

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-1-144-152>



Поступила 22.11.2024

<https://www.fsjour.com/jour>

Поступила после рецензирования 31.03.2025

Обзорная статья

Принята в печать 02.04.2025

Open access

© Витол И. С., Мелешкина Е. П., 2025

ФЕРМЕНТАТИВНЫЕ ГИДРОЛИЗАТЫ ЗЕРНА И ПРОДУКТОВ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

Витол И. С.*, Мелешкина Е. П.

Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

зерно и продукты его переработки, зерновые гидролизаты, ферментные препараты (ФП), мультиэнзимные композиции (МЭК), биокатализ

Представлен обзор научных публикаций, посвященных исследованию действия ферментных препаратов и их композиций на различные зерновые субстраты, получению ферментативных гидролизатов и структурно-модифицированных вторичных продуктов переработки зерна. В зависимости от поставленных целей, главная из которых — индустриальное использование продуктов ферментативной модификации, предложен способ разделения гидролизатов на две группы: первая — с выделением и очисткой белка от балластных соединений с последующим гидролизом; вторая — без предварительного выделения белка. Настоящий обзор построен на основе результатов исследований отечественных и зарубежных авторов с использованием ресурсов поисковых систем и баз данных: *eLibrary*, *CyberLeninka*, *Google Scholar*, *ScienceDirect*, *Springer open*, *PubMed*. Анализ предметного поля свидетельствует об очень широком диапазоне публикаций по характеристике ферментативных гидролизатов, для получения которых в качестве субстрата использовали биополимеры животного и растительного сырья. За последнее десятилетие существенно увеличилось количество работ по ферментативной модификации различных видов зерновых и бобовых культур, композитных зерносмесей; изучены возможности их использования в качестве обогащающих, функционально-технологических и функциональных компонентов кормов и пищевых продуктов. Возрождение микробиологической отрасли, в том числе производства отечественных ферментных препаратов, базируется на экспериментальных исследованиях по поиску новых штаммов-продуцентов и совершенствованию методов выделения, очистки и стабилизации ферментов. Все исследования отечественных и зарубежных авторов подтверждают актуальность и хорошую перспективу расширения диапазона применения ферментативных гидролизатов, полученных из зернового сырья и вторичных продуктов его переработки в различных областях кормопроизводства, пищевой индустрии, фармакологии.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания Всероссийским научно-исследовательским институтом зерна и продуктов его переработки (ВНИИЗ) по теме FGUS-2025-0002.

Received 22.11.2024

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Accepted in revised 31.03.2025

Review article

Accepted for publication 02.04.2025

Open access

© Vitol I. S., Meleshkina E. P., 2025

ENZYMATIC HYDROLYSATES OF GRAIN AND PRODUCTS OF ITS PROCESSING. A REVIEW OF THE SUBJECT FIELD

Irina S. Vitol*, Elena P. Meleshkina

All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing, Moscow, Russia

KEY WORDS:

grain and products of its processing, grain hydrolysates, enzyme preparations (EP), multienzyme compositions (MEC), biocatalysis

ABSTRACT

The paper presents a review of scientific publications devoted to investigation of an action of enzyme preparations and their compositions on various grain substrates, production of enzymatic hydrolysates and structurally modified secondary products of grain processing. Depending on the set goals, the main of which is the industrial use of products of enzymatic modification, a method is proposed for separation of hydrolysates into two groups: (1) with isolation and purification of protein from ballast compounds with the following hydrolysis and (2) without preliminary isolation of protein. The present review is based on the results of studies by national and foreign scientists with the use of search systems and databases: *eLibrary*, *CyberLeninka*, *Google Scholar*, *ScienceDirect*, *Springer open*, *PubMed*. Analysis of the subject field shows a very wide range of publications related to characteristics of enzymatic hydrolysates produced using biopolymers of animal and plant raw materials as a substrate. Over the last ten years, the number of studies on enzymatic modification of various types of grain and leguminous crops, and composite grain mixtures has increased significantly; the possibilities of their use as enriching, functional-technological and functional components of feedstuff and food products have been studied. The revival of the microbiological branch, including production of domestic enzyme preparations, is based on experimental studies on the search for new producer strains and improvement of methods for isolation, purification and stabilization of enzymes. All studies by national and foreign authors support the topicality and good prospects of increasing a range of the use of enzymatic hydrolysates obtained from the grain raw material and secondary products of its processing in various areas of the feedstuff production, food industry and pharmacology.

FINANCING: The article was prepared as part of the state assignment by the All-Russian Research Institute of Grain and its Processed Products (VNIIZ) on topic FGUS-2025-0002.

1. Введение

Использование ферментативного катализа как современного инструментария глубокой переработки растительного сырья, в том числе зерновых культур, получило новый импульс развития благодаря успехам биотехнологии в производстве новых высокоэффективных

микробных ферментных препаратов различной специфичности действия [1,2,3].

Помимо того, что различные ферментативные процессы лежат в основе многих современных производств [4] (хлебопечение, виноделие, пивоварение, производство спирта, соков, сыроделие,

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Витол И. С., Мелешкина Е. П. (2025). Ферментативные гидролизаты зерна и продуктов его переработки. Обзор предметного поля. *Пищевые системы*, 8(1), 144–152. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-1-144-152>

FOR CITATION: Vitol I. S., Meleshkina E. P. (2025). Enzymatic hydrolysates of grain and products of its processing. A review of the subject field. *Food Systems*, 8(1), 144–152. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-1-144-152>

производство органических кислот, чая, аминокислот, витаминов, антибиотиков) [5–7], ферментативные гидролизаты как самостоятельный продукт в настоящее время занимают свою нишу на рынке пищевых добавок, обогащающих и биологически активных ингредиентов. Исследования проводятся по разным направлениям, что позволяет использовать побочные продукты переработки растительного сырья для получения ценных пищевых ингредиентов. Это также открывает новые возможности их применения не только в производстве кормов [8–10], но и в пищевой индустрии для обогащения пищевых продуктов легкоусвояемыми компонентами и для придания им функциональных свойств [11–13]. Помимо этого, некоторые гидролизаты содержат биологически активные пептиды, обладающие хорошим фармакологическим потенциалом [14–16]. В этой связи повышенное внимание исследователей и производителей ферментных препаратов должно уделяться вопросам контроля их качества и безопасного применения [17–19].

Анализ предметного поля свидетельствует об очень широком диапазоне публикаций по получению и характеристике ферментативных гидролизатов, при этом в качестве субстрата используют биополимеры животного и растительного сырья: мясо [13,14], молоко и продукты их переработки и др. [20–22]; злаковые [23–25], бобовые [26], масличные культуры и зерносмеси [27,28], плодово-ягодное сырье [29,30], а также биомассу дрожжей [31]. При этом акцент делается на побочные продукты производства, которые являются ценным вторичным сырьем. Очевидно, что именно субстрат, его биохимические особенности определяют выбор микробных ферментных препаратов различной специфичности действия.

За последнее десятилетие значительно возросла доля исследований по разработке способов ферментативной модификации зерновых культур и зерновых смесей, опубликованных в научной литературе. Активно изучаются возможности использования зерновых гидролизатов в качестве обогащающих, функционально-технологических и функциональных компонентов кормов и пищевых продуктов.

Данный обзор посвящен анализу научных подходов к получению ферментативных гидролизатов белков зерна и связанных с ними соединений (некрахмальных полисахаридов, фитина и других веществ), а также изучению их характеристик и областей применения.

2. Объекты и методы

Настоящий обзор включает научные публикации, в которых представлены результаты экспериментальных исследований, и обзорные статьи отечественных и зарубежных авторов, опубликованные с 2011 по 2024 годы. Стратегия поиска включала базы данных таких поисковых систем, как *eLibrary*, *CyberLeninka*, *Google Scholar*, *ScienceDirect*, *Springer open*, *PubMed*, и использование ключевых слов: зерно и продукты его переработки, зерновые гидролизаты, ферментные препараты, мультиэнзимные композиции, биокатализ. Помимо этого, к поиску были привлечены ведущие российские и иностранные журналы по направлению «food science», изучены публикации в сборниках международных конференций и библиографии пристатейных списков. Отобраны 88 источников. Критериями отбора публикаций являлись актуальность, практическая значимость, индексация в российских и международных наукометрических базах данных.

3. Ферментативные гидролизаты: получение, свойства, применение

В настоящее время значительно увеличилось число исследований отечественных ферментных препаратов, применяемых для получения гидролизатов. Это связано с уходом с российского рынка многих зарубежных фирм — производителей ферментных препаратов для разных отраслей пищевой индустрии. Доля научных публикаций по поиску новых штаммов-продуцентов микробных ферментов, совершенствованию технологии выделения, очистки и стабилизации ферментов, входящих в состав ферментных препаратов значительно возросла за последнее десятилетие. Кроме того, высокая заинтересованность со стороны производителей также способствует разработке новых способов ферментативной модификации сырья. В то же время зависимость отечественного рынка от импорта ферментных препаратов остается высокой (по разным оценкам, российские производители покрывают лишь около 10% рынка); при этом наблюдается замещение препаратов производства западных фирм на ФП, произведенные в Китае и Индии.

3.1. Виды гидролизатов и их индустриальное применение

По данным биотехнологической компании «Симбио»¹ (Россия), к основным гидролизатам белка, присутствующим на глобальном рынке, относятся следующие виды: мясные/рыбные — гидролизаты куриного белка, коллагена, кератина, рыбный, печеночный и говя-

жий гидролизаты; молочные — гидролизаты казеина, сывороточных белков; растительные — гидролизаты глютена (клейковины), соевого и горохового белка.

Наибольшее распространение и применение пока получили гидролизаты животных белков — молочных, мясных и рыбных. Однако в последние годы и гидролизаты белков растительного происхождения находят все большее применение в различных областях пищевой индустрии. Это связано с доступностью и более низкой себестоимостью растительного сырья, а также с увеличением сегмента рынка вегетарианских и веганских продуктов и напитков.

