

УДК 635.657

Влияние параметров ферментативного гидролиза на степень деструкции углеводов нутовой муки и выход белка при получении изолята

А. В. КАЧАНОВА¹, канд. техн. наук С. В. АГАФОНОВА²¹asunyaykina54@gmail.com, ²svetlana.agafonova@klgtu.ru

Калининградский государственный технический университет

Исследован процесс ферментативного гидролиза нутовой муки с целью определения глубины гидролиза углеводов и степени извлечения белка. Для определения гидромодуля и продолжительности гидролиза, обеспечивающих наибольшую деструкцию углеводной фракции растительного сырья и наибольшую степень извлечения белка, проводились три серии экспериментов с варьированием следующих условий: гидромодуль (сырье/вода) 1/4, 1/6, 1/8, 1/10, 1/12, 1/14 и продолжительность ферментативного гидролиза 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 6, 8 часов, что позволило выявить наиболее эффективные параметры для получения белкового изолята. Исследован химический состав двух образцов белковых изолятов из нутовой муки, полученных из жидкой фракции с наиболее высоким содержанием редуцирующих сахаров по результатам трех серий экспериментов. Анализ содержания редуцирующих сахаров и сухих веществ показал значительное увеличение показателей в образцах с ферментным комплексом по сравнению с контрольными при варьировании разных условий гидромодуля и продолжительности гидролиза, что подтверждает эффективность внесения ферментов. В результате проведенных исследований установлено, что содержание белка, углеводов и других компонентов варьируется в зависимости от условий процесса, наибольшее влияние оказывает содержание редуцирующих сахаров в жидкой части. Продолжительность ферментативного гидролиза оказывает большее влияние на степень деструкции углеводов, чем гидромодуль. Высокой степени гидролиза углеводов и высокому выходу белка способствуют условия ферментативного гидролиза нутовой муки — продолжительность 4 ч при гидромодуле 1/8. При этих условиях ферментативного гидролиза возможно получение белкового изолята высокой степени чистоты с содержанием белка 90% в пересчете на сухое вещество.

Ключевые слова: нут, растительный белок, ферментативный гидролиз, белковый изолят, редуцирующие вещества, сухие вещества.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 02.12.2024, одобрена после рецензирования 22.01.2025, принята к печати 10.02.2025

DOI: 10.17586/1606-4313-2025-24-1-67-74

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Качанова А. В., Агафонова С. В. Влияние параметров ферментативного гидролиза на степень деструкции углеводов нутовой муки и выход белка при получении изолята. // Вестник Международной академии холода. 2025. № 1. С. 67–74. DOI: 10.17586/1606-4313-2025-24-1-67-74

The effect of the parameters of enzymatic hydrolysis of chickpea flour on the degree of destruction of vegetable carbohydrates and protein yield during the preparation of the isolate

A. V. KACHANOVA¹, Ph. D. S. V. AGAFONOVA²¹asunyaykina54@gmail.com, ²svetlana.agafonova@klgtu.ru

Kaliningrad State Technical University

The process of enzymatic hydrolysis of chickpea flour has been studied to increase the hydrolysis of carbohydrates and protein yield. To select the hydromodule and the duration of hydrolysis, ensuring the greatest destruction of the carbohydrate fraction of vegetable raw materials and the highest degree of protein extraction, three series of experiments were conducted with the following conditions: hydromodule — 1:4, 1:6, 1:8, 1:10, 1:12, and 1:14; the duration of enzymatic hydrolysis — 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 6, and 8 hours, which allowed to identify the most effective parameters for obtaining a protein isolate. The chemical composition of two samples of vegetable protein from chickpea flour obtained with a high content of reducing sugars was studied according to the results of three series of experiments. The analysis of the content of reducing sugars and solids showed a significant increase in the parameters in the samples with an enzyme complex compared with the control ones with different conditions of the hydromodule and the duration of hydrolysis, which confirms the effectiveness

of the introduction of enzymes. As a result of the research, it was found that the content of protein, carbohydrates and other components varies depending on the process conditions, the content of reducing sugars in the liquid part has the greatest effect. The duration of enzymatic hydrolysis has a greater effect on the degree of carbohydrate degradation than the hydromodule. The conditions of enzymatic hydrolysis of chickpea flour contribute to a high degree of hydrolysis of carbohydrates and high protein yield — the duration is 4 hours with a hydromodule 1/8. Under these conditions of enzymatic hydrolysis, it is possible to obtain a high purity protein isolate with 90 % protein content of on a dry matter basis.

Keywords: chickpeas, vegetable protein, enzymatic hydrolysis, protein isolate, reducing substances, dry substances.

Article info:

Received 02/12/2024, approved after reviewing 22/01/2025, accepted 10/02/2025

DOI: 10.17586/1606-4313-2025-24-1-67-74

Article in Russian

For citation:

Kachanova A. V., Agafonova S. V. The effect of the parameters of enzymatic hydrolysis of chickpea flour on the degree of destruction of vegetable carbohydrates and protein yield during the preparation of the isolate. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2025. No 1. p. 67-74. DOI: 10.17586/1606-4313-2025-24-1-67-74

Введение

Нут (лат. *Cicer*) — род однолетних травянистых растений семейства бобовых, которые произрастают преимущественно в регионах с полувлажным и умеренным климатом. Культура хорошо приспособлена к мягкому и сухому климату, с высокой устойчивостью к жарким условиям при достаточном количестве влаги в почве [1, 2]. Среди бобовых, культивируемых во всем мире, нут считается одним из самых богатых источников белка среди недорогого сырья, при этом качество его белка оценивается выше, чем других бобовых [3]–[5].

