

<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s173>

Актуальность использования рыбных белковых гидролизатов в технологии пищевых продуктов

А. В. Югай

Российский биотехнологический университет («РОСБИОТЕХ»),
Москва, Россия

Корреспонденция:

Югай Алеитина Витальевна,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, Россия, г. Москва,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: kerchak1979@gmail.com

Конфликт интересов:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 21.07.2023

Поступила после рецензирования: 28.09.2023

Принята: 28.09.2023

Copyright: © 2023 Автор

АННОТАЦИЯ

Введение. Проблема белкового дефицита особенно остро проявляется в последнее время ввиду того, что увеличение численности населения обуславливает увеличение вылова морских биоресурсов. Нерациональный подход в освоении ценного белкового сырья приводит к образованию большого количества отходов, отбросов на фоне невосприимчивости промысловых видов рыб, например, бычков или керчаков. В статье представлены данные об актуальности использования рыбных белковых гидролизатов (РБГ), получаемых из вторичного сырья, современных проблемах в рыбообрабатывающей промышленности, приведена информация о свойствах РБГ, показана возможность их применения в пищевой промышленности. Гидролизаты проявляют различные функциональные свойства, что расширяет горизонты их практического применения, следовательно, частично может реализоваться потребность в комплексной переработке сырья. В статье приведены научные подтверждения о необходимости дальнейших исследований гидролизатов, полученных при воздействии ферментов различного происхождения.

Цель. Провести аналитический обзор современной научной литературы, показать актуальность использования рыбных гидролизатов в технологии пищевой продукции и перспективность исследований в этом направлении.

Материалы и методы. На основании изучения современных отечественных и зарубежных научных данных проведен теоретический, системный и сравнительный анализ существующих разработок в области пищевого использования РБГ. Поиск зарубежных научных трудов проводился в библиографических и реферативных базах Google Scholar, Scopus, Web of Science, ResearchGate, а также среди публикаций издательств Elsevier (Science Direct) и MDPI по ключевым словам.

Результаты и их применение. Научные изыскания в области получения источников незаменимых аминокислот, полноценных белков продолжаются довольно длительное время. В начале 60-х годов прошлого столетия рыбные гидролизаты рассматривались исключительно как добавка к животному корму или сырье для получения рыбного жира. В настоящее время установлено, что рыбные гидролизаты в зависимости от молекулярной массы пептидов могут проявлять различные функциональные свойства, положительно влиять на лечение диабета, уменьшать уровень стресса, улучшать вкус готового продукта, использоваться в качестве эмульгаторов и пенообразователей, повышать биологическую и пищевую ценность. Многие закономерности проявления биологических свойств гидролизатов до конца не изучены, поэтому дальнейшие исследования в этом направлении актуальны и перспективны.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

рыбные белковые гидролизаты, коллаген, ферменты, гидролиз, вторичное сырье, функциональные свойства



Для цитирования: Югай, А. В. (2023). Актуальность использования рыбных белковых гидролизатов в технологии пищевых продуктов. *Health, Food & Biotechnology*, 5(2), 51-65. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s173>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s173>

Fish Protein Hydrolysates: Relevance of Their Use in Food Technology

Alevtina V. Yugay

Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

Correspondence:

Alevtina V. Yugay

Russian Biotechnological University,
11, Volokolamskoe highway, Moscow,
125080, Russia
E-mail: kerchak1979@gmail.com

Declaration of competing interest:

none declared.

Received: 21.07.2023

Received in revised form: 28.09.2023

Accepted: 28.09.2023

Copyright: © 2023 The Author

ABSTRACT

Introduction. The problem of protein deficiency has become especially acute in recent years due to the fact that the increase in population causes an increase in the catch of marine biological resources. An irrational approach to the development of valuable protein raw materials leads to the formation of a large amount of waste and waste against the background of the lack of demand for non-commercial fish species, for example, gobies or sculpins. The article presents data on the relevance of the use of fish protein hydrolysates (FPH) obtained from secondary raw materials, current problems in the fish processing industry, provides information on the properties of FPH, and shows the possibility of their use in the food industry. Hydrolysates exhibit various functional properties, which expands the horizons of their practical application; therefore, the need for complex processing of raw materials can be partially realized. The article provides scientific evidence of the need for further research on hydrolysates obtained under the influence of enzymes of various origins.

Purpose. To analyze modern scientific literature, to show the relevance of the use of fish hydrolysates in food technology and the prospects of research in this direction.

