

Особенности производства и усвоения белков растительного и животного происхождения: обзор предметного поля

¹ Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Российская
Федерация

² Институт химии твердого тела
и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск, Российская
Федерация

³ Новосибирский государственный
технический университет,
г. Новосибирск, Российская
Федерация

Е. С. Бычкова¹, Е. М. Подгорбунских², П. В. Кудачева³,
Н. Б. Еремеева¹

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Бычкова Елена Сергеевна,
E-mail: esbychkova@itmo.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Бычкова, Е.С., Подгорбунских, Е.М.,
Кудачев, П.В., & Еремеева, Н.Б. (2024).
Особенности производства и усвоения
белков растительного и животного
происхождения: обзор предметного
поля. *Хранение и переработка сельхоз-
сырья*, 32(1), 31-52.
[https://doi.org/10.36107/
spfr.2021.1.473](https://doi.org/10.36107/spfr.2021.1.473)

ПОСТУПИЛА: 05.09.2023

ПРИНЯТА: 15.03.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии
конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Обзор литературы по особенностям
производства и усвоения белков
растительного происхождения
был выполнен при финансовой
поддержки Российского научного
фонда (проект № 23-26-00056).
Обзор литературы по особенностям
производства и усвоения белков
животного происхождения был
выполнен при финансовой поддержке
государственного задания Института
химии твердого тела и механохимии
СО РАН (проект № 121032500067-9).

АННОТАЦИЯ

Введение: Ключевым аспектом обеспечения качественного питания является оптимальное соотношение и количественное содержание нутриентов. Белок занимает центральное место в суточном рационе человека. Анализ текущего состояния и перспектив комплексной переработки высокобелкового растительного сырья с целью повышения его биологической ценности представляет собой важную научную и общественную задачу.

Цель: Критическое осмысление, систематизация и обобщение особенностей существующей переработки растительного белка для повышения его биологической ценности.

Материалы и методы: Для анализа текущего состояния производства сырья животного и растительного происхождения был проведен обзор научных публикаций и электронных ресурсов. Исследование охватывает период с 1996 по 2023 годы. Поиск релевантной литературы осуществлялся через научные базы данных, такие как Scopus, Web of Science и РИНЦ, а также с использованием системы Google Scholar. Исследование включало работы, опубликованные на русском и английском языках. Для систематизации обзора литературы использовался протокол PRISMA.

Результаты: Производство белка животного происхождения оказывает заметное экологическое воздействие из-за значительных негативных последствий для окружающей среды. Несмотря на высокие качественные характеристики животного белка, мировое сообщество стремится к минимизации его потребления путём частичной замены на растительные источники белка. Разработка пищевых продуктов на основе растительного белка связана с рядом проблем, в частности, с биосинтезом белка в организме и спецификой пищевых привычек населения. Растительный белок, в сравнении с животным, уступает по аминокислотному профилю и имеет более низкую биодоступность из-за содержания антипитательных веществ. Для улучшения его характеристик применяются различные методы обработки растительного сырья, направленные на нейтрализацию негативного влияния сопутствующих компонентов, включая химические и физические методы воздействия, концентрирование и изоляцию белков. Перед научным сообществом стоит задача разработки оптимальных методов переработки растительного сырья для повышения эффективности усвоения белков, с учетом особенностей пищевой базы и механизмов усвоения белка в организме человека.

Выводы: Применение различных способов обработки высокобелкового растительного сырья позволяют повысить доступность белковых компонентов в пищеварительной системе человека. Биологическую ценность растительного белка можно регулировать комбинированием сырья с разным аминокислотным составом. Многообразие факторов, влияющих на усвоения белковой пищи, диктуют мировому обществу использование комплексного подхода к производству новых высокобелковых продуктов питания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

растительный белок, растительное сырье, белок животного происхождения



Features of Production and Digestion of Plant- and Animal-Derived Proteins: A Scoping Review

¹ ITMO University, Saint Petersburg, Russian Federation

² Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

³ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

Elena S. Bychkova¹, Ekaterina M. Podgorbunskikh², Polina V. Kudacheva³, Natalya B. Ereemeeva¹

CORRESPONDENCE:

Elena Sergeyevna Bychkova
E-mail: esbychkova@itmo.ru

DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

FOR CITATIONS:

Bychkova, E., Podgorbunskikh, E., Kudacheva, P., & Ereemeeva, N. (2024). Features of production and digestion of plant- and animal-derived proteins: A scoping review. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(1), 31-52. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.1.473>

RECEIVED: 05.09.2023

ACCEPTED: 15.03.2024

PUBLISHED: 30.03.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FUNDING

A literature review on the features of production and assimilation of plant-based proteins was conducted with financial support from the Russian Science Foundation (project No. 23-26-00056). A literature review on the features of production and assimilation of animal-based proteins was conducted with financial support from the state assignment of the Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS (project No. 121032500067-9).

ABSTRACT

Background: A crucial aspect of ensuring quality nutrition is the optimal ratio and quantitative content of nutrients. Protein plays a central role in a person's daily diet. Analyzing the current state and prospects of comprehensive processing of high-protein plant materials to enhance their biological value represents a significant scientific and societal challenge.

Purpose: To critically understand, systematize, and summarize the characteristics of existing processing of plant protein to enhance its biological value.

Materials and Methods: An overview of scientific publications and electronic resources was conducted to analyze the current state of production of animal and plant-based raw materials. The research covers the period from 1996 to 2023. The search for relevant literature was carried out through scientific databases such as Scopus, Web of Science, and PИHЦ, as well as using the Google Scholar system. The study included works published in Russian and English. The PRISMA protocol was used to systematize the literature review.

Results: The production of animal-derived protein has a noticeable environmental impact due to significant negative consequences for the environment. Despite the high-quality characteristics of animal protein, the global community aims to minimize its consumption by partially replacing it with plant-based protein sources. The development of food products based on plant protein is associated with several challenges, particularly with protein biosynthesis in the body and the specifics of dietary culture among the population. Compared to animal protein, plant protein has an inferior amino acid profile and lower bioavailability due to the presence of antinutritional factors. Various methods of processing plant raw materials are applied to improve its characteristics, aimed at neutralizing the negative impact of accompanying substances, including chemical and physical methods of impact, concentration, and protein isolation. The scientific community faces the task of developing optimal methods for processing plant raw materials to enhance the efficiency of protein absorption, taking into account the specifics of the dietary base and protein absorption mechanisms in the human body.

Conclusion: The application of various methods of processing high-protein plant raw materials can enhance the availability of protein components in the human digestive system. The biological value of plant protein can be regulated by combining raw materials with different amino acid compositions. The variety of factors affecting the absorption of protein foods dictates a comprehensive approach to the production of new high-protein food products by the global community.

KEYWORDS

plant protein; plant raw materials; animal-derived protein



ВВЕДЕНИЕ

Качественное питание является фундаментальным фактором для поддержания жизнедеятельности человека. Здоровье организма определяется сбалансированным поступлением макро- и микронутриентов. Белок, как один из ключевых макронутриентов, играет важную роль в метаболических процессах. Эффективность усвоения белка зависит от множества факторов, включая происхождение сырья, характеристики пищевой основы, индивидуальные особенности организма и методы технологической обработки (Bai et al., 2016; Ding et al., 2022; Małeckı et al., 2021).

Производство белка животного происхождения связано с отрицательным воздействием на окружающую среду (Espinosa-Marrón et al., 2022). Тем не менее, его диетическая ценность высока благодаря содержанию всех необходимых аминокислот в оптимальных пропорциях и значительному вкладу в метаболизм (Ahmad et al., 2018; Juárez et al., 2022). В современных условиях все большее значение приобретает использование растительных источников белка (Антипова и соавт., 2015; Cellura et al., 2022), которые оказывают меньшее воздействие на окружающую среду и способствуют улучшению здоровья (Reijnders & Soret, 2003). Однако биодоступность аминокислот в растительных белках и их усвоение значительно ниже, чем в животных белках (Fernandes et al., 2010; Neji et al., 2022; Ohanenye et al., 2020).

Данный обзор был написан с целью изучения влияния производства растительного и животного белка на окружающую среду, а также анализа текущего состояния и перспектив комплексной переработки высокобелкового растительного сырья для обоснования дальнейших шагов по его эффективному использованию в пищевой промышленности.

Цель данного обзора состоит в комплексном анализе проблематики воспроизводства высокобелкового сырья и исследовании процессов переработки для получения легкоусвояемых пищевых компонентов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Базы данных и временные рамки

Обобщены и систематизированы данные по результатам исследований с 1996 по 2023 гг. Поиск источников осуществлялся в базах данных Scopus, Web of Science и РИНЦ, поисковой системе Google.

Критерии включения/исключения источников

Отбор источников для анализа реализовался по следующим ключевым словам: «растительный белок», «животный белок», «альтернативные источники белка», «антипитательные компоненты», «технологическая переработка растительного сырья», «экологические аспекты производства белка», «безопасность продуктов питания», «пищевая ценность», «plant protein», «animal protein», «alternative sources of protein», «anti-nutritional components», «technological processing of plant raw materials».

Критерии включения

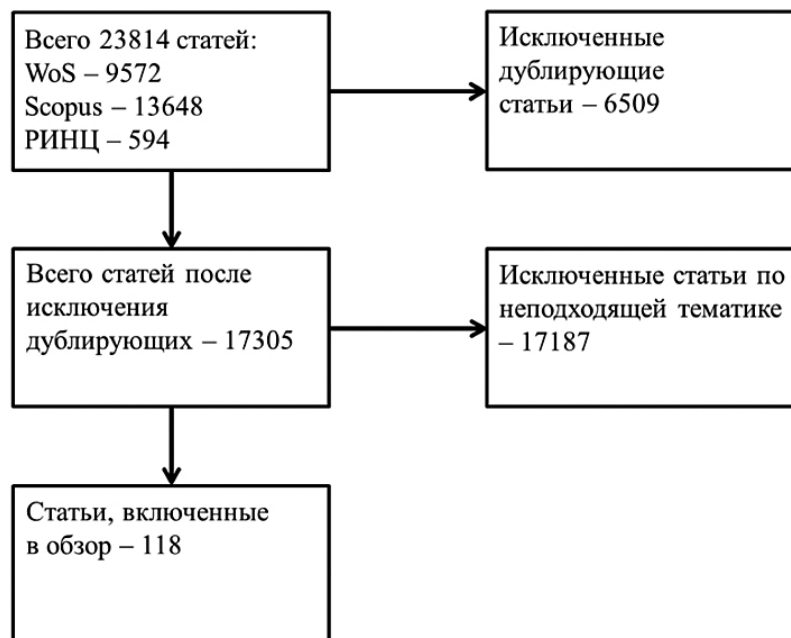
- (1) Источник датируется периодом с 1996 по 2023 гг.;
- (2) Статья соответствует теме выбранного исследования и затрагивает: области воздействия белка растительного и животного происхождения на здоровье человека; экологические проблемы производства белков растительного и животного происхождения; аспекты влияния сопутствующих факторов питания на усвоение белка животного и растительного происхождения; особенности физико-химических способов воздействия на растительный белок для повышения его биологической ценности;
- (3) Язык источника — русский или английский;
- (4) Жанр источника: оригинальная исследовательская статья, обзорная статья, книга, официальный сайт организации, нормативная документация.