Содержание веществ в семенах нута связано с различиями в генотипах, фенотипических факторах, применением удобрений во время роста и развития растений. В среднем, содержание белка находится в пределах 18–30%, жира — 4–8%, углеводов — 46–63%, зольных веществ — 2–5% [4, 7].

В нуте преобладают четыре основные фракции белков, которые идентифицируются по их растворимости в растворителях. Наиболее значимыми из них являются солерастворимые глобулины (от 53 до 60% сухого остатка), за которыми следуют щелочерастворимые глютелины (от 19 до 24% сухого остатка), водорастворимые альбумины (от 8 до 12% сухого остатка), спирторастворимые проламины (от 3 до 7% сухого остатка) и нерастворимые склеропротеины в небольших количествах [3, 7, 8].

Белки нута хорошо сбалансированы по аминокислотному составу. Высокое содержание аминокислот метионина и триптофана — отличительная черта семян нута [9]. Нутовая мука, в отличие от пшеничной, содержит повышенное количество незаменимых аминокислот, включая аргинин, аспарагиновую и глутаминовую кислоты [10]. Основные запасные глобулиновые белки содержат в больших количествах аргинин, фенилаланин, лейцин и изолейцин [4, 10]. Биологическая ценность белка составляет 52–78%, коэффициент переваривания — 80–83% [11].

Процесс выделения белка состоит из трех этапов: обезжиривания, экстракции белка и осаждения белка. Методы получения белковых препаратов из растительного сырья включают химический метод (щелочная, кислотная, спиртовая, солевая, водная экстракция), биотехнологический метод (ферментативный гидролиз) и ультра-

трафильтрацию. Для выделения белка из нута в практике не используют кислотную и спиртовую экстракцию ввиду содержания малого количества кислото- и спирторастворимых фракций белков [15].

Щелочная экстракция. Экстракция белка из растительного сырья чаще всего осуществляется с помощью щелочей. Щелочная экстракция основана на электростатическом отталкивании между молекулами белка при повышении pH, что открывает гидрофобные группы и приводит к агрегации белка через гидрофобные взаимодействия. Гидрофобные группы активируются электростатическими силами в изoeлектрической точке, что приводит к уплотнению структуры белка [16]. Щелочная экстракция предпочтительна благодаря повышенной перевариваемости и биодоступности изолированных белков. Данный метод стабильно обеспечивает высокий выход белка от 67% до 85%, а также замечательные уровни чистоты белка, варьирующие от 68% до 85% [16]. Однако применение щелочи для выделения белка может приводить к преобразованию аминокислот и деградации незаменимых аминокислот, таких как лизин и цистеин. Этот метод экстракции потребляет большое количество воды и химических веществ, что негативно сказывается на окружающей среде [17].

Солевая экстракция. Процесс экстракции солью основан на явлении «высаливания», свойственном некоторым фракциям белков. В этом методе растворимость белка изменяется путем добавления определенных типов и концентраций солей, обычно 1 М хлористого натрия, сернокислого калия, сернокислого аммония [18]. Соль денатурирует белок, что связано с ее способностью вмешиваться в гидрофобные взаимодействия, удерживающие молекулы белка в стабильной конформации [19, 20]. Белковая фракция затем может быть отделена от других компонентов с помощью таких методов, как центрифугирование, фильтрация или осаждение [18].

Одним из недостатков солевой экстракции является то, что часто требуются высокие концентрации соли, которые могут быть неэффективными и требовать сложных методов обработки. Также методы осаждения солями могут дать тонкую, трудно восстанавливаемую суспензию белка. Эффективность солевой экстракции в извлечении белков из бобовых культур может зависеть

от различных параметров, включая pH раствора, начальное содержание белка, тип бобовых культур и концентрацию соли [21]. Исследование Карака и соавторов [22] показало, что выход белка с использованием солевой экстракции из чечевицы, бобов нута и гороха составляет 74,71–82,64%, что меньше, чем выход белка, полученный с помощью щелочной экстракции.

Ультрафильтрация. Ультрафильтрация имеет множество потенциальных преимуществ по сравнению с методами химической экстракции. Эти преимущества включают возможность удержания более широкого спектра белковых компонентов из экстракта, включая альбумины, в отличие от щелочного метода, который часто сосредоточен на извлечении глобулинов [16, 23]. Кроме того, благодаря отсутствию необходимости в экстремальных pH-условиях, белки могут сохранять свою нативную конформацию [16, 24]. В отношении функциональных характеристик белков из чечевицы, гороха и нута, ультрафильтрация может привести к снижению содержания фосфора и фенолов, но показывает высокие уровни ингибиторов трипсина [25].

Биотехнологический метод. Ферментативный гидролиз — надежный метод экономичного восстановления высококачественных растительных белков и увеличения выхода белковой экстракции. Данный метод фокусируется на нарушении целостности клеточной стенки путем ферментативного разрушения ее компонентов (гемицеллюлоз, целлюлозы и пектина), с целью увеличения выхода экстрагированных белков и сведения к минимуму деградации белка [16]. По сравнению с химическим гидролизом, ферментативный гидролиз обладает рядом ценных преимуществ, таких, как: отсутствие реактивов в конечных продуктах; отсутствие необходимости в экстремальных условиях реакции (высокая температура, значительные концентрации реактивов, крайние уровни pH); высокая селективность; возможность контроля и регулирования процесса; экологическая безопасность; улучшение функциональных и физико-химических характеристик белков (например, белки нута показывают улучшенные пенообразующие и эмульгирующие свойства после ферментативного гидролиза) [16, 26].

Недостатки включают дорогостоящее оборудование и необходимость постоянного контроля условий гидролиза [16].

