

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 4. С. 309-323.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no 4. P. 309-323.

Обзорная статья

УДК 636.087.7

doi:10.33284/2658-3135-107-4-309

Гидролизированные белки: доступность, биоактивность, безопасность, применение при производстве кормов

Майсун Шаабан¹

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

¹maisoon.a.shaaban@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5000-741X>

Аннотация. В последние годы наблюдается растущий интерес к роли пептидов в кормлении животных. Обычно пептиды образуются из потреблённых белков в желудочно-кишечном тракте, но типы полученных пептидов могут значительно различаться в зависимости от физиологического состояния животных и состава рациона. Чтобы решить эту проблему производители кормов добавляют в качестве кормовых добавок белковые гидролизаты, полученные путём ферментативного или бактериального гидролиза белкового сырья растительного или животного происхождения для получения коротких цепочек аминокислот, направленных на повышение доступности легкоусвояемого белка или белковых фрагментов со специфической биологической активностью (антиоксидантной или антимикробной). Переработка сельскохозяйственных культур, животных, птиц и рыбы в пищевой промышленности приводит к образованию большого количества вторичных отходов в твёрдом или жидком виде. Переработанные отходы пищевой промышленности являются хорошим источником дешёвых белков, при использовании которых в качестве сырья в процессе гидролиза бесполезные растительные и пищевые отходы промышленности превращаются в ценные. Ферментативный гидролиз белков приводит к образованию пептидов и свободных аминокислот, которые усваиваются значительно быстрее, чем происходит всасывание исходного белка в связи с наличием специализированных транспортных систем пептидов с участием молекул-переносчиков в слизистой оболочке кишечника. Также в зависимости от типа ферментов, используемых при гидролизе, образуются пептиды, оказывающие благотворное биологическое воздействие на здоровье животных. В этой статье обсуждаются наиболее важные гидролизаты, используемые в кормах для животных, способ их доступности для усвоения, а также биологическая активность и безопасность **активных фрагментов белков** для здоровья животных.

Ключевые слова: кормление животных, кормовая добавка, биоактивные пептиды, гидролиз, технология защиты пептидов, кишечное всасывание

Для цитирования: Шаабан М. Гидролизированные белки: доступность, биоактивность, безопасность, применение при производстве кормов (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 4. С. 309-323. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-323>

Review article

Hydrolyzed proteins: availability, bioactivity, safety, applications in feed production

Maisoon Shaaban¹

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

¹maisoon.a.shaaban@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5000-741X>

Abstract. Recent years have witnessed a growing interest in the role of peptides in animal nutrition. These peptides are typically formed from ingested proteins in the gastrointestinal tract, but the types of resultant peptides can vary greatly with the physiological conditions of the animals and the

composition of the diets. Therefore, feed manufacturers add hydrolysates obtained by enzymatic or bacterial hydrolysis of proteins from an animal or plant source to obtain peptides aimed at increasing the availability of easily digestible protein or peptides with specific biological activity, such as antioxidant or antimicrobial agents. The processing of agricultural crops, animals, poultry and fish in the food industry results in the formation of large amounts of secondary waste in solid or liquid form. These wastes are a good source of cheap proteins, which when used as raw materials in the hydrolysis process, are converted from useless waste into valuable ones. Enzymatic hydrolysis of proteins produces peptides and free amino acids, which are absorbed much faster than the original protein, due to the presence of specialized transporters in the intestinal mucosa. Also, depending on the type of protease, the peptides formed as a result of hydrolysis have beneficial biological effects on animal health. This article discusses the most important hydrolysates used in feed animal and their availability for absorption, as well as the bioactivity and safety of bioactive peptides for animal health.

Keywords: animal feeding, feed additive, bioactive peptides, hydrolysis, peptide protection technology, intestinal absorption

For citation: Shaaban M. Hydrolyzed proteins: availability, bioactivity, safety, applications in feed production (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):309-323. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-309>

Введение.

Биоактивные пептиды представляют собой специфические фрагменты белков, которые неактивны в исходном белке и становятся биологически активными при высвобождении из белка в результате гидролиза *in vitro*, кишечного пищеварения *in vivo* или микробной ферментации (Jakubczyk A et al., 2020). Они представляют собой последовательности от 2 до 20 аминокислот, которые после высвобождения улучшают свойства корма и приносят пользу здоровью животных (Karami Z and Akbari-Adergani B, 2019).

Биоактивные пептиды, используемые в качестве антимикробных пептидов и антиоксидантов для консервации кормов, могут ингибировать окисление липидов, удаляя свободные радикалы, взаимодействуя с ионами металлов (Durand E et al., 2021), существенно подавлять рост и размножение микроорганизмов, разрушая их клеточные мембраны или воздействуя на внутриклеточные компоненты (Chelliah R et al., 2021). Кроме того, антимикробные пептиды можно классифицировать на основе биологической активности, например, антибактериальные, противовирусные, противогрибковые, противопротозойные, противопаразитарные (Kamal I et al., 2023).

Гидролизат сои широко используется в современном кормлении животных в качестве альтернативы рыбной муке благодаря богатству незаменимыми аминокислотами и эффективности гидролиза соевого белка. Было доказано, что он содержит до 60 % свободных аминокислот (от массы гидролизуемой белковой смеси) и короткие пептиды с массой не более 3 кДа, что делает гидролизат сои богатым источником легкоусвояемого белка (Муранова Т.А. и др., 2019). Кроме того, было обнаружено, что использование гидролизата белка в кормлении животных и птицы способствует повышению показателей белкового обмена, а также максимальному проявлению их генетического потенциала продуктивности (Курбанова М.Г. и Генералова Н.А., 2011).

Цель исследования.

Анализ существующих на сегодняшний день литературных данных о концепции использования гидролизированных белков в качестве потенциальной кормовой добавки в рационах сельскохозяйственных животных.

Материалы и методы исследования.

Поиск и анализ литературы проводился с использованием интернет-ресурсов: РИНЦ – <https://www.elibrary.ru>, ScienceDirect – <https://www.sciencedirect.com>, PubMed – <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>, Google Scholar (Google Академия) – <https://scholar.google.ru/> за период 2000-2024 гг.

Результаты исследования и их обсуждение.

Биодоступность биоактивных пептидов или протеингидролаз. Процесс гидролиза белка требует использования протеолитических ферментов для гидролиза, а затем очистки пептидов и определения их аминокислотной последовательности, что является дорогостоящим процессом, поэтому нелогично осуществлять его, не гарантируя, что эти пептиды попадут в кровоток полностью и в неискаженном виде. То есть необходимо обеспечить условия, при которых активные пептиды абсорбируются без потери свойств в определённых участках тонкого кишечника, при этом успешно преодолевая воздействие пищеварительного тракта животного, его пищеварительных ферментов, кислую среду желудка и щелочную среду в других частях пищеварительного тракта, что важно для обеспечения желаемого биологического эффекта пептидов в организме животного. Поэтому во многих исследованиях изучался термин «биодоступность активных пептидов», под которым следует понимать процент пептидов, потребляемых животными, которые попадают в кровоток через желудочно-кишечный тракт (Udenigwe CC et al., 2021).