Критерии исключения:

- (1) Источник не соответствует теме данного обзора;
- (2) Язык источника — не русский и английский;
- (3) Жанр источника — не соответствует указанным в критериях включения.

Рисунок 1

Блок-схема, описывающая процесс выбора материалов для исследования, в соответствии с протоколом PRISMA



Если из разных баз данных или разных электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, их классифицировали только один раз.

В результате отобраны 127 источника (оригинальных исследовательских статей – 61, обзорных статей – 57, книг – 5, интернет-источников – 4). Результаты анализа были представлены в виде таблиц и диаграмм для визуализации данных. Для обзора предметного поля проведенного исследования использовали протокол PRISMA (Рисунок 1).

Извлечение и анализ данных

В рамках поиска ответов на поставленные вопросы исследования были изучены 127 отобранных источников. Из них были извлечены данные (касающиеся таких тем, как воздействие белка растительного и животного происхождения на здоровье человека, экологические проблемы производства белков растительного и животного происхождения, аспекты влияния сопутствующих факторов питания на усвоение белка животного и растительного происхождения, особенности физико-химических способов воздействия на растительный белок для повышения его биологической ценности) и подвергнуты последующему анализу. Примеры извлечения данных из статей, включенных в обзор, представлены в Таблице 1.

Таблица 1
Примеры извлечения данных из статей, включенных в обзор

№	Заглавие	Автор и год	Экологические проблемы производства белков растительного и животного происхождения	Сведения о способах обработки высокобелкового растительного сырья для нивелирования антипитательных свойств	Усвояемость высокобелкового растительного и животного сырья	Влияние продуктов животного происхождения на состояние здоровья	Влияние производства растительного и животного сырья на экологическое состояние окружающей среды	Обеспокоенность мирового общества выбросами парниковых газов
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	The impacts of dietary change on greenhouse gas emissions, land use, water use, and health: a systematic review	Aleksandrowicz, L., Green, R., Joy, E.J., Smith, P., & Haines, A. (2016)	Efforts to reduce dietary-related environmental impacts should focus on reducing animal-based foods in high-consuming societies.	—	—	—	—	—
2	Impact of processing on nutritional and antinutritional factors of legumes: A review	Abbas, Y., & Ahmad, A. (2018)	—	Addition of salt in water provide improved outcome as the legumes soaked in sodium bicarbonate solution reduced trypsin inhibitor and eliminates tannin contents in bean. These heat treatments improved the nutritional value and quality of legume grains so that the heat treatments are used to enhance the protein quality of legume grains by inactivating the antinutrients factors, mainly the trypsin inhibitor and hemagglutinins. Extrusion was the best method to eliminate trypsin, chymotrypsin, α-amylase inhibitors and hemagglutinin activity without modifying protein content. The germinated seeds found enhanced protein digestibility while reduced antinutritional factors such as trypsin inhibitors, phytic acid (Ahmed et al., 1995; Khalil and Mansour 1995) starch and raffinose (Mubarak 2005) that's why germinated legumes found better than un-germinated ones.	Phytate has negative impact on the bioavailability of minerals usually divalent and trivalent ions of minerals such as Zn, Mg, Ca, Cu and Mn.	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Germination as a bioprocess for enhancing the quality and nutritional prospects of legume proteins	Ohanenye, I. C., Tsopmo, A., Ejike, C. E. C., & Udenigwe, C. C. (2020)	–	–	The digestibility of legume proteins is low relative to that of animal proteins. Major contributing factors to this feature are related to protein structure and functionality (e.g. relative solubility), compartmentalization (intracellular organization in discrete protein bodies), permeability of cell walls, and the protective seed coat. Legume seeds are rich sources of dietary proteins for meeting human protein needs. However, the bioaccessibility of these proteins is hampered by the interaction of the proteins with other components of the seed matrix. Thus, improvement of protein digestibility is dependent on the hydrolysis of the indigestible proteins, deactivation of protease inhibitors, and improvement of protein solubility. Germination, a natural phenomenon in seed regeneration improves the total protein content of seeds.	–	–	–
4	Nutritional composition of meat nutritional composition of meat	Ahmad, R.S., Imran, A., & Hus-sain, M.B. (2018)	–	–	Although, few epidemiological studies have also pointed a possible relationship between its consumption and the elevated risks of having cardiovascular diseases, various forms of cancers and metabolic disorders but still its role in the human species evolution, specifically in its brain and intellectual development cannot be ignored. From the nutritional point of view, meat is considered as a rich essential amino acids source whereas, mineral contents to a lesser extent.	–	–	–

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	FAO (2017). The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome.					Excess consumption of processed meat and red meat are linked to increased risk of death from heart disease, diabetes or other illnesses. At the same time, meat provides high-quality protein and a variety of micronutrients, such as iron, vitamin A, iodine and zinc, many of which are difficult to obtain in adequate quantities from foods of plant origin. Vitamin B12 is only found in animal source foods. These nutrients are essential for a healthy immune system, which is needed to fight off infections. When addressing dietary patterns, the health risks and benefits of animal-source foods need to be balanced.	Increasing evidence suggests that dietary patterns that have low environmental impacts can be consistent with good health (FAO and Food Climate Research Network, 2016). National dietary guidelines recommending lower red meat consumption, particularly among heavy consumers, could help reduce GHG emissions significantly. Climate change is expected to also have direct impacts on food quality and nutrition. For example, the elevated levels of carbon dioxide in the atmosphere that are likely by 2050 are associated with substantial declines in the zinc, iron and protein content of wheat, rice, field peas and soybeans (FAO, 2016c). In addition, the higher temperatures and more extreme weather events associated with climate change create favourable environments for food- and water-borne pathogens.	–
6	https://www.ipcc.ch/sr15/					–	Overall, there is high agreement that farm strategies that integrate mixed crop–livestock systems can improve farm productivity and have positive sustainability outcomes (Havet et al., 2014; Thornton and Herrero, 2014; Herrero et al., 2015; Weindl et al., 2015). Shifting towards mixed crop–livestock systems is estimated to reduce agricultural adaptation costs to 0.3 % of total production costs while abating deforestation by 76 Mha globally.	–

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	https://sdgs.un- .org/2030agenda			–	–	–	–	We acknowledge that the UNFCCC is the primary international, intergovernmental forum for negotiating the global response to climate change. We are determined to address decisively the threat posed by climate change and environmental degradation. The global nature of climate change calls for the widest possible international cooperation aimed at accelerating the reduction of global greenhouse gas emissions and addressing adaptation to the adverse impacts of climate change. We note with grave concern the significant gap between the aggregate effect of Parties' mitigation pledges in terms of global annual emissions of greenhouse gases by 2020 and aggregate emission pathways consistent with having a likely chance of holding the increase in global average temperature below 2 °C or 1.5 °C above pre-industrial levels.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экологические аспекты производства и безопасности продуктов растительного и животного происхождения

Проблема устойчивого развития с каждым годом все больше беспокоит мировое сообщество. Главными задачами в данном направлении является искоренение голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания при одновременном снижении воздействия на окружающую среду¹. Решение обозначенных проблем требует системного научного подхода специалистов разных направлений. Негативные экологические последствия производства продуктов животного происхождения становятся все более заметными и вызывают беспокойство. Наиболее ощутимые индикаторы² воздействия на окружающую среду сводятся к показателям, представленным на Рисунке 2.

В настоящее время на планете проживает более 7 миллиардов человек, и, согласно прогнозам, к 2050 году количество населяющих планету достигнет 9,6 миллиарда. Предполагается, что рост населения и рост дохода на душу населения в странах с низким уровнем дохода приведут к увеличению спроса на продовольствие³ на 48,6 %. В связи с необходимостью роста производительности продуктов питания пропорционально повышается нагрузка на окружающую среду. Необходимым является

принятие комплекса конструктивных мер, с одной стороны, оказывающих менее пагубное влияние на экологическую ситуацию и, с другой стороны, на ликвидацию прогрессирующего голода.

В современной практике реализуются многочисленные стратегии для усовершенствования производства белковых продуктов. В контексте изучения животноводства можно выделить несколько ключевых направлений:

- (1) Модификация диеты животных с целью повышения эффективности их питания (Айтимова, 2020; Kobylatsky et al., 2020).
- (2) Стимулирование повышения уровня продуктивности у животных (Parr et al., 2016; Thornton, 2019).
- (3) Сокращение использования в кормах компонентов, конкурирующих за ресурсы с продовольственными нуждами человека (Forte et al., 2023; Makkar, 2018).

18 % глобальных антропогенных выбросов парниковых газов приходится на животноводство (Capper & Cady, 2019). Снижение выделения парниковых газов можно достичь путем модификации рациона кормления животных. Например, перевод крупного рогатого скота на овес вместо ячменя может привести к снижению выброса метана на 7–9 % (Комлацкий, 2022). Кормовые добавки с эфирными маслами, травами и пряностями могут связывать белок, повышая эффективность его использования при одновременном снижении выбросов вредных газов. Продемонстрирован положительный эф-

Рисунок 2

Экологические последствия от производства продуктов животного происхождения



Примечание. Составлено с опорой на исследования Nelson et al. (2016); Theurl et al. (2020); Willett et al. (2019); Dasgupta (2021).