Подбор ферментных препаратов для осуществления биотехнологического метода экстракции белка основывается на углеводном составе клеточной стенки растительного сырья. Нут содержит: моносахариды — рибозу, глюкозу, галактозу и фруктозу; дисахариды — сахарозу, мальтозу, олигосахариды — стахиозу, цицеритол, раффинозу, вербаскозу, крахмал [12]. Распространенными углеводами бобовых культур являются α -галактозиды, в нуте на их долю приходится порядка 62% общего содержания сахара (43% моно-, ди- и 20% олигосахаридов) [13]. В нем присутствуют две важные группы α -галактозидов: олигосахариды семейства раффиноз — раффиноза, стахиоза и вербаскоза и галактозилциклиты, включая цицерит. Цицеритол и стахиоза, два важных галактозида, содержащихся в нуте в наибольшем количестве, составляют 36–43% от общего содержания галактозидов [12, 14].

Содержание крахмала в нуте колеблется в пределах 41–50% от общего количества углеводов [3, 14]. Гемицеллюлозный сахар арабиноза содержится в значительных количествах в кожуре и нерастворимых волокнах нута. Глюкоза содержится в больших количествах в кожуре и растворимых волокнах. Ксилоза является основным компонентом растворимых фракций клетчатки [1, 14].

Цель и задачи исследования

Целью исследования явилось совершенствование технологии ферментативного получения белкового изолята из нутовой муки путем установления гидро модуля и продолжительности ферментативного гидролиза, обеспечивающих наибольшую деструкцию углеводной фракции растительного сырья и наибольшую степень извлечения белка.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- установить гидро модуль и продолжительность ферментативного гидролиза, обеспечивающих наибольшую степень деструкции углеводов и извлечения белка;
- исследовать химический состав образцов с наибольшей степенью гидролиза углеводов и извлечения белка.

Материалы и методы исследования

В качестве сырья для получения белкового изолята использовали нутовую муку производителя «Житница здоровья» (г. Тверь). Деструкцию углеводов проводили под действием ферментного комплекса в дозировке 0,7% к массе сырья, состоящего из следующих ферментных препаратов: бета-глюканаза, целлюлаза и маннаназа (производитель ТД «Биопрепарат», Россия) [2].

Для проведения ферментативного гидролиза составляли суспензию из нутовой муки и воды, гидролиз вели при условиях, оптимальных для проявления активности ферментативного комплекса (температура 50 °C, pH 4,0) [2]. В качестве контроля исследовали образцы без внесения ферментного комплекса.

В первой серии экспериментов варьированию подлежала продолжительность ферментативного гидролиза (0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 6, 8 ч) при постоянном гидро модуле 1/8. Во второй серии экспериментов варьировали гидро модуль — соотношение нутовой муки и воды (1/4, 1/6, 1/8, 1/10, 1/12, 1/14) при постоянной продолжительности гидролиза 2 ч.

В третьей серии экспериментов варьировали условия, полученные по результатам первой и второй серии экспериментов: продолжительность ферментативного гидролиза (2, 4 ч) и гидро модуль (1/4, 1/8), применяя следующие различные вариации условий — 2 ч, 1/4; 2 ч, 1/8; 4 ч, 1/4; 4 ч, 1/8.

Ферментативный гидролиз проводили в термостате при температуре 50 °C и постоянном перемешивании. После нейтрализации до pH 7,5 негидролизовавшееся сырье отделяли центрифугированием при частоте вращения 3500 об/мин в течение 15 мин. В жидкой части определяли содержание сухих веществ и редуцирующих сахаров. Из жидкой части осаждали белок в изотонической точке (pH 4,3). После выпадения белка в осадок проводили отделение полученного белка от жидкой части центрифугированием при тех же условиях.

Содержание редуцирующих веществ определяли адаптированным методом с 3,5-динитросалициловой кислотой (ГОСТ Р 54905–2012 «Препараты ферментные. Методы определения ферментативной активности бета-глюканазы»). Сущность метода заключается в восстановлении в присутствии редуцирующих сахаров 3,5-динитросалициловой кислоты до 3-амино-5-нитросалициловой кислоты, обладающей красно-оранжевой окраской, интенсивность которой измеряется колориметрически при длине волны 540 нм. Расчет содержания редуцирующих веществ осуществляли с помощью градуировочной кривой по глюкозе.

Массовую долю влаги и сухих веществ определяли высушиванием навески до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 103–105 °С.

В белковом изоляте массовую долю белка определяли по методу Кьельдаля, массовую долю жира — экстракцией по методу Сокслета, содержание золы — озолением навески при температуре 600 °С в муфельной печи.

Результаты исследования

Диаграммы на рис. 1 показывают степень гидролиза углеводов (а) и выход сухих веществ в раствор (б) при разной продолжительности ферментативного гидролиза нутовой муки.

Как видно из диаграмм, содержание редуцирующих сахаров и сухих веществ в контрольных образцах при 2 ч (193,9 мг%, 2,9%) и 4 ч (270,0 мг%, 2,9%) гидролиза значительно ниже в сравнении с образцами с внесением ферментного комплекса при той же продолжительности гидролиза: 272,5 мг%, 3,3% и 358,6 мг%, 3,1% соответственно. Это свидетельствует об эффективности выбранного комплекса ферментных препаратов.

Рост количества редуцирующих веществ не имеет четкой корреляции с ростом содержания сухих веществ, что связано, по-видимому, с изменением степени экстра-

гирования белковых веществ и переходом их в нерастворимое состояние при увеличении продолжительности гидролиза. Тем не менее, в первые два часа гидролиза отмечается рост обоих показателей.