Имеются исследования, подтверждающие пероральный перенос пептидов, потребляемых с пищей, в кровоток, когда абсорбция пептидов происходит через слизистую оболочку полости рта путём пассивной диффузии, например, пероральное всасывание инсулина, который представляет собой пептидный гормон (Drucker DJ, 2020). Однако механизм переноса до сих пор не обнаружен (Verma S et al., 2021). С другой стороны, большая часть пептидов всасывается в тощей кишке, как и остальные питательные вещества (в том числе жирные кислоты, моно- и олигосахариды, витамины и минералы), которые проникают через стенку кишечника и достигают большого круга кровообращения. Существует четыре способа транспортировки пептидов через кишечник: парацеллюлярная диффузия, трансклеточная пассивная диффузия, транцитоз и транспорт, опосредованный переносчиками (Amigo L and Hernandez-Ledesma B, 2020). Чтобы улучшить доступность биоактивных пептидов и обеспечить их правильное всасывание слизистой оболочкой кишечника можно использовать следующие стратегии:

1. Технология химической модификации биоактивных пептидов. Одной из основных стратегий улучшения проницаемости мембран является циклизация линейных полипептидных цепей, поскольку макроциклические пептиды с их большой поверхностью лучше прилипают к кишечной мембране (Dougherty PG et al., 2019);

2. Технологии доставки. Естественный транспорт через кишечный барьер ограничен транспортёрами, присутствующими в эпителии. Использование усилителей кишечной абсорбции обеспечивает создание новых путей для соединений с низким профилем проникновения (например, микро-/наночастицы, гидрогели, биоконъюгаты (Sanchez-Navarro M et al., 2016; Ibrahim YNY et al., 2020; Luo Z et al., 2021).

3. Технологии защиты гидролизованых белков и биоактивных пептидов. С целью повышения биодоступности используются несколько методов защиты, которые, в свою очередь, делятся на два типа: нанокапсулирование и микрокапсулирование.

Нанокапсуляция производится распылительной сушкой либо электронапылением – методы липидных систем доставки, методы электропрядения, методы электрораспыления и т. д. (Chadha S, 2021). Методы распылительной сушки и электронапыления являются наиболее применимыми методами инкапсулирования биоактивных пептидов (Berraquero-Garcia C et al., 2023).

Технология микроинкапсуляции позволяет эффективно решать трудности с сохранением активных пептидов и повысить уровень их использования. Защитными покрытиями для инкапсуляции активных пептидов являются следующие полимерные материалы: природные, модифицированные и синтетические. По сравнению с природными полимерами синтетические и модифицированные демонстрируют более высокую скорость внедрения пептидов и механическую прочность (Li M et al., 2023). Одним из важнейших условий успеха процесса инкапсулирования является то, что биоактивные пептиды сохраняют свою активность до тех пор, пока не достигнут органа-мишени, где и проявят свою активность (Amigo L and Hernandez-Ledesma B, 2020);

4. Смешивание гидролизованых белковых добавок в объёме кормосмеси.

Инкапсулирование гидролизованных белков и активных пептидов недостаточно для повышения их доступности на кишечном уровне, поэтому необходимо учитывать размер капсул и обеспечивать их однородное распределение в комбикорме, поскольку равномерность их размещения обеспечивает одинаковую пищевую ценность корма во всём его объёме (Шахов В.А. и др., 2021). Наноразмер компонентов помогает им легко проникать сквозь мембраны клеток кишечника, но процесс равномерного распределения этих наночастиц в объёме кормовой смеси очень сложен. В связи с этим была разработана новая конструкция оборудования для смешивания компонентов комбикормов с наночастицами, что позволило гомогенизировать их распределение в массе кормовой смеси (Самосюк В.В. и Шахов В.А., 2023).

Инкапсулирование биологически активных пептидов и гидролизованных белков не только направлено на повышение их доступности на уровне тонкого кишечника, но и преодолевает трудности прямого их использования, связанные со свойствами биологически активных пептидов и гидролизованных белков, а именно, физическая и химическая нестабильность, а также влажность и горечь (Sarabandi K et al., 2020).

Биоактивность гидролизованных белков. Биологическая активность пептидов варьируется в зависимости от аминокислотной последовательности пептида, которая, в свою очередь, варьируется в зависимости от фермента, используемого для гидролиза исходного белка. В таблице 1 представлена различная биоактивность пептидов при гидролизе β -лактоглобулина в зависимости от используемого фермента.

Таблица 1. Различная биоактивность пептидов при гидролизе β -лактоглобулина в зависимости от используемого фермента

Table 1. Different bioactivity of peptides in β -lactoglobulin hydrolysis depending on the enzyme used

Исходной белок / <i>Original protein</i>	Фермент / <i>Enzyme</i>	Аминокислотная последовательность пептидов / <i>Amino acid sequence of peptides</i>	Биоактивность / <i>Bioactivity</i>	Ссылки/ <i>References</i>
β -лактоглобулин <i>/β-Lactoglobulin</i>	Алькалаза <i>/Alcalase</i>	Иле-Асп-Ала-Лей-Асн- Глу-Лис / <i>Ile-Asp-Ala-Leu- Asn-Glu-Lys</i>	Антиоксидант <i>/Antioxidant</i>	Garcia-Casas VE et al., 2022
β -лактоглобулин <i>/β-Lactoglobulin</i>	Пепсин / <i>Pepsin</i>	Лис-Вал-Ала-Гли-Тр / <i>Lys- Val-Ala-Gly-Thr</i>	Антимикробный пептид / <i>Antimicrobial peptide</i>	Broersen K, 2020
β -лактоглобулин <i>/β-Lactoglobulin</i>	Трипсин <i>/Trypsin</i>	Вал 15-Ала-Гли-Тр-Трп- Тир20 / <i>Val 15-Ala-Gly-Tyr- Trp-Tyr20</i>	Антиоксидант <i>/Antioxidant</i>	Meng Y et al., 2021
β -лактоглобулин <i>/β-Lactoglobulin</i>	Химотрипсин <i>/Chymotrypsin</i>	Гис ₁₄₆ -Иле-Арг-Лей ₁₄₉ <i>/His₁₄₆-Ile-Arg-Leu₁₄₉</i>	Опиоидная активность / <i>Opioid activity</i>	Zhao C and Ashaolu TJ et al., 2021

Из таблицы 1 видно, что пептиды, несущие в своей последовательности гистидин, глутаминовую кислоту, пролин, тирозин, цистеин, метионин или фенилаланин – это пептиды с антиоксидантными свойствами. Также многими исследователями отмечается, что при гидролизе молочных белков наблюдается выработка биологически активных пептидов, обладающих противомикробными свойствами. Таким образом, перспективным является использование гидролизата этих белков в консервировании кормов.

Пептиды, освобождённые под действием кислотности желудка от исходного белка, благодаря своей ионной природе связываются с такими минералами, как кальций и фосфор (Sun X et al., 2020), что увеличивает абсорбцию этих минералов. Например, когда белок льняного семени гидролизуется ферментом алкалазой, в результате гидролиза образуются гидрофобные и положительно заряженные аминокислоты, которые связываются с металлами, что способствует образованию пептидно-минерального комплекса (Zaky AA et al., 2022). Было опубликовано множество статей о создании и характеристике биоактивных пептидов с противомикробными, противовоспалительными, антигипертензивными, противоожирительными и антиоксидантными свойствами. Кроме того, многим исследователям удалось синтетически производить пептиды с ранее упомянутыми характеристиками. (Durand E et al., 2021; Garcia-Casas VE et al., 2022; Zaky AA et al., 2022).