Основными направлениями индустриального применения ферментативных гидролизатов белка являются:

1) производство продуктов питания. Использование белковых гидролизатов как функциональных компонентов необходимо для производства специализированных продуктов питания, включая функциональные, лечебно-профилактические и геронтологические. Кроме того, они необходимы для повышения биологической ценности и улучшения потребительских свойств продуктов массового потребления. Так, в хлебопечении белковые гидролизаты оказывают благотворное влияние на реологические свойства теста (упругость, пластичность, эластичность, вязкость) [32].

При производстве протеиновых гипоаллергенных напитков из зерновых культур и напитков на основе соков добавление белковых гидролизатов никак не отражается на вкусе, но при этом содержит повышенное количество продуктов расщепления белка [33].

В мясной и птицеперерабатывающей промышленности ферментативные гидролизаты куриного белка, обладающие оптимальным аминокислотным составом и высокой усвояемостью, применяются в составе рассольных препаратов для посола сырья, а также комплексных пищевых добавок для различных фаршевых продуктов (полуфабрикатов, колбасных и кулинарных изделий) [34,35].

Белки молочной сыворотки являются перспективным сырьем для получения ферментативных гидролизатов, широко применяемых в детском, спортивном питании, при создании продуктов профилактического и терапевтического назначения. Учитывая, что основные белки молочной сыворотки — β -лактоглобулин и α -лактальбумин — обладают сильным иммуногенным потенциалом, для использования их в качестве компонентов функционального и специализированного питания требуется проведение глубокого гидролиза, обеспечивающего расщепление основных белковых фракций до низкомолекулярных пептидов и свободных аминокислот [36,37]. Включение в рецептуру гидролизатов молочных белков улучшает текстуру и органолептические свойства йогуртов и положительно влияет на жизнеспособность пробиотиков [38].

2) производство косметической продукции. Белковые гидролизаты используют в качестве биологически активных соединений в косметических продуктах для регулярного ухода и в декоративной косметике [39,40].

3) корма сельскохозяйственных животных. Белковые гидролизаты, входящие в состав кормов в виде премиксов или жидких кормовых добавок, значительно улучшают биологическую ценность готовых кормов. Они хорошо усваиваются и лишены антиалиментарной активности [41].

4) в качестве компонентов питательных сред для микробиологических производств. Гидролизаты белка используют в качестве источника аминокислот азота в составе различных питательных сред для культивирования определенных микроорганизмов [42,43].

В настоящее время наибольшее применение белковые гидролизаты находят в производстве пробиотиков для пищевой, фармацевтической и кормовой отраслей; микробиологических удобрений; стартовых культур для молочной и мясной промышленности; ферментов и вакцин; биопроductов для очистки промышленных и бытовых сточных вод.

Все исследования как отечественных, так и зарубежных авторов направлены на научное обоснование применения ферментативного катализа и на расширение спектра возможных областей применения ферментативных гидролизатов, полученных из сырья животного и растительного происхождения, в первую очередь, из вторичных продуктов их переработки. При этом в большинстве случаев исследователи оценивают эффективность сразу нескольких ФП, а также композиций на их основе, понимая, что имеют дело с гетерогенным субстратом, и рассчитывая на определенный синергетический эффект [25,44,45].

3.2. Получение белковых гидролизатов: научно-обоснованные подходы

Ферментативная модификация белков растительного сырья, в том числе белков зерновых и бобовых культур, представляет собой важный этап в перспективных технологиях глубокой переработки

¹ СИМБИО — <https://sybiotech.ru/fermentativnye-gidrolizaty-belkov>

растительного сырья. Ферментативный способ модификации растительных белков, особенностями которого являются мягкие режимы проведения реакций, возможность регулирования степени гидролиза, определенная направленность и сохранение биологической ценности, предпочтительнее физико-химической модификации и в настоящее время широко изучается [4,46,47].

В зависимости от целей существует по меньшей мере два подхода к получению белковых гидролизатов: первый — выделение белка, его очистка от балластных соединений и дальнейший гидролиз; второй — получение гидролизатов без предварительного выделения белка. В первом случае получаемые гидролизаты имеют достаточно высокую степень очистки от сопутствующих компонентов, хорошие перспективы использования в пищевой промышленности и высокий функциональный потенциал, в частности, при создании специализированных продуктов для детского и геронтологического питания. Во втором случае получаемые гидролизаты сохраняют весь фитопотенциал исходного сырья и представляют продукт с различной степенью гидролиза не только белков, но и некрахмальных полисахаридов (клетчатки, гемицеллюлозы, пектиновых веществ), а также фитина (инозитолгексафосфорная кислота) в зависимости от специфичности применяемых ферментных препаратов и условий проведения ферментативной реакции. В этом случае продуктами гидролиза будут зерновые гидролизаты и структурно-модифицированные продукты переработки зерна (разных видов муки, отрубей) с определенными функционально-технологическими и функциональными свойствами. Их использование возможно по нескольким направлениям: в качестве обогатителей пищевых продуктов и кормов, как источники азотного и фосфорного питания дрожжей в технологиях брожения, как компоненты питательных сред для культивирования микроорганизмов-продуцентов различных биологически активных веществ (ферментов, аминокислот, органических кислот, витаминов и др.).

Установлено, что для применения белковых гидролизатов не всегда требуется высокая степень гидролиза, поскольку пептиды достаточно хорошо усваиваются организмом человека [5,8]. В основе деления гидролизатов белков на две группы лежит наиболее важный критерий, а именно глубина гидролиза, следствием которого являются те или иные свойства получаемых продуктов гидролиза; последние, в свою очередь, определяют область их применения. Гидролизаты 1-й группы (полностью гидролизованные белки) содержат свободные аминокислоты и короткие пептиды, характеризуются низкой антигенной активностью и могут быть использованы в гипоаллергенных диетах. Гидролизаты 2-й группы (частично гидролизованные белки) содержат широкий спектр продуктов гидролиза: фракция свободных аминокислот и коротких пептидов; достаточно большое количество олигопептидов и высокомолекулярных продуктов гидролиза. Гидролизаты, относящиеся к этой группе, используют в качестве легкоусвояемого источника аминного азота в специализированных диетах [2,8,12].

Для ферментативной модификации основных биополимеров зернового сырья, в том числе и зерновых отрубей, применяют ферментные препараты животного, растительного, но чаще микробного происхождения с различной специфичностью действия. В результате ферментативной модификации значительно повышается уровень перехода компонентов сырья в растворимое состояние [46,47]. При этом могут быть получены продукты гидролиза с заданным составом, например, с определенным профилем пептидов и набором аминокислот, обладающие специфическими свойствами [25,48].

Большое количество публикаций, посвященных поиску продуцентов ферментов, их выделению [49,50], оптимизации условий проведения ферментативного гидролиза и их использования для получения зерновых гидролизатов [10,51], связано с исследованиями, проводимыми во ВНИИ пищевой биотехнологии — филиала ФИЦ питания и биотехнологии (ВНИИПБТ, Москва).

Под руководством профессора, доктора химических наук Синицына А. П. [50,51] проведены исследования по созданию и оценке эффективности отечественных ферментных препаратов нового поколения.

Установлено, что эффективность гидролиза зернового сырья (ржи, пшеницы, тритикале, зерновой послеспиртовой барды) комплексным ФП Пенициллопепсин, обладающим протеолитической и гемицеллюлолитической (ксиланазной) активностью, выше по сравнению с концентрированными коммерческими препаратами ксиланазой (Палпфор 2) и кислой протеазой (Acid Protease). Это свидетельствует о целесообразности применения Пенициллопепсина при производстве кормов на основе зерновых культур [10].

Кроме этого, в Федеральном исследовательском центре биотехнологии РАН совместно с ООО «Агрофермент» разработаны новые ферментные препараты: Агросил премиум (АКС) и Агроцелл плюс (АЦ) [11], а также Агросил плюс [9], обладающие целлюлазной и кси-

лазанной активностью и способные эффективно расщеплять некрахмальные полисахариды зерновых культур и повышать перевариваемость и усвоение кормов [50].

Помимо ферментных препаратов, хорошо зарекомендовавших себя в кормопроизводстве, разработаны и апробированы ФП нового поколения для соковой [6] промышленности и виноделия [7].

Вопросы, связанные с поиском новых продуцентов липаз и протеаз, а также сырья для культивирования микроорганизмов, изучены в работе ученых ВНИИ пищевых добавок — филиала ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН (Санкт-Петербург). Авторы отмечают, что рапсовый жмых, содержащий более 10% жира и 32–45% протеина, может являться субстратом для биосинтеза ферментов липолитического и протеолитического действия [45].

3.3. Ферментативные гидролизаты, полученные с предварительным выделением белка

К первому подходу получения белковых гидролизатов, который заключается в выделении белка, его очистке и дальнейшем гидролизе, следует отнести работы, связанные с получением гидролизатов клейковинных белков.

В работе [52] ученые НИЦ «Курчатовский институт» — ГосНИИ-генетика (Москва) отмечают, что традиционное использование пшеничной клейковины (глютена) — обогащение слабой по силе муки при производстве хлеба и хлебобулочных изделий. Расширить область применения клейковины возможно с помощью ее модификации, в том числе и ферментативной. Гидролизаты клейковины, полученные с помощью протеолиза, обладают рядом преимуществ по сравнению с негидролизованной клейковиной. Они характеризуются большей растворимостью, лучшей усвояемостью — глубокий гидролиз клейковины позволяет получить свободные аминокислоты, которые можно использовать в спортивном и диетическом питании. Высокая пенообразующая способность и стабильность пены получаемых гидролизатов — свойства, которые важны не только при производстве продуктов питания, но и при создании биоразлагаемых пеноматериалов.

Антиоксидантные, гепатопротекторные свойства, способность к ингибированию ангиотензинпревращающего фермента, которыми, как показали результаты исследования, обладают определенные фракции гидролизатов клейковинных белков, дают основание прогнозировать еще одно направление возможного использования гидролизатов клейковины — производство лекарственных препаратов.