Количество редуцирующих веществ возрастает в первые два часа гидролиза, после чего отмечается снижение их концентрации и вновь рост с достижением максимума (429,3 мг%) через 3,5 ч от начала эксперимента. После этого содержание редуцирующих веществ снижается снова. Снижение количества редуцирующих веществ в процессе ферментативного гидролиза можно объяснить увеличением экстракции белковых веществ и протеканием реакции Майяра при длительном воздействии повышенной температуры (50 °С) [27].

Диаграммы на рис. 2 иллюстрируют степень гидролиза углеводов (а) и выход сухих веществ (б) при разном гидромодуле ферментативного гидролиза нутовой муки.

Из диаграммы, показанной на рис. 2, а, видно, что увеличение количества добавленной воды ведет к невыраженному снижению содержания редуцирующих веществ. Содержание сухих веществ также меняется незначительно (рис. 2, б). С учетом того, что содержание сухих веществ при гидромодулях 1/8 и 1/10 достигает максимальных значений (6,69 и 6,71% соответственно), а количество редуцирующих веществ, напротив, незначительно уменьшается, есть повод предполагать, что увеличение количества добавленной воды до этих уровней способствует интенсификации экстракции белковых веществ.

По результатам описанных экспериментов для дальнейшего анализа были выбраны следующие режимы гидролиза: гидромодуль 1/4 и 1/8, продолжительность 2 ч и 4 ч.

Диаграммы на рис. 3 показывают содержание редуцирующих сахаров (а) и сухих веществ (б) при варьировании следующих условий ферментативного гидролиза: продолжительность 2 ч и 4 ч, гидромодуль 1/4 и 1/8.

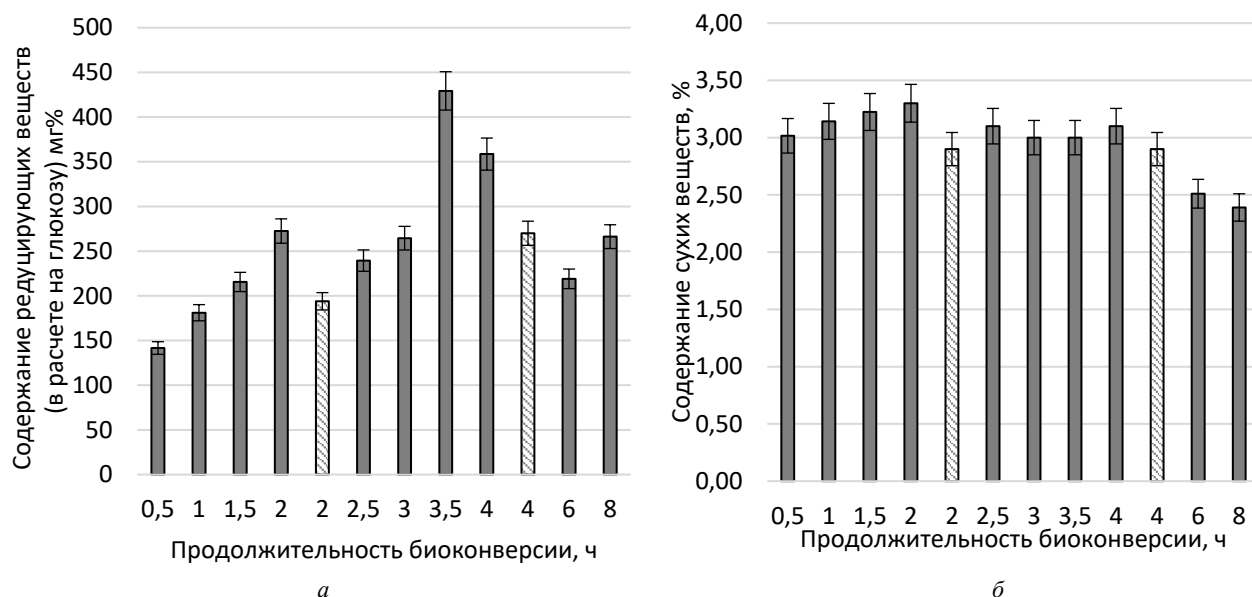


Рис. 1. Содержание редуцирующих веществ (а) и сухих веществ (б) в жидкой части гидролизата нутового сырья при различной продолжительности гидролиза; ▨ контрольные образцы без ферментов

Fig. 1. The content of reducing substances (а) and dry substances (б) in the liquid part of the hydrolysate of chickpea at different duration of hydrolysis; ▨ control samples without enzymes