Безопасность применения гидролизованных белков в кормах. Известно, что токсичность пептидов может возникнуть во время предварительной обработки или экстракции исходного белка, поскольку возможно образование нежелательных производных, таких как лизиноаланин, D-аминокислоты или биогенные амины, которые оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье (Liu L et al., 2020). Также рацемизация аминокислот, модификация пептидов, включая образование изопептидных связей, и реакция Майяра могут происходить во время экстракции белка, его предварительной обработки и приготовления пептидов (Liu L et al., 2020).

Безопасность гидролизованного белка определяется тем, что для питания животного фактически используется исходный белок, безопасность которого была проверена. Метод гидролиза также влияет на качество получаемых в результате пептидов. Например, метод ферментативного гидролиза считается более безопасным по сравнению с химическим гидролизом. Многие исследования рекомендуют получать гидролизаты белков путём ферментативного гидролиза из-за его положительного влияния на пищеварение у животных (Прокофьева А.А. и др., 2023). Также необходимо обратить внимание на тип ферментов, используемых при ферментативном гидролизе, так как попадание этих ферментов в организм животного с кормом может вызвать их активацию внутри организма из-за наличия подходящей кислотности и температурных условий, именно поэтому рекомендуется использовать пищевые ферменты. Обычно применяются различные типы протеаз животного, растительного, грибкового или бактериального происхождения (Костылева Е.В. и др., 2023). Например, в России выпускают ферментный препарат Протосубтилин (ОАО «Сиббиофарм», Россия) – препарат субтилилина BPN[®] и металлопротеазы на основе штамма *B. subtilis*, предназначенный для применения в кормопроизводстве (Костылева Е.В. и др., 2023).

Применение гидролизованных белков при производстве кормов. Использование гидролизованных белков в кормах направлено на повышение процента легкоусвояемых белков, использование свойств пептидов, образующихся в результате гидролиза (таких как антиоксидантная и антимикробная активность), сохранение корма и повышение поедаемости нетрадиционных кормов, таких, например, как отходы масложировой промышленности, при их использовании уровень загрязнения окружающей среды снижается. Среди наиболее важных протеингидролаз, которые использовались при приготовлении кормов, отметим следующие:

1. Гидролизат дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Недостаток белка в растительных ингредиентах кормов побудил исследователей восполнить его дефицит за счёт кормовых добавок с высоким содержанием белка и лёгкой усвояемостью. Использование добавок гидролизованного белка из *Saccharomyces cerevisiae* (4 % гидролизованного белка сухих пивных дрожжей) в рационе поросят-отъёмшей помогло ускорить набор веса и увеличить потребление корма (Boontiam W et al., 2022), где гидролизованные дрожжи содержали 41,84 % сырого белка от сухой массы. Добавление гидролизата дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в рацион в дозировках 50-150 мг/кг корма оказало положительное влияние на показатели роста, параметры сыворотки крови, относительную массу органов, характеристики тушки, качество мяса и антиоксидантную способность бройлеров (Wang T et al., 2022).

2. Гидролизат дрожжей *Yarrowia lipolytica*. На основании свойств *Yarrowia lipolytica* белковые гидролизаты из этих дрожжей считаются кормовой добавкой для животных, они имеют вы-

сокую пищевую ценность, сравнимую и в некоторых отношениях превосходящую таковую у пивных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Они обеспечивают животных ценными минералами, витаминами, высококачественными белками, содержание которых может достигать до 60 % от сухой массы, при этом большую часть этих белков составляют незаменимые аминокислоты. Дрожжи *Yarrowia lipolytica* являются источником полиненасыщенных жирных кислот, безопасных для использования в кормах для животных (Patsios SI et al., 2020). Многие исследования подтверждают, что эти дрожжи приводят: а) к увеличению прироста живой массы; б) к улучшению коэффициента конверсии корма; в) к положительному влиянию на микрофлору кишечника; г) к стимуляции антиоксидантных механизмов и иммунной системы; д) к стимулированию эритропоэтических процессов и е) к повышению метаболического статуса животных (Patsios SI et al., 2020).

3. Гидролизат агропромышленных отходов. Вторичное сырьё, получаемое попутно в агропромышленной сфере, считается очень хорошим источником белка и биологически активных пептидов. Эти отходы делятся на два вида: полевые отходы, такие как стебли, листья и корни сельскохозяйственных культур, и отходы последующих промышленных процессов, например, шроты, образующиеся в результате прессования масличных культур.

Кукурузный белок был идентифицирован как важный источник биоактивных пептидов. Такие пептиды могут высвобождаться при гидролизе, вызванном протеолитическими ферментами (нейтраза и алкалаза) или микробной ферментацией (Li G et al., 2019).

Соевый белок имеет высокую пищевую ценность, поскольку содержит незаменимые аминокислоты. Но зерно сои также содержит антипитательные вещества, его сложно использовать непосредственно в кормах для животных без предварительной обработки. Гидролизаты, полученные из сои, обладают биологическими функциями, которые имеют пищевое и терапевтическое применение. Добавление гидролизата соевого белка в корм курам-несушкам вызывает повышение яйценоскости с увеличением массы яиц и оказывает антистрессовое действие (Ежелев А.В. и др., 2019). С другой стороны, гидролизат соевого белка стимулирует секрецию аноректического гормона и ингибирует потребление корма свиньями (Wang T et al., 2022). Доказано, что ферментация соевого шрота бактериями (*Bacillus subtilis*) значительно увеличила содержание растворимого белка с 6,3 % до 22,8 %, что является важной стратегией для повышения ценности сырья, используемого в кормах для моногастричных животных (Filipe D et al., 2023).

Основной проблемой включения подсолнечного шрота в рацион бройлеров является высокое содержание клетчатки в подсолнечном шроте, что может отрицательно сказаться на показателях роста. Гидролизат подсолнечного шрота применяется для повышения использования клетчатки моногастричными животными (птица и свиньи). Помимо того, биоактивные пептиды, полученные в результате гидролиза белка подсолнечника, продемонстрировали противовоспалительный и иммуностимулирующий эффекты. Различные белки и аминокислоты потенциально могут применяться при приготовлении кормов для животных (Egea MB et al., 2021).

По сравнению с сырыми семенами хлопка гидролизаты семян хлопка содержат меньший процент госсипола, который является антипитательным веществом. В исследовании на телятах после отъёма гидролизат семян хлопка добавляли в разных пропорциях. Результаты показали, что добавление этой кормовой добавки в небольшой норме (2 или 4 %) не влияло на потребление корма или средний суточный прирост живой массы, но в то же время оказывало антиоксидантное и противомикробное действие. Однако при концентрации 6 % наблюдался отрицательный эффект: потребление корма снизилось на 18 %. Это объяснялось вкусом пептидов в кормовой добавке (Dolatkhah B et al., 2020).