¹ United Nations (2015). *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. Retrieved from <https://sdgs.un.org/2030agenda>

² Global Warming of 1.5 °C. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

³ FAO (2017). *The future of food and agriculture — Trends and challenges*. Rome.

фект от введения в корм экстракта эвкалипта для выпаивания телят. Добавление в рацион крупного рогатого скота водорослей *Asparagopsis taxiformis* приводит к снижению выбросов метана на 82 % без изменения вкуса молока (Комлацкий, 2022).

В глобальном масштабе около 20 % животного белка утрачивается из-за болезней животных, что ставит перед аграрными производителями важную задачу по обеспечению их здоровья. Существует ряд эффективных профилактических и терапевтических мер против различных патологий, однако их широкое внедрение ограничено экономическими, инфраструктурными, регуляторными и политическими барьерами. Потенциал для повышения производительности в отраслях мясного и молочного скотоводства существует через адаптацию инновационных кормовых технологий. Это включает применение антибиотиков бактериального происхождения и гормональных добавок в рационы (Johnson et al., 2013). Такие подходы демонстрируют значительные преимущества как в экономическом аспекте, увеличивая доходность производителей, так и в плане экологической устойчивости, сокращая потребление природных ресурсов и эмиссию парниковых газов на единицу получаемого животного белка (Webb et al., 2017).

В современных аграрных практиках наблюдается тенденция к увеличению объемов земель, задействованных под выращивание кормовых культур, что ведет к значительному уменьшению площадей, доступных для производства продовольствия. Данные указывают, что 85 % от общего объема производства сои в размере 350 миллионов тонн в 2018 году были направлены на кормление животных (Sogari et al., 2023). В контексте поиска альтернативных источников корма выделяются насекомые как перспективное направление (Dawood & Koshio, 2020). Результаты пилотных исследований демонстрируют, что использование черной солдатской мухи в кормлении животных может представлять большую питательную ценность по сравнению с соевой мукой за счет отсутствия антипитательных факторов и более сбалансированного состава (Smetana et al., 2019). Тем не менее, промышленность производства кормов на основе насекомых находится на раннем этапе развития, и существует ряд нерешенных вопросов, касающихся экономической эффективности, влияния на рост мышечной массы животных, безопасности использования

и экологической устойчивости данного подхода (Smetana et al., 2019). Исследовательские проекты в различных странах, включая Польшу, Швейцарию, Канаду, Африку и Китай, активно изучают потенциал насекомых как компонентов кормов (Stamer, 2015). В Российской Федерации данная проблематика менее выражена благодаря достаточному количеству сельскохозяйственных угодий, но также ведутся исследования по выращиванию и использованию насекомых в качестве альтернативных кормов (Рудаков & Рудакова, 2019; Шайхиев и др., 2021).

Немаловажным аспектом употребления продуктов с высоким содержанием животного белка в пищу является безопасность для здоровья человека. Традиционное производство мяса является источником риска пандемий и устойчивости к антибиотикам (Jones et al., 2013). Патогенные микроорганизмы часто мутируют и передаются людям, а это означает, что контактирование с сырыми мясными продуктами и деятельность животноводческих ферм повышают вероятность возникновения зоонозных пандемий (Aiyar & Pingali, 2020). В свою очередь, для высокобелковых продуктов растительного происхождения значимым показателем безопасности является количество антипитательных веществ, которые могут обладать токсическими эффектами, а также остаточное количество внесенных удобрений при выращивании на полях (Das et al., 2022; Frick et al., 2017).

Сравнительная характеристика влияния на окружающую среду производства продуктов растительного и животного происхождения показывает, что:

- (1) Выращивание растительного сырья является в 120 раз более углеродоэффективным способом производства белковой пищи, чем продуктов животного происхождения (Saget et al., 2021; Bryant, 2022).
- (2) Из белка растительного происхождения можно производить от 2 до 20 раз больше продуктов, аналогичных по питательным свойствам, на единицу пахотных земель по сравнению с продуктами животного происхождения (Smetana et al., 2021; Espinosa-Marrón et al., 2022).
- (3) При производстве растительных пищевых продуктов необходимо в 3,3 раза меньше затрат воды, что снижает до 6 раз вероятность эвтрофикации (Davis et al., 2010).

Пагубное влияние на окружающую среду от производства сырья как растительного, так и животного происхождения является одним из главных сдерживающих факторов увеличения производства высокобелковых продуктов питания. Необходим постоянный контроль показателей качества воды, воздуха, занимаемых земель. При прогнозируемом увеличении количества населения сглаживающим фактором может стать частичная замена продуктов животного происхождения на высокобелковое растительное сырье.

Сравнительные особенности пищевой ценности белков растительного и животного происхождения

Животный белок содержит все незаменимые аминокислоты, а также является ценным источником витаминов А, В₁₂, фолиевой кислоты и железа (Wood et al., 2017; Ahmad et al., 2018; Juárez et al., 2022). Животный белок усваивается организмом человека на 98%. Технологические функции животного белка, такие как гелеобразование, эмульгирование и пенообразование, которые придают пище привлекательную текстуру и положительные органолептические свойства, превосходят растительный белок (Kim et al., 2020). При чрезмерном употреблении животного белка в организм человека поступают насыщенные жирные кислоты и избыточный холестерин. Международное агентство по изучению рака (International Agency for Research on Cancer, IARC) классифицировало переработанное мясо (соление, консервирование, ферментация, копчение) как канцерогенное (Cellura et al., 2022).

С учетом пищевой ценности и эффекта на организм, растительные белки демонстрируют определенные преимущества перед животными белками по ряду критериев. Продукция растительного происхождения не содержит стерина, обогащена ненасыщенными жирными кислотами и служит источником витаминов, минералов и диетических волокон (Song et al., 2016; Aleksandrowicz et al., 2016; Westhoek et al., 2014; Petrusán et al., 2016; Richter et al., 2015). Однако, белковый компонент растительных продуктов может быть ограничен одной или несколькими аминокислотами, что наблюдается в случае злаков (дефицит лизина и треонина) и бобовых (дефицит метионина и цистеина). В то же время, содержание аргинина, цистеина,

глутамина и глицина в растительных продуктах превосходит их уровни в животном сырье (Mariotti, 2019; Mariotti, 2020). Для достижения оптимального аминокислотного баланса в пищевых системах применяется комбинирование растительных и животных белков. Исследование Dimina et al. (2022), в котором использовались методы линейного программирования для анализа способов сочетания изолятов животных и растительных белков, показало возможность создания продуктов с сбалансированным аминокислотным составом.

Усвоение белков растительного происхождения колеблется в диапазоне от 62% до 80%. Факторы, влияющие на эффективность усвоения, включают структурные характеристики белковой молекулы, ее растворимость, проницаемость клеточных мембран и семенной оболочки, среди прочего (Ohanenye et al., 2020). Препятствием для усвоения растительных белков часто служат антипитательные вещества. Растительные белки предоставляют важную альтернативу в качестве источника высокобелковой пищи. Продукты животного и растительного происхождения фундаментально различаются по химическому составу и органолептическим характеристикам. Решение о переходе к растительным белкам в любом обществе определяется множеством факторов, включая культурные традиции, климатические условия и здоровье населения. Ускорение этого перехода требует активного участия государства, медицинского сообщества и научных кругов.

Особенности влияния сопутствующих пищевых компонентов на усвоение белка

В связи с растущим интересом к растительным белковым источникам, ключевой задачей является систематизация существующих знаний и разработка новых подходов, раскрывающих характеристики и усвоение растительных белков человеком. Пищевая ценность определяется не только исходным составом нутриентов, но и эффективностью их метаболизма, что достигается за счет синергии различных процессов в пищеварительной системе. Различные пищевые нутриенты могут демонстрировать разнообразные метаболические эффекты в зависимости от состава пищи, методов приготовления, состояния здоровья, а также от свойств и происхождения белковой молекулы. Таким об-

разом, разработка новых пищевых продуктов требует комплексного подхода, включающего дизайн состава продукта, его технологическую обработку и учет особенностей пищеварительной системы человека для улучшения высвобождения и усвоения нутриентов (Ding et al., 2022; Thorning et al., 2017; Kaur et al., 2022; Timby et al., 2014; Adhikari et al., 2022).

Исследования на примере фасоли показали, что растворимые пищевые волокна могут значительно снижать усвоение белка за счет увеличения потерь азота, в то время как нерастворимые волокна не оказывают заметного влияния на метаболизм белков (Hughes et al., 1996). Аналогичные выводы были получены в исследованиях, демонстрирующих снижение коэффициента перевариваемости белка при употреблении растворимых волокон (Degen et al., 2007).

Содержание жиров в пище напрямую влияет на метаболизм белков. Исследования Ding и коллег показали, что при высоком содержании жиров уменьшается растворимость свиного, куриного и соевого белка, что связано с эмульгированием белков и масла при высокоскоростной гомогенизации. При увеличении жировой фракции часть белка адсорбируется на границе масло-вода, снижая уровень его дисперсии в воде (Ding et al., 2022). Также исследования показали, что наличие дубильных веществ в составе продуктов препятствует перевариванию белка, преобразуя его в нерастворимую фракцию и ингибируя пищеварительные ферменты (Afify Abd El-Moneim et al., 2012).

Важным аспектом является тип белка, его аминокислотный состав, растворимость и структура, влияющие на усвоение. Функциональные свойства белков зависят от их молекулярных характеристик, таких как размер, форма, денатурационная стабильность, аминокислотный состав и гидрофильность/гидрофобность, что влияет на их способность адаптироваться к условиям окружающей среды (Małecki et al., 2021). Среди функциональных свойств белков особого внимания заслуживает растворимость. Растворимость белков зависит от их строения, свойств растворителя, температуры, pH среды, концентрации и заряда ионов, а также характера взаимодействия с другими молекулами (Haque et al., 2011; Małecki et al., 2021). Высокая растворимость связана с более эффективным усвоением бел-

ка, что позволяет производителям создавать пищевые продукты с желаемыми, воспроизводимыми и предсказуемыми характеристиками (Kramer et al., 2012). Потеря растворимости из-за обработки пищевых продуктов в неблагоприятных условиях часто является индикатором денатурации и последующего сшивания белков до нерастворимой формы и снижения его усвоения (Haque, 2015). Скорость гидролиза растворимой белковой фракции в 3–9 раз выше, чем нерастворимой, что было доказано на примере рапсовой муки (Salazar-Villanea et al., 2017). Данный факт подтверждается в других исследованиях. Bai и др. изучали структуру и растворимость кормового белка в зависимости от его усвояемости у животных с однокамерным желудком и обнаружили, что усвояемость белка положительно коррелирует с его растворимостью (Tonheim et al., 2007; Bai et al., 2016).