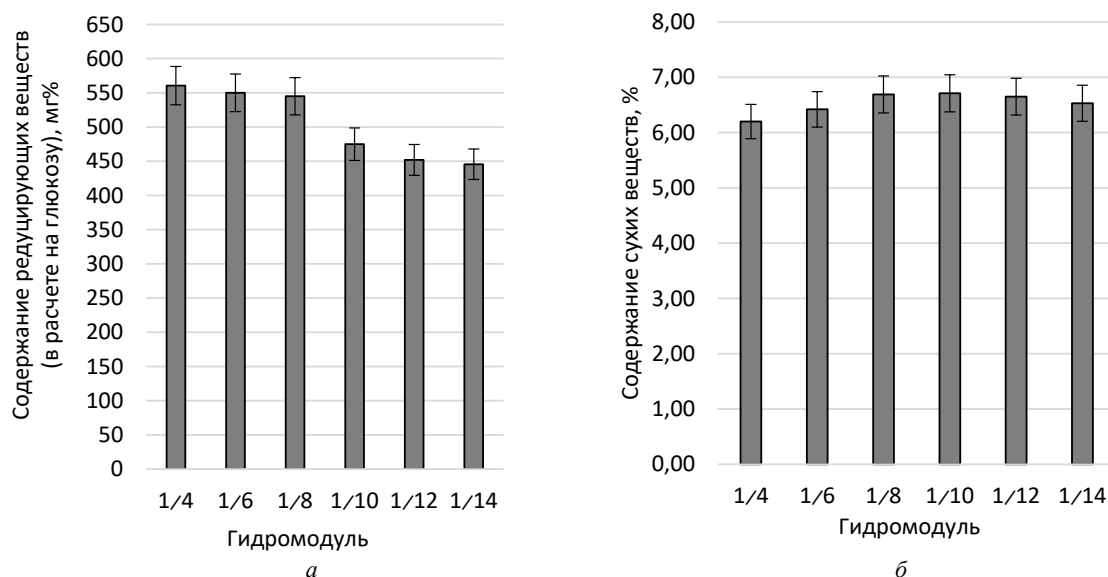


Рис. 2. Содержание редуцирующих веществ (а) и сухих веществ (б) в жидкой части гидролизатов нутового сырья при различном гидромоуле (сырье/вода), пересчет с учетом разбавления

Fig. 2. The content of reducing substances (a) and dry substances (b) in the liquid part of hydrolysates of chickpea with different hydromodule (raw materials/water), recalculated taking into account dilution

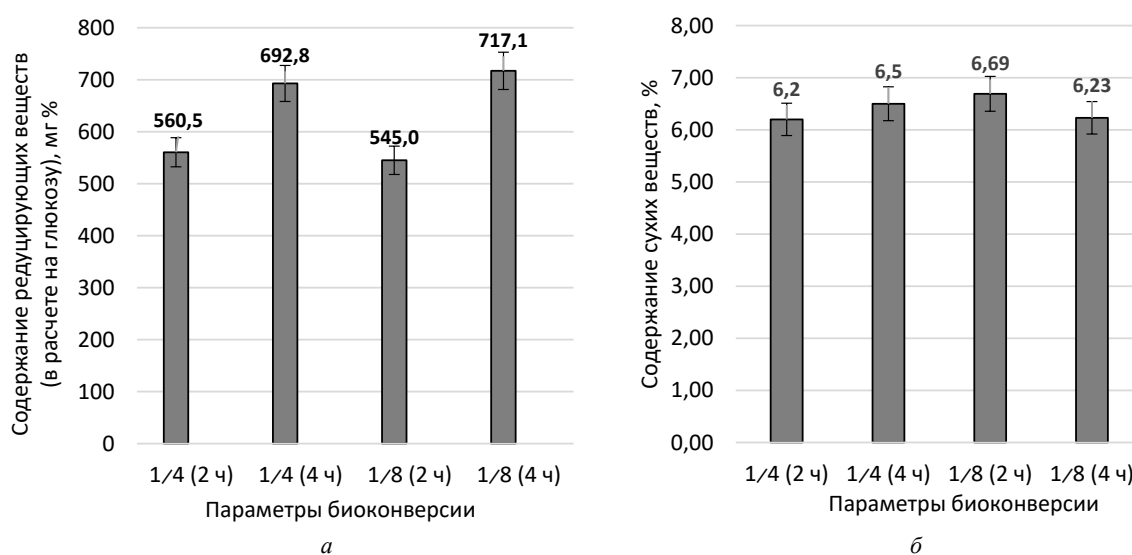


Рис. 3. Содержание редуцирующих веществ (а) и сухих веществ (б) в жидкой части гидролизатов нутового сырья при гидромоулах 1/4 и 1/8 и продолжительности гидролиза 2 и 4 ч, пересчет с учетом разбавления

Fig. 3. The content of reducing substances (a) and solids (b) in the liquid part of the hydrolysates of chickpea at hydromodules 1/4 and 1/8 and the duration of hydrolysis of 2 and 4 hours, recalculated taking into account dilution

Данные, представленные на рис. 3, а, еще раз демонстрируют, что продолжительность гидролиза оказывает большее влияние на степень деструкции углеводов, чем гидромоуль. Наиболее высокое содержание редуцирующих веществ (717,1 мг%) отмечается при гидромоуле 1/8 и продолжительности гидролиза 4 ч.

По результатам анализа рис. 3 можно сделать вывод, что наиболее глубокий распад углеводов обеспечивают параметры гидролиза: гидромоуль 1/4, продолжительность 4 ч и гидромоуль 1/8, продолжительность 4 ч. Для полученных при этих параметрах изолятов после сублимационной сушки определяли общий химический состав (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что образец, полученный при параметрах гидролиза гидромоуль 1/8, продолжительность 4 ч, существенно отличается по химическому составу от образца, полученного при гидромоуле 1/4 и той же продолжительности гидролиза. Так, в нем отмечается большее содержание белка (90,0% сухого вещества), меньшая жирность (4,4% сухого вещества), большая зольность (1,3% сухого вещества) и меньшее содержание углеводов (4,3% сухого вещества). Такое различие в химическом составе, в том числе, более высокое содержание золы во втором образце, свидетельствует о более глубоком гидролизе нутовой муки.

Таблица 1

Химический состав белкового полуфабриката из нутовой муки при различных параметрах ферментативного гидролиза, % сухого вещества

Table 1

Chemical composition of the protein semi-finished product from chickpea flour at various parameters of enzymatic hydrolysis, % dry matter

Параметры гидролиза	Белок	Жир	Зола	Углеводы*
Гидро модуль 1/4, продолжительность 4 ч	82,5	9,8	0,3	7,4
Гидро модуль 1/8, продолжительность 4 ч	90,0	4,4	1,3	4,3

* по разности

Таким образом, несмотря на незначительные различия в содержании редуцирующих веществ и сухих веществ в двух жидких гидролизатах (рис. 3, а, б), полученных при продолжительности гидролиза 4 ч и гидро модулях 1/4 и 1/8, отмечается существенная разница в химическом составе выделенных из них белковых изолятов. Из рассмотренных различных комбинаций условий гидролиза установлено, что высокому выходу белка способствуют условия ферментативного гидролиза при продолжительности 4 ч и гидро модуле 1/8. Выход белка в большей степени зависит от содержания редуцирующих сахаров в жидкой части.