Materials and Methods. Based on the study of modern domestic and foreign scientific data, a theoretical, systematic and comparative analysis of existing developments in the field of food use of FPH was carried out. The search for foreign scientific papers was carried out in bibliographic, abstract and citation databases Google Scholar, Scopus, ResearchGate, as well as in the bases of Elsevier (Science Direct) and MDPI publishing houses using keywords.

Results. Scientific research in the field of obtaining sources of essential amino acids and complete proteins has been going on for quite a long time. In the early 60s of the last century, fish hydrolysates were considered exclusively as an additive to animal feed or raw materials for the production of fish oil. It has now been established that fish hydrolysates, depending on the molecular weight of the peptides, can exhibit various functional properties, have a positive effect on the treatment of diabetes, reduce stress levels, improve the taste of the finished product, be used as emulsifiers and foaming agents, and increase biological and nutritional value. Many patterns of manifestation of the biological properties of hydrolysates have not been fully studied, so further research in this direction is relevant and promising.

KEYWORDS

fish protein hydrolysates, collagen, enzymes, hydrolysis, secondary raw materials, functional properties



To cite: Yugay, A. V. (2023). Fish Protein Hydrolysates: Relevance of Their Use in Food Technology. *Health, Food & Biotechnology*, 5(2), 51-65. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s173>

ВВЕДЕНИЕ

Биологическая ценность продукта определяется наличием в нем всех незаменимых аминокислот, потому что для физиологических нужд расходуется белок, который поступает с пищей (Freeman et al., 1983). К 2050 году население мира может достичь порядка 9,7 млрд человек, что напрямую связано с увеличением потребности в белках в рационе человека (Hadidi et al., 2023).

Ценным источником белка считаются продукты животного происхождения, в том числе и гидробионты (Ahuja et al., 2020). Несмотря на то, что потребление рыбы по сравнению с шестидесятью годами прошлого столетия увеличилось более чем в два раза и опережает выработку продукции из наземных животных (Tacon et al., 2017; Wenning, 2020), дефицита белка в рационе человека не стало меньше, более того он приобрел серьезный характер^{1, 2, 3}.

Сложившаяся ситуация может быть обусловлена следующими причинами: глобализация и изменение пищевых привычек населения, преобладание липидов и углеводов, небольшой ассортимент качественной продукции по доступным ценам и высокой биологической ценностью, нехватка ресурсов для производства легкоусвояемой белковой пищи, нерациональное использование гидробионтов, и малоэффективные способы их переработки, потеря большого количества белка в виде недоиспользуемых видов рыб, рыбных отходов и вторичного сырья и т.д. Иными словами, обеспечение населения полноценными белками достаточно затруднительно без комплексной переработки гидробионтов и, как следствие, безотходного производства.

Одним из возможных путей решения этой проблемы можно считать производство рыбных белковых гидролизатов, получаемых из вторичного сырья и отходов от разделки рыб.

В связи с изложенным целью работы является аналитический обзор научной литературы в области ферментного гидролиза, его использования при производстве рыбных гидролизатов и их применение в пищевой промышленности. Полученные данные позволят сформировать общее представление о проблемах рыбной отрасли и перспективах ее развития с точки зрения рациональной переработки. Для достижения поставленной

цели необходимо было провести анализ современных научных достижений как отечественных, так и зарубежных ученых, показать преимущества и недостатки существующих разработок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На основании изучения современных отечественных и зарубежных научных данных проведен теоретический, системный и сравнительный анализ существующих разработок в области пищевого использования РБГ. Поиск зарубежных научных трудов проводился в библиографических и реферативных базах Google Scholar, Scopus, Web of Science, ResearchGate, а также среди публикаций издательств Elsevier (Science Direct) и MDPI по ключевым словам: «рыбные белковые гидролизаты», «коллаген», «ферменты», «гидролиз», «вторичное сырье», «функциональные свойства». Для анализа был отобран 71 источник.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Предпосылки для разработки технологии рыбных белковых гидролизатов

В рыбной промышленности на долю традиционной продукции (охлажденная, замороженная, копченая и т.д.) приходится 80 % от всего производимого ассортимента (Yan et al., 2015; Клещевский и др. 2017). В процессе переработки образуется много твердых отходов и сточных вод, которые загрязняют окружающую среду органикой, содержащей значительные количества нутриентов. В то же время в современном мире ученые показывают необходимость комплексной переработки гидробионтов по причине того, что огромное количество отходов и некондиционного сырья выбрасывается за борт.