При переработке злаковых культур на крахмал в виде отходов образуется большие количества дешёвого белка. Основным белком в этих отходах является глютен, который служит незаменимым сырьём при производстве кормов для животноводства и рыбоводства. Ферментативный гидролиз глютена даёт возможность расширить область применения глютена (Костылева Е.В. и др., 2023).

В таблице 2 представлены наиболее важные гидролизаты вторичного сырья растительного происхождения, используемые в кормах для животных, показана их биологическая активность.

Таблица 2. Гидролизаты агропромышленных отходов, используемых в кормах для животных, и биоактивность их пептидов

Table 2. Hydrolysates of agro-industrial wastes used in animal feed and the bioactivity of their peptides

Агропромышленные отходы / <i>Agro-industrial wastes</i>	Биоактивные пептиды / <i>Bioactive peptides</i>	Биоактивность / <i>Bioactivity</i>	Ссылки / <i>References</i>
Соевый шрот / <i>Soybean meal</i>	Глу-Глн-Асп-Глу-Арг-Глн-Фен-Про-Фен-Про и Лей-Фен-Сер-Мет-Сер / <i>Glu-Gln-Asp-Glu-Arg-Gln-Phe-Pro-Phe-Pro and Leu-Phe-Ser-Met-Ser</i>	Противомикробные агенты / <i>Antimicrobial agents</i> Антиоксидантная активность / <i>Antioxidant activity</i>	Freitas CS et al., 2019 Yang J et al., 2019
Пшеничные отруби / <i>Wheat bran</i>	Асп-Лей-Асп-Трп и Асп-Лей-Гли-Лей / <i>Asp-Leu-Asp-Trp and Asp-Leu-Gly-Leu</i>	Антиоксидантная активность / <i>Antioxidant activity</i>	Zhuang M et al., 2024
Подсолнечный шрот / <i>Sunflower meal</i>	Про-Ала-Асп-Вал-Трп-Про-Глю-Глю-Лис-Про-Глю-Вал / <i>Pro-Ala-Asp-Val-Thr-Pro-Gln-Gln-Lys-Pro-Gln-Val</i>	Антиоксидантная и противовоспалительная активность / <i>Antioxidant and anti-inflammatory activity</i>	Tonolo F et al., 2024
Хлопковый шрот / <i>Cottonseed meal</i>	Цис-Сер-Про-Гис / <i>Cys-Ser-Pro-His</i>	Антиоксидантная, антимикробная, и иммуномодулирующая активность / <i>Antioxidant, antimicrobial and immunomodulatory activity</i>	Kumar M et al., 2022
Кукурузный глютеный шрот / <i>Corn gluten meal</i>	Цис-Гли-Мет-Про / <i>Cys-Gly-Met-Pro</i>	Антиоксидантная активность / <i>Antioxidant activity</i>	Jiang X et al., 2020
Кунжутный шрот / <i>Sesame meal</i>	Тир-Ала-Гис-Тир-Сер-Тир-Ала / <i>Tyr-Ala-His-Tyr-Ser-Tyr-Ala</i>	Ингибирующая активность АПФ/АСЕ (<i>Angiotensin-Converting Enzyme</i>) ингибирующая активность	Lu X et al., 2021
Рапсовый шрот / <i>Rapeseed meal</i>	Трп-Асп-Гис-Гис-Ала-Про-пул-Лей-Арг / <i>Trp-Asp-His-His-Ala-Pro-pul-Leu-Arg</i>	Антиоксидантная активность / <i>Antioxidant activity</i>	Xu F et al., 2018

В качестве вторичных материальных ресурсов, используемых для кормления животных, можно рассмотреть продукты переработки ржи. Так как в её аминокислотном составе содержится большое количество лизина и триптофана, вторичное сырьё ржи очень многообещающее для получения аминокислот, а именно L-лизина – незаменимой аминокислоты, в чистом виде являющейся высокоэффективной кормовой добавкой (Прокофьева А.А. и др., 2023).

4. Гидролизаты отходов пищевой промышленности. В связи со значительным увеличением населения мира уровень развития пищевой промышленности существенно возрос, при этом количество отходов, образующихся в отрасли, значительно увеличилось. Ежегодно предприятия пищевой промышленности, такие как заводы по производству соков, чипсов, мяса, кондитерских изделий и фруктов, а также рестораны и отели производят огромное количество органических отходов.

Накапливающиеся отходы промышленной переработки мясных продуктов и тушек животных содержат скоропортящиеся белки, которые могут создавать серьёзные неудобства для населения из-за неприятного запаха (Zainal Arifin MA et al., 2023). Кроме того, они включают компоненты, которые невозможно использовать в их естественном виде, например, перья и кости.

В процессе гидролиза эти отходы превращаются в легкоусвояемые белковые вещества, богатые аминокислотами, необходимыми для здоровья животных.

Так, только рыбоперерабатывающая промышленность производит более 60 % побочных продуктов в виде отходов. Их также можно переработать с помощью ферментативного гидролиза. Гидролизаты рыбного белка обладают многочисленными биологическими свойствами, в том числе антиоксидантными, антимикробными, антиагрегантными, а также свойством связывать кальций (Idowu AT et al., 2021).

Установлено, что при включении гидролизатов отходов тушек норок в качестве кормовой добавки в рацион бычков с возраста 4-6 месяцев наблюдается снижение содержания лейкоцитов и повышение до физиологического уровня процентного содержания в лейкограмме лимфоцитов, также была отмечена нормализация показателей резервной щёлочности. Механизм этого процесса объясняется увеличением синтеза пропионовой кислоты в рубце в активизации процесса неогликогинеза (Денисенко В.Н. и др., 2022).

Из-за высокой стоимости кормов для аквакультуры некоторые из основных компонентов корма для рыб заменяются альтернативными источниками белка, такими как гидролизаты белков животного происхождения (Кошак Ж.В. и др., 2024).

Также стоит отметить возможность сочетания белковых гидролизатов растительного происхождения с гидролизатами белков животного происхождения для получения кормовой добавки с высокой биологической эффективностью. Так, в рацион молоди карпа был введён растительно-рыбный гидролизат в соотношении одной части рыбных отходов и двух частей рапсового жмыха или соевого шрота с целью увеличения продуктивности рыбы (Кошак Ж.В. и др., 2024).

Заключение.

Использование процесса гидролиза при приготовлении кормов имеет питательную перспективу, так как белковые гидролизаты обеспечивают организм животного легкоусвояемыми и биоактивными пептидами, а также специфическими аминокислотами, с другой стороны, гидролиз удаляет антипитательные вещества из растительного сырья, и придаёт корму приятный вкус. С экономической точки зрения пептиды, полученные из белкового гидролизата, увеличивают сроки хранения кормов и расширяют сырьевую базу, используемую в комбикормовой промышленности, поскольку позволяют использовать нетрадиционное сырьё, такое как отходы масложитной, мясной и сельскохозяйственной промышленности. Применение гидролизованых белков считается перспективным направлением производства функциональных кормов и кормовых добавок на основе переработки промышленных отходов, избавляя таким образом окружающую среду от загрязнения.