Выводы

Результаты исследования позволяют сделать выводы, что биотехнологический способ деструкции нутового сырья для получения белковых изолятов является перспективным, экологически чистым способом, обеспечивающим высокий выход целевого продукта. При гидролизе нутовой муки комплексом ферментных препаратов, состоящим из бета-глюканазы, целлюлазы и маннаназы, выявлено, что высокой степени гидролиза угле-

водов способствуют следующие условия ферментативной обработки: продолжительность 4 ч при гидро модуле 1/8. Установлено, что выход белка в большей степени коррелирует с содержанием редуцирующих сахаров в жидкой части гидролизата, чем с общим содержанием в ней сухих веществ. При одинаковой продолжительности гидролиза (4 ч) использование большего гидро модуля (1/8 против 1/4) позволяет получить продукт с меньшим содержанием углеводов (4,3 %), жира (4,4 %) и большим содержанием белка (90 %).

Полученный биотехнологическим способом изолят нутового белка высокой степени чистоты имеет потенциал для использования в пищевой промышленности. Установленная в предыдущих исследованиях высокая биологическая ценность нутового белка [2] позволяет рекомендовать использовать полученный продукт для обогащения белком различных категорий пищевых продуктов, в том числе, специализированных, веганских, безглютеновых, предназначенных для питания спортсменов. Разработка технологий таких видов продуктов является перспективным направлением дальнейших исследований.

Литература

1. Ахангаран М., Афанасьев Д. А., Чернуха И. М., Машенцева Н. Г., Гаравири М. Биоактивные пептиды и антипитательные вещества нута характеристика и свойства (обзор). // Труды по прикладной ботанике, генетике, селекции. 2022. № 183 (1). С. 214–223.

2. Суняйкина А. В., Агафонова С. В. Получение, исследование состава и биологической ценности белковой пасты из нута. // Вестник Международной академии холода. 2023. № 4. С. 60–66. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-4-60-66

3. Begum N., Khan Q. U., Liu L. G., Li W., Liu D., Haq I. U. Nutritional composition, health benefits and bio — active compounds of chickpea (Cicer arietinum L.) // Frountiers in Nutrition. 2023. No 10. P. 1–17.

4. Espinosa-Ramírez J., Serna-Saldivar S. O. Wet-Milled Chickpea Coproduct as an Alternative to Obtain Protein Isolates. // Lebenson. Wiss. Technol. 2019. No 115. 108468.

5. Хомидов И. И., Аскарлов И. Р. Химический состав и лекарственные свойства плодoвpастения Cicer Arietinum. // Экономика и социум. 2023. № 9 (112). С. 571–578.

6. Kolpakova V. V., Kulikov D. S., Ulbanova R. V., Chumikina L. V. Food and Feed Protein Preparations from Peas and Chickpeas:

References

1. Akhangaran M., Afanasyev D. A., Chernukha I. M., Mashentseva N. G., Garaviri M. Bioactive peptides and anti-nutritional substances of chickpeas characteristics and properties (review). Works on applied botany, genetics, and breeding. 2022. No. 183 (1). pp. 214–223. (in Russian)

2. Sunyakina A. V., Agafonova S. V. Composition, biological value and production of protein paste from chickpeas. Journal of International Academy of Refrigeration. 2023. No 4. p. 60–66. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-4-60-66. (in Russian)

3. Begum N., Khan K. U., Liu L. G., Li U., Liu D., Hak I. U. Nutritional composition, health benefits and biologically active compounds of chickpeas (Cicer arietinum L.). Advanced achievements in nutrition. 2023. No. 10. pp. 1–17.

4. Espinosa-Ramirez, H.; Serna-Saldivar, S. O. A byproduct of wet-ground chickpeas as an alternative to obtaining protein isolates. Lebenson. Viss. Technology. 2019. No. 115. 108468.

5. Khomidov I. I., Askarov I. R. Chemical composition and medicinal connections of Cicer Arietinum. Encyclopedia and society. 2023. No. 9 (112). pp. 571–578. (in Russian)

6. Kolpakova V. V., Kulikov D. S., Ulbanova R. V., Chumikina L. V. Food and feed protein preparations from peas and chick-

