

## Применение ферментативного гидролиза для получения белковых концентратов из жмыха *Camelina sativa*



Я. В. Смольникова\*<sup>ORCID</sup>, В. А. Бопп<sup>ORCID</sup>, А. В. Коломейцев<sup>ORCID</sup>,  
О. В. Стутко<sup>ORCID</sup>, В. А. Ханипова<sup>ORCID</sup>, Д. В. Брошко<sup>ORCID</sup>

Красноярский государственный аграрный университет<sup>ROR</sup>, Красноярск, Россия

Поступила в редакцию: 22.12.2021

Поступила после рецензирования: 11.03.2022

Принята к публикации: 14.03.2022

\*e-mail: [ya104@yandex.ru](mailto:ya104@yandex.ru)

© Я. В. Смольникова, В. А. Бопп, А. В. Коломейцев,  
О. В. Стутко, В. А. Ханипова, Д. В. Брошко, 2022



### Аннотация.

Растения семейства *Brassicaceae* обладают высоким потенциалом в качестве альтернативного сырья для получения белковых концентратов и изолятов, конкурентных соевому белку. Ферментативная экстракция является альтернативой обезжиривания масличных семян без использования органических растворителей и позволяет извлекать высококачественные белковые продукты. Целью исследования стало изучение влияния ферментативного гидролиза целлюлолитическим и протеолитическим ферментами на жмых *Camelina sativa* (L.) Crantz (рыжика посевного) для снижения остаточной масличности и повышения выхода белкового компонента.

Белковые концентраты выделяли из жмыха рыжика посевного, полученного методом холодного прессования путем последовательного гидролиза ферментными препаратами Брюзайм BGX и ренин «Мейто» с последующей щелочной экстракцией и осаждением в изоэлектрической точке. Количественное определение содержания белка в концентратах определяли по методу Кьельдаля, аминокислотный состав – методом капиллярного электрофореза.

Установлены концентрации и продолжительность ферментативного гидролиза для эффективного удаления остаточного масла и повышения выхода белка в белковых концентратах из рыжикового жмыха. Обработка препаратом Брюзайм BGX в концентрации 8 мг/л и продолжительностью 120 мин позволяет снизить остаточную масличность рыжикового жмыха на 5,53 % от исходной. Дальнейшая обработка протеолитическим ферментом ренин «Мейто» в течение 60–120 мин увеличивала выход белка на 10,56–11,33 % по сравнению с экстракцией из обезжиренного шрота. В результате исследования аминокислотного состава выявлено, что биологическая ценность белковых концентратов, полученных ферментативным гидролизом, на 2 % выше, чем у белков, полученных по традиционной технологии.

Применение ферментативного гидролиза для получения белковых концентратов из жмыха рыжика посевного позволяет исключить стадию обезжиривания и обеспечивает выход белкового компонента до 68,86 % от суммарного содержания белка, не снижая биологической ценности готового продукта.

**Ключевые слова.** *Camelina sativa* (L.) Crantz, масличные культуры, жмых, белок, ферментативная экстракция

**Финансирование.** Результаты получены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России)<sup>ROR</sup> в рамках выполнения научных исследований и разработок по проекту «Создание комплексного высокотехнологичного производства растительного масличного сырья и продуктов его переработки в условиях Сибири».

**Для цитирования:** Применение ферментативного гидролиза для получения белковых концентратов из жмыха *Camelina sativa* / Я. В. Смольникова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 1. С. X–X. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-199-209>

## Aqueous Enzymatic Extraction of Protein Concentrates from *Camelina sativa* Oil Cake

Yana V. Smol'nikova\*<sup>ID</sup>, Valentina L. Bopp<sup>ID</sup>, Alexander V. Kolomeytsev<sup>ID</sup>,  
Oksana V. Stutko<sup>ID</sup>, Vera A. Khanipova<sup>ID</sup>, Dominik V. Broshko<sup>ID</sup>

Krasnoyarsk State Agrarian University<sup>ROR</sup>, Krasnoyarsk, Russia

Received: 22.12.2021

Revised: 11.03.2022

Accepted: 14.03.2022

\*e-mail: [ya104@yandex.ru](mailto:ya104@yandex.ru)

© Ya.V. Smol'nikova, V.L. Bopp, A.V. Kolomeytsev,  
O.V. Stutko, V.A. Khanipova, D.V. Broshko, 2022



### Abstract.

*Brassicaceae* plants can serve as a soy alternative to protein concentrates and isolates. Enzymatic extraction is a promising alternative to degreasing oilseeds as it requires no organic solvents and produces high-quality protein products. The research featured the effect of the enzymatic hydrolysis with cellulolytic and proteolytic enzymes on *Camelina sativa* (L.) Crantz oil cake. The objective was to reduce the residual oil content and increase the protein yield.

Protein concentrates were isolated from seed cake obtained by cold pressing. The method involved sequential hydrolysis with enzyme preparations BrewZyme BGX and Meito renin, followed by alkaline extraction and precipitation at an isoelectric point. The amount of protein in the concentrates was determined by the Kjeldahl method, and the amino acid composition – by capillary electrophoresis.

The experiment revealed the optimal concentrations and time, at which the enzymatic hydrolysis effectively removed the residual oil and increased the protein yield. When BrewZyme BGX was applied at a concentration of 8 mg/L for 120 min, it reduced the residual oil content by 5.53%. A further treatment with the proteolytic enzyme Microbial Meito Rennet for 60–120 min increased the protein yield by 10.56–11.33% compared with the fat-free sample. The biological value of protein concentrates obtained by enzymatic hydrolysis was 2% higher than for traditional approaches.