В других работах отечественных и зарубежных исследователей [53,54] отмечается, что поиск протеолитических ферментов, выбор их комбинаций, а также оптимизация технологического процесса позволяют получить продукты гидролиза клейковинных белков с требуемыми характеристиками, расширить сферу их применения в промышленности и снизить себестоимость процесса.

Исследователи Стамбульского технического университета (Стамбул, Турция) исследовали влияние различных типов протеолитических ферментов (Flavourenzyme, Savinase, Subtilin and Savinase) на технологические и биоактивные свойства гидролизата глютенина. Авторы отмечают, что степень гидролиза белков глютенина различалась в зависимости от типа фермента: в целом, гидролизаты с низкой степенью гидролиза обладали лучшими технологическими свойствами (жиропоглощающая способность, гидрофобность, эмульгирующая способность и стабильность эмульсии) по сравнению с гидролизатами с более высокой степенью гидролиза. Кроме того, антиоксидантная способность глютенина значительно увеличилась в результате ферментативного гидролиза [53].

Ученые ВНИИ пищевой биотехнологии — филиал ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи и ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН в своей работе [54] обращают внимание на то, что ферментативные гидролизаты пшеничной клейковины, являясь источником незаменимых аминокислот и биоактивных пептидов, широко используются в качестве пищевых добавок и усилителей вкуса. Глубокий ферментативный гидролиз способствует снижению аллергенности клейковинных белков, которая связана с высоким содержанием пролина, поскольку пептидные связи с его участием не поддаются гидролизу пищеварительными ферментами. При этом он в целом повышает их биологическую ценность и расширяет область применения в пищевой промышленности.

Исследование комплексного ФП, содержащего эндо- и экзопептидазы, показало, что эффективный гидролиз клейковины обеспечивается за счет их синергического действия. Протооризин LAP успешно заменял совместное действие ФП Flavourenzyme 1000L и Alcalase 2.4L, что показывает перспективность его использования при получении гидролизатов пшеничной клейковины.

Некоторые отечественные [55] и зарубежные [56] ученые в своих исследованиях отмечают, что плохая растворимость в воде, эмульгирующие и пенообразующие свойства глютеинового белка ограничивают его применение. Структура клейковины поддерживается ковалентными (дисульфидные связи) и нековалентными связями (водородные, ионные, гидрофобные связи), которые подвержены изменениям при различных обработках. Модификация под действием ферментов способна изменять определенные свойства клейковины и косвенно оказывать влияние на реологические свойства теста, улучшая его качество. В работах исследуется влияние некоторых гидролитических ферментов (протеазы и пептидазы, ксиланазы и целлюлазы) на реологические, функциональные, конформационные свойства клейковины и теста, а также рассматривается возможность использования протеолитических ферментных препаратов и ферментативных гидролизатов клейковины в составе комплексной терапии целиакии.

Исследователи Московского государственного университета пищевых производств (ныне «РОСБИОТЕХ», Москва) предложили несколько вариантов получения гидролизата белка из рисовой муки. В предложенных способах на этапе экстракции были применены ФП ксиланазы и амилазы с последующим использованием эндопротеазы или смеси эндо- и экзопротеаз². Изучение действия экзо- и эндопротеиназ при гидролизе сухой пшеничной клейковины выявило следующие закономерности: чем крепче клейковина, тем глубже протекал ее гидролиз под действием эндопротеиназы (Neutrase 1,5; Protamex), а для более слабой клейковины эффективнее оказывалось действие комплекса эндопротеаз и экзопептидаз препарата Flavourzyme 500 [57].

Интерес представляет публикация ученых Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева (Москва), которые целью своей работы поставили подбор условий получения белковых изолятов и ферментативных гидролизатов, обладающих заданными функциональными свойствами, из различных видов растительного сырья. Авторам удалось достичь 90%-го выхода белковых веществ из льняной, кукурузной, овсяной и гороховой муки и обеспечить максимальную полноту гидролиза с использованием ферментного препарата Панкреатин. Наилучшими эмульгирующей и пенообразующей способностями обладали льняные гидролизаты после 60 и 90 мин гидролиза соответственно [58].

На основе методов математического планирования исследователи Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Улан-Удэ, Россия) определили оптимальные показатели процесса ферментативной конверсии изолята соевого белка с использованием ферментных препаратов пищеварительных протеиназ — пепсина и трипсина. Были изучены два параметра ферментативной конверсии соевого белка (соевый изолят, Китай): время гидролиза и фермент-субстратное соотношение. Оптимизацию результатов проводили с применением методологии поверхности отклика в профессиональной программе MathCad 15. Выявленные оптимальные технологические параметры одно- и двухстадийного процесса гидролиза позволили получить гидролизат со степенью гидролиза 88%. Наибольшая суммарная антиоксидантная активность была отмечена через 5 ч гидролиза и составила около 250 мг/100 мл. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение остаточной антигенности гидролизата и других показателей его функциональной активности [26].

Исследователи Цзянсуньского университета (Цзянсу, КНР) изучали физико-химические и антиоксидантные свойства гидролизатов белков бобов маша. Полученный белковый изолят гидролизовали коммерческими препаратами фицина и бромелаина, использование последнего демонстрирует большую глубину гидролиза. Кроме того, установлено, что гидролизаты белка бобов маша проявляют способность снижать окисления липидов, что может быть полезно в пищевой промышленности для производства обогащенных пищевых продуктов [59].

Большая обзорная статья, опубликованная учеными ВНИИПБТ, включает теоретические основы ферментативного гидролиза белков животного и растительного происхождения протеолитическими ферментами разной специфичности действия. Обоснована целесообразность ферментативной обработки протеазами основных видов вторичного белоксодержащего сырья для снижения их антигенности и устранения антиалиментарных свойств. Это также позволяет улучшить функциональные и органолептические показатели для применения в производстве специализированных пищевых продуктов лечебного и профилактического питания [60].

² Патент РФ. № 2012147113. Колпакова, В. В., Фан Куинь Чам, Чумикина, Л. В. Способ получения гидролизата белка из рисовой муки (варианты). Опубликовано 20.05.2014. Бюл. № 14.

В одной из последних обзорных публикаций [47] учеными ВНИИ крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья — филиала Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха (ВНИИК, Московская область) систематизированы исследования отечественных и зарубежных ученых, касающиеся получения пищевых белковых препаратов из различных видов растительного сырья, различными способами их модификации, а также взаимосвязи функционально-технологических свойств со структурными и физико-химическими особенностями белков. В обзоре подчеркивается, что функциональные свойства белков могут быть улучшены с помощью различных биотехнологических модификаций, в том числе за счет ограниченного протеолиза с ФП животного (Трипсин, Химотрипсин, Пепсин) [61–63], растительного (Папаин, Бромелаин) [64–66] или микробиологического (Алкалаза, Флавозим, Протаид и др.) происхождения [64,67]. В качестве субстрата были использованы белки гороха [61,62], конских бобов [67], овса, овсяных отрубей [62,64], арахиса [65], люпина [66], нута [68]. Анализ экспериментальных исследований, отраженных в публикациях, позволил авторам сделать следующее заключение: свойства гидролизатов зависят от степени гидролиза, от вида ферментов (эндо-, экзопротеазы) и от природы субстрата. Результатом гидролиза наряду со снижением молекулярных масс является увеличение ионизированных групп или гидрофобных участков, что при определенной глубине гидролиза положительно отражается на растворимости и на других функционально-технологических свойствах, таких как водосвязывающая (ВСС) и жиросвязывающая (ЖСС) способности, а также жироземмулирующая (ЖЭС) и пенообразующая способности (ПОС) [47].

В работах [69,70] отмечен еще один важный аспект, связанный с действием микробных ферментных препаратов. Некоторые белковые гидролизаты приобретают горький вкус из-за высвобождения пролина и гидрофобных аминокислот, поэтому важной биотехнологической задачей является разработка способов уменьшения или полного нивелирования горечи. Авторы полагают, что одним из путей решения этой проблемы является использование специфических пролилэндопептидаз (сериновые протеиназы), которые способны к ограниченному протеолизу по пролил-лейциновым пептидным связям и остаткам гидрофобных аминокислот.

При гидролизе соевых бобов ферментные препараты Алкалаза, Пепсин, Папаин и Флавозим наиболее эффективно расщепляли белки до низкомолекулярных пептидов. При этом гидролизаты, полученные с помощью Алкалазы, характеризовались наибольшей горечью, умеренная горечь наблюдалась при использовании Corolase 2TS, Corolase 7089 и Нейтразы. Использование Флавозима и Папаина позволило получить гидролизаты с наименьшей горечью, а гидролиз под действием Пепсина увеличивал пенообразующую способность гидролизатов в 35 раз [69,71].

Ферментативные гидролизаты семян конопли активно изучаются в связи с широким спектром биологического действия. Это нашло отражение в аналитическом обзоре исследователей Российского биотехнологического университета («РОСБИОТЕХ», Москва) и ученых ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН (Москва), посвященном способам переработки и получению белка из семян и жмыха промышленной конопли для использования в пищевой промышленности [46].

Зарубежными учеными в гидролизатах семян конопли обнаружены биологически активные пептиды, проявляющие сильные антиоксидантные свойства [72], антигипертензивную активность [73], а также ингибирующую активность по отношению к α -глюкозидазе, что замедляет образование и всасывание глюкозы [74]. Кроме того, некоторые пептиды обладают способностью ингибировать ацетилхолинэстеразу (АХЭ), чрезмерно высокая активность которой характерна для нейродегенеративных процессов [75].

Гидролизаты белка конопли, содержащие биологически активные пептиды, также обладают несколькими регуляторными эффектами, включая иммуномодулирующее действие, противовоспалительные эффекты и положительное влияние при нарушениях липидного обмена [75]. Авторы обзорной публикации [46] отмечают, что использование гидролизатов белка конопли открывает новые возможности для производителей, позволяя создавать инновационные продукты, обладающие высокой биологической ценностью.