- Production, Properties, Application. // *Food Processing Techniques and Technology*. 2021. No 51 (2). P. 333–348.
7. Ramani A., Kushwaha R., Malaviya R., Kumar R., Yadav N. Molecular, Functional and Nutritional Properties of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Protein Isolates Prepared by Modified Solubilization Methods. // *J. Food Meas. Charact.* 2021. No 15. P. 2352–2368.
 8. Kaur R., Prasad K. Technological, processing and nutritional aspects of chickpea (*Cicer arietinum*) — A review. // *Trends in Food Science and Technology*. 2021. No 109. P. 448–463.
 9. Jha U. C., Nayyar H., Thudi M., Beena R., Prasad P. V. V., Siddique K. H. M. Unlocking the nutritional potential of chickpea: strategies for biofortification and enhanced multnutrient quality. // *Front. Plant Sci.* 2024. No. 15. 1391496.
 10. Кыдзуб Н. Г., Кузьмина С. П., Коцюбинская О. А., Бондаренко Н. А., Уфимцева С. В. Зернобобовые культуры в структуре функционального питания (фасоль зерновая и овощная, горох овощной, нут). // *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2019. № 133. С. 157–167.
 11. Patil N. Chickpea protein: A comprehensive review on nutritional properties, processing, functionality, applications, and sustainable impact. // *Journal of Pharmaceutical Innovations*. 2023. No 12 (7). 3424–3434.
 12. Sánchez-Mata M. C., Peñuela-Teruel M. J., Cámara-Hurtado M., Díez-Marqués C., and Torija-Isasa M. E. Determination of Mono-, Di-, and Oligosaccharides in Legumes by High-Performance Liquid Chromatography Using an Amino-Bonded Silica Column. // *J. Agric. Food Chem.* 1998. No 46. P. 3648–3652.
 13. Jukanti A. K., Gaur P. M., Gowda C. L. L., Chibbar R. N. Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review. // *British Journal of Nutrition*. 2012. No 108. P. 11–26.
 14. Kumar S., Babu R., Kumar D., Chauchan D., Ashish R., Kumar R. To find out the nutritional characteristics of some promising varieties/genotypes of chickpea. // *Journal of Pharmaceutical Innovations*. 2021. No 10 (8). P. 121–126.
 15. Chang L., Lan Y., Bandillo N., Ohm J.-B., Chen B., Rao J. Plant Proteins from Green Pea and Chickpea: Extraction, Fractionation, Structural Characterization and Functional Properties. // *Food Hydrocoll.* 2022. No 123. 107165.
 16. Patil N. D., Bains A., Sridhar K., Bhaswant M., Kaur S., Tripathi M., Lanterbecq D., Chawla P., Sharma M. Extraction, Modification, Biofunctionality, and Food Applications of Chickpea (*Cicer arietinum*) Protein: An Up-to-Date Review. // *Foods*. 2024. No 13 (9). 1398.
 17. Zhang Y., Huang X., Zeng X., Li L., Jiang Y. Preparation, Functional Properties, and Nutritional Evaluation of Chickpea Protein Concentrate. // *Cereal Chem.* 2023. No 100. P. 310–320.
 18. Поморова Ю. Ю., Пятаковский В. В., Бескоровайный Д. В., Болховитина Ю. С. Характеристика, методы выделения белковой фракции семян основных масличных культур (обзор). // *Масличные культуры*. 2019. № 4 (180). С. 161–169.
 19. Yingchutrakul M., Wasinnitiwong N., Benjakul S., Singh A., Zheng Y., Mubango E., Luo Y., Tan Y., Hong H. Asian Carp, an Alternative Material for Surimi Production: Progress and Future. // *Foods*. 2022. No 11. 1318.
 20. Shanthakumar P., Klepacka J., Bains A., Chawla P., Dhull S. B., Naidu A. The Current Situation of Pea Protein and Its Application in the Food Industry. // *Molecules*. 2022. No 27. 5354.
 - peas: production, properties, application. *Food processing techniques and technologies*. 2021. No. 51 (2). pp. 333–348.
 7. Ramani A., Kushwaha R., Malavia R., Kumar R., Yadav N. Molecular, functional and nutritional properties of chickpea protein isolates (*Cicer arietinum* L.) obtained by modified solubilization methods. *J. Food Meas.* Article 2021. No. 15. pp. 2352–2368.
 8. Kaur R., Prasad K. Technological aspects of production and nutritional value of chickpeas (*Cicer arietinum*) — Review. *Trends in food science and technology*. 2021. No. 109. pp. 448–463.
 9. Jha U. S., Nayyar H., Tudi M., Bina R., Prasad P. V. V., Siddiq K. H. M. Unlocking the nutritional potential of chickpeas: strategies for biofortification and improving the quality of a variety of nutrients. *Front. Factory license*. 2024. No. 15. 1391496.
 10. Kyzdub N. G., Kuzmina S. P., Kotsyubinskaya O. A., Bondarenko N. A., Ufimtseva S. V. Leguminous crops in the structure of functional nutrition (grain and vegetable beans, vegetable peas, chickpeas). *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden*. 2019. No. 133. pp. 157–167. (in Russian)
 11. Patil N. Chickpea protein: a comprehensive overview of nutritional properties, processing, functionality, application and sustainable effects. *Journal of Pharmaceutical Innovations*. 2023. no 12 (7). 3424–3434.
 12. Sanchez-Mata M. S., Penuela-Teruel M. H., Camara-Hurtado M., Díez-Marquez K. and Toria-Isasa M. E. Determination of the content of mono-, di- and oligosaccharides in legumes by high-performance liquid chromatography using an amino-bound column silica. *J. Agric. Chemistry of food products*. 1998. No. 46. pp. 3648–3652.
 13. Giukanti A. K., Gaur P. M., Gouda K. L. L., Chibbar R. N. Nutritional qualities and health benefits of chickpeas (*Cicer arietinum* L.): a review. *British Journal of Nutrition*. 2012. No. 108. pp. 11–26.
 14. Kumar S., Babu R., Kumar D., Chauchan D., Ashish R., Kumar R. To find out the nutritional characteristics of some promising chickpea varieties/genotypes. *Journal of Pharmaceutical Innovations*. 2021. No. 10 (8). pp. 121–126.
 15. Chang L., Lan Y., Bandillo N., Ohm J.-B., Chen B., Rao J. Vegetable proteins from green peas and chickpeas: extraction, fractionation, structural characteristics and functional properties. *Food Hydrocoll.* 2022. № 123. 107165.
 16. Patil N. D., Bains A., Sridhar K., Bhaswant M., Kaur S., Tripathi M., Lanterbeck D., Chawla P., Sharma M. Extraction, modification, biofunctionality and nutritional use of chickpeas (*Cicer arietinum*). Protein: A modern review. *Foods*. 2024. № 13 (9). 1398.
 17. Zhang Y., Huang X., Zeng X., Li L., Jiang Y. Preparation, functional properties and nutritional value of chickpea protein concentrate. *Cereal Chem.* 2023. No. 100. pp. 310–320.
 18. Pomorova Yu. Yu., Pyatovsky V. V., Beskorovayny D. V., Bolkhovitina Yu. S. Characteristics, methods of isolation of the protein fraction of seeds of basic oilseeds (review). *Oilseeds*. 2019. No. 4 (180). pp. 161–169. (in Russian)
 19. Yingchutrakul M., Wasinnitiwong N., Benjakul S., Singh A., Zheng Y., Mubango E., Luo Y., Tan Y., Hong H. Asian carp, alternative material for the production of surimi: progress and the future. *Food products*. 2022. № 11. 1318.
 20. Shantakumar P., Klepaka J., Baines A., Chawla P., Dull S. B., Naidu A. The current state of pea protein and its application in the food industry. *Molecules*. 2022. No. 27. 5354.

