

Агата Анатольевна Яковлева^{1✉}, Валентин Игоревич Ущачовский²,
Любовь Анатольевна Зайцева³, Ирина Эдуардовна Миневи⁴

^{1,2,3,4}ФНЦ лубяных культур, Тверь, Россия

¹a.goncharova@fncl.ru

²v.uschapovsky@fncl.ru

³l.zaitzeva@fncl.ru

⁴i.minevich@fncl.ru

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ БЕЛКА ИЗ РАПСОВОЙ МУКИ

Цель исследования – определение рациональных технологических параметров экстракции белка из рапсовой муки для дальнейшего масштабирования процесса. Задачи: изучение влияния гидромодуля, продолжительности экстракции, pH, температуры и концентрации экстрагента на выход белка в экстракт; определение рациональных параметров экстракции. Исследование проводили на базе лаборатории переработки лубяных культур ФНЦ лубяных культур в г. Тверь. Объект исследования – полуобезжиренная рапсовая мука, которую получали из фракции ядер семян рапса (содержание примесей оболочек – 2 %). Физико-химические показатели рапсовой муки: содержание белка составило 32 %; жира – 16; зольность – 6; влажность – 7 %. Для определения влияния каждого из параметров экстракции на выход белкового продукта в экстракт был составлен набор матриц параметров. В полученных белковых экстрактах определяли количество сухого остатка и содержание белка методом Кьельдаля по ГОСТ 10846-74. Остаток сырья высушивали в сушильном шкафу в течение 3 ч при температуре 100 °С. Все исследования проводили в 3-кратной повторности. Математический анализ полученных данных проводили с использованием программы MS Excel. В результате варьирования параметров с использованием разработанного набора матриц были определены рациональные параметры экстракции: гидромодуль – 15, продолжительность экстракции – 1,5 ч, pH – 10, температура – 50 °С, концентрация экстрагента – 0,3 моль/л. Выход целевого продукта при описанных выше условиях составил 61,6 %. Полученные результаты являются основой для разработки технологии получения белка из рапсового сырья.

Ключевые слова: переработка растительного сырья, семена рапса, масличные семена, фракция ядра семян рапса, рапсовая мука, экстракция, протеины

Для цитирования: Яковлева А.А., Ущачовский В.И., Зайцева Л.А., и др. Изучение процесса экстракции белка из рапсовой муки // Вестник КрасГАУ. 2025. № 3. С. 219–228. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-3-219-228.

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК (№ FGSS-2022-0007).

Agata Anatolyevna Yakovleva^{1✉}, Valentin Igorevich Ushchapovskii², Lyubov Anatolyevna Zaitseva³, Irina Eduardovna Minevich⁴

^{1,2,3,4}FSC of Bast Crops, Tver, Russia

¹a.goncharova@fncl.ru

²v.uschapovsky@fncl.ru

³l.zaitzeva@fncl.ru

⁴i.minevich@fncl.ru

STUDY OF THE PROTEIN EXTRACTION PROCESS FROM RAPESEED FLOUR

The aim of the study is to determine rational technological parameters for protein extraction from rapeseed flour for further scaling of the process. Objectives: to study the effect of the water module, extraction duration, pH, temperature and extractant concentration on the protein yield in the extract; to determine rational extraction parameters. The study was conducted at the bast crop processing laboratory of the FSC of Bast Crops in Tver. The object of the study was semi-defatted rapeseed flour, which was obtained from the fraction of rapeseed kernels (the content of shell impurities – 2 %). Physicochemical parameters of rapeseed flour: protein content was 32 %; fat – 16; ash content – 6; moisture – 7 %. To determine the effect of each of the extraction parameters on the yield of the protein product in the extract, a set of parameter matrices was compiled. The amount of dry residue and protein content in the obtained protein extracts were determined using the Kjeldahl method according to GOST 10846-74. The remaining raw material was dried in a drying cabinet for 3 hours at a temperature of 100 °C. All studies were carried out in 3-fold repetition. Mathematical analysis of the obtained data was carried out using the MS Excel program. As a result of varying the parameters using the developed set of matrices, rational extraction parameters were determined: water module – 15, extraction duration – 1.5 hours, pH – 10, temperature – 50 °C, extractant concentration – 0.3 mol/l. The yield of the target product under the conditions described above was 61.6 %. The results obtained are the basis for developing a technology for obtaining protein from rapeseed raw materials.

Keywords: processing of plant materials, rapeseeds, oilseeds, rapeseed kernel fraction, rapeseed flour, extraction, proteins

For citation: Yakovleva AA, Ushchapovskii VI, Zaitseva LA, et al. Study of the protein extraction process from rapeseed flour. *Bulletin of KSAU*. 2025;(3):219-228. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-3-219-228.