При технологической обработке пищевого продукта происходит поэтапное воздействие различных внешних факторов (температура, контакт с кислородом воздуха и т.д.) на пищевую систему. Изменение физических и химических показателей качества пищи оказывает как положительное, так и отрицательное влияние на дальнейшую усвояемость нутриентов, в том числе белков. Термическая обработка оказывает влияние не только на структурные свойства белков, но и на биодоступность аминокислот. Окислительные условия воздействуют на межмолекулярные поперечные связи в белках, наблюдается их агрегация, что снижает восприимчивость белков к ферментам и их усвояемость в организме (Chang-Yu Zhou et al., 2019). Такой же эффект по снижению растворимости белка распространяется на гидротермическую обработку высокобелковых молочных продуктов (Carbonaro et al., 1998). На примере рапсовой муки было показано, что с увеличением времени обжаривания усиливаются молекулярные массы пептидов и снижается скорость гидролиза из-за образования дисульфидных связей и химически модифицированных аминокислотных остатков (Salazar-Villanea et al., 2017).

Усвоение белка — это многостадийный процесс, зависящий от целого комплекса сопутствующих показателей. Более эффективное усвоение белка возможно при системном подходе к учету свойств и состава пищевой системы, показателей качества белковой молекулы и особенностей организма.

Способы повышения пищевой ценности растительного сырья

Своевременным является детальное изучение растительного сырья и поиски научно обоснованных способов и методов повышения биологической ценности белка растительных источников. Главным препятствующим фактором в употреблении растительного белка является наличие сопутствующих компонентов, препятствующих усвоению эссенциальных компонентов пищи. Информация по составу и действию на организм основных веществ-ингибиторов растительного происхождения представлена на Рисунке 3.

Повысить пищевую ценность высокобелкового растительного сырья возможно, используя следующие способы воздействия на антипитательные вещества: выведение новых сортовых культур (Duraismamy et al., 2023); физические и химические методы (замачивание, автоклавирование, давление, экструзия, варка, жарка, проращивание, ферментация и др.) (Samtiya et al., 2020; Diouf et al., 2019; Thakur et al., 2021; Llandes et al., 2019; Calcinaï et al., 2022; Bychkova et al., 2021); изолирование растительного белка (производство концентратов и изолятов) (Kumar et al., 2021).

В процессе агрокультурного выращивания возможно регулирование параметров, влияющих

на пищевую и биологическую ценность растительных культур. Объем антипитательных элементов может меняться в зависимости от составляющих почвы, применения удобрений и прочих эдафических факторов, таких как плодородие почвы, уровень pH, содержание солей и другое (Pramitha et al., 2021). Дополнительно, внедрение технологий РНК-интерференции и геномного редактирования, направленных на создание растительных культур с повышенной пищевой ценностью и сокращенным количеством антипитательных элементов, представляет собой перспективный метод улучшения качества агропродукции (Duraismamy et al., 2023).

Учитывая, что множество антинутриентов являются водорастворимыми и чувствительными к температурным воздействиям, существует возможность управления их уровнем посредством различных технологических процессов. Вместе с тем, применение технологических приемов, хотя и позволяет уменьшить вредное воздействие антипитательных веществ, может одновременно снижать пищевую ценность некоторых компонентов, таких как витамин С, подверженный разрушению под воздействием технологических процедур. Поэтому актуальным является поиск оптимальных методик обработки растительного высокобелкового сырья, часть из которых демонстрируется на Рисунке 4.

Рисунок 3

Антипитательные вещества продуктов растительного происхождения



Примечание. Составлено с опорой на исследования Samtiya et al. (2020); Nath et al. (2022); Popova et al. (2019); Sharma et al. (2023); Afify Abd El-Moneim et al. (2012); Petroski & Minich (2020).

Рисунок 4

Способы снижения антипитательных свойств растительного сырья



Примечание. Составлено с опорой на исследования Fernandes et al. (2010); Munthali et al. (2022); Alsalman & Ramaswamy (2020); Samtiya et al. (2020); Das et al. (2022); Adeleke et al. (2017).

Доля разрушения антипитательных веществ зависит от ряда параметров. С одной стороны, оказывают влияние сортовые особенности сырья, в том числе морфологическое строение тканей, особенности химического состава культуры, и, с другой стороны, параметры технологической обработки (вид, время, продолжительность). Наиболее эффективными методами борьбы с антипитательными веществами является автоклавирование и варка. Также комбинирование различных видов обработки показывает положительное влияние. На примере чечевицы было показано, что замачивание зерна в течение 12 часов с последующим бланши-

рованием при 70 °C в течение 9 минут и приготовлением при 116 °C в течение 42 минут устраняло активность ингибитора трипсина (Abbas & Ahmad 2018; Deol & Bains 2010; Avilés-Gaxiola et al., 2017).

Результативным способом уменьшения антипитательных компонентов растительного происхождения является метод проращивания, обеспечивающий переход из состояния покоя к росту зародыша, при котором происходит модификация химической структуры веществ. Однако необходимо учитывать то, что в виду специфического строения каждой культуры, процесс проращивания будет

давать индивидуальный результат в зависимости от сортовых особенностей культуры и параметров проращивания (Atudorei et al., 2021). Набухание и запуск прорастания последовательно приводят к размыванию, распаду пептидных зон и синтезу новых, в результате чего повышается доступность аминокислот. Находящиеся в семенах ферменты активизируются, расщепляют сложные белки, жиры и углеводы на более простые вещества, которые необходимы для роста будущего растения (Ikram et al., 2021). Ohanenye и др. установили, что эффект увеличения белка связан либо с гидролитическими процессами белковых молекул в результате повышения активности ферментов, либо с высвобождением белка из комплекса с антипитательными компонентами (Ohanenye et al., 2020).

Процесс проращивания эффективно снижает активность ингибиторов трипсина и минимизирует ингибирование, вызванное фитатами, через механизм гидролиза. Этот процесс способствует повышению биодоступности таких элементов как натрий, магний, железо и цинк за счет активации фитазы, которая разлагает связи между белками, ферментами и их неорганическими компонентами (Atudorei et al., 2021). В результате потребление

пророщенных зерен позволяет организму усваивать предварительно обработанные вещества с сокращенным содержанием антипитательных элементов. Однако натуральное проращивание зерна является трудоемким и продолжительным процессом (Atudorei et al., 2021; Ikram et al., 2021). Более доступной альтернативой для повышения питательной ценности бобовых является использование искусственного ферментативного гидролиза.

Гидролизаты растительных белков представляют собой продукты взаимодействия растительного сырья с ферментами в контролируемых условиях, включая оптимальную температуру и время воздействия (Schaafsma, 2009). В результате гидролиза формируется микстура полипептидов различной молекулярной массы и свободных аминокислот (McCarthy et al., 2013). Разнообразие биологических эффектов пептидов, включая антиоксидантное, антимикробное, опиоидное, противоопухолевое, антигельминтное, иммуномодулирующее и противовоспалительное действие, расширяет перспективы их применения в различных сферах, таких как химическая промышленность, пищевая отрасль, медицина и др. (Таблица 2).

Таблица 2

Примеры применения пептидов из животного и растительного белка

Область применения	Функции	Литература
Пищевая промышленность	Подсластители, стабилизаторы цвета, загустители, антислеживающие агенты, эмульгаторы и усилители вкуса. Заменители искусственных антиоксидантов (антиокислители липидов). Компоненты функциональных продуктов питания.	Faustino et al., 2019; Zaky et al., 2022; Ye et al., 2022; Samaranayaka & Li-Chan 2011; Chakrabarti et al., 2014
Производство удобрений	Антимикробные и иммунные индукторы, регуляторы роста растений, инсектициды и гербициды для защиты растений от бактерий, вирусов, вредителей и сорняков. Высокая аффинность, низкая токсичность, экологическая безопасность	Zhang et al., 2023
Фармацевтическая промышленность	Лечение и профилактика заболеваний: сахарный диабет, сердечно-сосудистые заболевания, желудочно-кишечные заболевания, рак, инфекционные заболевания и разработка вакцин и др.	Wang et al., 2022; Muttenthaler et al., 2021
Препараты для животных	Антибактериальные препараты, успокоительные, препараты для улучшения аппетита	He et al., 2023; Saeed et al., 2022; Ferreira et al., 2020;
Парфюмерно-косметическая промышленность	Стимулирование выработки коллагена фибробластами, пролиферация эластина, фибронектина, ламинина и др.	Ferreira et al., 2020; Skibska & Perlikowska 2021
Матрицы для дизайна синтетических пептидов	Производство стволовых клеток, установление механизмов заболевания и разработка методов лечения, создание гидрогелиевых нанокомпозитов.	Serikova et al., 2015; Ligorio & Mata 2023

Примечание. Составлено с опорой на исследования Toldra et al. (2018); Aguilar-Toalá et al., (2020); Tyagi et al. (2020); Tripathi et al. (2020); Oh et al. (2020); Pavlicevic et al. (2022); Rivera-Jiménez et al. (2022).

В условиях стабильного качества сырья и зафиксированных параметров гидролитического процесса специалисты в области химии и пищевой промышленности способны производить продукцию со стандартизированным аминокислотным и пептидным профилем. Применение гидролизатов в разработке новых пищевых продуктов может способствовать решению проблемы пониженной ассимиляции растительного белка, обеспечивая поступление в организм белковых молекул, подвергшихся ферментативному расщеплению и готовых к усвоению (Lafarga & Hayes, 2016; Wu & Chen, 2022; Ashaolu, 2020). В современных исследованиях особое внимание уделяется гороху, в контексте работ по созданию повседневных пищевых продуктов с добавлением горохового гидролизата (García Arteaga et al., 2022; Lim et al., 2023). Разработки показывают целесообразность интеграции растительного гидролизата в супы и хлебобулочные изделия, оценивая их биологическую и пищевую ценность (Бычкова и соавт., 2022; Самошкин и соавт., 2013). Использование механохимической обработки в комбинации с ферментативными препаратами позволило ученым получить гороховый гидролизат с увеличенным выходом водорастворимых веществ по сравнению с образцами без предварительной обработки.