3.4. Ферментативные гидролизаты, полученные без предварительного выделения белка

Второй подход к получению ферментативных гидролизатов — это получение гидролизатов без предварительного выделения белка. Такой подход применяется в первую очередь к растительному сырью и позволяет сохранить весь фитопотенциал. При этом он дает возможность проводить ферментативный гидролиз сразу по

нескольким направлениям, используя композиции ферментных препаратов различной специфичности действия — например, амилотитического, целлюлолитического, протеолитического и фитазного — для повышения степени и глубины гидролиза за счет синергетического эффекта.

В связи с этим очевидную актуальность представляют собой исследования по разработке способов ферментативной модификации зернового сырья: злаковых, бобовых, масличных культур, а также зерносмесей на их основе и вторичных продуктов их переработки. Это нашло отражение в широком спектре публикаций по этому вопросу.

В работе российских ученых (ВНИИПБТ и ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН) экспериментально установлено положительное действие фитаз при воздействии на зерновое сырье, которое проявляется в увеличении количества свободных фосфат-ионов, улучшении перевариваемости кормов, повышении мясной продуктивности животных и птицы. Авторы отмечают, что совместное действие фитолитических и протеолитических ферментов на полимеры зерна пшеницы и кукурузы способствует получению обогащенного зернового сула с хорошими реологическими свойствами. Обработка зерна комплексом ферментов, который наряду с α -амилазой (Amylex 5T, Genencor, США), глюкоамилазой (Diazyme X5, Genencor, США) и ксиланазой (TegazymeRT 75L, Lyven SA, Франция) включая фитазу (Phytalflow, Novozymes, Дания) и протеазы (Протоолизин, ВНИИПБТ, Россия), способствовала повышению степени каталитической деструкции. В пшеничном и кукурузном сусле концентрация редуцирующих углеводов увеличилась на 16,8 и 18,8%, аминного азота — в 1,7 и 1,9 раза, вязкость снизилась на 41,7 и 44,7% [76].

Исследователями Омского государственного аграрного университета им. П. А. Столыпина (ОГАУ, Омск) и Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова (АГТУ, Барнаул) было изучено комплексное воздействие ФП: ГлюкоЛюкс А (1%), АмилоЛюкс АТС (0,5%), ЦеллоЛюксА (0,5%) и Протеаза кислая и Биоферм (39,52 мг/г сырья) на биополимеры пшеничных отрубей. Установлено, что композиция ферментных препаратов на основе АмилоЛюкс АТС, Биоферм и препарата Протеаза кислая способствует образованию в гидролизатах растворимых белковых соединений [77].

В исследовании [78] представлена разработанная комплексная биотехнология получения функциональных ингредиентов с антиоксидантной и пребиотической активностью путем биопреобразования пшеничных и ржаных отрубей ферментными препаратами гидролаза разной специфичности действия. Авторы отмечают, что побочные продукты переработки зерна — отруби, мука и зародыш — гораздо лучше соответствуют требованиям, предъявляемым к функциональным продуктам, чем мука. Эти продукты могут служить основой для получения новых функциональных ингредиентов, таких как углеводно-белковые концентраты, пищевые волокна, биологически активные вещества, полифенолы и ксилоолигосахариды.

Учеными ВНИИ зерна и продуктов его переработки (ВНИИЗ, Москва) проведены исследования и разработаны способы ферментативной модификации различных видов отрубей: пшеничных и ржаных [25], тритикалевых [24], пшенично-льняных [27], пшенично-чечевично-льняных [48] с использованием широкого спектра зарубежных и отечественных ферментных препаратов протеолитического и целлюлолитического действия.

В своей работе исследователи ВНИИЗ [79] обращают внимание на важность правильного подхода к работе с ферментами, ферментными препаратами и их композициями: во-первых — изучение химического состава и биохимических особенностей природных субстратов; во-вторых — выявление оптимальных условий действия ФП на стандартный и природные субстраты на основе изучения основных кинетических характеристик ФП и эффективности их действия (способности активно гидролизовать соответствующие субстраты — белки, некрахмальные полисахариды, фитин) при оптимальных условиях; в-третьих — создание мультиэнзимных композиций (МЭК) с учетом специфичности действия, оптимумов pH, температуры и эффективности; в-четвертых — оценка степени автолитических процессов под действием собственных (эндогенных) ферментных систем и возможности синергетического эффекта при действии ФП разной специфичности (например, ФП целлюлолитического и протеолитического действия).

Особый интерес представляют экспериментальные данные по ферментативной модификации двух- и трехкомпонентных отрубей. Уникальный состав комбинированных отрубей, полученных при совместном размоле зерносмесей, свидетельствует о возможности их использования не только как обогащающего компонента при создании новых сбалансированных продуктов, в первую очередь, на зерновой

основе, но и для дальнейшей глубокой переработки с использованием методов ферментативного катализа [80,81].

Как отмечают авторы, на основе полученных данных по основным кинетическим характеристикам и эффективности действия отдельных ферментных препаратов на пшенично-льняные отруби были разработаны 7 вариантов мультиэнзимных композиций. Они показали высокую эффективность при действии на биополимеры пшенично-льняных отрубей, превосходящую эффективность отдельных ферментных препаратов. Это связано с последовательным действием целлюлолитических и протеолитических ферментных препаратов, деградацией некрахмальных полисахаридов, что повышает доступность белков для действия протеолитических ферментов. Полученные данные по функционально-технологическим свойствам биомодифицированных отрубей свидетельствуют об их зависимости от состава МЭК, что дает возможность прогнозировать и регулировать их свойства для целенаправленного использования в различных пищевых технологиях [27].

Известно, что зерновое сырье, особенно зерновые отруби, содержит значительное количество фитина, который первоначально сосредоточен в периферийной части зерновки и переходит в отруби при переработке зерна на мукомольных предприятиях. В связи с этим при получении зерновых гидролизатов из цельнозернового зерна, одно- или поликомпонентных отрубей целесообразно наряду с целлюлолитическими и протеолитическими ФП использовать ФП фитазы, гидролизующий фитин. В этом случае обеспечивается переход фитина в растворимую форму (фосфат-ионы), что положительно сказывается на их усвоении дрожжами рода *Saccharomyces*. Таким образом можно достичь сбалансированного азотистого и фосфорного питания для дрожжей, что приводит к интенсификации процессов в технологиях брожения [25,44,48].

Совместные исследования ВНИИЗ и ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности (ВНИИПБиВП, Москва), проведенные на однокомпонентных (пшеничные, ржаные) [25] и поликомпонентных отрубях (пшенично-льняных, пшенично-чечевично-льняных) [48] с использованием двух вариантов МЭК показали, что количество редуцирующих веществ с использованием МЭК возросло в 2,3–3,5 раза; растворимого белка — в 3–6,4 раза; фосфат-ионов — в 3 раза по отношению к соответствующему контролю. Методом гель-хроматографии установлено значительное (в 3–4 раза) повышение доли низкомолекулярных пептидов и аминокислот (М. м. < 1000 Да). Концентрация наиболее ценных для азотного питания дрожжей аминокислот — аспарагиновой кислоты и аргинина — в опытных гидролизатах одно- и трехкомпонентных отрубей (по данным ВЭЖХ) повышалась в среднем в 2,5–3 раза, а валина — в 4–5 раз по сравнению с исходным сырьем. Содержание гистидина и изолейцина в этих образцах увеличивалось в 2–2,5 раза. Это позволило авторам позиционировать полученные таким образом зерновые гидролизаты как альтернативу импортным активаторам брожения на основе автолизатов осадочных дрожжей [25,48].

Действие мультиэнзимных композиций, включающих ферментные препараты целлюлолитического, протеолитического и фитазного действия, было исследовано при использовании в качестве субстрата цельнозерновых семян сои, гороха, нута и чечевицы [82].

Включение семян бобовых культур и продуктов их переработки в рецептуру хлебобулочных и мучных кондитерских изделий обусловлено, прежде всего, богатым составом этих семян, содержащих необходимый для организма комплекс макро- и микронутриентов. Кроме того, это связано с растущим спросом на вегетарианские и веганские продукты, а также с разработкой специализированной продукции для потребителей с целиакией и сахарным диабетом 2-го типа, для которых мучные изделия из пшеничной муки высшего сорта запрещены или существенно ограничены по медицинским показаниям [83–85].

В то же время в семенах бобовых культур содержатся мощные белковые ингибиторы пищеварительных ферментов (химотрипсина, трипсина, α -амилазы), лектины — гликопротеиды, способные нарушать всасывание нутриентов и вызывать агглютинацию эритроцитов крови, фитин — деминерализирующий фактор, способный необратимо связывать ионы кальция, магния, железа, цинка и меди. Эти соединения принято относить к антиалиментарным факторам питания. Ферментативная модификация семян бобовых культур с использованием композиций ферментных препаратов разной специфичности действия позволяет не только сохранить фитопотенциал исходного сырья, но и устранить негативное влияние антиалиментарных компонентов [26,86,87].

Результаты проведенных исследований выявили увеличение количества редуцирующих веществ, растворимого белка и растворимого фосфора в исследуемых гидролизатах по сравнению

с автолизатами всех исследуемых культур. Наибольшее увеличение доли растворимых веществ отмечено в гидролизатах чечевицы: РВ — в 3–3,5 раза; растворимого белка — в 4–5,8 раза. Доля растворимого фосфора увеличилась в среднем в 3,6 раза. Наименьшее увеличение при использовании исследуемых МЭК выявлено в гидролизатах сои: РВ — в 2 раза, растворимого белка — в 2,5–3 раза, растворимого фосфора — в среднем в 2,5 раза.

Оценка продуктов протеолиза ферментативных гидролизатов, полученных с использованием МЭК методом гель-хроматографии, дала следующие результаты: соотношения фракций продуктов протеолиза с различной молекулярной массой зависят как от субстрата (вида бобовой культуры), его доступности для протеолитических ферментов, так и от используемого протеолитического ФП, входящего в состав МЭК. Наибольшее количество низкомолекулярных продуктов протеолиза отмечено в гидролизатах чечевицы, полученных с использованием МЭК 1–28,78% и МЭК 2–28,80% от общего количества. Наименьшее количество низкомолекулярных азотистых соединений отмечено в гидролизатах гороха (19,28%) и нута (18,87%), полученных с использованием МЭК 1. Показано существенное снижение активности белковых ингибиторов трипсина в исследованных гидролизатах [82]. Таким образом, использование композиций ферментных препаратов обеспечивает синергетический эффект и глубину гидролиза.