Так, авторами (Hordur et al., 2000) показано, что рыбная промышленность существенно недоиспользует ресурсы, образующиеся в результате производства основной продукции. По данным FAO общий вылов гидробионтов в 2014 в мировом масштабе году составил более 160 млн тонн в отходы попало более 14 млн тонн. По подсчетам, если всю рыбу направить на переработку, то дополнительно появится еще 36 млн тонн вторичного сырья, из которого можно получить пищевые продукты⁴.

¹ ООН Питание. (2021, Май). *Роль пищевой продукции из водных биоресурсов в формировании устойчивого и здорового рациона питания* https://www.unnnutrition.org/wp-content/uploads/Aquatic-foods-and-SHD-Paper_RUok.pdf.

² Food and Agriculture Organization. (2020, May). *The State of World Fisheries and Aquaculture. Sustainability in action. Rome.* <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

³ Food and Agriculture Organization. (2022, May). *The State of World Fisheries and Aquaculture. Towards Blue Transformation. Rome, FAO.* <https://doi.org/10.4060/cc0461en>

⁴ Food and Agriculture Organization. (2016, May). *The State of World Fisheries and Aquaculture. Contributing to food security and nutrition for all. Rome.* pp. 200. <https://www.fao.org/3/i5555e/i5555e.pdf>

По данным Российской газеты в июне 2020 года в Северном бассейне совокупный вылов составил 234,6 тыс. тонн, примерно 75 тыс. тонн было выброшено за борт⁵. По данным (Андрянова, 2011; Соколов, 2019) из пяти миллионов тонн добываемых в России водных биоресурсов более полутора тонн рыбы не используется, оставшееся сырье образует порядка 35 % отходов. Если рыба идет на производство филе, то процент отходов может увеличиться до 60 %, доходя на некоторых производствах до 90 %⁶.

Значительная часть рыбных отходов выбрасывается, часть направляется на производство кормовой муки, удобрения или рыбного жира. Производство такой продукции малорентабельно, следовательно, рыбная промышленность существенно недополучает прибыль, а организм – ценные нутриенты (Mo et al., 2018; Stevens et al, 2018).

Один из способов удовлетворить дефицит белка – это развитие новых технологий в области функциональных ингредиентов, создание условий, при которых экстракция и получение БАД, пищевой продукции будут экономически целесообразнее, чем сжигание, закапывание в землю или выбрасывание за борт. Стоит учесть момент, что при развитой рыночной системе разнообразие рациона из гидробионтов – необходимое условие. Расширение ассортимента продукции из непромысловых гидробионтов (маломерные, непромысловые виды рыб, моллюски, ракообразные) позволит снизить пресс на традиционные виды рыб вследствие сокращения объемов их вылова⁷.

Нетрадиционные виды рыб или непромысловые – тот потенциал, который не принимают во внимание, хотя они содержат полноценные белки, ненасыщенные жирные кислоты, ценные минеральные вещества. Именно это сырье может стать частичной заменой промысловым видам рыб или мясному сырью. Одним из таких видов рыб могут считаться скорпенообразные сем. Cottidae (бычки или керчаки).

Применительно к рыбным объектам должно применяться эффективное использование: усовершенствование технологий безотходной переработки биологических ресурсов, увеличение сроков годности за счет барьерных технологий, разработка технологий полуфабрикатов высокой степени готовности, гидролизатов и концентратов из вторичного сырья⁸.

Согласно проекту Федерального закона № 74417–8 законом вводятся понятия вторичные ресурсы и вторичное сырье. В привычном понимании вторичные ресурсы – это то, что образуется в процессе производства основной группы товаров, то есть отходы. Вторичное сырье – это продукция, которая может быть получена из отходов без предварительной обработки в ходе технологического процесса⁹. Для гидробионтов – рыб, в частности, это кожа, головы, кости, хребты, ЖКТ и т.д.¹⁰ (Idowu et al., 2019).

Цитируя слова академика И.П. Бардина – «отходы одних технологических переделов или производств должны служить сырьем для других», можно сказать, что в этом и кроется проблема. То есть недоиспользуемое вторичное сырье может быть перенаправлено на производство пищевой продукции, при этом повысится эффективность переработки биологических ресурсов, а сам подход будет выгоднее и экологичнее, чем получение только кормовой муки (Рисунок 1).