Получение изолятов растительного белка осуществляется через многоэтапный процесс, включающий щелочную экстракцию белка и его последующее осаждение на изoeлектрической точке. Процессуальные параметры изоляции белка, включая температуру и продолжительность солюбилизации, адаптируются под требования к характеристикам конечного продукта (Derkach et al., 2022; Kusumah et al., 2020). Развитие рынка изолятов растительного белка стимулируется распространением вегетарианства и экологической безопасностью (Neji et al., 2022; Ruckmangathan et al., 2022; Gopan et al., 2019; Santos et al., 2022). Технологически, введение растительных белковых изолятов в продукты питания способствует улучшению их органолептических качеств благодаря свойствам желирования, эмульгирования и влагоудержания (Li et al., 2020). Постадийное изолирование белка позволяет достигать содержания белка в продукте до 89 %, при этом количество антипитательных веществ уменьшается на 75–96 % в зависимости от их типа (Amin, 2022; Saetae & Suntornsuk, 2011).

Таким образом, высокобелковое растительное сырье представляет собой значительный потенциал для пищевой промышленности. Активное научное изучение способствует разработке методик повышения пищевой ценности растительного белка за счет минимизации влияния антипитательных веществ. Мультидисциплинарный подход, объединяющий усилия в области химии, пищевой промышленности и медицины, открывает пути к оптимизации производства высококачественной растительной пищи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологии производства растительного и животного белка существенно различаются, что влияет на разный уровень их воздействия на окружающую среду. Производство растительного белка характеризуется меньшей ресурсоемкостью и большей экологической устойчивостью. Несмотря на это, биологическая ценность животного белка превосходит растительный. Сочетание сырья животного и растительного происхождения, а также различных растительных источников позволяет улучшить биологическую ценность пищевых продуктов.

Анализ научных исследований в области переработки растительного сырья показывает, что с помощью комплексного применения химических и физических методов можно достичь структурной модификации белка, что способствует улучшению его биологической ценности. Важно учитывать наличие других макро- и микронутриентов при разработке пищевых продуктов на основе растительных белков, так как они влияют на ассимиляцию белка. Данный обзор позволяет специалистам определить ключевые научно обоснованные показатели для разработки пищевых продуктов с высокой биологической ценностью.

Дальнейшие направления исследований открывают новый диапазон задач, связанных с научными подходами к комбинированию сырьевых компонентов для оптимизации усвоения белков и аминокислотного состава растительных пищевых продуктов. Существующая научная база ставит перед исследователями задачу продолжить изучение методов переработки сырья, чтобы максимально использовать потенциал растительных источников. Особый интерес в этой области представляет ком-

бинирование методов физического и химического воздействия на белковые компоненты растительного сырья.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Елена Сергеевна Бычкова: концептуализация; разработка методологии исследования; руководство исследованием; создание рукописи и её редактирование.

Екатерина Михайловна Подгорбунских: проведение исследования; создание рукописи и её редактирование; визуализация.

Еремеева Наталья Борисовна: разработка методологии исследования; проведение исследования; подготовка черновика рукописи; администрирование проекта.

Полина Владимировна Кудачева: визуализация; проведение исследования; подготовка черновика рукописи.

ЛИТИРАТУРА

- Нилова, Л.П. (2022) Каротиноиды в растительных пищевых системах. Часть 2. Фруктовые и овощные соки. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 10(2), 22-33. <https://doi.org/10.14529/food220203>
- Nilova, L. P. (2022). Carotenoids in plant food systems. Part 2. Fruit and vegetable juices. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 10(2), 22-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.14529/food220203>
- Айтимова, У. Ж., & Шукірбаев, Н. Д. (2020) Оптимизация кормления молочного скота с помощью нелинейного программирования. *American Scientific Journal*, 36-1(36), 29-37.
- Aitimova, U. Z., & Shukirbayev, N. D. (2020). Optimization of feeding dairy cattle using nonlinear programming. *American Scientific Journal*, 36-1(36), 29-37. (In Russ.)
- Антипова, Л. В., Толпыгина, И. Н., Успенская, М. Е., & Попов, В. И. (2015). Гигиенические аспекты и перспективы отечественного производства растительных белков. *Гигиена и санитария*, 94(9), 51-54.
- Antipova, L. V., Tolpygina, I. N., Uspenskaya, M. E., & Popov, V. I. (2015). Hygienic aspects and prospects of domestic production of plant proteins. *Hygiene and Sanitation*, 94(9), 51-54. (In Russ.)
- Бычкова, Е. С., Подгорбунских, Е. М., Рождественская, Л. Н., Бухтояров, В. А., & Кудачева, П. В. (2022). Разработка технологии хлебобулочных изделий с введением горохового гидролизата. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 3, 56-66. <https://dx.doi.org/10.36107/spfp.2022.371>
- Bychkova, E. S., Podgorbunskikh, E. M., Rozhdestvenskaya, L. N., Bukhtoyarov, V. A., & Kudacheva, P. V. (2022). Development of technology for bakery products with the introduction of pea hydrolyzate. *Storage and Processing of Farm Products*, 56-66. (In Russ.) <https://dx.doi.org/10.36107/spfp.2022.371>
- Комлацкий, Г. В., (2022). Технологические аспекты снижения выбросов парниковых газов в животноводстве. *Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета*, 181, 116-126.
- Komlatsky, G. V. (2022). Technological aspects of reducing greenhouse gas emissions in livestock farming. *Multithematic Network Electronic Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 181, 116-126. (In Russ.)
- Рудаков, О. Б., & Рудакова, Л. В. (2019). Съедобные насекомые — альтернатива животному белку. *Мясные Технологии*, 11(203), 16-19. <https://doi.org/10.33465/2308-2941-2019-11-18-21>
- Rudakov, O. B., & Rudakova, L. V. (2019). Edible insects — an alternative to animal protein. *Meat Technology*, 11(203), 16-19. (In Russ.) <https://doi.org/10.33465/2308-2941-2019-11-18-21>
- Самошкин, С. П., Бычкова, Е. С., Бычков, А. Л., Ломовский, О. И., Байзель, Н. Ф., & Черноносков, А. А. (2013). Супы-пюре лечебно-профилактического назначения с питательными веществами в легкоусвояемой форме. *Пищевая промышленность*, 8, 26-27.
- Samoshkin, S. P., Bychkova, E. S., Bychkov, A. L., Lomovsky, O. I., Bayzel, N. F., & Chernonosov, A. A. (2013). Therapeutic and prophylactic puree soups with nutrients in easily digestible form. *Food Industry*, 8, 26-27. (In Russ.)
- Шайхиев, И. Г., Свергузова, С. В., Сапронова, Ж. А., Святченко, А. В., & Ушакова Н. А. (2021). Использование биомассы насекомых для выращивания радужной форели в аквакультуре (краткий обзор зарубежной литературы). *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство*, (1), 69-81. <https://dx.doi.org/10.24143/2073-5529-2021-1-69-81>
- Shaykhiev, I. G., Sverguzova, S. V., Sapronova, Z. A., Svyatchenko, A. V., & Ushakova, N. A. (2021). Use of insect biomass for rainbow trout farming in aquaculture (brief review of foreign literature). *Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries*, (1), 69-81. (In Russ.) <https://dx.doi.org/10.24143/2073-5529-2021-1-69-81>
- Adhikari, S., Schop, M., de Boer, I. J. M., & Huppertz, T. (2022). Protein quality in perspective: A review of protein quality