Роль фитазы (ФП Агрофит), вероятно, связана с тем, что гидролиз фитина с образованием инозитола и фосфат-ионов, во-первых, высвобождает часть белков и гемицеллюлоз из связанного состояния (сложные конгломераты комплексов фитат-белок и фитат-углеводные комплексы), что делает их более доступными для действия целлюлолитических и протеолитических ферментов; во-вторых, фитиновая кислота является ингибитором многих ферментов, поэтому ее гидролиз обеспечивает также сохранение эффективности действия ФП без увеличения вносимой дозировки. Кроме того, фитин, благодаря многоступенчатой диссоциации, проявляет свойства как сильных, так и очень слабых кислот. В нейтральной среде фосфатные группы фитиновой кислоты диссоциируют лишь частично, приобретая один или два отрицательных заряда.

Продукты гидролиза фитина: инозитол как многоатомный спирт обладает слабокислой реакцией; фосфат-ионы, в зависимости от того, с каким катионом они вступят в реакцию, могут проявлять как слабощелочные, так и слабокислые свойства. В гетерогенной среде при ферментативном гидролизе зерновых отрубей они дополнительно увеличивают буферную емкость инкубационной смеси и стабилизируют условия для действия ферментных препаратов

Полученные результаты позволили авторам сформулировать возможные области применения полученных гидролизатов: во-первых,

в технологиях брожения в качестве активаторов дрожжей [25,48]; во-вторых, в качестве обогащающих компонентов в широком спектре пищевых продуктов [82].

В Северо-Кавказском федеральном университете (СКФУ, Ставрополь) исследовали способы получения ферментативных гидролизатов обезжиренной соевой муки и кукурузного глютена с использованием комплекса ферментных препаратов Протосубтилин ГЗХ, Целлолюкс Ф, Панкреатин отечественного производства. Авторы, оценивая полученные результаты, пришли к выводу, что применение комплексного ФП с протеолитическим и целлюлолитическим действием дает наилучший результат — повышает степень ферментативного гидролиза белков за счет их высвобождения из связанного состояния и способствует повышению пищевой ценности получаемых гидролизатов. В заключение авторы отмечают, что модификация белковых систем за счет применения специфических ферментов — один из эффективных путей рационального использования вторичного сырья [88].

4. Выводы

Анализ предметного поля, представленный в обзоре, подтверждает актуальность исследований в этой области, причем особое внимание ученых сосредоточено на растительном сырье — в частности, на зерновых культурах как возобновляемом ресурсе с более низкой себестоимостью по сравнению с продуктами животноводства.

В работах, представленных в публикациях, изучен широкий спектр ферментных препаратов отечественного и зарубежного производства (целлюлолитического, протеолитического, фитазного, амилитического и липолитического действия), а также их композиции как инструментарий для направленного биокатализа и получения гидролизатов с заданными функционально-технологическими свойствами. В ряде случаев такие гидролизаты содержат биологически активные пептиды, обладающие значительным фармакологическим потенциалом.

Сформированный за десятилетие значительный научный потенциал окажется полезным специалистам не только для планирования дальнейших исследований, но и для решения конкретных экспериментальных и практических задач в этой области. Он обеспечит переход к следующему этапу — масштабированию научных разработок в реальных производственных условиях. Обзор будет полезен специалистам, работающим в области переработки зерна, биохимикам, энзимологам, специалистам в области ферментативного катализа и производителям пищевых продуктов специализированного и функционального назначения, готовым к внедрению инновационных разработок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Choi, J.-M., Han, S.-S., Kim, H.-S. (2015). Industrial applications of enzyme biocatalysis: Current status and future aspects. *Biotechnology Advances*, 33(7), 1443–1454. <http://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.02.014>
- Bilal, M., Iqbal, H. M. N. (2020). State-of-the-art strategies and applied perspectives of enzyme biocatalysis in the food sector — current status and future trends. *Critical Reviews. Food Science and Nutrition*, 60(12), 2052–2066. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1627284>
- Толкачева, А. А., Черенков, Д. А., Корнеева, О. С., Пономарев, П. Г. (2017). Ферменты промышленного назначения — обзор рынка ферментных препаратов и перспективы его развития. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 79(4), 197–203. [Tolkacheva, A. A., Cherenkov, D. A., Korneeva, O. S., Ponomarev, P. G. (2017). Enzymes of industrial purpose — review of the market of enzyme preparations and prospects for its development. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 79(4), 197–203. (In Russian)] <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-4-197-203>
- Римарева, Л. В., Серба, Е. М., Соколова, Е. Н., Борщева, Ю. А., Игнатова, Н. И. (2017). Ферментные препараты и биокаталитические процессы в пищевой промышленности. *Вопросы питания*, 86(5), 63–74. [Rimareva, L. V., Serba E. M., Sokolova E. N., Borshcheva Yu. A., Ignatova N. I. (2017). Enzyme preparations and biocatalytic processes in the food industry. *Problems of Nutrition*, 86(5), 63–74. (In Russian)] <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00078>
- Болтовский, В. С. (2021). Ферментативный гидролиз растительного сырья: состояние и перспективы. *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук*, 57(4), 502–512. [Boltovskiy, V. S. Enzymatic hydrolysis of plant raw materials: State and prospects. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 57(4), 502–512 (In Russian)] <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-4-502-512>
- Волчок, А. А., Бушина, Е. В., Рожкова, А. М., Зоров, И. Н., Щербаков, С. С., Синец, А. П. (2013). Ферментные комплексы нового поколения для соковой промышленности. *Биотехнология*, 5, 78–89. [Volchok, A. A., Bushina, E. V., Rozhkova, A. M., Zorov, I. N., Shcherbakov, S. S., Sinityn, A. P. (2013). New generation enzyme complexes for juice production. *Biotechnologiya*, 5, 78–89. (In Russian)]
- Волчок, А. А., Рожкова, А. М., Зоров, И. Н., Синец, А. П., Бушина, Е. В., Щербаков, С. С. (2014). Предобработка виноградной мезги ферментами нового поколения при изготовлении столовых вин. *Виноделие и виноградарство*, 1, 36–39. [Volchok, A. A., Rozhkova, A. M., Zorov, I. N., Sinityn, A. P., Bushina, E. V., Shcherbakov, S. S. (2014). Pretreatment of grape pulp by enzymes of new generation in the table wines manufacturing. *Winemaking and Viticulture*, 1, 36–39. (In Russian)]
- Абрамова, И. М., Серба, Е. М. (2019). Биотехнологические процессы в производстве продуктов питания и кормов. *Пищевая промышленность*, 4, 12–14. [Abramova, I. M., Serba, E. M. (2019). Biotechnological processes in the production of food and feed. *Food Industry*, 4, 12–14. (In Russian)] <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10001>
- Ниязов, Н. С.-А., Кержнер, М. А., Моисеев, П. А., Зоров, И. Н., Рожкова, А. М., Синец, А. П. (2018). Ферментный препарат «Агроксил Премиум» в комбикормах для свиней: эффективность от использования. *Свиноводство*, 5, 25–27. [Niyazov, N. S.-A., Kerzhner, M. A., Moseev, P. A., Zorov, I. N., Zhkova A. M., Sinityn, A. P. (2018). The effectiveness of the use of the enzyme preparation Agroxyll Premium in compound feeds for pigs during rearing. *Pigbreeding*, 5, 25–27. (In Russian)]
- Великоретская, И. А., Серба, А. С., Костылева, Е. В., Веселкина, Т. Н., Пурикова, Н. В., Синец, А. П. (2016). Эффективность комплексного ферментного препарата Пенциллопепсин как добавки для кормов на основе зерновых культур. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 1, 27–31. [Velikoretskaya, I. A., Sereda, A. S., Kostyleva, E. V., Veselkina, T. N., Tsurikova, N. V., Sinityn, A. P. (2016). Efficacy of the complex enzyme preparation PENICILLOPEPSIN as an additive for grain-based feed. *Storage and Processing of Farm Products*, 1, 27–31. (In Russian)]
- Соколова Е. Н., Шариков А. Ю., Юраскина Т. В., Серба Е. М. (2022). Протеолиз белковых компонентов растительного сырья с высоким аллергенным потенциалом. *Вестник КрасГАУ*, 10, 207–214. [Sokolova, E. N., Sharikov, A. Yu., Yuraskina, T. V., Serba, E. M. (2022). Protein components proteolysis of plant raw materials with high allergenic potential. *Bulliten KSAU*, 10, 207–214. (In Russian)] <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-10-207-214>
- Зорин, С. Н. (2019). Ферментативные гидролизаты пищевых белков для специализированных пищевых продуктов диетического (лекарственного и профилактического) питания. *Вопросы питания*, 88(3), 23–31. [Zorin, S. N. (2019).