Acknowledgments: the work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the state assignment of the Federal State Budgetary Scientific Institution FSC for Cancer Research (№ FGSS-2022-0007).

Введение. Рапс (*Brassica napus*) – растение из семейства капустных, которое выращивается прежде всего для производства масличных семян, богатых ценным белком и маслом с оптимальным соотношением жирных кислот. В настоящее время он культивируется более чем в 30 странах. В России по посевным площадям и объему производства масла рапс идет после подсолнечника и сои на третьем месте среди масличных культур [1]. Рапс является многофункциональной культурой, которая находит свое применение в пищевой, сельскохозяйственной, технической и медицинских отраслях. За последние 10 лет посевные площади рапса увеличились в 2 раза – общая площадь выращивания ярового и озимого рапса в 2011 г. занимала 894 тыс. га, а в 2022 г. – 2,3 млн га [2].

Семена рапса характеризуются высоким содержанием жира и белка. Химический состав рапса зависит от вида и сорта, условий произрастания, погодных условий и вносимых удобрений и варьирует по содержанию: 38–48 % липидов, 18–32 % хорошо сбалансированного по

аминокислотному составу белка, 5–9 % клетчатки, 4–5 % минеральных веществ [3–5].

Жмых рапса, который является побочным продуктом после отжима масла, используется в качестве ингредиента кормов для животных. В пищевых технологиях практически не применяется, несмотря на присутствие белков, содержащих все незаменимые аминокислоты [6]. В белковом комплексе семян рапса большая часть (> 80 %) приходится на альбуминовую и глобулиновую фракции. Белки рапса в основном состоят из двух основных запасных белков: круциферина (12S глобулина с молекулярной массой 300–310 кДа) и напина (1,7-2S альбумина с молекулярной массой 12,5–14,5 кДа) [6]. Аминокислотный профиль белков рапса, по которому оценивают качество белков, хорошо сбалансирован [7]. Белки рапса, как и белки соевых бобов, являются полноценными и могут использоваться в пищевых целях и в кормах для животных. Аминокислотный состав белков рапса в сравнении с соей и подсолнечником представлен в таблице 1 [8, 9].

Аминокислотный профиль сои, рапса и подсолнечника, г/100 г белка
Aminokislotnyj profil' soi, rapsa i podsolnechnika, g/100 g belka

Аминокислота		Семена		
		Рапс [8]	Соя [8]	Подсолнечник [9]
Незаменимые	Валин	4,12	4,16	5,29
	Гистидин	2,53	2,44	2,79
	Изолейцин	3,33	4,04	4,4
	Лейцин	6,96	7,68	6,92
	Лизин	4,78	6,43	3,87
	Метионин	1,57	1,17	2,26
	Треонин	4,37	3,98	3,7
	Триптофан	2,97	2,63	1,57
	Фенилаланин	3,82	4,99	5,32
Заменимые	Аланин	4,23	4,23	4,59
	Аргинин	6,79	7,36	10,12
	Аспарагиновая кислота	8,34	11,6	10,02
	Глицин	4,92	4,04	5,35
	Глутаминовая кислота	19,1	19,4	22,45
	Пролин	5,58	5,21	3,61
	Серин	4,15	5,36	4,05
	Тирозин	2,68	3,73	3,21
	Цистеин	1,78	1,13	0,31

Как и белки семян сои и подсолнечника белок рапса содержит весь спектр незаменимых аминокислот. Согласно данным таблицы 1, большинство незаменимых аминокислот в рапсе находятся на среднем уровне между соей и подсолнечником. Например, содержание валина в рапсе (4,12 г/100 г белка) близко к сое (4,16 г/100 г белка). Аналогично и с другими аминокислотами, такими как гистидин, изолейцин и лейцин. Данные по аминокислотному составу демонстрируют, что содержание триптофана (2,97 г/100 г белка) в рапсе выше, чем в сое (2,63 г/100 г белка) и подсолнечнике (1,57 г/100 г белка). Триптофан важен для синтеза серотонина, влияющего на настроение и сон. Также в рапсе содержание метионина, который участвует в метаболических процессах, выше (1,57 г/100 г белка), чем в сое (1,17 г/100 г белка). По показателям цистеина, который способствует улучшению антиоксидантной защиты клеток, белок рапса превосходит (1,78 г/100 г белка) белок сои (1,13 г/100 г белка) и подсолнечника (0,31 г/100 г белка). Рапс представляет собой ценный источник белка с аминокислотным составом, который в целом соответствует уровню других масличных семян. Учитывая особенности его аминокислотного состава: высокое содержание триптофана, метионина и цистеина, белок рапса может быть полезен в

составе пищевых продуктов и кормов, а также в комбинациях с другими источниками белка.