The enzymatic extraction made it possible to avoid the de-greasing stage and raise the protein yield up to 68.86% of the total protein content without reducing the biological value of the finished product.

**Keywords.** *Camelina sativa* (L.) Crantz, oilseeds, oil cake, protein, enzymatic extraction

**Funding.** The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka)<sup>ROR</sup> as part of the project “Complex hi-tech production of plant oil raw material and its processing in Siberia”.

**For citation:** Smol'nikova YaV, Bopp VL, Kolomeytsev AV, Stutko OV, Khanipova VA, Broshko DV. Aqueous Enzymatic Extraction of Protein Concentrates from *Camelina sativa* Oil Cake. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(1):199–209. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-199-209>

### Введение

Белковая недостаточность, обусловленная дефицитом или дисбалансом пищевых белков, вызывает серьезные последствия для метаболизма организма [1]. Хотя белковое недоедание редко встречается в развитых странах, оно по-прежнему является основной причиной детской смертности и заболеваемости [2]. Одним из решений данной проблемы является активное вовлечение в пищевые технологии растительных белков.

Хотя культивирование растений дешевле и эффективнее животноводства, а также оказывает меньшую экологическую нагрузку на окружающую среду, активное использование растительных белков

все еще ограничено [3–5]. Основным растительным белком, доминирующим на мировом рынке, является соевый. Сою и продукты ее переработки активно используют для производства функциональных пищевых продуктов [6–8]. Поэтому расширение источников сырья и разработка технологий получения растительных белков из альтернативных культур является актуальной задачей.

Возможную конкуренцию соевому белку могут составить продукты переработки масличных культур семейства капустных (*Brassicaceae*). Наиболее популярным представителем данного семейства является рапс (*Brassica napus*), который входит в тройку самых распространенных в мире

масличных культур. Содержит 17–26 % белка с высокой питательной ценностью, хорошо сбалансированным аминокислотным профилем и важными технологическими и функциональными свойствами [9]. Были проведены многочисленные исследования для разработки эффективных методов получения высококачественного рапсового белка с хорошей усвояемостью [10–15].

Менее изученной культурой семейства капустных является *Camelina sativa* (L.) Crantz (рыжик посевной). Его применяют в качестве кормовой добавки, а также для производства биотоплива [16, 17]. Однако есть публикации, посвященные оценке пищевых свойств белкового компонента рыжика посевного. Он аналогичен рапсовому и конкурирует с соевым белком [18–20].

Традиционно белковые концентраты и изоляты получают путем экстракции и последующего выделения белка из раствора с использованием соответствующих методов, таких как осаждение или термическая коагуляция. Для получения белковых концентратов из масличных культур жмых после отжима масла подвергают предварительному обезжириванию органическими растворителями, такими как гексан, диэтиловый эфир и др. Применение этих растворителей не только вредно и токсично, но и приводит к загрязнению воздуха [21]. Несмотря на то, что гексан разрешен к применению в пищевой промышленности Европейской комиссией и Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (Food and Drug Administration), он по-прежнему классифицируется как опасный растворитель и не разрешен к использованию некоторыми международными организациями [22].

Альтернативным методом извлечения остаточного масла, содержащегося в жмыхах, является ферментативный гидролиз. В данном методе для разрушения клеточных стенок маслосодержащего сырья используются ферменты различной природы (целлюлазы, гемицеллюлазы, пектиназы, протеазы), обеспечивая перенос клеточного содержимого в экстракт. В процессе гидрофильная часть диффундирует в воду, а гидрофобная образует эмульсию. Использование ферментов позволяет отделять выбранные компоненты без изменения их свойств. Это положительно влияет на сенсорные характеристики конечного продукта с точки зрения вкуса и запаха. Полученные соединения больше соответствуют требованиям для пищевых продуктов, чем продукты, полученные другими методами экстракции. Применение ферментов считается наиболее экологически чистым процессом, поскольку снижает химическую нагрузку, создаваемую органическими растворителями. К распространенным побочным продуктам переработки маслосодержащего сырья с высокой добавленной стоимостью относятся белки и пищевые воло-

кна [21]. Ферментативный гидролиз обладает огромным потенциалом, поскольку дает возможность извлекать масло и белки одновременно, а также осуществлять извлечение белковых компонентов при минимальном воздействии на их структуру [23].

Целью данной работы стало исследование влияния ферментативного гидролиза на жмых *Camelina sativa* (L.) Crantz (рыжика посевного) для снижения остаточной масличности и повышения выхода белкового компонента, а также оценка биологической ценности полученного продукта на основании его аминокислотного состава.

### **Объекты и методы исследования**

Жмых из семян рапса холодного отжима является лучшим сырьем для получения белковых концентратов [14]. Поэтому в качестве объекта исследования был выбран жмых рыжика посевного (сорт Ужурский, содержание жира 11,85 %, белка 29,16 % в пересчете на сухое вещество), полученный после выделения масла методом однократного холодного прессования. Прессование проводилось на электрическом маслопрессе для холодного и горячего отжима масла АКЖР-2000 deluxe (Akita jr, Тайвань) при температуре отжима 50 °С.

В качестве контрольного образца использовался рыжиковый жмых, обезжиренный гексаном. Обезжиривание и определение остаточной масличности жмыха проводилось методом исчерпывающей экстракции по методике Рэндалла в автоматическом программируемом 6-местном экстракторе SER 148/6 (VELP Scientifica, Италия).

