 14–23. <https://doi.org/10.4236/jacen.2015.41002>
24. Rawel H.M., Meidtnr K., Kroll J. Binding of Selected Phenolic Compounds to Proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005; 53(10): 4228–4235. <https://doi.org/10.1021/jf0480290>
25. Shaginova L.O., Krylova I.V., Demianenko T.F., Domoroshchenkova M.L. Study of a process of obtaining of protein preparation from sunflower seeds for application in food industry. *New Technologies*. 2021; 17(3): 41–50 (in Russian). <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-3-41-50>
26. Fetzer A., Herfellner T., Stäbler A., Menner M., Eisner P. Influence of process conditions during aqueous protein extraction upon yield from pre-pressed and cold-pressed rapeseed press cake. *Industrial Crops and Products*. 2018; 112: 236–246. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.011>
27. Manampri W.A.R., Chang S.K.C., Wiesenborn D.P., Pryor S.W. Impact of Meal Preparation Method and Extraction Procedure on Canola Protein Yield and Properties. *Biological Engineering Transactions*. 2012; 5(4): 191–200. <https://doi.org/10.13031/2013.42456>
28. Newkirk R.W., Classen H.L., Edney M.J. Effects of prepress-solvent extraction on the nutritional value of canola meal for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*. 2003; 104(1–4): 111–119. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(02\)00331-0](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(02)00331-0)
29. Kalaydzhev H. et al. Valorization of Rapeseed Meal: Influence of Ethanol Antinutrients Removal on Protein Extractability, Amino Acid Composition and Fractional Profile. *Waste and Biomass Valorization*. 2020; 11(6): 2709–2719. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-00553-1>
30. Nosenko T., Kot T., Kichshenko V. Rape Seeds as a Source of Feed and Food Proteins. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2014; 64(2): 109–114. <https://doi.org/10.2478/pjfn-2013-0007>
31. Dimić E., Premović T., Takači A. Effects of the contents of impurities and seed hulls on the quality of cold-pressed sunflower oil. *Czech Journal of Food Sciences*. 2012; 30(4): 343–350. <https://doi.org/10.17221/179/2011-CJFS>
32. Carré P., Quinsac A., Citeau M., Fine F. A re-examination of the technical feasibility and economic viability of rapeseed dehulling. *OCL — Oilseeds and fats, Crops and Lipids*. 2015; 22(3): D304. <https://doi.org/10.1051/ocl/2014044>
33. Yang J. Rethinking plant protein extraction: Interfacial and foaming properties of mildly derived plant protein extracts. PhD Thesis. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University. 2021; 210. <https://doi.org/10.18174/543524>
34. Kosińska A., Chavan U.D., Amarowicz R. Separation of low molecular weight rapeseed proteins by RP-HPLC-DAD — a short report. *Czech Journal of Food Sciences*. 2006; 24(1): 41–44. <https://doi.org/10.17221/3292-CJFS>
35. Karamać M., Maryniak A., Amarowicz R. Application of HPLC-DAD for detection of phenolic compounds bound to rapeseed 12S globulin — a short report. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2004; 54(3): 233–236.
36. Amarowicz R., Panasiuk R., Pari L. Separation of low molecular rapeseed proteins by capillary electrophoresis. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2003; 53(S1): 7–9.

ОБ АВТОРАХ**Ирина Эдуардовна Миневич**

доктор технических наук, главный научный сотрудник
i.minevich@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8558-4257>

Валентин Игоревич Ушаповский

младший научный сотрудник
v.uschapovsky@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1620-3323>

Агата Анатольевна Яковлева

младший научный сотрудник
a.goncharova@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5977-5669>

Любовь Анатольевна Зайцева

младший научный сотрудник
l.zaitzeva@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8902-7618>

Федеральный научный центр лубяных культур,
Комсомольский пр-т, 17/56, Тверь, 170041, Россия

ABOUT THE AUTHORS**Irina Eduardovna Minevich**

Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher
i.minevich@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8558-4257>

Valentin Igorevich Ushchapovsky

Junior Research Assistant
v.uschapovsky@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1620-3323>

Agata Anatolievna Yakovleva

Junior Researcher Assistant
a.goncharova@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5977-5669>

Lyubov Anatolievna Zaitseva

Junior Researcher Assistant
l.zaitzeva@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8902-7618>

Federal Scientific Center of Bast Crops,
17/56 Komsomolsky Prospekt, Tver, 170041, Russia