Белки масличных культур имеют высокую степень усвояемости – до 85 %, в частности белок рапса – от 70 до 84 % [10]. Однако в семенах рапса содержатся антипитательные соединения, которые снижают качество белка: придают специфический аромат и горький вкус. В частности, это глюкозинолаты – класс вторичных метаболитов, которые относятся к фенольным соединениям, содержащим серу и азот. Их концентрация в семенах рапса и продуктах его переработки варьирует от 0,5 до 6 % в зависимости от сорта [11]. Присутствие глюкозинолатов в рапсе может негативно влиять на здоровье человека и животных, так как при действии фермента мирозиназы в процессе обработки сырья возможен ферментативный гидролиз глюкозинолатов с образованием токсичных соединений: изотиоцианата, нитрила и тиоцианата [12]. Снижение влияния глюкозинолата можно достичь путем термической обработки [13]. Несмотря на это, некоторые изотиоцианаты растительного происхождения являются биологически активными соединениями. Сегодня используются низкоглюкозинолатные сорта семян рапса, где содержание глюкозинолатов не превышает 1 %, а эруковой кислоты, которая содержится в масле и негативно влияет на организм

человека, вызывая нарушения липидного обмена, не выше 2 % [14]. Анализ химического состава семян рапса показывает, что распространение сортов семян с низким содержанием эруковой кислоты и глюкозинолатов увеличивает возможность использования семян рапса не только для получения масла, но и белковых продуктов. Белки рапса могут использоваться не только в пищевых, но также и в технических целях в качестве компонента при производстве полимеров, покрытий, клеев и моющих средств, что становится особенно актуальным в условиях растущего спроса на биоразлагаемые материалы [15].

В настоящее время существует множество методов выделения белка из растительного сырья. Наиболее распространенный способ выделения белка включает прямую экстракцию сырья, осаждение его в изоэлектрической точке кислоты, центрифугирование и высушивание [16].

Экстракцию белка рапсового сырья обычно проводят с использованием водных или солевых экстрагентов при щелочных значениях pH [17]. В результате выход белковых продуктов может достигать 60–80 % [18]. Экстракция растительных белков с использованием солевых растворов минимизирует конформационные изменения белка и его денатурацию и приводит к выходу меньшего количества нежелательных фенольных соединений, что позволяет сохранить функциональные свойства продукта по сравнению со щелочной экстракцией [19]. Высокие значения pH и температуры при экстракции способствуют увеличению выхода белка, но вместе с этим крайне щелочные условия приводят к денатурации белка, снижению его растворимости, уровня незаменимых аминокислот и ухудшению усвояемости продукта. Экстракция при сильном щелочном pH также может способствовать образованию продукта с темным цветом и появлению неприятного вкуса из-за соэкстракции вторичных метаболитов, таких как глюкозинолаты и фенольные соединения, которые впоследствии окисляются до хинонов и способны взаимодействовать с белками, что в свою очередь приводит к образованию продуктов с нежелательными функциональными свойствами [7, 20]. В исследовании [21] белок выделяли из рапсового шрота путем щелочной экстракции (pH 8,0–13,0) с последующим кислотным осаждением (pH 3,0–5,5). Максимальный выход белка (65,08 %) был получен при pH экстракции 9,0 и pH осаждения 4,5. Было показано [21], что при варьировании pH экстракции можно регулировать цвет, содержа-

ние D-аминокислот, глюкозинолатов, синапина, выход белка, его структуру, состав (аминокислоты, пептиды и другие компоненты) и функциональные свойства.

Подбор условий экстракции белка из рапсового сырья является актуальной задачей научных и производственных организаций.

Цель исследования – определение рациональных технологических параметров экстракции белка из рапсовой муки для дальнейшего масштабирования процесса.

Задачи: изучение влияния гидромодуля, продолжительности экстракции, pH, температуры и концентрации экстрагента на выход белка в экстракт; определение рациональных параметров экстракции.

Объекты и методы. В качестве сырья использовали фракцию ядер семян рапса, предоставленную доктором технических наук С.В. Зверевым (АО «ГК МЕЛКОМ», г. Тверь). Фракция ядер была получена при обрушивании семян рапса и содержала не более 2 % примеси оболочки.

В условиях нашей лаборатории сырье обрабатывали гексаном (хч) в течение 2 ч при температуре 60 °С (2 цикла). Гексан имеет температуру кипения 68 °С и является хорошим растворителем масел с точки зрения их избирательности [22].

В качестве экстрагента использовали раствор NaCl, навеска сырья составляла 10,0 г. Отделение экстракта проводили центрифугированием при 4000 об/мин в течение 20 мин («Армед»: 80-2S, Россия).