Количественное определение белка в образцах выполнялось по методу Кьельдаля на автоматическом анализаторе азота со встроенным титратором UDK 159 F30200150 (VELP Scientifica, Италия).

Определение аминокислотного состава белковых компонентов проводилось на системе капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ-105М» (Льюмэкс, Россия) в соответствии с ГОСТ Р 55569-2013.

Для получения белковой пасты из обезжиренного рыжикового шрота (гексаном в контрольном образце и ферментативным гидролизом в экспериментальном) образцы суспендировались в дистиллированной воде. Смесь перемешивали с помощью верхнеприводного перемешивающего устройства Экрос ПЭ-8310 (Экрос, Россия) в течение 30 мин, доводили рН до 12, добавляя 2 М NaOH, и перемешивали еще 60 мин при комнатной температуре. Затем смесь центрифугировали при 3500 об/мин в течение 20 мин, рН надосадочной жидкости доводили до 4,5 с добавлением 2 М HCl, а затем снова центрифугировали при 3500 об/мин в течение 30 мин при 4 °С для осаждения белка. Белковую пасту подвергали сублимационной сушке и хранили при температуре –20 °С для последующего анализа [18].

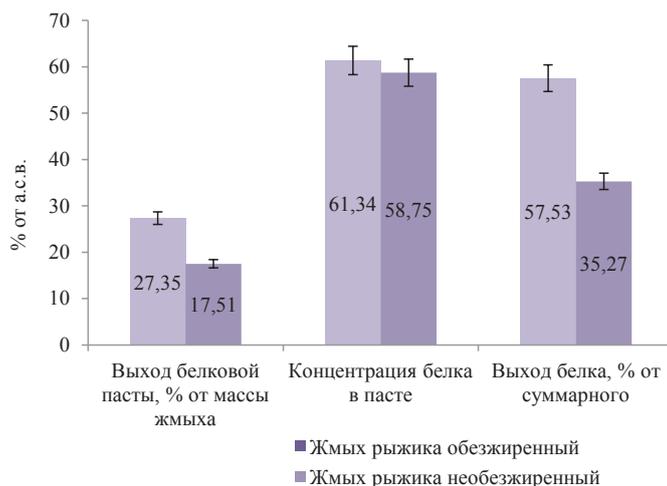


Рисунок 1. Выход белка из жмыха *Camelina sativa*, обезжиренного гексаном, и жмыха без предварительного обезжиривания

Figure 1. Protein yield from hexane-degreased *Camelina sativa* cake and cake without prior degreasing

Центрифугирование осуществлялось на рефрижераторной центрифуге ThermoScientific SL 40R (Thermo Fisher Scientific, США). Для получения сухих порошков белка методом лиофильной сушки использовался сублиматор Bio-Rus-4SFD (BIORUS, Россия).

Проведенные ранее исследования доказали эффективность применения ферментного препарата Брюзайм BGX для частичного обезжиривания жмыха рапса. Остаточная масляность после обработки ферментом снижалась в среднем на 5 % – от 19 до 14,1 %.

На основании этих данных было предположено, что обработка ферментами целлюлазной активности приведет к снижению остаточной масляности при экстракции белковых компонентов из рыжикового жмыха и увеличит выход белковой пасты. При проведении ферментативного гидролиза для обезжиривания рыжикового жмыха был использован комплексный ферментный препарат Брюзайм BGX (Diacid International Inc., Польша, стандартизован по гемицеллюлазе) и продуцент *Trichoderma longibrachiatum*. Он, в соответствии с паспортом, обладает следующими характеристиками: ксиланазная способность –  $6500 \pm 5$  % ед. КС/см<sup>3</sup>;  $\beta$ -глюканазная способность –  $1700 \pm 5$  % ед.  $\beta$ -ГК/см<sup>3</sup>, целлюлазная –  $1500 \pm 5$  % ед. КМЦ/см<sup>3</sup>.

Для увеличения концентрации белка в белковой пасте использовался ферментный препарат микробный ренин «Мейто» («Microbial Meito Rennet», КФ 3.4.23.23, Meito Sangyo, Япония), растительный пепсин, продуцент *Rhizomucor miehei* (CAS: 9001-92-7), активность в 1 г, ЕД Meito, не менее 300 000.

На первоначальном этапе необезжиренный жмых рыжика подвергали предварительному ферментативному гидролизу препаратом Брюзайм BGX (концентрация 4, 6, 8 мг/л). Затем вносили препарат ренин «Мейто» в дозировке, рекомендуемой производителем (5 мг/л). После ферментации из частично обезжиренного жмыха получали белковую пасту по вышеописанной схеме.

Для установления предварительных параметров ферментативного гидролиза определяли продолжительность процесса с вариациями по длительности гидролиза – 30, 60, 90 и 120 мин.

Режим ферментативной обработки был выбран аналогично режиму обезжиривания жмыха рапса: гидромодуль составлял 1:10. Гидролиз проводили при температуре 40–45 °С.

Расчет интегральных показателей биологической ценности полученного белка проводился относительно состава идеального белка по шкале ФАО/ВОЗ [24].

Все анализы были проведены в трех экземплярах. Возможные различия между средними показателями были проанализированы с использованием t-критерия Стьюдента. Результаты считались значимыми, если  $P \leq 0,05$ . Все результаты выражены в виде средних значений со стандартным отклонением.

### Результаты и их обсуждение

Для оценки влияния ферментативного гидролиза на выход белковой пасты из рыжикового жмыха было проведено извлечение белков из рыжикового шрота (после обезжиривания гексаном) и из необезжиренного рыжикового жмыха. Результаты представлены на рисунке 1.