Список источников

1. Альтернативные источники белка в кормлении рыбы / Ж.В. Кошак, А.Н. Гринько, Д.Е. Алешин, Н.П. Буряков // Аграрный вестник Нечерноземья. 2024. № 1(13). С. 54-62. [Koshak ZhV, Grinko AN, Aleshin DE, Buryakov NP. Productivity, nitrogen balance and biochemical blood parameters

in cows when fermented rapeseed meal is included in the diet of different levels. *Agrarian Bulletin of the non Chernozem region*. 2024;1(13):54-62. (*In Russ.*). https://doi.org/10.52025/2712-8679_2024_01_54

2. Гематологические и биохимические показатели крови бычков при использовании в качестве кормовой добавки гидролизата тушек норок / В.Н. Денисенко, В.А. Балыков, Р.В. Рогов, Ю.С. Круглова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2022. Т.17 № 3. С. 373-381. [Denisenko VN, Balykov VA, Rogov RV, Kruglova YuS. Hematological and biochemical parameters of bulls' blood when using mink carcass hydrolyzate as a feed additive. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;17(3):373-381. (*In Russ.*). <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-3-373-381>

3. Изучение влияния гидролизата соевого белка на птиц / А.В. Ежелев, Ю.Г. Ткаченко, З.Н. Федорова, В.Г. Блядзе // Адаптивное кормопроизводство. 2019. № 2. С. 77-84. [Ezhelev AV, Tkachenko YuG, Fedorova ZN, Bliadze VG. Study of the influence of soybean protein hydrolyzate for poultry. *Adaptive Fodder Production*. 2019;2:77-84. (*In Russ.*). <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-77-84>

4. Использование протеолитических ферментов для получения белковых гидролизатов пищевого назначения из вторичного сырья / Е.В. Костылева, А.С. Середя, И.А. Великорецкая, Е.И. Курбатова, Н.В. Цурикова // Вопросы питания. 2023. Т. 92. № 1. С. 116-132. [Kostyleva EV, Sereda AS, Velikoretskaya IA, Kurbatova EI, Tsurikova NV. Proteases for obtaining of food protein hydrolysates from proteinaceous by-products. *Problems of Nutrition*. 2023;92(1):116-132. (*In Russ.*). <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-1-116-132>

5. Курбанова М.Г., Генералова Н.А. Биотехнология гидролизатов молочных белков для кормовой добавки // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 2. С. 76-77. [Kurbanova MG, Generalova NA. Biotechnology of milk protein hydrolysates for feed additive. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2011;2:76-77. (*In Russ.*).]

6. Муранова Т.А., Зинченко Д.В., Мирошников А.И. Гидролизаты соевых белков для стартовых кормов аквакультуры: поведение белков при ферментализации, композиционный анализ гидролизатов // Биоорганическая химия. 2019. Т. 45. № 4. С. 380-390. [Muranova TA, Zinchenko DV, Miroshnikov AI. Hydrolysates of soybean proteins for start feeds of aquaculture: behavior of proteins at fermentation, compositional analysis of hydrolysates. *Bioorganicheskaya Khimiya*. 2019;45(4):380-390. (*In Russ.*). <https://doi.org/10.1134/S0132342319030035>

7. Прокофьева А.А., Быков А.В., Кван О.В. Белковые отходы как альтернативные источники белка в рационе (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 2. С. 112-126. [Prokofieva AA, Bykov AV, Kvan OV. Protein waste as alternative sources of protein in the diet (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(2):112-126. (*In Russ.*). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-2-112>

8. Самосюк В.В., Шахов В.А. Приготовление нанокормосмеси для интенсивного откорма // Техника и технологии в животноводстве. 2023. Т. 3. № 51. С. 45-49. [Samosyuk VV, Shakhov VA. Preparation of nano feed mixture for intensive fattening. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2023;3(51):45-49. (*In Russ.*). <https://doi.org/10.22314/27132064-2023-3-45>

9. Шахов В.А., Попов В.П., Белов А.Г. Исследование методики определения содержания наночастиц в комбикорме по сопутствующему верхтонкоизмельченному компоненту // Техника и технологии в животноводстве. 2021. Т. 4. № 44. С. 54-57. [Shakhov VA, Popov VP, Belov AG. Investigation of the nanoparticles content in compound feed determination according to the accompanying superfine component's method. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2021;4(44):54-57. (*In Russ.*). <https://doi.org/10.51794/27132064-2021-4-54>

10. Amigo L, Hernandez-Ledesma B. Current evidence on the bioavailability of food bioactive peptides. *Molecules*. 2020;25(19):4479. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules25194479>

11. Berraquero-Garcia C, Perez-Galvez R, Espejo-Carpio FJ, et al. Encapsulation of bioactive peptides by spray-drying and electrospraying. *Foods*. 2023;12(10):2005. <https://doi.org/10.3390/foods12102005>

12. Boontiam W, Bunchasak C, Kim YY, Kitipongpysan S, Hong J. Hydrolyzed yeast supplementation to newly weaned piglets: Growth performance, gut health, and microbial fermentation. *Animals*. 2022;12(3):350. <https://doi.org/10.3390/ani12030350>
13. Broersen K. Milk processing affects structure, bioavailability and immunogenicity of β -lactoglobulin. *Foods*. 2020;9(7):874. <https://doi.org/10.3390/foods9070874>
14. Chadha S. Recent advances in nano-encapsulation technologies for controlled release of biostimulants and antimicrobial agents. In: Jogaiah S, Singh HB, Fraceto LF, de Lima R, editors. *Advances in nano-fertilizers and nano-pesticides in agriculture*. India: Woodhead Publishing; 2021:29-55. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820092-6.00002-1>
15. Chelliah R, Wei S, Daliri EBM, Elahi F, Yeon SJ, Tyagi A, Oh DH, et al. The role of bioactive peptides in diabetes and obesity. *Foods*. 2021;10(9):2220. <https://doi.org/10.3390/foods10092220>
16. Dolatkah B, Ghorbani GR, Alikhani M, Hashemzadeh F, Mahdavi AH, Sadeghi-Sefidmazgi A, Rezamand P. Effects of hydrolyzed cottonseed protein supplementation on performance, blood metabolites, gastrointestinal development, and intestinal microbial colonization in neonatal calves. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(6):5102-5117. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17297>
17. Dougherty PG, Sahn A, Pei D. Understanding cell penetration of cyclic peptides. *Chem Rev*. 2019;119(17):10241-10287. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00008>
18. Drucker DJ. Advances in oral peptide therapeutics. *Nature Reviews Drug Discovery*. 2020;19(4):277-289. <https://doi.org/10.1038/s41573-019-0053-0>
19. Durand E, Beaubier S, Ilic I, Kapel R, Villeneuve P. Production and antioxidant capacity of bioactive peptides from plant biomass to counteract lipid oxidation. *Current Research in Food Science*. 2021;4:365-397. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2021.05.006>
20. Egea MB, de Oliveira Filho JG, Bertolo MRV, de Araujo JC, Gauterio GV, Lemes AC. Bioactive phytochemicals from sunflower (*Helianthus annuus* L.) Oil processing by-products. In: Ramadan Hassani MF, editor. *Bioactive Phytochemicals from Vegetable Oil and Oilseed Processing By-products*. Reference Series in Phytochemistry. Springer, Cham. 2021:1-16. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63961-7_4-1
21. Filipe D, Vieira L, Ferreira M, Oliva-Teles A, Salgado J, Belo I, Peres H. Enrichment of a plant feedstuff mixture's nutritional value through solid-state fermentation. *Animals*. 2023;13(18):2883. <https://doi.org/10.3390/ani13182883>
22. Freitas CS, Vericimo MA, da Silva ML, da Costa GCV, Pereira PR, Paschoalin VMF, Del Aguila EM. Encrypted antimicrobial and antitumoral peptides recovered from a protein-rich soybean (*Glycine max*) by-product. *Journal of Functional Foods*. 2019;54:187-198. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.01.024>
23. Garcia-Casas VE, Seiquer I, Pardo Z, Haro A, Recio I, Olias R. Antioxidant potential of the sweet whey-based beverage colada after the digestive process and relationships with the lipid and protein fractions. *Antioxidants*. 2022;11(9):1827. <https://doi.org/10.3390/antiox11091827>
24. Ibrahim YHY, Regdon G, Hamedelniei EI, Sovany T. Review of recently used techniques and materials to improve the efficiency of orally administered proteins/peptides. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2020;28:403-416. <https://doi.org/10.1007/s40199-019-00316-w>
25. Idowu AT, Igiehon OO, Idowu S, Olatunde OO, Benjakul S. Bioactivity potentials and general applications of fish protein hydrolysates. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*. 2021;27:109-118. <https://doi.org/10.1007/s10989-020-10071-1>
26. Jakubczyk A, Karas M, Rybczynska-Tkaczyk K, Zielinska E, Zielinski D. Current trends of bioactive peptides—New sources and therapeutic effect. *Foods*. 2020;9(7):846. <https://doi.org/10.3390/foods9070846>
27. Jiang X, Cui Z, Wang L, Xu H, Zhang Y. Production of bioactive peptides from corn gluten meal by solid-state fermentation with *Bacillus subtilis* MTCC5480 and evaluation of its antioxidant capacity in vivo. *LWT*. 2020;131:109767. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109767>