В настоящее время рафинированный белок достаточно востребован во всем мире: в 2019 году товарооборот рынка белковых концентратов вырос более, чем на 40 %, импортировано в Россию на 30 % больше по сравнению с годом ранее¹¹.

Глобальное увеличение спроса на продукцию из водных биоресурсов животного происхождения влечет за собой серьезные проблемы: значительное количество белковых отходов от переработки рыбы может стать угрозой экологической безопасности и экономики страны, поэтому вовлечение в технологический процесс таких

⁵ Михайлов, А. (2020, Июнь 23). Почему треть добытой рыбаками рыбы выбрасывается в море. <https://rg.ru/2020/06/23/reg-szfo/pochemu-tret-dobytoj-rybakami-ryby-vybrasyvaetsia-v-more.html>

⁶ там же.

⁷ Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных наций. (2018, Май). Состояние мирового рыболовства и аквакультуры. Достижение целей устойчивого развития. Рим <https://www.fao.org/3/i9540ru/i9540ru.pdf>

⁸ Richardsen, R., Nystøyl, R., & Marthinussen, A. (2015). *Analyse marint resteraostoff*. [Analysis of marine residues. Report. Analysis of access and use for marine residual substances in Norway. SINTEF Fisheries and Seabrewing, Trondheim]. Rapport. Analyse av tilgang og anvendelse for marint resteraostoff I Norge. SINTEF Fiskeri og Havbryk, Trondheim.

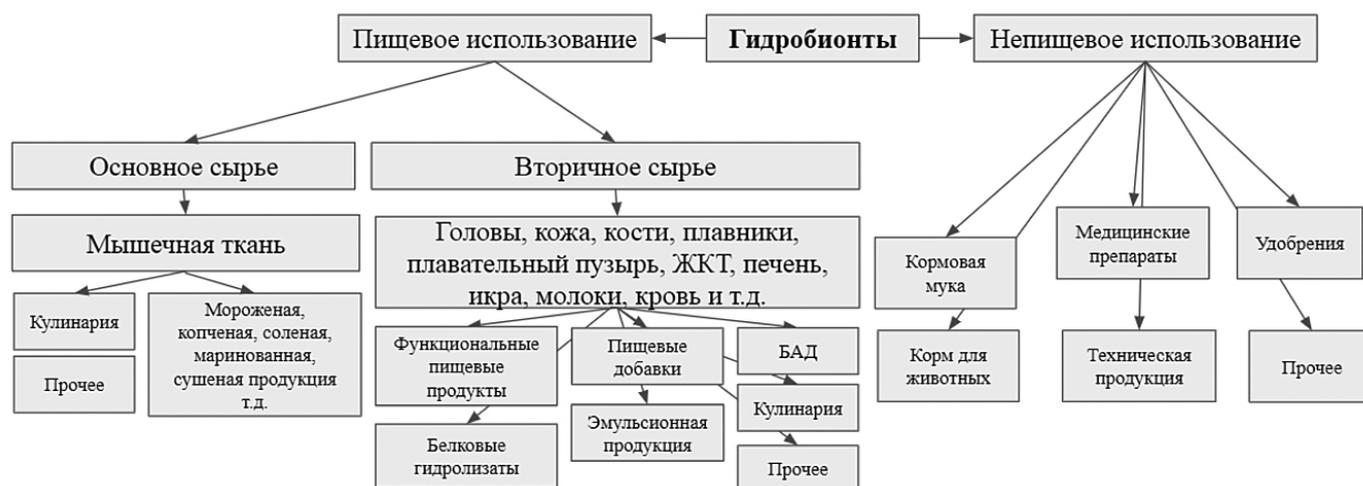
⁹ Пресс-служба Минприроды России. (2023, Март 3). С 1 марта 2023 года вступил в силу федеральный закон, который разъяснил понятия «вторичные ресурсы» и «вторичное сырье» на правовом уровне. <https://mpr.orb.ru/presscenter/news/85022/>

¹⁰ Aylangan, A., & Öztan, A. (2008). Protein hydrolysate production using by-products of animal food industry, Turkey 10. *Food Congress*; 21–23 May Erzurum

¹¹ Михайлов, А. (2020, Июнь 23). Почему треть добытой рыбаками рыбы выбрасывается в море. <https://rg.ru/2020/06/23/reg-szfo/pochemu-tret-dobytoj-rybakami-ryby-vybrasyvaetsia-v-more.html>

Рисунок 1

Комплексное использование гидробионтов



ресурсов позволит по-новому взглянуть на проблему дефицита белка в рационе человека, более рационально их использовать, в том числе для производства рыбных гидролизатов.