Как видно из полученных результатов, стадия обезжиривания позволяет увеличить выход

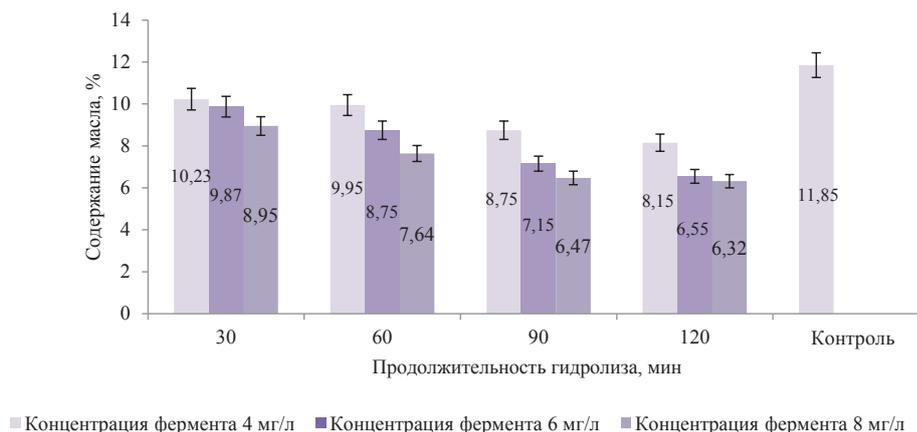


Рисунок 2. Изменение содержания масла в жмыхе *Camelina sativa* при обработке ферментным препаратом Брюзайм BGX с различной концентрацией и продолжительностью

Figure 2. Effect of Bruzyme BGX on the oil content in *Camelina sativa* cake at different concentrations and treatment time

белкового компонента из жмыха рыжика на 21 % благодаря повышению выхода белковой пасты. Концентрация белка в пасте примерно одинакова для обезжиренного и необезжиренного жмыха. Высокая остаточная масляность необезжиренного жмыха холодного отжима (11,85 %) снижает растворимость белков и затрудняет их переход в водную фазу.

На следующем этапе исследования был проведен ферментативный гидролиз целлюлолитическим препаратом Брюзайм BGX для определения возможности снижения остаточной масляности рыжикового жмыха без применения органических растворителей. Для этого необезжиренный жмых рыжика посевного суспендировали в растворе фермента с различной концентрацией и перемешивали в течение 30, 60, 90 и 120 мин. Влияние концентрации фермента и продолжительности гидролиза на изменение масляности жмыха представлено на рисунке 2.

В результате проведенных исследований установлено, что частичная биodeградация растительных стенок с применением целлюлолитического препарата Брюзайм BGX позволяет снизить остаточную масляность жмыха рыжика посевного до 6,32 % (от исходной масляности 11,85 %). Чем выше была концентрация ферментного препарата и длительность обработки, тем ниже было содержание остаточного масла в рыжиковом жмыхе. При обработке Брюзаймом BGX в концентрации 4 мг/л снижение остаточной масляности составило от 1,62 до 3,7 % (30 и 120 мин гидролиза соответственно), в концентрации 6 мг/л – от 1,98 до 5,3 %, в концентрации 8 мг/л – от 2,9 до 5,53 %.

Выделение масла, полученного при ферментативном обезжиривании жмыха, осуществлялось путем центрифугирования. Для оценки качества масла было определено кислотное число (методом

визуального титрования в соответствии с ГОСТ 31933-2012), которое составило 2,58 мг КОН/г. Это соответствует требованиям к допустимым уровням показателей безопасности пищевой масложировой продукции ТР ТС 024/2011.

Затем из частично обезжиренных после ферментативного гидролиза жмыхов рыжика извлекали белковый компонент. Выход белковой пасты, концентрация белка в пасте и выход белка в % от суммарного содержания белка в жмыхе представлены на рисунках 3–5.

При ферментативной обработке рыжикового жмыха целлюлолитическим ферментом наблюдалось увеличение выхода белковой пасты относительно контрольного образца без применения гидролиза (на 0,91–6,24 %). Также увеличилась концентрация белка в белковой пасте: на 0,67 % при концентрации фермента 4 мг/л и обработке 30 мин, на 5,5 % при концентрации фермента 8 мг/л и обработке 120 мин. Увеличению выхода белковой пасты способствовало повышение количества водорастворимых углеводов, образовавшихся при ферментативном разрушении клеточных стенок.

Наименьший выход белка в % от суммарного содержания в жмыхе наблюдался при концентрации 4 мг/л и продолжительности обработки 30 мин и составил 37,53 %. При увеличении концентрации до 8 мг/л и продолжительности обработки до 120 мин выход белка составил 52,33 %. Это на 17,06 % выше, чем при получении белковой пасты из необезжиренного жмыха без ферментативной обработки. Однако на 5,2 % ниже, чем выход белка из обезжиренного шрота.