28. Kamal I, Ashfaq UA, Hayat S, Aslam B, Sarfraz MH, Yaseen H, Khurshid M. Prospects of antimicrobial peptides as an alternative to chemical preservatives for food safety. *Biotechnology Letters*. 2023;45(2):137-162. <https://doi.org/10.1007/s10529-022-03328-w>
29. Karami Z, Akbari-Adergani B. Bioactive food derived peptides: A review on correlation between structure of bioactive peptides and their functional properties. *Journal of Food Science and Technology*. 2019;56:535-547. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3549-4>
30. Kumar M, Hasan M, Choyal P, Tomar M, Gupta OP, Sasi M, Kennedy JF, et al. Cottonseed feedstock as a source of plant-based protein and bioactive peptides: Evidence based on biofunctionalities and industrial applications. *Food Hydrocolloids*. 2022;131:107776. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107776>
31. Li G, Liu W, Wang Y, Jia F, Wang Y, Ma Y, et al. Functions and applications of bioactive peptides from corn gluten meal. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2019;87:1-41. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2018.07.001>
32. Li M, Guo Q, Lin Y, Bao H, Miao S. Recent progress in microencapsulation of active peptides—wall material, preparation, and application: a review. *Foods*. 2023;12(4):896. <https://doi.org/10.3390/foods12040896>
33. Liu L, Li S, Zheng J, Bu T, He G, Wu J. Safety considerations on food protein-derived bioactive peptides. *Trends in Food Science & Technology*. 2020;96:199-207. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.022>
34. Lu X, Sun Q, Zhang L, Wang R, Gao J, Jia C, Huang J. Dual-enzyme hydrolysis for preparation of ACE-inhibitory peptides from sesame seed protein: optimization, separation, and identification. *Journal of Food Biochemistry*. 2021;45(4):13638. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13638>
35. Luo Z, Paunovic N, Leroux JC. Physical methods for enhancing drug absorption from the gastrointestinal tract. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2021;175:113814. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2021.05.024>
36. Meng Y, Hao L, Tan Y, Yang Y, Liu L, Li C, Du P. Noncovalent interaction of cyanidin-3-O-glucoside with whey protein isolate and β -lactoglobulin: Focus on fluorescence quenching and antioxidant properties. *LWT*. 2021;137:110386. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110386>
37. Patsios SI, Dedousi A, Sossidou EN, Zdragas A. Sustainable animal feed protein through the cultivation of *Yarrowia lipolytica* on agro-industrial wastes and by-products. *Sustainability*. 2020;12(4):1398. <https://doi.org/10.3390/su12041398>
38. Sanchez-Navarro M, Garcia J, Giralt E, Teixido M. Using peptides to increase transport across the intestinal barrier. *Advanced drug delivery reviews*. 2016;106:355-366. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.04.031>
39. Sarabandi K, Gharehbeblou P, Jafari SM. Spray-drying encapsulation of protein hydrolysates and bioactive peptides: Opportunities and challenges. *Drying Technology*. 2020;38(5-6):577-595. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1689399>
40. Sun X, Sarteshnizi RA, Boachie RT, Okagu OD, Abioye RO, Pfeilsticker Neves R, Ohanenye IC, Udenigwe CC. Peptide–mineral complexes: Understanding their chemical interactions, bioavailability, and potential application in mitigating micronutrient deficiency. *Foods*. 2020;9(10):1402. <https://doi.org/10.3390/foods9101402>
41. Tonolo F, Coletta S, Fiorese F, Grinzato A, Albanesi M, Folda A, de Bernard M, et al. Sunflower seed-derived bioactive peptides show antioxidant and anti-inflammatory activity: From in silico simulation to the animal model. *Food Chemistry*. 2024;439:138124. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138124>
42. Udenigwe CC, Abioye RO, Okagu IU, Obeme-Nmom JI. Bioaccessibility of bioactive peptides: recent advances and perspectives. *Current Opinion in Food Science*. 2021;39:182-189. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.03.005>

43. Verma S, Goand UK, Husain A, Katekar RA, Garg R, Gayen JR. Challenges of peptide and protein drug delivery by oral route: Current strategies to improve the bioavailability. *Drug Development Research*. 2021;82(7):927-944. <https://doi.org/10.1002/ddr.21832>
44. Wang T, Cheng K, Yu C, Tong Y, Yang Z, Wang T. Effects of yeast hydrolysate on growth performance, serum parameters, carcass traits, meat quality and antioxidant status of broiler chickens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2022;102(2):575-583. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11386>
45. Xu F, Zhang J, Wang Z, Yao Y, Atungulu GG, Ju X, Wang L. Absorption and metabolism of peptide WDHHPQLR derived from rapeseed protein and inhibition of HUVEC apoptosis under oxidative stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018;66(20):5178-5189. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01620>
46. Yang J, Wu XB, Chen HL, Sun-Waterhouse D, Zhong HB, Cui C. A value-added approach to improve the nutritional quality of soybean meal byproduct: enhancing its antioxidant activity through fermentation by *Bacillus amyloliquefaciens* SWJS22. *Food Chemistry*. 2019;272:396-403. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.037>
47. Zainal Arifin MA, Mohd Adzahan N, Zainal Abedin NH, Lasik-Kurdys M. Utilization of food waste and by-products in the fabrication of active and intelligent packaging for seafood and meat products. *Foods*. 2023;12(3):456. <https://doi.org/10.3390/foods12030456>
48. Zaky AA, Simal-Gandara J, Eun JB, Shim JH, Abd El-Aty AM. Bioactivities, applications, safety, and health benefits of bioactive peptides from food and by-products: A review. *Frontiers in Nutrition*. 2022;8:815640. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.815640>
49. Zhao C, Ashaolu TJ. Bioactivity and safety of whey peptides. *LWT*. 2020;134:109935. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109935>
50. Zhuang M, Li J, Wang A, Li G, Ke S, Wang X, Zhou Z, et al. Structurally manipulated antioxidant peptides derived from wheat bran: Preparation and identification. *Food Chemistry*. 2024;442:138465. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138465>