- Enzymatic hydrolysates of foods for therapeutic and prophylactic nutrition. *Problems of Nutrition*, 88(3), 23–31. (In Russian) <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10026>
13. Aslanova, M. A., Dydykin, A. S., Soldatova, N. E. (2018). Получение белкового гидролизата из сырья животного происхождения для обогащения продуктов. *Пищевая промышленность*, 2, 16–18. [Aslanova, M. A., Dydykin, A. S., Soldatova, N. E. (2018). Preparation of protein hydrolyzate from raw materials of animal origin for the enrichment of products. *Food Industry*, 2, 16–18. (In Russian)]
 14. Самойлов, А. В., Сураева, Н. М., Зайцева, М. В., Дыдыкин, А. С., Асланова, М. А., Деревицкая, О. К. (2023). Подходы к оценке антиоксидантных свойств пищевого ферментативного гидролизата белка животного происхождения методом биотестирования. *Пищевая промышленность*, 10, 90–95. [Samoylov, A. V., Surayeva, N. M., Zaytseva, M. V., Dydykin, A. S., Aslanova, M. A., Derevitskaya, O. K. (2023). Approaches to the evaluation of the antioxidant properties of food enzymatic protein hydrolyzate of animal origin with bioassay. *Food Industry*, 10, 90–95. (In Russian) <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.10.10.19>
 15. Ye, H., Tao, X., Zhang, W., Chen, Y., Yu, Q., Xie, J. (2022). Food-derived bioactive peptides: production, biological activities, opportunities and challenges. *Journal of Future Foods*, 2(4), 294–306. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2022.08.002>
 16. Borrajo, P., Pateiro, M., Gagaoua, M., Franco, D., Zhang, W., Lorenzo, J. M. (2020). Evaluation of the antioxidant and antimicrobial activities of porcine liver protein hydrolysates obtained using alcalase, bromelain, and papain. *Applied Sciences*, 10(7), Article 2290. <https://doi.org/10.3390/app10072290>
 17. Серб, Е. М., Оверченко, М. Б., Игнатова, Н. И., Таджибова, П. Ю., Римарева, Л. В. (2019). К вопросу о контроле качества ферментных препаратов для пищевой промышленности. *Пищевая промышленность*, 4, 87–88. [Serba, E. M., Overchenko, M. B., Ignatova, N. I., Tadjibova, P. Yu., Rimareva, L. V. (2019). On the issue about quality control of enzyme preparations for the food industry. *Food Industry*, 4, 87–88. (In Russian) <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10044>
 18. Римарева, Л. В., Оверченко, М. Б., Игнатова, Н. И., Таджибова, П. Ю., Серб, Е. М. (2020). Некоторые аспекты методологии контроля безопасности, качества и подлинности ферментных препаратов для пищевой промышленности. *Пищевая промышленность*, 4, 48–55. [Rimareva, L. V., Overchenko, M. B., Ignatova, N. I., Tadjibova, P. Yu., Serba, E. M. (2020). Some aspects of the methodology for controlling the safety, quality and authenticity of enzyme preparations for the food industry. *Food Industry*, 4, 48–55. (In Russian) <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10044>
 19. Nadaroglu, H., Polat, M. S. (2022). Microbial extremozymes: Novel sources and industrial applications. Chapter in a book: *Microbial Extremozymes*. Academic Press, 2022. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822945-3.00019-1>
 20. Зорин, С. Н., Сидорова, Ю. С., Мазо, В. К. (2020). Ферментативные гидролизаты белков молочной сыворотки и куриного яйца: получение, физико-химическая и иммунохимическая характеристики. *Вопросы питания*, 89(1), 64–68. [Zorin, S. N., Sidorova, Yu. S., Mazo, V. K. (2020). Enzymatic hydrolysates of whey protein and chicken egg protein: production, physical-chemical and immunochemical characteristics. *Problems of Nutrition*, 89(1), 64–68. (In Russian) <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10007>
 21. John, A. J., Ghosh, B. C. (2020). Production of whey protein hydrolysates and its incorporation into milk. *Food Production, Processing and Nutrition*, 3, Article 9. <https://doi.org/10.1186/s43014-021-00055-z>
 22. Семенова, Е. С., Симоненко, Е. С., Симоненко, С. В., Зорин, С. Н., Мазо, В. К. (2024). Гидролизаты белков козьего молока. Иммунохимическая и физико-химическая характеристика. *Пищевые системы*, 7(3), 466–472. [Semenova, E. S., Simonenko, E. S., Simonenko, S. V., Zorin, S. N., Mazo, V. K. (2024). Hydrolysates of mare's milk proteins. Immunochemical and physico-chemical characteristics. *Food Systems*, 7(3), 466–472. (In Russian) <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-466-472>
 23. Серб, Е. М., Римарева, Л. В., Оверченко, М. Б., Игнатова, Н. И., Погорельская, Н. С. (2022). Роль биокатализа в технологиях переработки зернового сырья. *Пищевая промышленность*, 5, 13–15. [Serba, E. M., Rimareva, L. V., Overchenko, M. B., Ignatova, N. I., Pogorzhe'skaya, N. S. (2022). The role of biocatalysis in grain processing technologies. *Food Industry*, 5, 13–15. (In Russian) <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.003>
 24. Vitol, I. S., Irgoryanova, N. A., Meleshkina, E. P. (2019). Bioconversion of secondary products of processing of grain cereals crops. *Food Systems*, 2(4), 18–24. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-4-18-24>
 25. Krikunova, L. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Dubinina, E. V., Obodeeva, O. N. (2023). Grain bran hydrolysates in the production of fruit distillates. *Foods and Raw Materials*, 11(1), 35–42. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-550>
 26. Соколов, Д. В., Болхонов, Б. А., Жамсаранова, С. Д., Лебедева, С. Н., Баженова, Б. А. (2023). Ферментативный гидролиз соевого белка. *Техника и технология пищевых производств*, 53(1), 86–96. [Sokolov, D. V., Bolkhonov, B. A., Zhamsaranova, S. D., Lebedeva, S. N., Bazhenova, B. A. (2023). Enzymatic hydrolysis of soy protein. *Food Processing: Techniques and Technology*, 53(1), 86–96. (In Russian) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2418>
 27. Витол, И. С., Мелешкина, Е. П. (2021). Ферментативная трансформация пшенично-льняных отрубей. *Пищевая промышленность*, 9, 20–22. [Vitol, I. S., Meleshkina, E. P. (2021). Enzymatic transformation of wheat-flax bran. *Food Industry*, 9, 20–22. (In Russian) <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.9.9.004>
 28. Витол, И. С. (2022). Структурно-модифицированные отруби — инновационный продукт глубокой переработки зерна. *Пищевая промышленность*, 5, 27–29. [Vitol, I. S. (2022). Structurally modified bran is an innovative product of deep grain processing. *Food Industry*, 5, 27–29. (In Russian) <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.008>
 29. Алексеенко, Е. В. (2012). Ферментативная биоконверсия плодово-ягодного сырья: биохимические аспекты и практическое применение. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 3, 49–52. [Alekseenko, Ye. V. (2012). Enzymatic bioconversion of fruit and berries: biochemical aspects and practical application. *Storage and Processing of Farm Products*, 3, 49–52. (In Russian)]
 30. Cingöz, A., Yildirim, M. (2023). Effects of hydrolysis degree on the functional properties of hydrolysates from sour cherry kernel protein concentrate. *Foods and Raw Materials*, 11(2), 197–205. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-566>
 31. Серб, Е. М., Римарева, Л. В., Курбатова, Е. И., Волкова, Г. С., Поляков, В. А., Варламов, В. П. (2017). Исследование процесса ферментативного гидролиза биомассы дрожжей для создания пищевых ингредиентов с заданным фракционным составом белковых веществ. *Вопросы питания*, 86(2), 76–83. [Serba, E. M., Rimareva, L. V., Kurbatova, E. I., Volkova, G. S., Polyakov, V. A., Varlamov, V. P. (2017). The study of the process of enzymatic hydrolysis of yeast biomass to generate food ingredients with the specified fractional composition of protein substances. *Problems of Nutrition*, 86(2), 76–83. (In Russian)]
 32. Pourmohammadi, K., Abedi, E. (2021). Hydrolytic enzymes and their directly and indirectly effects on gluten and dough properties: An extensive review. *Food Science Nutrition*, 9(7), 3988–4006. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2344>
 33. Удалова, Л. П., Догаева, Л. А., Юрикова Е. В. (2016). Инновационные виды безалкогольных напитков для функционального питания. *Успехи современного естествознания*, 11(часть 1), 33–37. [Udalova, L. P., Dogaeva, L. A., Yurikova, E. V. (2016). Innovative types of soft drinks for functional food. *Advances in Current Natural Sciences*, 11(part 1), 33–37. (In Russian)]
 34. Tang, T., Wu, N., Tang, S., Xiao, N., Jiang, Y., Tu, Y. et al. (2023). Industrial application of protein hydrolysates in food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(4), 1788–1801. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c06957>
 35. Tultabayeva, T., Tokysheva, G., Zhakupova, G., Konysbaeva, D., Mukhtarkhanova, R., Matibayeva, A. et al. (2023). Enhancing nutrition and palatability: The development of cooked sausages with protein hydrolyzate from secondary raw materials for the elderly. *Applied Sciences*, 13(18), Article 10462. <https://doi.org/10.3390/app131810462>
 36. John, J. A., Ghosh, B. C. (2021). Production of whey protein hydrolysates and its incorporation into milk. *Food Production, Processing and Nutrition*, 3(1), Article 9. <https://doi.org/10.1186/s43014-021-00055-z>
 37. Серда А. С., Костылева Е. В., Курбатова Е. И., Пурикова Н. В., Великоречная И. А., Иванов В. В. и др. (2024). Гидролиз белков молочной сыворотки отечественными ферментными препаратами протеолитического действия. *Пищевая промышленность*, 9, 49–52. [Serda, A. S., Kostyleva, E. V., Kurbatova, E. I., Tsurikova, N. V., Velikoretskaya, I. A., Ivanov, V. V. et al. (2024). Hydrolysis of whey proteins using domestic proteolytic enzyme preparations. *Food Industry*, 9, 49–52. (In Russian) <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.9.9.009>
 38. Abd El-Salam, M. H., El-Shibiny, S. (2017). Preparation, properties and uses of enzymatic milk protein hydrolysates. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, 57(6), 1119–1132. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.899200>
 39. Богданова, С. А., Сысоева, М. А., Шигабиева, Ю. А. (2023). Физико-химические свойства гидролизатов коллагена и их применение в создании лечебно-косметических композиций. *Ученые записки казанского университета. Серия естественные науки*, 165(3), 345–356. [Bogdanova, S. A., Sysoeva, M. A., Shigabieva, Yu. A. (2023). Physico-chemical properties of collagen hydrolysates and their application in skin care cosmetics. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta Seriya Estestvennyye Nauki*, 165(3), 345–356. (In Russian) <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2023.3.345-356>
 40. Chen, H.-J., Dai, F.-J., Chen, C.-Y., Fan, S.-L., Zheng, J.-H., Huang, Y.-C. et al. (2021). Evaluating the antioxidants, whitening and antiaging properties of rice protein hydrolysates. *Molecules*, 26(12), Article 3605. <https://doi.org/10.3390/molecules26123605>
 41. Hou, Y., Wu, Z., Dai, Z., Wang, G., Wu, G. (2017). Protein hydrolysates in animal nutrition: Industrial production, bioactive peptides, and functional significance. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8(1), Article 24. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0153-9>
 42. Xu, Y., Sun, M., Zong, X., Yang, H., Zhao, H. (2018). Potential yeast growth and fermentation promoting activity of wheat gluten hydrolysates and soy protein hydrolysates during high-gravity fermentation. *Industrial Crops and Products*, 127, 179–184. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.077>
 43. Епишкина, Ю. М., Баурина, А. В., Баурин, Д. В., Шакир, И. В., Панфилов, В. И. (2019). Использование гидролизатов белка подсолнечника в качестве источника органического азота в питательных средах. *Успехи в химии и химической технологии*, 33(5(215)), 22–24. [Epishkina, J. M., Baurina, A. V., Baurin, D. V., Shakir, I. V., Panfilov, V. I. (2019). Sunflower protein hydrolysates as a source of organic nitrogen for nutrient medium. *Successes in Chemistry and Chemical Technology*, 33(5(215)), 22–24. (In Russian)]
 44. Серб, Е. М., Римарева, Л. В., Оверченко, М. Б., Игнатова, Н. И., Медриш, М. Э., Павлова, А. А., и др. (2021). Подбор мультиэнзимной композиции и условий подготовки концентрированного зернового сула. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 11(3), 384–392. [Serba, E. M., Rimareva, L. V., Overchenko, M. B., Ignatova, N. I., Medrish, M. E., Pavlova, A. A. et al. (2021). Selecting multi-enzyme composition and preparation conditions for strong wort. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 11(3), 384–392. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-3-384-392>
 45. Свердлова, О. П., Шарова, Н. Ю., Принцева, А. А., Гаричева, А. В. (2023). Липолитическая и протеолитическая активности бактериальной культуры *Acinetobacter radioresistens* при культивировании на рапсовом жмыхе. *Пищевая промышленность*, 5, 10–12. [Sverdlova, O. P., Sharova, N. Yu., Printseva, A. A., Garicheva, A. V. (2023). Lipolytic and proteolytic activity of bacterial culture of *acinetobacter radioresistens* during cultivation on rapeseed oilcake. *Food Industry*, 5, 10–12. (In Russian) <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.5.5.002>
 46. Алексаночкин, Д. И., Фоменко, И. А., Алексеева, Е. А., Чернуха, И. М., Машентева, Н. Г. (2024). Получение растительного белка из семян и жмыха промышленной конопля: обзор способов переработки для использования в пищевой промышленности. *Пищевые системы*, 7(2), 188–197. [Aleksonochkin, D. I., Fomenko, I. A., Alekseeva, E. A., Chernukha, I. M., Mashentseva, N. G. (2024). Production of plant protein from seeds and cake of industrial hemp: Overview of processing methods for food industry. *Food Systems*, 7(2), 188–197. (In Russian) <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-188-197>
 47. Колпакова, В. В., Бызов, В. А. (2024). Функциональные характеристики и молекулярно-структурная модификация растительных белков. Обзор. *Пищевые системы*, 7(3), 324–335. [Kolpakova, V. V., Byzov, V. A. (2024). Functional characteristics and molecular structural modification of plant proteins. Review.