Для извлечения белков из шротов из масляных культур, таких как рапс, соевые бобы и шроты из микроводорослей используются ферментные препараты протеазной активности. S. B. Zhang и др. применяли Алкалазу (КФ 3.4.21.62) –

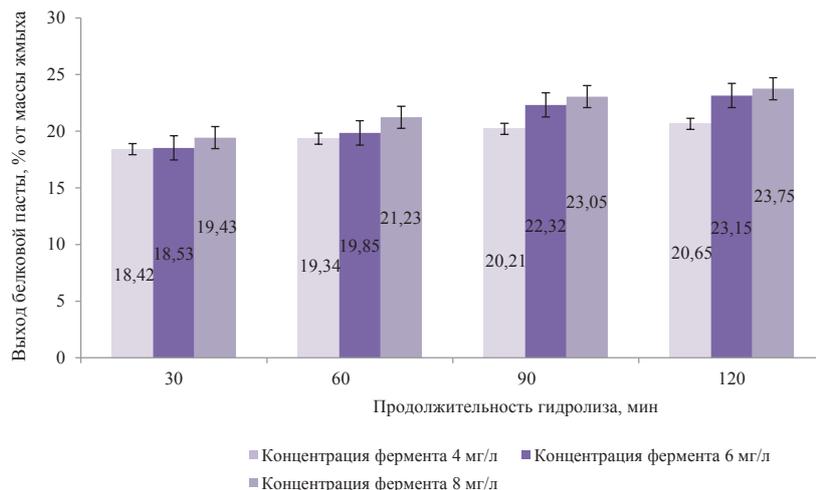


Рисунок 3. Влияние концентрации и продолжительности обработки ферментным препаратом Брюзайм ВГХ на выход белковой пасты из жмыха *Camelina sativa*

Figure 3. Effect of Bruzyme BGX on the protein yield from *Camelina sativa* oil cake at different concentrations and treatment time

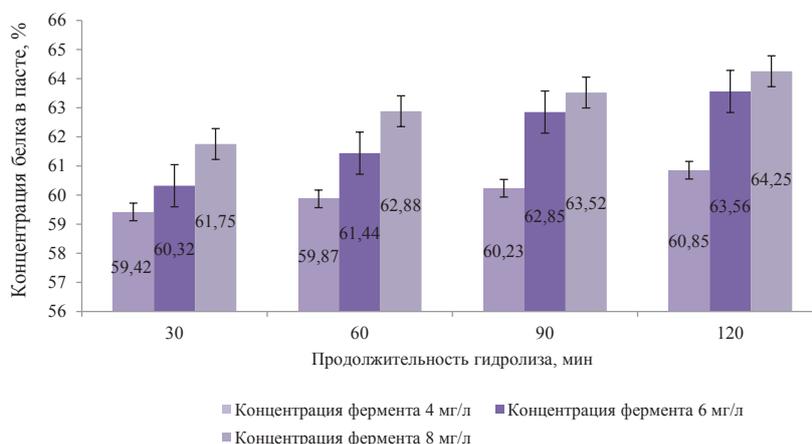


Рисунок 4. Влияние концентрации и продолжительности обработки ферментным препаратом Брюзайм ВГХ на концентрацию белка в белковой пасте из жмыха *Camelina sativa*

Figure 4. Effect of Bruzyme BGX on the protein concentration in *Camelina sativa* oil cake at different concentrations and treatment time

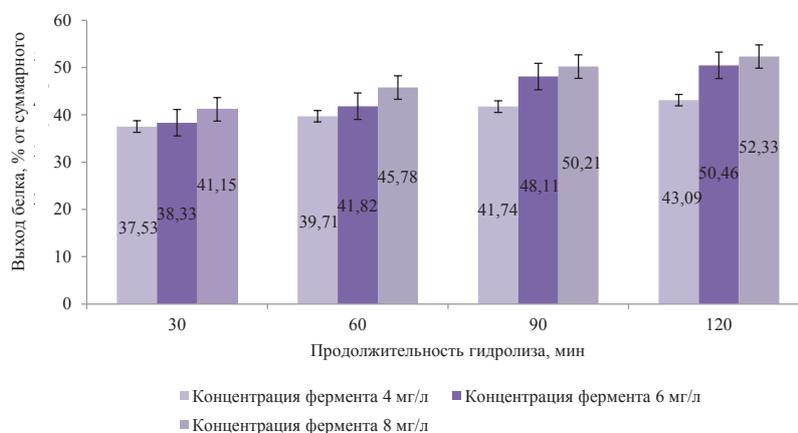


Рисунок 5. Влияние концентрации и продолжительности обработки ферментным препаратом Брюзайм ВГХ на выход белка из жмыха *Camelina sativa*

Figure 5. Effect of Bruzyme BGX on the protein yield from *Camelina sativa* oil cake at different concentrations and treatment time

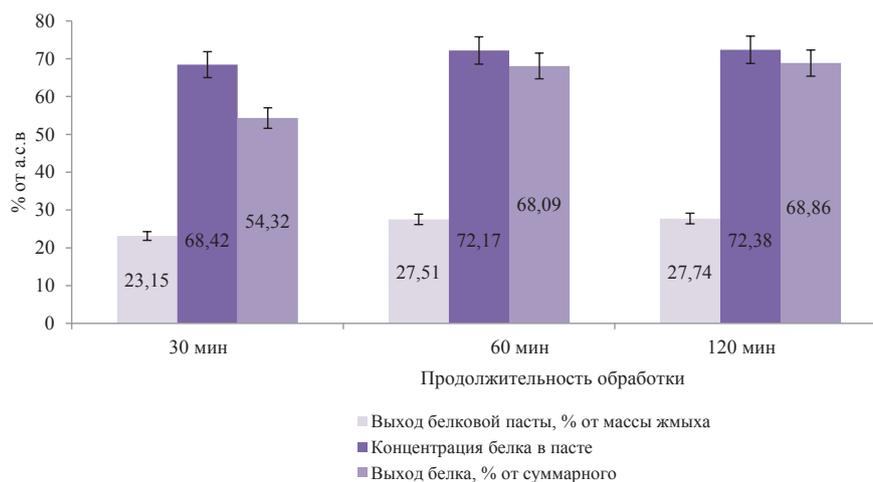


Рисунок 6. Влияние продолжительности обработки ферментным препаратом ренин «Мейто» на выход белка из жмыха *Camelina sativa*