В полученном экстракте определяли сухой остаток и содержание белка методом Кьельдаля по ГОСТ 10846-74. Остаток сырья высушивали в сушильном шкафу (ШС-80-01 СПУ, Россия) в течение 3 ч при температуре 100 °С.

Все исследования проводили в 3-кратной повторности. Математический анализ данных проводили с использованием пакета программ MS Excel.

Результаты и их обсуждение. Рапсовые жмыхи и шроты, полученные из обрушенных семян, являются экономически выгодным вариантом, при котором можно получать белковые продукты с высокой добавленной стоимостью [14, 23]. Удаление оболочки семян улучшает как качество масла, так и побочных продуктов, увеличивая содержание белка и уменьшая количество антипитательных веществ, характерных для конкретной культуры.

Для исследований использовали полуобезжиренную фракцию ядер семян рапса, которую именовали как *рапсовая мука*, характеристика представлена в таблице 2.

Таблица 2

**Физико-химические показатели сырья, %
Physico-chemical parameters of raw materials, %**

Показатель	Фракция ядра рапса	Рапсовая мука
Содержание белка	21,0±1,05	32,0±1,60
Содержание жира	37,4±1,87	16,2±0,81
Влажность	5,3±0,27	6,8±0,34
Зольность	3,6±0,18	6,4±0,32

В качестве переменных показателей процесса экстракции использовали: соотношение сырья и экстрагента (Г), продолжительность процесса (t), температуру (Т), концентрацию экстрагента (в данном случае молярность) (М), рН

среды. Интервалы варьирования параметров экстракции представлены в таблице 3.

В качестве выходных параметров определяли сухой остаток экстракта (г) и содержание белка в экстракте (г).

Таблица 3

**Матрица параметров экстракции белка из рапсовой муки
Matrix of protein extraction parameters from rapeseed flour**

Параметр	Набор параметров				
	A1	A2	A3	A4	A5
Г	5	10	15	20	25
t, ч	0,5	1	1,5	2	2,5
рН	7	8	9	10	11
Т, °С	22	40	50	60	70
M _{NaCl} , моль/л	0	0,05	0,1	0,3	0,5

Влияние каждого параметра на процесс экстракции определяли с использованием матрицы А3. На рисунках 1–3 представлены результаты варьирования параметров экстракции.

Влияние гидромодуля (рис. 1, а): количество сухого остатка экстракта, начиная со значения гидромодуля от 5 до 10, меняется на 58 %, затем происходит незначительный рост этого параметра. Гидромодуль 15 является наиболее эффективным параметром с точки зрения дальнейшего

масштабирования. Гидромодуль 25 (несмотря на увеличение сухого остатка на 19 %) даже в условиях малых производств может значительно осложнить технологическую линию.

Анализ влияния продолжительности экстракции показал незначительные изменения в количестве сухого остатка (до 5 %) (рис. 1, б), в результате чего выбрана средняя продолжительность экстракции 1,5 ч.

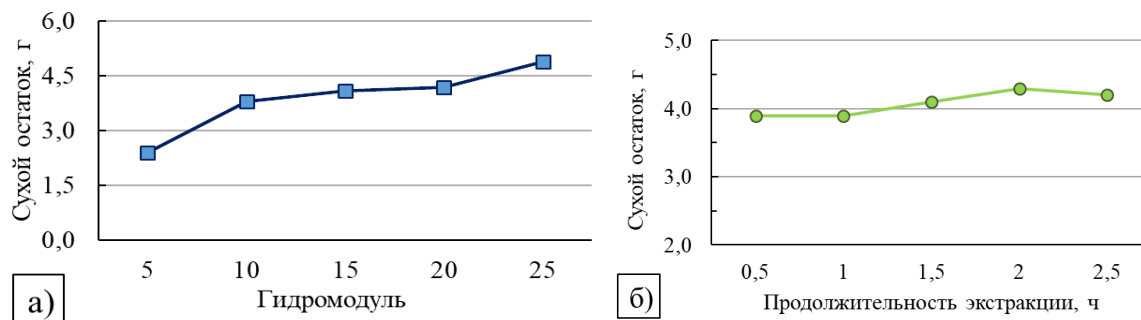


Рис. 1. Влияние гидромодуля (а) и продолжительности экстракции (б) на экстракцию белка из рапсовой муки

Effect of hydromodule (a) and extraction duration (b) on protein extraction from rapeseed flour

При варьировании таких параметров, как температура, концентрация экстрагента и pH, регистрировали содержание белка. Данные только по сухому остатку не показательны, температура может влиять на процесс денатурации белка и конкурентную соэкстракцию других веществ, из-

менение концентрации соли влияет на количество сухого остатка из-за перехода соли в исследуемый экстракт, уровень pH может влиять на структуру и растворимость белка.