21. Gomes A., Sobral P. J. do A. Plant Protein-Based Delivery Systems: An Emerging Approach for Increasing the Efficacy of Lipophilic Bioactive Compounds. // *Molecules*. 2021, No 27. 60.
22. Karacha A. S., Low N., Nickerson M. Emulsifying Properties of Chickpea, Faba Bean, Lentil and Pea Proteins Produced by Isoelectric Precipitation and Salt Extraction. // *Food Res. Int.* 2011. No 44. P. 2742–2750.
23. Kamal H., Le C. F., Salter A. M., Ali A. Extraction of Protein from Food Waste: An Overview of Current Status and Opportunities. *Compr. Rev. // Food Science. Food Saf.* 2021, 20, 2455–2475.
24. Eze C. R., Kwofie E. M., Adewale P., Lam E., Ngadi M. Advances in Legume Protein Extraction Technologies: A Review. *Innov. // Food Sci. Emerg. Technol.* 2022. No 82. 103199.
25. Kumar M., Tomar M., Potkule J., Verma R., Punia S., Mahapatra A., Belwal T., Dahuja A., Joshi S., Berwal M. K. et al. Advances in the Plant Protein Extraction: Mechanism and Recommendations. // *Food Hydrocoll.* 2021. No 115. 106595.
26. Sareen J. Effect of Enzymatic Hydrolysis on the Physicochemical, Functional, and Nutritional Properties of Pea and Faba Bean Protein Isolates. // *European Food Res and Tech.* 2023. No 249. P. 3175–3190.
27. Li W., Li X., Qin L., Zhu J., Han X., Li B., Yuan Y. Reducing sugar loss in enzymatic hydrolysis of ethylenediamine pretreated corn stover. // *Bioresource technologies*. 2017. No 224. P. 405–410.
21. Gomez A., Sobral P. J. do A. Delivery systems based on plant proteins: a new approach to improving the effectiveness of lipophilic bioactive compounds. *Molecules*. 2021, No. 27. 60.
22. Karacha A. S., Low N., Nickerson M. Emulsifying properties of chickpea, bean, lentil and pea proteins obtained by isoelectric precipitation and salt extraction. *Food Res. Int.*, 2011. No. 44. pp. 2742–2750.
23. Kamal H., Le K. F., Salter A. M., Ali A. Protein extraction from food waste: an overview of the current state and possibilities. Additional information. *Food Science. Food Saf.* 2021, 20, 2455–2475.
24. Eze C. R., Kwofie E. M., Adewale P., Lam E., Ngadi M. Advances in protein extraction technologies from legumes: an overview. *Innovation. Food science. Technology*. 2022. no 82. 103199.
25. Kumar M., Tomar M., Potkule J., Verma R., Punia S., Mahapatra A., Belwal T., Dahuja A., Joshi S., Berwal M. K. et al. Achievements in the field of vegetable protein extraction: mechanism and recommendations. *Food Hydrocoll.* 2021. № 115. 106595.
26. Sarin J. The effect of enzymatic hydrolysis on the physico-chemical, functional and nutritional properties of protein isolates of peas and Fab beans. *European Food Res and Tech.* 2023. No. 249. pp. 3175–3190.
27. Li W., Li X., Qin L., Zhu J., Han X., Li B., Yuan Y. Reduction of sugar losses during enzymatic hydrolysis of corn chips pretreated with ethylenediamine. *Bioresource technologies*. 2017. No. 224. pp. 405–410.

Сведения об авторах

Качанова Анжелика Валерьевна

Аспирант кафедры пищевой биотехнологии,
Калининградский государственный технический
университет, 236022, Россия, Калининград, Советский пр., 1,
asunyaykina54@gmail.com

Агафонова Светлана Викторовна

К. т. н., доцент, доцент кафедры пищевой биотехнологии,
Калининградский государственный технический университет,
236022, Россия, Калининград, Советский пр., 1,
svetlana.agafonova@klgtu.ru

Information about authors

Kachanova Angelika V.

Graduate student of the Food Biotechnology
Department of Kaliningrad State Technical University,
236022 Russia, Kaliningrad, Soviet Avenue, 1,
asunyaykina54@gmail.com

Agafonova Svetlana V.

Ph. D., Associate Professor at the Department of Food
Biotechnology of Kaliningrad State Technical University,
236022 Russia, Kaliningrad, Soviet Avenue, 1,
svetlana.agafonova@klgtu.ru



Статья доступна по лицензии
Creative Commons «Attribution-NonCommercial»