References

1. Koshak ZhV, Grinko AN, Aleshin DE, Buryakov NP. Productivity, nitrogen balance and biochemical blood parameters in cows when fermented rapeseed meal is included in the diet of different levels. *Agrarian Bulletin of the nonChernozem region*. 2024;1(13):54-62. https://doi.org/10.52025/2712-8679_2024_01_54
2. Denisenko VN, Balykov VA, Rogov RV, Kruglova YuS. Hematological and biochemical parameters of bulls' blood when using mink carcass hydrolyzate as a feed additive. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;17(3):373-381. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-3-373-381>
3. Ezhelev AV, Tkachenko YuG, Fedorova ZN, Bliadze VG. Study of the influence of soybean protein hydrolyzate for poultry. *Adaptive Fodder Production*. 2019;2:77-84. <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-77-84>
4. Kostyleva EV, Sereda AS, Velikoretskaya IA, Kurbatova EI, Tsurikova NV. Proteases for obtaining of food protein hydrolysates from proteinaceous by-products. *Problems of Nutrition*. 2023;92(1):116-132. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-1-116-132>
5. Kurbanova MG, Generalova NA. Biotechnology of milk protein hydrolyzates for feed additive. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2011;2:76-77.
6. Muranova TA, Zinchenko DV, Miroshnikov AI. Hydrolysates of soybean proteins for start feeds of aquaculture: behavior of proteins at fermentolysis, compositional analysis of hydrolyzates. *Bioorganic Chemistry*. 2019;45(4):380-390. <https://doi.org/10.1134/S0132342319030035>

7. Prokofieva AA, Bykov AV, Kvan OV. Protein waste as alternative sources of protein in the diet (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(2):112-126. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-2-112>
8. Samosyuk VV, Shakhov VA. Preparation of nano feed mixture for intensive fattening. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2023;3(51):45-49. <https://doi.org/10.22314/27132064-2023-3-45>
9. Shakhov VA, Popov VP, Belov AG. Investigation of the nanoparticles content in compound feed determination according to the accompanying superfine component's method. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2021;4(44):54-57. <https://doi.org/10.51794/27132064-2021-4-54>
10. Amigo L, Hernandez-Ledesma B. Current evidence on the bioavailability of food bioactive peptides. *Molecules*. 2020;25(19):4479. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules25194479>
11. Berraquero-Garcia C, Perez-Galvez R, Espejo-Carpio FJ, et al. Encapsulation of bioactive peptides by spray-drying and electrospraying. *Foods*. 2023;12(10):2005. <https://doi.org/10.3390/foods12102005>
12. Boontiam W, Bunchasak C, Kim YY, Kitipongpysan S, Hong J. Hydrolyzed yeast supplementation to newly weaned piglets: Growth performance, gut health, and microbial fermentation. *Animals*. 2022;12(3):350. <https://doi.org/10.3390/ani12030350>
13. Broersen K. Milk processing affects structure, bioavailability and immunogenicity of β -lactoglobulin. *Foods*. 2020;9(7):874. <https://doi.org/10.3390/foods9070874>
14. Chadha S. Recent advances in nano-encapsulation technologies for controlled release of biostimulants and antimicrobial agents. In: Jogaiah S, Singh HB, Fraceto LF, de Lima R, editors. *Advances in nano-fertilizers and nano-pesticides in agriculture*. India: Woodhead Publishing; 2021:29-55. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820092-6.00002-1>
15. Chelliah R, Wei S, Daliri EBM, Elahi F, Yeon SJ, Tyagi A, Oh DH, et al. The role of bioactive peptides in diabetes and obesity. *Foods*. 2021;10(9):2220. <https://doi.org/10.3390/foods10092220>
16. Dolatkah B, Ghorbani GR, Alikhani M, Hashemzadeh F, Mahdavi AH, Sadeghi-Sefidmazgi A, Rezamand P. Effects of hydrolyzed cottonseed protein supplementation on performance, blood metabolites, gastrointestinal development, and intestinal microbial colonization in neonatal calves. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(6):5102-5117. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17297>
17. Dougherty PG, Sahni A, Pei D. Understanding cell penetration of cyclic peptides. *Chem Rev*. 2019;119(17):10241-10287. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00008>
18. Drucker DJ. Advances in oral peptide therapeutics. *Nature Reviews Drug Discovery*. 2020;19(4):277-289. <https://doi.org/10.1038/s41573-019-0053-0>
19. Durand E, Beaubier S, Ilic I, Kapel R, Villeneuve P. Production and antioxidant capacity of bioactive peptides from plant biomass to counteract lipid oxidation. *Current Research in Food Science*. 2021;4:365-397. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.05.006>
20. Egea MB, de Oliveira Filho JG, Bertolo MRV, de Araujo JC, Gauterio GV, Lemes AC. Bioactive phytochemicals from sunflower (*Helianthus annuus* L.) Oil processing by-products. In: Ramadan Hassani MF, editor. *Bioactive Phytochemicals from Vegetable Oil and Oilseed Processing By-products*. Reference Series in Phytochemistry. Springer, Cham. 2021:1-16. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63961-7_4-1
21. Filipe D, Vieira L, Ferreira M, Oliva-Teles A, Salgado J, Belo I, Peres H. Enrichment of a plant feedstuff mixture's nutritional value through solid-state fermentation. *Animals*. 2023;13(18):2883. <https://doi.org/10.3390/ani13182883>
22. Freitas CS, Vericimo MA, da Silva ML, da Costa GCV, Pereira PR, Paschoalin VMF, Del Aguila EM. Encrypted antimicrobial and antitumoral peptides recovered from a protein-rich soybean (*Glycine max*) by-product. *Journal of Functional Foods*. 2019;54:187-198. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.01.024>
23. Garcia-Casas VE, Seiquer I, Pardo Z, Haro A, Recio I, Olias R. Antioxidant potential of the sweet whey-based beverage colada after the digestive process and relationships with the lipid and protein fractions. *Antioxidants*. 2022;11(9):1827. <https://doi.org/10.3390/antiox11091827>