Figure 6. Effect of the Meito renin on the protein yield from *Camelina sativa* cake at different treatment time

протеолитический фермент класса сериновых протеаз бактериального происхождения – с последующей обработкой карбогидразой (комбинация целлюлазы,  $\beta$ -глюканазы и пектиназы) семян рапса для ускорения гидролиза белка с целью разрушения эмульсии и одновременного получения более высоких выходов свободного масла (73–76 %) и гидролизатов белка (80–83 %) в системе водной ферментативной экстракции [25]. В другом исследовании экстракция с помощью протеазы Protamex позволила выделить из изолята белка фасоли пептиды антиоксиданта и ингибитора  $\alpha$ -амилазы. Аналогичным образом были исследованы ингибирующие и антигипертензивные свойства пептидов, полученных из белка картофеля и рапса с помощью Алкалазы [26]. Из приведенных выше примеров можно сделать вывод о том, что ферментативную экстракцию можно использовать не только для выделения белков, обладающих биологическими свойствами, но и для улучшения их активности [27].

Для дальнейшего исследования влияния ферментативного гидролиза на выход белка из рыжикового жмыха была проведена ферментативная экстракция с добавлением ферментного препарата протеазной активности ренин «Мейто». Препарат вносили в жмых рыжика после ферментативного обезжиривания Брюзайм ВГХ (при концентрации фермента 8 мг/л и продолжительности обработки 120 мин) в дозировке, рекомендуемой производителем (5 мг/л). Продолжительность обработки варьировали от 30 до 120 мин. Далее суспензию центрифугировали и проводили выделение белкового компонента.

Результаты влияния обработки ферментным препаратом ренин «Мейто» на выход белкового ком-

понента из рыжикового жмыха представлены на рисунке 6.

Как видно из полученных результатов, обработка ферментным препаратом ренин «Мейто» жмыха рыжика повышает концентрацию белка и выход белковой пасты.

Максимальный выход белка из жмыха рыжика после обработки Брюзайм ВГХ составил 52,33 % от суммарного содержания белка в жмыхе, а при последовательной обработке ренином «Мейто» – 68,86 % (на 16,53 % выше). Это на 11,33 % выше, чем при получении белка из обезжиренного шрота. Продолжительность ферментативного гидролиза 60 мин представляется наиболее целесообразной, т. к. увеличение продолжительности обработки в два раза не приводит к повышению выхода и концентрации белка.

Для оценки качественного состава полученного белка был определен его аминокислотный состав (табл. 1).

По результатам исследования можно сделать вывод об относительной стабильности аминокислотного состава белковых концентратов рыжикового жмыха, полученных различными методами. Белковые концентраты рыжикового жмыха содержат высокие значения лизина и треонина, аминокислотные скоры которых близки или больше единицы относительно эталонного белка. Все белковые порошки имели высокое общее содержание ароматических аминокислот (фенилаланин + тирозин), чем эталонный белок. Это согласуется с литературными данными по аминокислотному составу изолятов рапсового белка [28]. Аминокислотные составы белков рыжика характеризуются высоким уровнем серосодержащих аминокислот – метионина и цистеина, которые

Таблица 1. Аминокислотный состав белка из жмыха *Camelina sativa*, полученного методами энзиматической биоконверсииTable 1. Amino acid composition of protein obtained from *Camelina sativa* cake by enzymatic bioconversion

Аминокислоты	Массовая доля аминокислоты, г/100 г эталонного белка по ФАО/ВОЗ (2011)	Белок из обезжиренного шрота		Белок из необезжиренного жмыха		Белок из жмыха после биоконверсии	
		Массовая доля аминокислот в белке, г/100 г белка	Аминокислотный скор	Массовая доля аминокислот в белке, г/100 г белка	Аминокислотный скор	Массовая доля аминокислот в белке, г/100 г белка	Аминокислотный скор
Незаменимые							
Лизин	2,00	2,01	1,01	2,55	1,28	2,08	1,04
Фенилаланин + тирозин	5,70	5,85	1,03	5,97	1,05	6,15	1,08
Гистидин	5,20	4,64	0,89	3,67	0,71	3,53	0,68
Лейцин + изолейцин	9,80	6,20	0,63	5,8	0,59	5,95	0,61
Метионин + цистеин	2,70	3,10	1,15	3,11	1,15	3,55	1,31
Валин	4,30	4,15	0,97	4,11	0,96	4,13	0,96
Треонин	3,10	3,36	1,08	3,02	0,97	3,48	1,12
Триптофан	0,85	0,39	0,46	0,35	0,41	0,42	0,49
Заменимые							
Аргинин	–	10,19		9,15		10,51	
Пролин	–	5,99		6,45		6,53	
Серин	–	7,15		7,31		7,25	
Аланин	–	6,63		6,54		6,61	
Глицин	–	5,57		5,47		5,64	
Глутаминовая кислота + глутамин	–	17,75		17,72		17,47	
Аспарагиновая кислота + аспаргин	–	15,31		15,21		14,22	

превышают требования, установленные ФАО/ВОЗ. Это делает их превосходящими по этому показателю другие доступные растительные белки, включая бобовые [9].