На рисунке 2 представлены данные о влиянии M и T на эффективность экстракции белка.

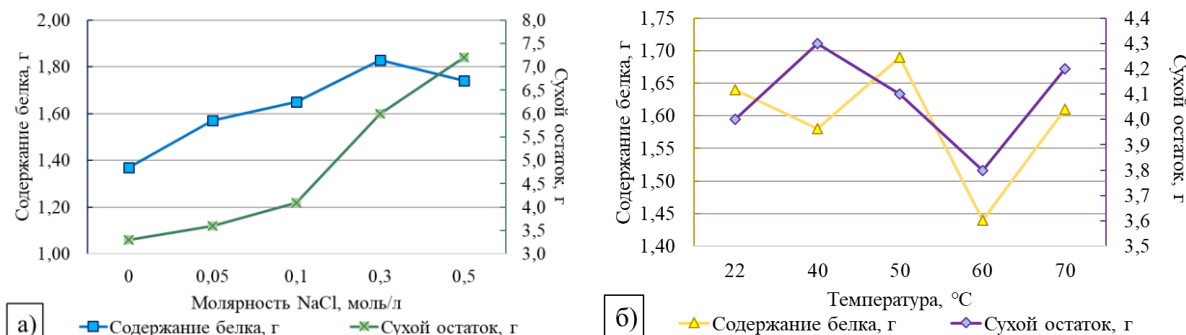


Рис. 2. Влияние молярности экстрагента (а) и температуры процесса (б) на экстракцию белка из рапсовой муки

Effect of extraction agent molarity (a) and process temperature (b) on protein extraction from rapeseed flour

По данным рисунка 2, а, при концентрации соли 0,3 моль/л наблюдался максимальный выход белка в экстракт, рост содержания сухого остатка объясняется увеличением концентрации NaCl. Анализируя данные рисунка 2, б, можно предположить, что при повышении температуры происходит образование различных белково-фенольных комплексов, которые могут оказывать существенное влияние на растворимость и структуру белка, его термическую стабильность, гидрофобность и изоэлектрическую точку [24].

Для выбора значения pH среды были проведены эксперименты, результаты которых отображены на рисунке 3. Снижение сухого остатка при pH выше 10, вероятно, может происходить из-за образования нерастворимых комплексов, которые плохо экстрагируются. Значение pH 10,0 является наиболее рациональным, так как при дальнейшем увеличении pH происходит изменение цвета экстракта, что негативно отражается на внешнем виде белка.

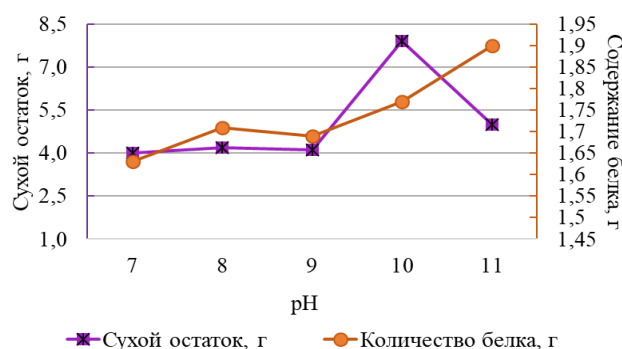


Рис. 3. Влияние pH среды на экстракцию белка из рапсовой муки

Effect of the pH of the medium on protein extraction from rapeseed flour

На основании проведенных исследований были составлены дополнительные матрицы параметров и определен выход белка (табл. 4).

Как следует из полученных данных, максимальный выход белка (61,6 % в сухом остатке экстракта) соответствовал набору параметров матрицы А7.

Оптимизация параметров экстракции белка из рапсовой муки
Optimization of protein extraction parameters from rapeseed flour

Параметр	Набор параметров			
	A6	A7	A8	A9
Г	15	15	15	15
t, ч	1,5	1,5	1,5	1,5
pH	10	10	9	11
T, °C	40	50	50	50
M _{NaCl} , моль/л	0,3	0,3	0,3	0,3
Содержание белка, г	1,68	1,97	1,89	1,67

Заключение. На основе проведенных исследований, с использованием разработанного набора матриц, были обоснованы параметры экстракции, позволяющие обеспечить максимальный выход белка: гидромодуль – 15, продолжительность экстракции – 1,5 ч, pH – 10, температура – 50 °C, концентрация экстрагента – 0,3 моль/л. Использование данных параметров позволило получить выход белка из рапсовой муки в размере 61,6 %.

Представленная работа является первым этапом исследований по получению пищевого белка из рапсовой муки. Следующими этапами исследований являются определение способа выделения белка из экстракта, обеспечивающего снижение фенольных соединений, связанных с белком, а также определение его функционально-технологических свойств.