Ферментный гидролиз

Известно, что рыбные субпродукты или вторичное сырье богаты белками, в том числе, коллагеном, причем, значительное их количество содержится в коже, плавниках, чешуе рыб. Возрастающая популярность коллагена из гидробионтов обусловлена высокой идентичностью с человеческим, а также тем, что рыбный желатин, получаемый из него, более приемлем по религиозным убеждениям и безопаснее (Derkach et al., 2020; Ahmed et al., 2020; Usman et al., 2022; Kostyleva et al., 2023).

Ферменты – это биологические катализаторы, получаемые из животного и растительного сырья (пепсин, коллагеназа, папаин, фицин и т.д.) (Wijesekara et al., 2011; Salampessy et al., 2017; Ha et al., 2017; Chel-Guerrero et al., 2020; Ryu et al., 2021). Спектр их использования расширяется с каждым годом, так как они достаточно востребованы в различных отраслях, в том числе и в пищевой промышленности (Vazhenov et al., 2023):

- созревание рыбы при посоле;
- обесшкуривание сырья (отделение мяса от панцирей ракообразных, обесшкуривание кальмара);
- тендеризация мясного сырья;
- ферментация растительного сырья;
- ферментированная пищевая продукция (рыбные соусы);
- рыбные гидролизаты (пептиды и аминокислоты);
- кормовая продукция;
- БАД.

Существуют следующие способы гидролиза: химические (щелочная и кислотная обработка) (Raghavan et al., 2008; Thawornchinsombut et al., 2007) и ферментативные. При химическом гидролизе применяют растворы солей (хлориды и карбонаты натрия), щелочь, минеральные кислоты, органические растворители. Вещества, получаемые после химической обработки, представлены белковыми (белковые концентраты и изоляты), минеральными (преципитаты) и липидной фракциями. Продукты гидролиза, содержащие жидкую белковую фракцию, условно делят на концентраты, гидролизаты и изоляты. Если степень гидролиза белка в субстрате превышает 40 %, то это гидролизат, если в ходе процесса выделяют белковую фракцию – концентраты, обезжиренные белковые концентраты называют изолятами (концентрат миофибриллярных белков). Существенным недостатком этого способа является потеря способности белков проявлять свойства эмульгаторов и пенообразователей, так как происходит разрушение их структуры (Vucchi et al., 2000).

Гидролиз, проводимый с помощью органических растворителей, позволяет получать продукт с высокой пищевой ценностью и хорошими органолептическими показателями (отсутствует специфический вкус и запах рыбы). К недостаткам этого способа переработки, как и в предыдущем случае, является потеря функциональных свойств белка. Как следствие, белки, полученные таким способом, теряют эмульгирующую и пенообразующую способности (Kristinsson et al., 2000; Петров и др., 2012; Siddik et al., 2020; Gao et al., 2021).

Ферментативный гидролиз является одним из методов в пищевой биотехнологии, при котором не разрушаются свободные аминокислоты, а сам процесс можно контролировать и направлять (Nemati et al., 2012). Для этого

используют ферменты животного, растительного, микробиологического происхождения. Ферменты внутренних или мышечной ткани рыб можно применять в нативном виде (без выделения и очищения), в этом случае гидролиз безопасен для окружающей среды, в ходе процесса можно регулировать скорость протеолиза, как следствие — молекулярную массу пептидов (Zhang et al., 2015; Zamora-Sillero et al., 2018). В ходе гидролиза накапливаются фрагменты белка с меньшей молекулярной массой, аминокислоты, которые в совокупности облегчают процесс усваивания организмом. По мнению ученых (Kim et al., 2010) такой метод более предпочтителен в пищевой промышленности, потому что в продукте после гидролиза отсутствуют остаточные количества органических растворителей или химических реагентов. Основные технологические операции при ферментном гидролизе: измельчение сырья, приготовление раствора фермента при заданном pH, перемешивание, термостатирование, инактивация.

В работе показан способ обработки голов, костей и кожи керчаков их желудочными ферментами (максимальная активность наблюдается при pH 5–6): субпродукты измельчали, добавляли измельченную желудочную ткань и термостатировали 4–5 часов при температуре 30 °С, затем смесь нагревали до 100 °С в течении 10–15 мин для инактивации ферментов и фильтровали в горячем виде (Югай, 2009). Подобная обработка сырья позволяет получать белоксодержащий продукт, который можно направлять на производство эмульсионной продукции.