По незаменимым аминокислотам белковые концентраты рыжикового жмыха содержат значительные количества глутаминовой (17,47–17,72 г/100 г белка) и аспарагиновой кислот (14,22–15,31 г/100 г белка).

Лимитирующей аминокислотой в белковом концентрате является триптофан, в рапсовом белке – лизин.

Для изучения возможности использования белковых концентратов, полученных из жмыха рыжика ферментативным гидролизом в пищевых производствах, были определены интегральные показатели их биологической ценности.

Расчет показателей биологической ценности проводился относительно состава идеального белка по шкале ФАО/ВОЗ методом определения ами-

нокислотных скоров и расчета на их основе коэффициента различий аминокислотного скоры и биологической ценности по методике И. А. Рогова и Н. Н. Липатова [29].

Коэффициент различий аминокислотного скоры характеризует среднюю величину избытка аминокислотного скоры незаменимых аминокислот в сравнении с наименьшим уровнем скоры какой-либо незаменимой аминокислоты (избыточное количество незаменимых аминокислот, не используемых на пластические нужды).

Интегральные показатели биологической ценности белков рыжикового жмыха до и после энзиматической биоконверсии представлены на рисунке 7.

В результате анализа расчетных показателей биологической ценности белковых концентратов из жмыха рыжика, представленных на рисунке 7, установлено увеличение биологической ценности белков после биоконверсии на 2 % по сравнению с белком из обезжиренного шрота. Таким образом,

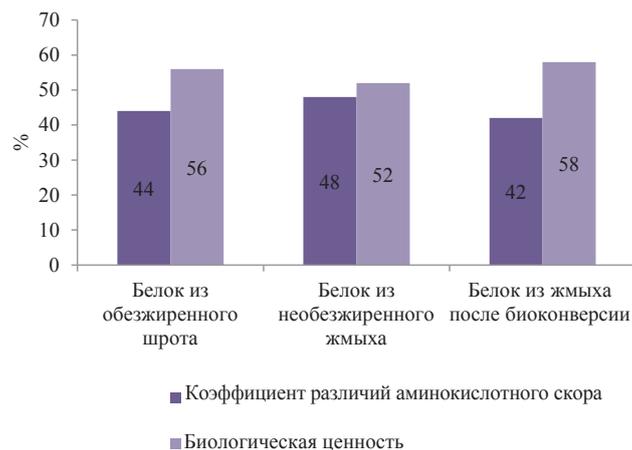


Рисунок 7. Показатели биологической ценности белков рыжика до и после энзиматической биоконверсии

Figure 7. Indicators of the biological value of Camelina proteins before and after enzymatic bioconversion

биотехнологические методы получения белковых концентратов не только повышают экономическую эффективность процесса, но и улучшают питательные свойства белков рыжика. Это дает возможность для дальнейшего их использования в качестве компонента пищевых продуктов.

#### Выводы

Доказана эффективность применения ферментных препаратов Брюзайм ВGX для ферментативного обезжиривания жмыха *Camelina sativa* перед извлечением белковых компонентов. Остаточная маслянисть может быть снижена на 5,53 % при продолжительности обработки ферментом 120 мин и концентрации 8 мг/л. Установлено, что применение протеолитического фермента ренин «Мейто» при последовательной обработке рыжикового жмыха в течение 60–120 мин увеличивает суммарный выход белка до 68,09–68,86 %. Это на 10,56–11,33 % выше, чем при получении белка из обезжиренного шрота.

Анализ аминокислотного состава белковых концентратов, полученных путем ферментативного гидролиза, показал увеличение биологической ценности белков.

Таким образом, применение методов биоконверсии для выделения белковых концентратов из жмыха рыжика позволяет исключить из технологии стадию обезжиривания органическими растворителями, а также получать продукт с высоким выходом и биологической ценностью.

#### Критерии авторства

Авторы в равной степени принимали участие в исследованиях и оформлении рукописи.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Contribution

All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for information published in this article.

#### Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

#### References/Список литературы

1. Semba RD. The rise and fall of protein malnutrition in global health. *Annals of Nutrition and Metabolism*. 2016;69(2):79–88. <https://doi.org/10.1159/000449175>
2. Kalu RE, Etim KD. Factors associated with malnutrition among underfive children in developing countries: A review. *Global Journal of Pure and Applied Sciences*. 2018;24(1):69–74. <https://doi.org/10.4314/gjpas.v24i1.8>
3. Tubb C, Seba T. Rethinking food and agriculture 2020–2030: The second domestication of plants and animals, the disruption of the cow, and the collapse of industrial livestock farming. *Industrial Biotechnology*. 2021;17(2):57–72. <https://doi.org/10.1089/ind.2021.29240.ctu>
4. Deng Y, Huang L, Zhang C, Xie P, Cheng J, Wang X, *et al.* Physicochemical and functional properties of Chinese quince seed protein isolate. *Food Chemistry*. 2019;283:539–548. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.083>