Список источников

1. Олейникова Е.Н., Янова М.А., Пыжикова Н.И., и др. Яровой рапс – перспективная культура для развития агропромышленного комплекса Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2019. № 1 (142). С. 74–80. EDN: YZCQTJ.
2. Кудинова М.Г., Шевчук Н.А., Корнева Г.В., и др. Экономическая эффективность производства рапса, как высокомаржинальной культуры региона, и роль swot-анализа в его научно-технологическом форсайте // Инновации и инвестиции. 2023. № 2. С. 202–209. EDN: RQUWTH.
3. Жидебаева Ж.К., Тилеуберди Н.Н. Перспектива применения рапса (*Brassica napus*) в качестве источника биологически активных веществ. В сб.: Молодая фармация – потенциал будущего: сборник материалов XII всероссийской научной конференции студентов и аспирантов с международным участием (Санкт-Петербург, 14–18 апреля 2022 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, 2022. С. 139–142. EDN: MKSOFQ.
4. Мезенцева Е.Г. Рапс – основная масличная культура в Республике Беларусь // Почвоведение и агрохимия. 2022. № 2. С. 71–83. DOI: 10.47612/0130-8475-2022-2(69)-71-83. EDN: LUCJLM.
5. Морозова И.М., Мазурова Н.Н., Морозов И.М. Биохимический состав семян масличных культур, используемых при производстве кормовой продукции // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя П.М. Машэрава. 2022. № 1. С. 48–53. EDN: TYNOXF.
6. Chmielewska A., Kozłowska M., Rachwał D., et al. Canola/rapeseed protein – nutritional value, functionality and food application: a review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020. № 61 (22). P. 3836–3856. DOI: 10.1080/10408398.2020.1809342. EDN: ULJJVF.
7. Дегтярев И.А., Фоменко И.А., Мижева А.А., и др. Белковые препараты из отходов переработки рапса: обзор современного состояния и перспектив развития существующих технологий // Пищевые системы. 2023. № 6 (2). С. 159–170. DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-2-159-170. EDN: SSUXKU.
8. Fleddermann M., Fechner A., Rößler A., et al. Nutritional evaluation of rapeseed protein compared to soy protein for quality, plasma amino acids, and nitrogen balance – A randomized cross-over intervention study in humans // Clinical Nutrition. 2013. № 32 (4). P. 519–526. DOI: 10.1016/j.clnu.2012.11.005.

9. Tanwar B., Goyal A. Oilseeds: health attributes and food applications. Springer eBooks. 2021. 516 p. DOI: 10.1007/978-981-15-4194-0.
10. Bos C., Airinei G., Mariotti F., et al. The poor digestibility of rapeseed protein is balanced by its very high metabolic utilization in humans // *The Journal of Nutrition*. 2007. № 137 (3). P. 594–600. DOI: 10.1093/jn/137.3.594.
11. Глюкозинолаты в рапсе. Доступно по: <https://fczerna.ru/news/?NAME=glyukozinolaty-v-rapse>. Ссылка активна на: 04.04.2024
12. Bell J.M. Nutrients and toxicants in rapeseed meal: a review // *Journal of animal science*. 1984. № 58. P. 996–1010. DOI: 10.2527/jas1984.584996x.
13. Бокоев Т.В. Использование рапсового шрота при выращивании молодняка кур. В сб.: Научное обеспечение сельского хозяйства горных и предгорных территорий: материалы II всероссийской студенческой научно-практической конференции (Владикавказ, 25 ноября 2021 г.), Ч. 1. Владикавказ: Горский государственный аграрный университет, 2021. С. 150–152. EDN: ТИККJI.
14. Рензяев А.О., Рензяева Т.В. Требования к качеству рапсовой муки пищевого назначения. В сб.: Просеков А.Ю., ред. Актуальные направления научных исследований: технологии, качество и безопасность: сборник материалов национальной (всероссийской) конференции (Кемерово, 25–27 мая 2020 г.). Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2020. С. 17–19. EDN: GNOSOC.
15. Fetzer A., Müller K., Schmid M., et al. Rapeseed proteins for technical applications: Processing, isolation, modification and functional properties – A review // *Industrial Crops and Products*. 2020. № 158. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112986.
16. Поморова Ю.Ю., Пятовский В.В., Бескоровайный Д.В., и др. Характеристика, методы выделения белковой фракции семян основных масличных культур (обзор) // *Масличные культуры*. 2019. № 4 (180). С. 161–169. DOI: 10.25230/2412-608X-2019-4-180-161-169. EDN: OYBNPU.
17. Dekkers K. Process design for sustainable extraction of rapeseed protein mixtures // BSc Thesis Biotechnology. – Wageningen University: Biobased Chemistry and Technology, 2018. 60 p.
18. Gerzhova A., Mondor M., Benali M., et al. A comparative study between the electro-activation technique and conventional extraction method on the extractability, composition and physicochemical properties of canola protein concentrates and isolates // *Food Bioscience*. 2015. № 11. P. 56–71. DOI: 10.1016/j.fbio.2015.04.005. EDN: WRBRCZ.
19. Hadnadjev M., Hadnadjev T., Pojić M., et al. Progress in vegetable proteins isolation techniques: A review // *Food and Feed Research*. 2017. № 44. P. 11–21. DOI: 10.5937/FFR1701011H.
20. Momen S., Alavi F., Aider M. Alkali-mediated treatments for extraction and functional modification of proteins: Critical and application review // *Trends in Food Science & Technology*. 2021. № 110. P. 778–797. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.02.052.
21. Zhang Z., He S., Liu H., et al. Effect of pH regulation on the components and functional properties of proteins isolated from cold-pressed rapeseed meal through alkaline extraction and acid precipitation // *Food Chemistry*. 2020. № 327. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.126998.
22. Ущাপовский В.И., Гончарова А.А., Миневич И.Э. Влияние переработки на белковый комплекс семян конопли // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2022. Т. 84, № 1 (91). С. 66–72. DOI: 10.20914/2310-1202-2022-1-66-72. EDN: CGFYDK.
23. Carre P., Quinsac A., Citeau M., et al. A re-examination of the technical feasibility and economic viability of rapeseed dehulling // *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*. 2015. № 22 (3). DOI: 10.1051/ocl/2014044.
24. Sęczyk Ł., Świeca M., Kapusta I., et al. Protein-Phenolic Interactions as a Factor Affecting the Physicochemical Properties of White Bean Proteins // *Molecules*. 2019. № 24. DOI: 10.3390/molecules24030408.