- metrics and their applications. *Nutrients*, 14, Article 947. <https://dx.doi.org/10.3390/nu14050947>
- Adeleke, O. R., Adiamo, O. Q., Fawale, O. S., & Olamiti, G. (2017). Effect of soaking and boiling on anti-nutritional factors, oligosaccharide contents and protein digestibility of newly developed bambara groundnut cultivars. *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*, 5(9), 1006–1014. <https://dx.doi.org/10.24925/turjaf.v5i9.1006–1014.949>
- Afify Abd El-Moneim, M. R., El-Beltagi, H. S., Abd El-Salam, S. M., & Omran, A. A. (2012). Protein solubility, digestibility and fractionation after germination of sorghum varieties. *PLoS One*, 7(2), Article 31154. <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0031154>
- Ahmad, R.S., Imran, A., & Hussain, M.B. (2018). Nutritional composition of meat nutritional composition of meat. In M.S. Arshad (Ed.), *Meat science and nutrition* (pp. 61–77). Pakistan.
- Aiyar, A., & Pingali, P. (2020). Pandemics and food systems-towards a proactive food safety approach to disease prevention & management. *Food Security*, 12(4), 749–756.
- Aguilar-Toalá, J. E., Deering, A. J., & Liceaga, A. M. (2020). New insights into the antimicrobial properties of hydrolysates and peptide fractions derived from chia seed (*Salvia hispanica* L.). *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 12, 1571–1581. <https://dx.doi.org/10.1007/s12602–020–09653–8>
- Aleksandrowicz, L., Green, R., Joy, E. J., Smith, P., & Haines, A. (2016). The impacts of dietary change on greenhouse gas emissions, land use, water use, and health: A systematic review. *PLoS One*, 11(11), Article 0165797. <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0165797>
- Alsaman, F. B., & Ramaswamy, H. (2020). Reduction in soaking time and anti-nutritional factors by high pressure processing of chickpeas. *Journal of Food Science and Technology*, 57(7), 2572–2585. <https://dx.doi.org/10.1007/s13197–020–04294–9>
- Amin, A., Petersen, I. L., Malmberg, C., Orlén, V. (2022). Perspective on the effect of protein extraction method on the Antinutritional Factor (ANF) content in seeds. *ACS Food Science & Technology*, 2, 604–612. <https://dx.doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00464>
- Ashaolu, T. J. (2020). Applications of soy protein hydrolysates in the emerging functional foods: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(2), 421–428. <https://dx.doi.org/10.1111/ijfs.14380>
- Atudorei, D., Stroe, S. G., & Codină, G. G. (2021). Impact of germination on the microstructural and physicochemical properties of different legume types. *Plants (Basel)*, 10(3), 592. <https://dx.doi.org/10.3390/plants10030592>
- Avilés-Gaxiola, S., Chuck-Hernández, C., Serna Saldívar, S. O. (2017). Inactivation methods of trypsin inhibitor in legumes: A review. *Concise Reviews & Hypotheses in Food Science*, 83(1), 17–29. <https://dx.doi.org/10.1111/1750–3841.13985>
- Bai, M. M., Qin, G. X., Sun, Z. W., & Long, G. H. (2016). Relationship between molecular structure characteristics of feed proteins and protein in vitro digestibility and solubility. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(8), 1159–1165. <https://dx.doi.org/10.5713/ajas.15.0701>
- Bryant, C.J. (2022). Plant-based animal product alternatives are healthier and more environmentally sustainable than animal products. *Future Foods*, 6, Article 100174. <https://dx.doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100174>
- Bychkova, E., Dome, K., Gosman, D., Beisel, N., & Chernonosov, A. (2021). Mechanically activated enzymatic hydrolysis of pea seeds and its effects on bakery products. *Applied Food Biotechnology*, 8(3), 213–223. <https://doi.org/10.22037/afb.v8i3.32756>
- Abbas, Y., & Ahmad, A. (2018). Impact of processing on nutritional and antinutritional factors of legumes: A review. *Annals Food Science and Technology*, 19(2), 199–215.
- Calcinai, L., Bonomini, M. G., Leni, G., Faccini, A., Puxeddu, I., Giannini, D., Petrelli, F., Prandi, B., Sforza, S., & Tedeschi, T. (2022). Effectiveness of enzymatic hydrolysis for reducing the allergenic potential of legume by-products. *Scientific Reports*, 12, 16902. <https://dx.doi.org/10.1038/s41598–022–21296–z>
- Capper, J. L., & Cady, R. A. (2019). The effects of improved performance in the U.S. dairy cattle industry on environmental impacts between 2007 and 2017. *Journal of Animal Science*, 98(1), 1–14. <https://dx.doi.org/10.1093/jas/skz291>
- Carbonaro, M., Bonomi, F., Iametti, S., Cappelloni, M., & Carnovale, E. (1998). Aggregation of proteins in whey from raw and heat-processed milk: formation of soluble macroaggregates and nutritional consequences. *LWT Food Science and Technology*, 31, 522–529. <https://dx.doi.org/10.1006/ftsl.1998.0408>
- Cellura, M., Cusenza, M. A., Longo, S., Luu, L.Q., & Skurk, T. (2022). Life cycle environmental impacts and health effects of protein-rich food as meat alternatives: A review. *Sustainability*, 14(2), Article 979. <https://dx.doi.org/10.3390/su14020979>
- Chakrabarti, S., Jahandideh, F., & Wu, J. (2014). Food-derived bioactive peptides on inflammation and oxidative stress. *BioMed Research International*, 2014, 608979. <https://dx.doi.org/10.1155/2014/608979>
- Chang-Yu, Z., Jin-Xuan, C., Xin-Bo, Z., Yun, B., Chun-Bao, L., & Xing-Lian, X. (2019). Evaluation of the secondary structure and digestibility of myofibrillar proteins in cooked ham. *CyTA – Journal of Food*, 17(1), 78–86. <https://dx.doi.org/10.1080/19476337.2018.1554704>
- Das, G., Sharma, A., & Sarkar, P. K. (2022). Conventional and emerging processing techniques for the post-harvest reduction of antinutrients in edible legumes. *Applied Food Research*, 2, 100–112. <https://dx.doi.org/10.1016/j.afres.2022.100112>
- Dasgupta, P. (2021). The economics of biodiversity: The Dasgupta review. In *HM Treasury* (pp. 1–604). London: HM Treasury.
- Davis, J., Sonesson, U., Baumgartner, D.U., & Nemecek, T. (2010). Environmental impact of four meals with different protein sources: case studies in Spain and Sweden. *Food Research International*, 43(7), 1874–1884. <https://dx.doi.org/10.3389/frs.2022.841106>
- Dawood, M. A. O., & Koshio, S. (2020). Application of fermentation strategy in aquafeed for sustainable

- aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12, 987–1002. <https://doi.org/10.1111/raq.12368>
- Degen, L., Halas, V., & Babinszky, L. (2007). Effect of dietary fibre on protein and fat digestibility and its consequences on diet formulation for growing and fattening pigs: A review. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science*, 57(1), 1–9. <https://dx.doi.org/10.1080/09064700701372038>
- Deol, J. K., & Bains, K. (2010). Effect of household cooking methods on nutritional and anti-nutritional factors in green cowpea (*Vigna unguiculata*) pods. *Journal of Food Science and Technology*, 47(5), 579–581. <https://dx.doi.org/10.1007/s13197-010-0112-3>
- Derkach, S. R., Kuchina, Y. A., Kolotova, D. S., Petrova, L. A., Volchenko, V. I., Glukharev, A. Y., & Grokhovsky, L. A. (2022). Properties of protein isolates from marine hydrobionts obtained by isoelectric solubilisation/precipitation: influence of temperature and processing time. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(22), 14221. <https://dx.doi.org/10.3390/ijms232214221>
- Dimina, L., Rémond, D., Huneau, J. F., & Mariotti, F. (2022). Combining plant proteins to achieve amino acid profiles adapted to various nutritional objectives—an exploratory analysis using linear programming. *Frontiers in Nutrition*, 8, 809685. <https://dx.doi.org/10.3389/fnut.2021.809685>
- Ding, M., Huang, Z., Jin, Z., Zhou, C., Wu, J., Zhao, D., Shan, K., Ke, W., Zhang, M., Nian, Y., & Li, C. (2022). The effect of fat content in a food matrix on the structure, rheological properties and digestive properties of protein. *Food Hydrocolloids*, 126, 107464. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107464>
- Diouf, A., Sarr, F., Sene, B., Ndiaye, C., Fal, S. M., & Ayessou, N. C. (2019). Pathways for reducing anti-nutritional factors: prospects for vigna unguiculata. *Journal of Nutritional Health & Food Science*, 7(2), 1–10. <https://dx.doi.org/10.15226/jnhfs.2019.001157>
- Duraiswamy, A., Sneha A. M. N., Jebakani K. S., Selvaraj, S., Pramitha J. L., Selvaraj, R., Petchiammal K. I., Sheriff, S. K., Thinakaran, J., Rathinamoorthy. S., & Ramesh Kumar P. R. (2023). Genetic manipulation of anti-nutritional factors in major crops for a sustainable diet in future. *Frontiers in Plant Science*, 3, 1070398. <https://dx.doi.org/10.3389/fpls.2022.1070398>
- Espinosa-Marrón, A., Adams, K., Sinno, L., Cantu-Aldana, A., Tamez, M., Marrero, A., Bhupathiraju, S.N., & Mattei, J. (2022). Environmental impact of animal-based food production and the feasibility of a shift toward sustainable plant-based diets in the United States. *Frontiers in Sustainability*, 3, 1–9. <http://dx.doi.org/10.3389/frsus.2022.841106>
- Faustino, M., Veiga, M., Sousa, P., Costa, E. M., Silva, S., & Pintado, M. (2019). Agro-food byproducts as a new source of natural food additives. *Molecules*, 24(6), 1056. <https://dx.doi.org/10.3390/molecules24061056>
- Fernandes, A. C., Nishida, W., & Da Costa Proença, R. P. (2010). Influence of soaking on the nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cooked with or without the soaking water: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(11), 2209–2218. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02395.x>
- Ferreira, M. S., Magalhães, M. C., Sousa-Lobo, J. M., & Almeida, I. F. (2020). Trending anti-aging peptides. *Cosmetics*, 7(4), 91. <https://dx.doi.org/10.3390/cosmetics7040091>
- Forte C., Lo Fiego, D. P., Trbalza Marinucci, M., Pravettoni, D., & Natalello, A. (2023) Editorial: Efforts to reduce feed-food competition. *Front Vet Sci.*, 10, 1335007. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1335007>
- Frick, K. M., Kamphuis, L. G., Siddique, K. H., Singh, K. B., & Foley, R. C. (2017). Quinolizidine alkaloid biosynthesis in lupins and prospects for grain quality improvement. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 87. <https://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.00087>
- García Arteaga, V., Demand, V., Kern, K., Strube, A., Szardenings, M., Muranyi, I., Eisner, P., & Schweiggert-Weisz, U. (2022). Enzymatic hydrolysis and fermentation of pea protein isolate and its effects on antigenic proteins, functional properties, and sensory profile. *Foods*, 11(1), 118. <https://dx.10.3390/foods11010118>
- Gopan, A., Sahu, N. P., Varghese, T., Sardar, P., Gupta, S., Gupta, G., & Maiti, M. K. (2019). Preparation of protein isolate from neem seed: biochemical evaluation, antinutrients and in vitro digestibility study. *Animal Nutrition and Feed Technologyanim*, 19(2), 203–216. <https://dx.doi.org/10.5958/0974-181X.2019.00019.2>
- Haque, E., Bhandari, B. R., Gidley, M. J., Deeth, H. C., & Whittaker, A. K. (2011). Ageing-induced solubility loss in milk protein concentrate powder: Effect of protein conformational modifications and interactions with water. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, 2576–2581. <https://dx.doi.org/10.1002/jsfa.4478>
- Haque, E. & Bhandari, B. R. (2015). Effects of protein conformational modifications, enthalpy relaxation, and interaction with water on the solubility of milk protein concentrate powder. In *11th Symposium on the Properties of Water (ISOPOW)* (pp. 437–450). New York: Springer.
- He, S., Yang, K., Wen, J., Kuang, T., Cao, Z., Zhang, L., Han, S., Jian, S., Chen, X., Zhang, L., Deng, J., & Deng, B. (2023). Antimicrobial peptides relieve transportation stress in ragdoll cats by regulating the gut microbiota. *Metabolites*, 13(3), 326. <https://dx.doi.org/10.3390/metabo13030326>
- Hughes, J. S., Acevedo, E., Bressani, R., & Swanson, B. G. (1996). Effects of dietary fiber and tannins on protein utilization in dry beans (*Phaseolus vulgaris*). *Food Research International*, 29(3–4), 331–338. [https://dx.doi.org/10.1016/0963-9969\(96\)00027-0](https://dx.doi.org/10.1016/0963-9969(96)00027-0)
- Ikram, A., Saeed, F., Afzaal, M., Imran, A., Niaz, B., Tufail, T., Hussain, M., & Anjum, F.M. (2021). Nutritional and end-use perspectives of sprouted grains: A comprehensive review. *Food Science & Nutrition*, 9(8), 4617–4628. <https://dx.doi.org/10.1002/fsn.3.2408>
- Johnson, B. J., Ribeiro, F. R. B., & Beckett, J. L. (2013). Application of growth technologies in enhancing food security and sustainability. *Animal Frontiers*, 3, 8–13. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0018>
- Jones, B. A., Grace, D., Kock, R., Alonso, S., Rushton, J., Said, M. Y., McKeever, D., Mutua, F., Young, J., McDermott, J., & Pfeiffer, D. U. (2013). Zoonosis emergence is linked to agricultural intensification and environmental change.

- Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(21), 8399–8404. <https://dx.doi.org/10.1073/pnas.1208059110>
- Juárez, M., Lam, S., Bohrer, B. M., Dugan, M. E. R., Vahmani, P., Aalhus, J., Juárez, A., López-Campos, O., Prieto, N., & Segura, J. (2021). Enhancing the nutritional value of red meat through genetic and feeding strategies. *Foods*, 10(4), Article 872. <https://dx.10.3390/foods10040872>
- Kaur, L., Mao, B., Beniwal, A. S., Abhilasha, Kaur, R., Chian, F., M., Singh, J. (2022). Alternative proteins vs animal proteins: The influence of structure and processing on their gastro-smal intestinal digestion. *Trends in Food Science and Technology*, 122, 275–286. <https://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.021>
- Kim, W., Wang, Y., & Selomulya, C. (2020). Dairy and plant proteins as natural food emulsifiers. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 261–272. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.012>
- Kobylatsky, P. S., Shirokova, N. V., Karatunov, V. A., Slozhenkina, M. I., & Tsitsige (2020) Biological growth patterns to increase livestock meat productivity. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 548, 082094. <https://doi.org/10.1088/1755–1315/548/8/082094>
- Kramer, R. M., Shende, V. R., Motl, N., Pace, C. N., & Scholtz, J. M. (2012). Toward a molecular understanding of protein solubility: increased negative surface charge correlates with increased solubility. *Biophysical Journal*, 102(8), 07–15. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2012.01.060>
- Kumar, M., Tomar, M., Potkule, J., Verma, R., Punia, S., Mahapatra, A., Belwal, T., Dahuja, A., Joshi, S., Berwal, M. K., Satankar, V., Bhoite, A. G., Amarowicz, R., Kaur, C., & Kennedy, J.F. (2021). Advances in the plant protein extraction: Mechanism and recommendations. *Food Hydrocolloids*, 115(2), 106595. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106595>
- Kusumah, S. H., Andoyo1, R., & Rialita, T. (2020). Protein isolation techniques of beans using different methods: A review. *Environmental Earth Sciences*, 443, e012053. <https://dx.doi.org/10.1088/1755–1315/443/1/012053>
- Lafarga, T., & Hayes, M. (2016). Bioactive protein hydrolysates in the functional food ingredient industry: overcoming current challenges. *Food Reviews International*, 33(3), 217–246. <https://dx.doi.org/10.1080/87559129.2016.1175013>
- Ligorio, C., & Mata, A. (2023). Synthetic extracellular matrices with function-encoding peptides. *Nature Reviews Bioengineering*, 1, 518–536. <https://dx.doi.org/10.1038/s44222–023–00055–3>
- Lim, W.S., Kim, H.W., Lee, M.H., & Park, H.J. (2023). Improved printability of pea protein hydrolysates for protein-enriched 3D printed foods. *Journal of Food Engineering*, 350, 111502. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111502>
- Li, Y.-P., Sukmanov, V., Kang, Z. L., & Ma, H. (2020). Effect of soy protein isolate on the techno-functional properties and protein conformation of low-sodium pork meat batters treated by high pressure. *Journal of Food Process Engineering*, 43, e13343. <https://dx.doi.org/10.1111/jfpe.13343>
- Llandes, C.B.M., Guzmán-Ortiz, F.A., Mora-Escobedo, R., Castro-Rosas, J., Delia, R.G.A., López-Perea, P., & Vargas-Torres, A. (2019). Effect of germination on antinutritional compounds of grains and seeds. In: R.M. Escobedo, C. Martínez-Villaluenga, R. Reynoso-Camacho (Ed.), *Germination: Types, Process and Effects* (pp. 83–100). New York: Nova Science Publishers.
- Makkar, H. P. S. (2018) Review: Feed demand landscape and implications of food-not feed strategy for food security and climate change. *Animal*, 12, 1744–1754. <https://doi.org/10.1017/S175173111700324X>
- Małeck, J., Muszyński, S., & Sołowiej, B. G. (2021). Proteins in food systems—bionanomaterials, conventional and unconventional sources, functional properties, and development opportunities. *Polymers (Basel)*, 13(15), Article 2506. <https://dx.doi.org/10.3390/polym13152506>
- Mariotti, F. (2019). Animal and plant protein sources and cardiometabolic health. *Advances in Nutrition*, 10, 351–366. <https://dx.doi.org/10.1093/advances/nmy110>
- Mariotti, F. (2020). Arginine supplementation and cardiometabolic risk. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 23(1), 29–34. <https://dx.doi.org/10.1097/MCO.0000000000000612>
- McCarthy, A. L., O’Calaghan, Y. C., & O’Brien, N. M. (2013). Protein hydrolysates from agricultural crops — bioactivity and potential for functional food development. *Agriculture*, 3(1), 112–130. <https://dx.doi.org/10.3390/agriculture3010112>
- Munthali, J., Nkhata, S. G., Masamba, K., Mguntha, T., Fungo, R., & Chirwa, R. (2022). Soaking beans for 12 h reduces split percent and cooking time regardless of type of water used for cooking. *Heliyon*, 8(9), 10561. <https://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10561>
- Muttenthaler, M., King, G. F., Adams, D. J., & Alewood, P. F. (2021). Trends in peptide drug discovery. *Nature Reviews Drug Discovery*, 20, 309–325. <https://dx.doi.org/10.1038/s41573–020–00135–8>
- Nath, H., Samtiya, M., & Dhewa, T., (2022). Beneficial attributes and adverse effects of major plant-based foods anti-nutrients on health: A review. *Human Nutrition & Metabolism*, 28, 200–147. <https://dx.doi.org/10.1016/j.hnm.2022.200147>
- Neji, C., Semwal, J., Kamani, M. H., Máthé, E., Sipos, P. (2022). Legume protein extracts: The relevance of physical processing in the context of structural, techno-functional and nutritional aspects of food development. *Processes*, 10(12), 2586. <https://dx.doi.org/10.3390/pr10122586>
- Nelson, M. E., Hamm, M. W., Hu, F. B., Abrams, S. A., & Griffin, T. S. (2016). Alignment of healthy dietary patterns and environmental sustainability: A systematic review. *Advances in Nutrition*, 7(6), 1005–1025. <https://dx.doi.org/10.3945/an.116.012567>
- Ohanenye, I. C., Tsopmo, A., Ejike, C. E. C. C., & Udenigwe, C. C. (2020). Germination as a bioprocess for enhancing the quality and nutritional prospects of legume proteins. *Trends in Food Science and Technology*, 101, 213–222. <https://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.003>
- Oh, J. Y., Je, J. G., Lee, H. G., Kim, E. A., Kang, S. I., Lee, J. S., & Jeon, Y. J. (2020). Anti-hypertensive activity of novel peptides identified from olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) Surimi. *Foods*, 9(5), 647. <https://doi.org/10.3390/foods9050647>
- Parr, T., Mareko, M. H. D., Ryan, K. J. P., Hemmings, K. M., Brown, D. M., & Brameld, J. M. (2016) The impact of growth promoters on muscle growth and the potential