- Food Systems*, 7(3), 324–335. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-324-335>
48. Витол, И. С., Мелешкина, Е. П., Крикунова, Л. Н. (2023). Композиции ферментных препаратов для направленной модификации отрубей. *Пищевые системы*, 6(4), 457–462. [Vitol, I. S., Meleshkina, E. P., Krikunova, L. N. (2023). Compositions of enzyme preparations for targeted modification of bran. *Food Systems*, 6(4), 45–462. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-457-462>
 49. Серб, Е. М., Шариков, А. Ю., Оверченко, М. Б., Серб, В. В., Римарева, Л. В., Игнатова, Н. И. и др. (2023). Получение концентрированных ферментных препаратов для конверсии белка и полисахаридов сельскохозяйственного сырья в биотехнологических производствах. *Пищевая промышленность*, 4, 46–50. [Serba, E. M., Sharikov, A. Y., Overchenko, M. B., Rimareva, L. V., Ignatova, N. I., Serba, V. V. et al. (2023). Obtaining concentrated enzyme preparations for the conversion of protein and polysaccharides of agricultural raw materials in biotechnological industries. *Food Industry*, 4, 46–50. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.4.4.008>
 50. Синицын, А. П., Синицына, О. А., Рожкова, А. М., Рубцова, Е. А., Шашков, И. А., Сатрутдинов, А. Д. и др. (2023). Возможности промышленного производства ферментов: создание микроорганизмов — продуцентов технических ферментов. *Пищевая промышленность*, 5, 26–30. [Sinityn, A. P., Sinityn, O. A., Rozhkova, A. M., Rubtsova, E. A., Shashkov, I. A., Satrutdinov, A. D. et al. (2023). Possibilities of industrial production of enzymes: The creation of microorganisms — producers of technical enzymes. *Food Industry*, 5, 26–30. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.5.5.007>
 51. Синицын, А. П., Синицына, О. А., Зоров, И. Н., Рожкова, А. М. (2020). Возможности экспрессионной системы гриба *Penicillium verrucosum* для получения продуцентов ферментов, обеспечивающих эффективную деструкцию возобновляемой растительной биомассы (обзор). *Прикладная биохимия и микробиология*, 56(6), 551–560. [Sinityn, A. P., Sinityn, O. A., Zorov, I. N., Rozhkova, A. M. (2020). Capabilities of the Fungus *Penicillium verrucosum* Expression System for Producing of Enzymes Providing Effective Destruction of Renewable Plant Biomass (Review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 56(6), 551–560. (In Russian)] <https://doi.org/10.31857/S0555109920060161>
 52. Асраркулова, А. С., Булушова, Н. В. (2018). Пшеничный глютен и его гидролизаты. Возможные направления практического использования (Обзор). *Биотехнология*, 34(4), 6–17. [Asrarkulova, A. S., Bulushova, N. V. (2018). Wheat gluten and its hydrolysates. Possible fields of practical use. *Biotechnologiya*, 34(4), 6–17. (In Russian)] <https://doi.org/10.21519/0234-2758-2018-34-4-6-17>
 53. Bozkurt, F., Bekiroglu, H., Dogan, K., Karasu, S., Sagdic, O. (2021). Technological and bioactive properties of wheat glutenin hydrolysates prepared with various commercial proteases. *LWT—Food Science and Technology*, 149, Article 111787. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111787>
 54. Костылева, Е. В., Серeda, А. С., Великорецкая, И. А., Курбатова, Е. И., Фурсова, Е. А., Цурикова, Н. В. и др. (2023). Применение нового комплексного ферментного препарата на основе штамма *Aspergillus oryzae* при гидролизе пшеничного глютена. *Пищевая промышленность*, 8, 116–120. [Kostyleva, E. V., Sereda, A. S., Velikoretskaya, I. A., Kurbatova, E. I., Fursova, E. A., Tsurikova, N. V. et al. (2023). The use of a new complex enzyme preparation from *aspergillus oryzae* in the hydrolysis of wheat gluten. *Food Industry*, 85, 116–120. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.8.8.022>
 55. Dunaevsky, Y. E., Tereshchenkova, V. F., Belozersky, M. A., Filippova, I. Y., Orpert, B., Elpidina, E. N. (2021). Effective degradation of gluten and its fragments by gluten-specific peptidases: A review on application for the treatment of patients with gluten sensitivity. *Pharmaceutics*, 13(10), Article 1603. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13101603>
 56. Vogelsang-O'Dwyer M., Sahin, A.W., Arendt, E.K., Zannini, E. (2022). Enzymatic hydrolysis of pulse proteins as a tool to improve techno-functional properties. *Foods*, 11(9), Article 1307. <https://doi.org/10.3390/foods11091307>
 57. Колпакова, В. В., Чумикина, Л. В., Васильев, А. В., Арабова, Л. И., Топунов, А. Ф. (2011). Особенности действия эндо- и экзопроteinазных ферментных препаратов на белки пшеничной клейковины. *Биотехнология*, 3, 63–73. [Kolpakova, V. V., Chumikina, L. V., Vasiliev, A. V., Arabova, L. I., Topunov, A. F. (2011). A special effect of endo- and exoproteinase enzyme preparations on wheat gluten proteins. *Biotechnologiya*, 3, 63–73. (In Russian)]
 58. Красноштанова, А. А., Шульц, Л. В. (2022). Получение и оценка функциональных свойств белковых изолятов и гидролизатов из растительного сырья. *Химия растительного сырья*, 4, 299–309. [Krasnoshtanova, A. A., Shul'ts, L. V. (2022). Preparation and evaluation of the functional properties of protein isolates and hydrolysates from plant raw materials. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 4, 299–309. (In Russian)] <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220410952>
 59. Zheng, Z., Wang, M., Li, J., Lia, J., Liu, Y. (2020). Comparative assessment of physicochemical and antioxidative properties of mung bean protein hydrolysates. *RSC Advances*, 10(5), 2634–2645. <https://doi.org/10.1039/c9ra06468k>
 60. Костылева, Е. В., Серeda, А. С., Великорецкая, И. А., Курбатова, Е. И., Цурикова, Н. В. (2023). Использование протеолитических ферментов для получения белковых гидролизатов пищевого назначения из вторичного сырья. *Вопросы питания*, 92(1), 116–132. [Kostyleva, E. V., Sereda, A. S., Velikoretskaya, I. A., Kurbatova, E. I., Tsurikova, N. V. (2023). Proteases for obtaining of food protein hydrolysates from proteinaceous by-products. *Problems of Nutrition*, 92(1), 116–132. (In Russian)] <https://doi.org/10.53029/0042-8835-2023-92-1-116-132>
 61. Klost, M., Drusch, S. (2019). Functionalisation of pea protein by tryptic hydrolysis — characterisation of interfacial and functional properties. *Food Hydrocolloids*, 86(1), 134–140. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.013>
 62. Brückner-Gühmann, M., Heiden-Hecht, T., Sözer, N., Drusch, S. (2018). Foaming characteristics of oat protein and modification by partial hydrolysis. *European Food Research and Technology*, 244(12), 2095–2106. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3118-0>
 63. García Arteaga, V., Apéstegui Guardia, M., Muranyi, I., Eisner, P., Schweiggert-Weisz, U. (2020). Effect of enzymatic hydrolysis on molecular weight distribution, techno-functional properties and sensory perception of pea protein isolates. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 65, Article 102449. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102449>
 64. Esfandi, R., Willmore, W. G., Tsopmo, A. (2019). Peptidomic analysis of hydrolyzed oat bran proteins and their in vitro antioxidant and metal chelating properties. *Food Chemistry*, 279, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.110>
 65. Chen, L., Chen, J., Yu, L., Wu, K., Zhao, M. (2018). Emulsification performance and interfacial properties of enzymatically hydrolyzed peanut protein isolate pretreated by extrusion cooking. *Food Hydrocolloids*, 77, 607–616. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.002>
 66. Schlegel, K., Leidigkeit, A., Eisner, P., Schweiggert-Weisz, U. (2019). Technofunctional and sensory properties of fermented lupin protein isolates. *Foods*, 8(12), Article 678. <https://doi.org/10.3390/foods8120678>
 67. Eckert, E., Han, J., Swallow, K., Tian, Z., Jarpa-Parra, M., Chen, L. (2019). Effects of enzymatic hydrolysis and ultrafiltration on physicochemical and functional properties of faba bean protein. *Cereal Chemistry*, 96(4), 725–741. <https://doi.org/10.1002/cche.10169>
 68. Felix, M., Cermeño, M., FitzGerald, R. J. (2020). Influence of hydrolysis on the bioactive properties and stability of chickpea-protein-based o/w emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(37), 10118–10127. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c02427>
 69. Балабан, Н. П., Шарипова, М. Р. (2011). Практическое применение бациллярных протеаз. *Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки*, 153(2), 29–40. [Balaban, N. P., Sharipova, M. R. (2011). Practical use of bacillary proteases. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 153(2), 29–40. (In Russian)]
 70. FitzGerald, R. J., O'Cuinn, G. O. (2006). Enzymatic debittering of food protein hydrolysates. *Biotechnology Advances*, 24(2), 234–257. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2005.11.002>
 71. Meinschmidt, P., Sussmann, D., Schweiggert-Weisz, U., Eisner, P. (2015). Enzymatic treatment of soy protein isolates: Effects on the potential allergenicity, techno-functionality, and sensory properties. *Food Science Nutrition*, 4(1), 11–23. <https://doi.org/10.1002/fsn3.253>
 72. Xu, Y., Zhao, J., Hu, R., Wang, W., Griffin, J., Li, Y. et al. (2021). Effect of genotype on the physicochemical, nutritional, and antioxidant properties of hempseed. *Journal of Agriculture and Food Research*, 3, Article 100119. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100119>
 73. Girgih, A. T., He, R., Malomo, S., Offengenden, M., Wu, J., Aluko, R. E. (2014). Structural and functional characterization of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) protein-derived antioxidant and antihypertensive peptides. *Journal of Functional Foods*, 6, 384–394. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.11.005>
 74. Cai, L., Wu, S., Jia, C., Cui, C. (2023). Hydrolysates of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed meal: Characterization and their inhibitory effect on α -glucosidase activity and glucose transport in Caco-2 cells. *Industrial Crops and Products*, 205, Article 117559. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117559>
 75. Aluko, R. E. (2021). Food-derived acetylcholinesterase inhibitors as potential agents against Alzheimer's Disease. *EFood*, 2(2), 49–58. <https://doi.org/10.2991/efood.k.210318.001>
 76. Римарева, Л. В., Оверченко, М. Б., Серб, Е. М., Игнатова, Н. И., Шелехова, Н. В. (2021). Конверсия полимеров зерна пшеницы и кукурузы под влиянием фитолитических и протеолитических ферментов. *Сельскохозяйственная биология*, 56(2), 374–383. [Rimareva, L. V., Overchenko, M. B., Serba, E. M., Ignatova, N. I., Shelekhova, N. V. (2021). Influence of phytolytic and proteolytic enzymes on conversion of wheat and corn grain polymers. *Agricultural Biology*, 56(2), 374–383. (In Russian)] <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.2.374rus>
 77. Погорелова, Н. А., Гаврилова, Н. Б., Рогачев, Е. А., Шетинина, Е. М. (2020). Определение эффективности способов конверсии пшеничных отрубей для использования их в технологии продуктов питания. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 1, 48–57. [Pogorelova, N. A., Gavrilova, N. B., Rogachev, E. A., Schetinina, E. M. (2020). Determining the effectiveness of wheat bran conversion methods for use in food technology. *Storage and Processing of Farm Products*, 1, 48–57. (In Russian)] <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.228>
 78. Kapreljants, L., Zhurlova, O. (2017). Technology of wheat and rye bran biotransformation into functional ingredients. *International Food Research Journal*, 24(5), 1975–1979.
 79. Мелешкина, Е. П., Ванина, Л. В., Витол, И. С. (2024). Актуальные направления развития науки о зерне. Обзор. *Пищевые системы*, 7(3), 444–453. [Meleshkina, E. P., Vanina, L. V., Vitol, I. S. (2024). Current developments in grain science. Review. *Food Systems*, 7(3), 444–453. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-444-453>
 80. Витол, И. С., Мелешкина, Е. П., Панкратов, Г. Н. (2022). Отруби из композитной зерносмеси как объект глубокой переработки. Часть 1. Белково-протеиновый комплекс. *Пищевые системы*, 5(4), 282–288. [Vitol, I. S., Meleshkina, E. P., Pankratov, G. N. (2022). Bran from composite grain mixture is an object of deep processing. Part 1. Protein-proteinase complex. *Food Systems*, 5(4), 282–288. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-4-282-288>
 81. Витол, И. С., Мелешкина, Е. П., Панкратов, Г. Н. (2023). Отруби из композитной зерносмеси как объект глубокой переработки. Часть 2. Углеводно-амилазный и липидный комплексы. *Пищевые системы*, 6(1), 22–28. [Vitol, I. S., Meleshkina, E. P., Pankratov, G. N. (2023). Bran from composite grain mixture as an object of deep processing. Part 2. Carbohydrate-amylase and lipid complexes. *Food Systems*, 6(1), 22–28. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-22-28>
 82. Витол, И. С. (2024). Характеристика продуктов ферментативной модификации бобовых культур. *Пищевая промышленность*, 10, 73–76. [Vitol, I. S. (2024). Characteristics of products of enzymatic modification of legume seeds. *Food Industry*, 10, 73–76. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.10.10.014>
 83. Mudryj, A. N., Yu, N., Aukema, H. M. (2014). Nutritional and health benefits of pulses. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(11), 1197–1204. <https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0557>
 84. Возиян, В. И., Таран, М. Г., Якобид, М. Д., Авадений, Л. П. (2013). Питательная ценность сортов сои, гороха, фасоли и содержание в них антипитатель-