References

1. Oleynikova EN, Yanova MA, Pyzhikova NI, et al. Spring raps – perspective culture for the development of agrarian and industrial complex of Krasnoyarsk Region. *Bulletin of KSAU*. 2019;(1):74-80. (In Russ.). EDN: YZCQTJ.

2. Kudinova MG, Shevchuk NA, Korneva GV. Economic efficiency of rapeseed production as a high-margin crop of the region, and the role of swot analysis in its scientific and technological foresight. *Innovacii i investicii*. 2023;(2):202-209. (In Russ.). EDN: RQUWTH.
3. Zhidebaeva ZhK, Tileuberdi NN. The prospect of using rapeseed (*Brassica napus*) as a source of biologically active substances. In: *Young pharmacy – potential of the future 2022. Conference abstract*. Saint-Petersburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj himiko-farmaceuticheskij universitet, 2022. P. 139–142. (In Russ.). EDN: MKSOFQ.
4. Mezentseva EG. Rapeseed – the main oilseed crop in the Republic of Belarus. *Pochvovedenie i agrohimiya*. 2022(2):71-83. (In Russ.). DOI: 10.47612/0130-8475-2022-2(69)-71-83. EDN: LUCJLM.
5. Morozova IM, Mazurova NN, Morozov IM. Biochemical composition of oil-bearing plant seeds used in fodder product manufacture. *Вестник Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта*. 2022;(1):48-53. EDN: TYNOXF.
6. Chmielewska A, Kozłowska M, Rachwał D, et al. Canola/rapeseed protein – nutritional value, functionality and food application: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020;61(22):3836-3856. DOI: 10.1080/10408398.2020.1809342. EDN: ULJJVF.
7. Degtyarev IA, Fomenko IA, Mizheva AA, et al. 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 Russ.). DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-2-159-170. EDN: SSUXKU.
8. Fleddermann M, Fechner A, Rößler A, et al. Nutritional evaluation of rapeseed protein compared to soy protein for quality, plasma amino acids, and nitrogen balance – A randomized cross-over intervention study in humans. *Clinical Nutrition*. 2013;32 (4):519-526. DOI: 10.1016/j.clnu.2012.11.005.
9. Tanwar B, Goyal A. *Oilseeds: health attributes and food applications*. Springer eBooks. 2021. 516 p. DOI: 10.1007/978-981-15-4194-0.
10. Bos C, Airinei G, Mariotti F, et al. The poor digestibility of rapeseed protein is balanced by its very high metabolic utilization in humans. *The Journal of Nutrition*. 2007;137(3):594-600. DOI: 10.1093/jn/137.3.594.
11. Glyukozinolaty v rapse. Available at: <https://fczerna.ru/news/?NAME=glyukozinolaty-v-rapse>. Accessed: 04.02.2024. (In Russ.).
12. Bell JM. Nutrients and toxicants in rapeseed meal: a review. *Journal of animal science*. 1984;(58):996-1010. DOI: 10.2527/jas1984.584996x.
13. Bokoev TV. Ispol'zovanie rapsovogo shrota pri vyrashchivanii molodnyaka kur. In: *Nauchnoe obespechenie sel'skogo hozyajstva gornyh i predgornyh territorij: materialy II vsrossijskoj studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, Vladikavkaz, 25 Nov 2021. Ch. 1. Vladikavkaz: Gorskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2021. P. 150–152. (In Russ.). EDN: TIKKJI.
14. Renzyaev AO, Renzyaeva TV. Trebovaniya k kachestvu rapsovoj muki pishchevogo naznacheniya. In: Prosekov AYU, editor. *Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij: tekhnologii, kachestvo i bezopasnost': sbornik materialov nacional'noj (vsrossijskoj) konferencii*, Kemerovo, 25–27 May 2020. Kemerovo: Kemerovskij gosudarstvennyj universitet, 2020. P. 17–19. (In Russ.). EDN: GNOSOC.
15. Fetzner A, Müller K, Schmid M, et al. Rapeseed proteins for technical applications: Processing, isolation, modification and functional properties – A review. *Industrial Crops and Products*. 2020;(158):112986. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112986. EDN: LXLNIT.
16. Pomorova YuYu, Pyatovsky VV, Beskorovayny DV, et al. Characterization and methods of isolation of the protein part of the seeds of the most important oil crops (review). *Maslichnye kul'tury*. 2019;(4):161-169. (In Russ.). DOI: 10.25230/2412-608X-2019-4-180-161-169. EDN: OYBNPU.
17. Dekkers K. *Process design for sustainable extraction of rapeseed protein mixtures*. BSc Thesis Biotechnology. Wageningen University: Biobased Chemistry and Technology, 2018. 60 p.
18. Gerzhova A, Mondor M, Benali M, et al. A comparative study between the electro-activation technique and conventional extraction method on the extractability, composition and physicochemical properties of canola protein concentrates and isolates. *Food Bioscience*. 2015;(11):56-71. DOI: 10.1016/j.fbio.2015.04.005. EDN: WRBRCZ.
19. Hadnadjev M, Hadnadev T, Pojić M, et al. Progress in vegetable proteins isolation techniques: A review. *Food and Feed Research*. 2017;(44):11-21. DOI: 10.5937/FFR1701011H.