24. Ibrahim YHY, Regdon G, Hamedelniei EI, Sovany T. Review of recently used techniques and materials to improve the efficiency of orally administered proteins/peptides. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2020;28:403-416. <https://doi.org/10.1007/s40199-019-00316-w>
25. Idowu AT, Igiehon OO, Idowu S, Olatunde OO, Benjakul S. Bioactivity potentials and general applications of fish protein hydrolysates. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*. 2021;27:109-118. <https://doi.org/10.1007/s10989-020-10071-1>
26. Jakubczyk A, Karas M, Rybczynska-Tkaczyk K, Zielinska E, Zielinski D. Current trends of bioactive peptides—New sources and therapeutic effect. *Foods*. 2020;9(7):846. <https://doi.org/10.3390/foods9070846>
27. Jiang X, Cui Z, Wang L, Xu H, Zhang Y. Production of bioactive peptides from corn gluten meal by solid-state fermentation with *Bacillus subtilis* MTCC5480 and evaluation of its antioxidant capacity in vivo. *LWT*. 2020;131:109767. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109767>
28. Kamal I, Ashfaq UA, Hayat S, Aslam B, Sarfraz MH, Yaseen H, Khurshid M. Prospects of antimicrobial peptides as an alternative to chemical preservatives for food safety. *Biotechnology Letters*. 2023;45(2):137-162. <https://doi.org/10.1007/s10529-022-03328-w>
29. Karami Z, Akbari-Adergani B. Bioactive food derived peptides: A review on correlation between structure of bioactive peptides and their functional properties. *Journal of Food Science and Technology*. 2019;56:535-547. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3549-4>
30. Kumar M, Hasan M, Choyal P, Tomar M, Gupta OP, Sasi M, Kennedy JF, et al. Cottonseed feedstock as a source of plant-based protein and bioactive peptides: Evidence based on biofunctionalities and industrial applications. *Food Hydrocolloids*. 2022;131:107776. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107776>
31. Li G, Liu W, Wang Y, Jia F, Wang Y, Ma Y, et al. Functions and applications of bioactive peptides from corn gluten meal. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2019;87:1-41. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2018.07.001>
32. Li M, Guo Q, Lin Y, Bao H, Miao S. Recent progress in microencapsulation of active peptides—wall material, preparation, and application: a review. *Foods*. 2023;12(4):896. <https://doi.org/10.3390/foods12040896>
33. Liu L, Li S, Zheng J, Bu T, He G, Wu J. Safety considerations on food protein-derived bioactive peptides. *Trends in Food Science & Technology*. 2020;96:199-207. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.022>
34. Lu X, Sun Q, Zhang L, Wang R, Gao J, Jia C, Huang J. Dual-enzyme hydrolysis for preparation of ACE-inhibitory peptides from sesame seed protein: optimization, separation, and identification. *Journal of Food Biochemistry*. 2021;45(4):13638. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13638>
35. Luo Z, Paunovic N, Leroux JC. Physical methods for enhancing drug absorption from the gastrointestinal tract. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2021;175:113814. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2021.05.024>
36. Meng Y, Hao L, Tan Y, Yang Y, Liu L, Li C, Du P. Noncovalent interaction of cyanidin-3-O-glucoside with whey protein isolate and β -lactoglobulin: Focus on fluorescence quenching and antioxidant properties. *LWT*. 2021;137:110386. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110386>
37. Patsios SI, Dedousi A, Sossidou EN, Zdragas A. Sustainable animal feed protein through the cultivation of *Yarrowia lipolytica* on agro-industrial wastes and by-products. *Sustainability*. 2020;12(4):1398. <https://doi.org/10.3390/su12041398>
38. Sanchez-Navarro M, Garcia J, Giralt E, Teixido M. Using peptides to increase transport across the intestinal barrier. *Advanced drug delivery reviews*. 2016;106:355-366. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.04.031>
39. Sarabandi K, Gharehbeqlou P, Jafari SM. Spray-drying encapsulation of protein hydrolysates and bioactive peptides: Opportunities and challenges. *Drying Technology*. 2020;38(5-6):577-595. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1689399>

40. Sun X, Sarteshnizi RA, Boachie RT, Okagu OD, Abioye RO, Pfeilsticker Neves R, Ohanenye IC, Udenigwe CC. Peptide–mineral complexes: Understanding their chemical interactions, bio-availability, and potential application in mitigating micronutrient deficiency. *Foods*. 2020;9(10):1402. <https://doi.org/10.3390/foods9101402>
41. Tonolo F, Coletta S, Fiorese F, Grinzato A, Albanesi M, Folda A, de Bernard M, et al. Sunflower seed-derived bioactive peptides show antioxidant and anti-inflammatory activity: From in silico simulation to the animal model. *Food Chemistry*. 2024;439:138124. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138124>
42. Udenigwe CC, Abioye RO, Okagu IU, Obeme-Nmom JI. Bioaccessibility of bioactive peptides: recent advances and perspectives. *Current Opinion in Food Science*. 2021;39:182-189. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.03.005>
43. Verma S, Goand UK, Husain A, Katekar RA, Garg R, Gayen JR. Challenges of peptide and protein drug delivery by oral route: Current strategies to improve the bioavailability. *Drug Development Research*. 2021;82(7):927-944. <https://doi.org/10.1002/ddr.21832>
44. Wang T, Cheng K, Yu C, Tong Y, Yang Z, Wang T. Effects of yeast hydrolysate on growth performance, serum parameters, carcass traits, meat quality and antioxidant status of broiler chickens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2022;102(2):575-583. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11386>
45. Xu F, Zhang J, Wang Z, Yao Y, Atungulu GG, Ju X, Wang L. Absorption and metabolism of peptide WDHHAPQLR derived from rapeseed protein and inhibition of HUVEC apoptosis under oxidative stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018;66(20):5178-5189. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01620>
46. Yang J, Wu XB, Chen HL, Sun-Waterhouse D, Zhong HB, Cui C. A value-added approach to improve the nutritional quality of soybean meal byproduct: enhancing its antioxidant activity through fermentation by *Bacillus amyloliquefaciens* SWJS22. *Food Chemistry*. 2019;272:396-403. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.037>
47. Zainal Arifin MA, Mohd Adzahan N, Zainal Abedin NH, Lasik-Kurdys M. Utilization of food waste and by-products in the fabrication of active and intelligent packaging for seafood and meat products. *Foods*. 2023;12(3):456. <https://doi.org/10.3390/foods12030456>
48. Zaky AA, Simal-Gandara J, Eun JB, Shim JH, Abd El-Aty AM. Bioactivities, applications, safety, and health benefits of bioactive peptides from food and by-products: A review. *Frontiers in Nutrition*. 2022;8:815640. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.815640>
49. Zhao C, Ashaolu TJ. Bioactivity and safety of whey peptides. *LWT*. 2020;134:109935. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109935>
50. Zhuang M, Li J, Wang A, Li G, Ke S, Wang X, Zhou Z, et al. Structurally manipulated antioxidant peptides derived from wheat bran: Preparation and identification. *Food Chemistry*. 2024;442:138465. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138465>

Информация об авторе:

Майсун Шаабан, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5, тел.: 8(499)171-43-49.

Information about the author:

Maisoon Shaaban, Cand. Sci (Biology), senior Researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Bld 5, 1 st Institutskiy Proezd Str., Moscow, 109428, tel.: 8(499)171-43-49.

Статья поступила в редакцию 11.09.2024; одобрена после рецензирования 16.10.2024; принята к публикации 16.12.2024.

The article was submitted 11.09.2024; approved after reviewing 16.10.2024; accepted for publication 16.12.2024.