5. Du M, Xie J, Gong B, Xu X, Tang W, Li X, et al. Extraction, physicochemical characteristics and functional properties of Mung bean protein. *Food Hydrocolloids*. 2018;76:131–140. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.01.003>
6. Statsenko ES, Litvinenko OV, Korneva NYu, Shtarberg MA, Borodin EA. New technology for functional dessert production based on soy and pumpkin. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(2):351–360. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-2-351-360>
7. Statsenko ES, Litvinenko OV, Kodirova GA, Kubankova GV, Korneva NYu, Pokotilo OV. Fermented milk beverages fortified with soy protein. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(4):784–794. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-784-794>
8. Petrova SN, Maximova IA. Tokopherols in okara (soy pulp): Highly efficient liquid chromatography. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(2):194–203. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-2-194-203>
9. Chmielewska A, Kozłowska M, Rachwał D, Wnukowski P, Amarowicz R, Nebesny E, et al. Canola/rapeseed protein – nutritional value, functionality and food application: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021;61(22):3836–3856. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1809342>
10. Canistro D, Vivarelli F, Ugolini L, Pinna C, Grandi M, Antonazzo IC, et al. Digestibility, toxicity and metabolic effects of rapeseed and sunflower protein hydrolysates in mice. *Italian Journal of Animal Science*. 2017;16(3):462–473. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1298410>
11. Kalaydzhiev H, Georgiev R, Ivanova P, Stoyanova M, Silva CLM, Chalova VI. Enhanced solubility of rapeseed meal protein isolates prepared by sequential isoelectric precipitation. *Foods*. 2020;9(6). <https://doi.org/10.3390/foods9060703>
12. Ostrowska A, Kozłowska M, Rachwał D, Wnukowski P, Nebesny E, Rosicka-Kaczmarek J. Rapeseed protein-fibre concentrate: Chemical composition and functional properties. *Food. Science. Technology. Quality*. 2018;25(4):86–99. <https://doi.org/10.15193/zntj/2018/117/261>
13. Zhang Z, He S, Liu H, Sun X, Ye Y, Cao X, 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126998>
14. Östbring K, Malmqvist E, Nilsson K, Rosenlind I, Rayner M. The effects of oil extraction methods on recovery yield and emulsifying properties of proteins from rapeseed meal and press cake. *Foods*. 2020;9(1). <https://doi.org/10.3390/foods9010019>
15. Östbring K, Tullberg C, Burri S, Malmqvist E, Rayner M. Protein recovery from rapeseed press cake: Varietal and processing condition effects on yield, emulsifying capacity and antioxidant activity of the protein rich extract. *Foods*. 2019;8(12). <https://doi.org/10.3390/foods8120627>
16. Borah N, Mapelli S, Pecchia P, Chaliha B, Proteem Saikia S. Adaptation of *Camelina sativa* (L.) Crantz in Assam, India: agronomic, physiological and biochemical aspects of a potential biofuel feedstock. *Biofuels*. 2021;12(7):749–756. <https://doi.org/10.1080/17597269.2018.1537205>
17. Colonna MA, Giannico F, Tufarelli V, Laudadio V, Selvaggi M, De Mastro G, et al. Dietary supplementation with *Camelina sativa* (L. Crantz) forage in autochthonous Ionica goats: Effects on milk and Caciotta cheese chemical, fatty acid composition and sensory properties. *Animals*. 2021;11(6). <https://doi.org/10.3390/ani11061589>
18. Ngo NT, Shahidi F. Functional properties of protein isolates from camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) and flaxseed (*sophia*, *Descurainia sophia* L.) seed meals. *Food Production, Processing and Nutrition*. 2021;3(1). <https://doi.org/10.1186/s43014-021-00076-8>
19. Boyle C, Hansen L, Hinnenkamp C, Ismail BP. Emerging Camelina protein: Extraction, modification, and structural/functional characterization. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2018;95(8):1049–1062. <https://doi.org/10.1002/aocs.12045>
20. Sarv V, Trass O, Diosady LL. Preparation and characterization of *Camelina sativa* protein isolates and mucilage. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2017;94(10):1279–1285. <https://doi.org/10.1007/s11746-017-3031-x>
21. Jeevan Kumar SP, Vijay Kumar G, Dash A, Scholz P, Banerjee R. Sustainable green solvents and techniques for lipid extraction from microalgae: A review. *Algal Research*. 2017;21:138–147. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.11.014>
22. Castejón N, Luna P, Señoráns FJ. Alternative oil extraction methods from *Echium plantagineum* L. seeds using advanced techniques and green solvents. *Food Chemistry*. 2018;244:75–82. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.014>
23. Mwaurah PW, Kumar S, Kumar N, Attkan AK, Panghal A, Singh VK, et al. Novel oil extraction technologies: Process conditions, quality parameters, and optimization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020;19(1):3–20. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12507>
24. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation. Rome: FAO; 2013. 79 p.
25. Zhang SB, Wang Z, Xu SY. Optimization of the aqueous enzymatic extraction of rapeseed oil and protein hydrolysates. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2007;84(1):97–105. <https://doi.org/10.1007/s11746-006-1004-6>

26. Sari YW, Bruins ME, Sanders JPM. Enzyme assisted protein extraction from rapeseed, soybean, and microalgae meals. *Industrial Crops and Products*. 2013;43(1):78–83. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.07.014>

27. Ngoh Y-Y, Gan C-Y. Enzyme-assisted extraction and identification of antioxidative and  $\alpha$ -amylase inhibitory peptides from Pinto beans (*Phaseolus vulgaris* cv. Pinto). *Food Chemistry*. 2016;190:331–337. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.120>

28. Zahari I, Ferawati F, Purhagen JK, Rayner M, Ahlström C, Helstad A, *et al.* Development and characterization of extrudates based on rapeseed and pea protein blends using high-moisture extrusion cooking. *Foods*. 2021;10(10). <https://doi.org/10.3390/foods10102397>

29. Zandanova TN, Ivanova KV, Myryanova TP. The effect of starter on amino acid composition of fermented milk. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2021;83(1):258–262. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-258-262>