20. Momen S, Alavi F, Aider M. Alkali-mediated treatments for extraction and functional modification of proteins: Critical and application review. *Trends in Food Science & Technology*. 2021;(110):778-797. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.02.052. EDN: WHRDFA.
21. Zhang Z, He S, Liu H, et al. Effect of pH regulation on the components and functional properties of proteins isolated from cold-pressed rapeseed meal through alkaline extraction and acid precipitation. *Food Chemistry*. 2020;(327). DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.126998. EDN: AYNDXJ.
22. Ushchapovsky VI, Goncharova AA, Minevich IE. The impact of processing on hemp seeds protein complex. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2022;84(1):66-72. (In Russ.). DOI: 10.20914/2310-1202-2022-1-66-72. EDN: CGFYDK.
23. Carre P, Quinsac A, Citeau M, et al. A re-examination of the technical feasibility and economic viability of rapeseed dehulling. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*. 2015;22(3). DOI: 10.1051/ocl/2014044.
24. Sęczyk Ł, Świeca M, Kapusta I, et al. Protein-Phenolic Interactions as a Factor Affecting the Physico-chemical Properties of White Bean Proteins. *Molecules*. 2019;(24). DOI: 10.3390/molecules24030408.

Статья принята к публикации 15.10.2024 / The article accepted for publication 15.10.2024.

Информация об авторах:

Агата Анатольевна Яковлева¹, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции

Валентин Игоревич Ущачовский², младший научный сотрудник лаборатории переработки лубяных культур

Любовь Анатольевна Зайцева³, младший научный сотрудник лаборатории переработки лубяных культур

Ирина Эдуардовна Миневиц⁴, главный научный сотрудник лаборатории переработки лубяных культур, доктор технических наук

Information about the authors:

Agata Anatolyevna Yakovleva¹, Junior Researcher, Laboratory of Molecular Genetic Research and Cell Selection

Valentin Igorevich Ushchapovskii², Junior Researcher, Laboratory of Bast Crops Processing

Lyubov Anatolyevna Zaitseva³, Junior Researcher, Laboratory of Bast Crops Processing

Irina Eduardovna Minevich⁴, Chief Researcher at the Laboratory of Bast Crops Processing, Doctor of Technical Sciences