ных веществ. *Зернобобовые и крупяные культуры*, 1(5), 26–29. [Vozijan, V. I., Taran, M. G., Jakubtsa, M. D., Avadeny, L. P. (2013). Nutritive value of varieties of soya, peas, dry beans and content of anti-nutritive substances in them. *Legumes and Groat Crops*, 1(5), 26–29. (In Russian)]

85. Agarwal, S., Fulgoni, V. L. (2023). Effect of adding pulses to replace protein foods and refined grains in healthy dietary patterns. *Nutrients*, 15(20), Article 204355. <https://doi.org/10.3390/nu15204355>

86. Samtiya, M., Aluko, R. E., Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2(1), Article 6. <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>

87. Hřčková, M., Rusňáková, M., Zemanovič, J. (2000). Enzymatic hydrolysis of de-fatted soy flour by three different proteases and their effect on the functional properties of resulting protein. *Czech Journal of Food Sciences*, 20(1), 7–14. <https://doi.org/10.17221/3503-CJFS>

88. Черкашина, Е. С., Лодыгин, Д. Н., Лодыгин, А. Д. (2014). Ферментативные гидролизаты вторичного растительного сырья: анализ аминокислотного состава и перспективы использования. *Вестник Северо-Кавказского федерального университета*, 3(42), 112–116. [Cherkashina, E. S., Lodygin D. N., Lodygin A. D. Enzymatic hydrolysates of secondary plant materials: Analysis of amino acid composition and prospects of their application. *Newsletter of North-Caucasus Federal University*, 3(42), 112–116. (In Russian)]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Витол Ирина Сергеевна — кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 11 Тел.: +7-926-709-02-07 E-mail: i.vitol@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5362-8909 * автор для контактов</p>	<p>Irina S. Vitol — Candidate of Biological Sciences, Docent, Senior Researcher, All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing 11, Dmitrovskoye Shosse, Moscow, 127434, Russia Tel.: +7-926-709-02-07 E-mail: i.vitol@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5362-8909 * corresponding author</p>
<p>Мелешкина Елена Павловна — доктор технических наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 11 Тел.: +7-499-976-23-23 E-mail: e.meleshkina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1339-7150</p>	<p>Elena P. Meleshkina — Doctor of Technical Sciences, Director, All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing 11, Dmitrovskoye Shosse, Moscow, 127434, Russia Tel.: +7-499-976-23-23 E-mail: e.meleshkina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1339-7150</p>
Критерии авторства	Contribution
<p>Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.</p>	<p>The author has the sole responsibility for writing the manuscript and is responsible for plagiarism.</p>
Конфликт интересов	Conflict of interest
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.</p>	<p>The authors declare no conflict of interest.</p>