- consequences for meat quality. *Meat Science*, 120, 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.022>
- Pavlicevic, M., Marmiroli, N., & Maestri, E. (2022). Immunomodulatory peptides — A promising source for novel functional food production and drug discovery. *Peptides*, 148, 170696. <https://dx.doi.org/10.1016/j.peptides.2021.170696>
- Petroski, W., & Minich, D. M. (2020). Is there such a thing as “anti-nutrients”? A narrative review of perceived problematic plant compounds. *Nutrients*, 12(10), 2929. <https://dx.doi.org/10.3390/nu12102929>
- Petrusán, J.-I., Rawel, H., & Huschek, G. (2016). Protein-rich vegetable sources and trends in human nutrition. *Current Topics in Peptide & Protein Research*, 17, 1–19.
- Popova, A., & Mihaylova, D. (2019). Antinutrients in plant-based foods: A review. *The Open Biotechnology Journal*, 13(1), 68–76. <https://dx.doi.org/10.2174/1874070701913010068>
- Pramitha, J. L., Rana, S., Aggarwal, P. R., Ravikesavan, R., Joel, A. J., & Muthamilarasan, M. (2021). Diverse role of phytic acid in plants and approaches to develop low-phytate grains to enhance bioavailability of micronutrients. *Advances in Genetics*, 107, 89–120. <https://dx.doi.org/10.1016/bs.adgen.2020.11.003>
- Reijnders, L., & Soret, S. (2003). Quantification of the environmental impact of different dietary protein choices. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(3), 664S–668S. <https://dx.doi.org/10.1093/ajcn/78.3.664S>
- Richter, C. K., Skulas-Ray, A. C., Champagne, C. M., & Kris-Etherton, P. M. (2015). Plant protein and animal proteins: do they differentially affect cardiovascular disease risk? *Advances in Nutrition*, 6(6), 712–728. <https://doi.org/10.3945/an.115.009654>
- Rivera-Jiménez, J., Berraquero-García, C., Pérez-Gálvez, R., García-Moreno, P. J., Espejo-Carpio, F. J., Guadix, A., & Guadix, E. M. (2022). Peptides and protein hydrolysates exhibiting anti-inflammatory activity: Sources, structural features and modulation mechanisms. *Food & Function*, 13, 12510–12540. <https://doi.org/10.1039/D2FO02223K>
- Ruckmangathan, S., Ganapathyswamy, H., Sundararajan, A., Thiyagamoorthy, U., Green, R., & Subramani, T. (2022). Physico-chemical, structural, and functional properties of protein concentrate from selected pulses: A comparative study. *Journal of Food Processing and Preservation*, 19(2), 203–216. <https://dx.doi.org/10.1111/jfpp.17169>
- Saeed, S. I., Mergani, A. E., Aklilu, E., & Kamaruzzaman, N. F. (2022). Antimicrobial peptides: bringing solution to the rising threats of antimicrobial resistance in livestock. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 851052. <https://dx.doi.org/10.3389/fvets.2022.851052>
- Saetae, D., & Suntornsuk, W. (2011). Toxic compound, anti-nutritional factors and functional properties of protein isolated from detoxified jatropha curcas seed cake. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(1), 66–77. <https://dx.doi.org/10.3390/ijms12010066>
- Saget, S., Costa, M., Santos, C. S., Vasconcelos, M. W., Gibbons, J., Styles, D., & Williams, M. (2021). Substitution of beef with pea protein reduces the environmental footprint of meat buns whilst supporting health and climate stabilisation goals. *Journal of Cleaner Production*, 297, Article 126447. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126447>
- Salazar-Villanea, S., Bruininx, E. M. A. M., Gruppen, H., Carré, P., Quinsac, A., & Van der Poel, A. F. B. (2017). Effects of toasting time on digestive hydrolysis of soluble and insoluble 00-rape seed meal proteins. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(4), 619–630. <https://dx.doi.org/10.1007/s11746-017-2960-8>
- Samaranayaka, A. G., & Li-Chan, E. C. (2011). Food-derived peptidic antioxidants: a review of their production, assessment, and potential applications. *Journal of Functional Foods*, 3, 229–254. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.05.006>
- 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, 6. <https://dx.doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>
- Santos, M. d., Rocha, D. A. V. F. d., Bernardinelli, O. D., Oliveira Júnior, F. D., de Sousa, D. G., Sabadini, E., da Cunha, R. L., Trindade, M. A., & Pollonio, M. A. R. (2022). Understanding the performance of plant protein concentrates as partial meat substitutes in hybrid meat emulsions. *Food*, 11, e3311. <https://dx.doi.org/10.3390/foods11213311>
- Schaafsma, G. (2009). Safety of protein hydrolysates, fractions thereof and bioactive peptides in human nutrition. *European Journal of Clinical Nutrition*, 63(10), 1161–1168. <https://dx.doi.org/10.1038/ejcn.2009.56>
- Serikova, Y., Bousmanne, M., Drugmand, J.-C., Fouassier, M., Jeannin, L., & Schneider, Y.-J., (2015). Synthetic peptide matrices as support for stem cells culture. *BMC Proceedings*, 9, P50. <https://dx.doi.org/10.1186/1753-6561-9-S9-P50>
- Sharma, K., Kaur, R., Kumar, S., Saini, R. K., Sharma, S., Pawde, S. V., & Kumar, V. (2023). Saponins: A concise review on food related aspects, applications and health implications. *Food Chemistry Advances*, 2, 100191. <https://dx.doi.org/10.1016/j.focha.2023.100191>
- Skibaska, A., & Perlikowska, R. (2021). Signal peptides — promising ingredients in cosmetics. *Current Protein and Peptide Science*, 22(10), 716–728. <https://dx.doi.org/10.2174/1389203722666210812121129>
- Smetana, S., Schmitt, E., & Mathys, A. (2019). Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, 144, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.042>
- Smetana, S., Profeta, A., Voigt, R., Kircher, C., & Heinz, V. (2021). Meat substitution in burgers: nutritional scoring, sensorial testing, and life cycle assessment. *Future Foods*, 4, Article 100042. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100042>
- Sogari, G., Bellezza Oddon, S., Gasco, L., van Huis, A., Sprangers, T., & Mancini, S. (2023). Review: Recent advances in insect-based feeds: from animal farming to the acceptance of consumers and stakeholders. *Animal*, 17, Article 100904. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100904>
- Song, M., Fung, T. T., Hu, F. B., Willett, W. C., Longo, V., Chan, A. T., & Giovannucci, E. L. (2016). Animal and plant protein intake and all-cause and cause-specific mortality: results from two prospective US cohort

- studies. *JAMA Internal Medicine*, 176(10), 1453-1463. <https://dx.doi.org/10.1001/jamainternmed.2016.4182>
- Stamer, A. (2015). Insect proteins-a new source for animal feed: The use of insect larvae to recycle food waste in high-quality protein for livestock and aquaculture feeds is held back largely owing to regulatory hurdles. *EMBO reports*, 16(6), 676-680. <https://doi.org/10.15252/embr.201540528>
- Thakur, P., Kumar, K., Ahmed, N., Chauhan, D., Eain Hyder Rizvi, Q. U., Jan, S., Singh, T. P., & Dhaliwal, H. S. (2021). Effect of soaking and germination treatments on nutritional, anti-nutritional, and bioactive properties of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.), quinoa (*Chenopodium quinoa* L.), and buckwheat (*Fagopyrum esculentum* L.). *Current Research in Food Science*, 4, 917-925. <https://dx.doi.org/10.1016/j.crfs.2021.11.019>
- Theurl, M. C., Lauk, C., Kalt, G., Mayer, A., Kaltenegger, K., Morais, T. G., Teixeira, R. F. M., Domingos, T., Winiwarter, W., Karl-Heinz Erb, K.-H., & Haberl, H. (2020). Food systems in a zero-deforestation world: dietary change is more important than intensification for climate targets in 2050. *Science of the Total Environment*, 735, Article 139353. <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139353>
- Thorning, T. K., Bertram, H. C., Bonjour, J. P., de Groot, L., Dupont, D., Feeney, E., Ipsen, R., Lecerf, J. M., Mackie, A., McKinley, M. C., Michalski, M. C., Rémond, D., Risérus, U., Soedamah-Muthu, S. S., Tholstrup, T., Weaver, C., Astrup, A., & Givens, I. (2017). Whole dairy matrix or single nutrients in assessment of health effects: current evidence and knowledge gaps. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 105, 1033-1045. <https://dx.doi.org/10.3945/ajcn.116.151548>
- Thornton, K. J. (2019). Triennial growth symposium: the nutrition of muscle growth: Impacts of nutrition on the proliferation and differentiation of satellite cells in livestock species. *Journal of Animal Science*, 97, 2258-2269. <https://doi.org/10.1093/jas/skz081>
- Timby, N., Domellöf, E., Hernell, B., Lönnerdal, B. & Domellöf, M. (2014). Neurodevelopment, nutrition and growth until 12 mo of age in infants fed a low-energy, low-protein formula supplemented with bovine milk fat globule membranes: A randomized controlled trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, 99, 860-868. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.064295>
- Toldra, F., Reig, M., Aristoy, M. C., & Mora, L. (2018). Generation of bioactive peptides during food processing. *Food Chemistry*, 267, 395-404. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.119>
- Tonheim, S. K., Nordgreen, A., Høgøy, I., Hamre, K., & Rønnestad, I. (2007). In vitro digestibility of water-soluble and water-insoluble protein fractions of some common fish larval feeds and feed ingredients. *Aquaculture*, 262(2-4), 426-435. <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.10.030>
- Tripathi, A. K., & Vishwanatha, J. K. (2022). Role of anti-cancer peptides as immunomodulatory agents: potential and design strategy. *Pharmaceutics*, 14(12), 2686. <https://dx.doi.org/10.3390/pharmaceutics14122686>
- Tyagi, A., Daliri, E. B. M., Ofosu, F. K., Yeon, S. J., & Oh, D. H. (2020). Food-derived opioid peptides in human health: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(22), 8825. <https://dx.doi.org/10.3390/ijms21228825>
- Wang, L., Wang, N., Zhang, W., Cheng, X., Yan, Z., Shao, G., Wang, X., Wang, R., & Fu, C. (2022). Therapeutic peptides: Current applications and future directions. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 7(1), 48. <https://dx.doi.org/10.1038/s41392-022-00904-4>
- Webb, M. J., Pendell, D. L., Harty, A. A., Salverson, R. R., Rotz, C. A., Underwood, K. R., Olson, K. C., & Blair, A. D. (2017). Influence of growth promoting technologies on animal performance, production economics, environmental impacts and carcass characteristics of beef. *Meat and Muscle Biology*, 1, 23-24. <https://dx.doi.org/10.221751/rmc2017022>
- Westhoek, H., Lesschen, J. P., Rood, T., Wagner, S., De Marco, A., Murphy-Bokern, D., Leip, A., van Grinsven, H., Sutton, M. A., & Oenema, O. (2014). Food choices, health and environment: Effects of cutting Europe's meat and dairy intake. *Global Environmental Change*, 26, 196-205. <https://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.02.004>
- Willett, J. Rockström, B. Loken, M. Springmann, T. Lang, S. Vermeulen, et al. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet*, 393, 10170, 447-492. [https://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
- Wood, J. D. (2017). Meat composition and nutritional value. In F. Toldra (Ed.), *Lawrie's meat science* (pp. 635-659). Duxford: Woodhead Publishing Limited.
- Wu, Y.-H. S., & Chen, Y.-C. (2022). Trends and applications of food protein-origin hydrolysates and bioactive peptides. *Journal of Food and Drug Analysis*, 30(2), 172-184. <https://dx.doi.org/10.38212/2224-6614.3408>
- 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://dx.doi.org/10.3390/ijms21228825>
- Zaky, A. A., Simal-Gandara, J., Eun, J. B., Shim, J. H., El-Aty, A. M. A. (2022). Bioactivities, applications, safety, and health benefits of bioactive peptides from food and by-products: A review. *Frontiers in Nutrition*, 8, 815640. <https://dx.doi.org/10.3389/fnut.2021.815640>
- Zhang, Y. M., Ye, D. X., Liu, Y., Zhang, X. Y., Zhou, Y. L., Zhang, L., & Xin-Ling Yang, X. L. (2023). Peptides, new tools for plant protection in eco-agriculture. *Advanced Agrochem*, 2(1), 58-78. <https://dx.doi.org/10.1016/j.aac.2023.01.003>