Установлено, что сочетание термического и ферментативного гидролиза также дает положительный эффект (Хелинг и др., 2016): сырье от разделки сардины измельчали, гомогенизировали, вносили ферментный препарат микробиологического происхождения Alcalase 2,5L, термостатировали при температуре 50 °С в течение 6 ч при гидромодуле 1:1. Затем смесь подвергали термической обработке при температуре 130 °С в течение часа и после охлаждения фильтровали. Комбинированный способ обеспечивает высокий выход белковой фракции из отходов от разделки сардины — до 90 %.

Учеными ВНИРО проводились исследования по ферментной обработке кожи рыб водным раствором коллагеназы при температуре 35 °С в течение 2,5 ч. Установлено, что такие параметры протеолиза рыбного сырья позволяют получить пептиды с молекулярной массой до 25 кДа, с выраженными функционально-технологическими свойствами (Бредихина и др., 2019).

Белковые гидролизаты — результат деятельности ферментов в субстрате. В процессе гидролиза происходит накопление пептидов разного размера, аминокислот. По этой причине гидролизаты могут найти применение как заменители молока, белковые добавки, стабилизаторы

напитков, улучшители вкуса в кондитерских изделиях (Skanderby et al., 1994).

Применение рыбных белковых гидролизатов в пищевой промышленности

Учеными доказано, что исследование процессов гидролиза рыбных белков имеет значение для перспективных технологий и получения биологически активных добавок (Sen et al., 1962; Wangkheirakpam et al., 2019; Heffernan et al., 2021).

Известно, что по сравнению с наземными животными в рыбе меньше соединительной ткани, так как нагрузка на мышечную ткань меньше, поэтому она легче подвергается ферментативному гидролизу (Espe et al., 2004; Suleria et al., 2016; Listrat et al., 2016).

Ученые (Phadke et al., 2021) утверждают, что препараты, содержащие фрагменты белков — низкомолекулярные пептиды, эффективны в лечении многих заболеваний. Отмечено, что природные источники пептидов более перспективное сырье, чем синтетические препараты. Рыбные гидролизаты, содержащие низкомолекулярные пептиды, могут благотворно воздействовать на физиологические функции человека, участвовать в профилактике и лечении заболеваний неинфекционного генеза. Объясняется это тем, что активные пептиды (Hartmann et al., 2007; Belhaj et al., 2013) проявляют антиоксидантные, антимикробные, противоопухолевые, противодиабетические, гепатопротекторные и кардиопротекторные свойства, что подтверждается многочисленными научными данными (Akilioğlu, 2010; Kim et al., 2012; Ruthu et al., 2014; Halim et al., 2018; Messaoudi et al., 2018).

Установлено, что гидролизаты трески могут проявлять антигипертензивные свойства, если молекулярная масса пептидов составляет от 10 до 30 кДа, антиоксидантная активность обнаружена в гидролизатах горбыля (молекулярная масса пептидов до 10 кДа) (Jeon et al., 1999; Chi et al., 2015).

Отмечено, что гидролизаты проявляют хорошие эмульгирующие, пенообразующие свойства, положительно влияя на реологию и структуру пищевых систем (Souissi et al., 2007). Меняя условия гидролиза: pH, продолжительность, гидромодуль, температуру процесса, можно получить широкий спектр систем с разными характеристиками. Учеными установлено, что рыбный гидролизат можно использовать вместо белковых гидролизатов молочного и растительного происхождения (Binsi et al., 2016). Гидролизат, полученный из мяса скиллы (ракообразные) при добавлении в панировочный кляр эффективно снижает абсорбцию масла в продукте при обжаривании. Ранее было установлено (Югай и др.,

2014), что обработка ферментами вторичного сырья, полученного от разделки бычков сем. Cottidae позволяет получать однородные пищевые эмульсии с высокой пищевой ценностью. К несомненному преимуществу такой обработки относится возможность проведения гидролиза в естественном диапазоне pH равном 4–5. При таком уровне pH наблюдается максимальная активность слабобазических протеиназ ферментов желудка бычков.

Исследования, направленные на изучение гидролизатов из пестрого толстолобика, показали, что после ферментирования фицином, концентрацией 3 % при pH 6 и температуре 40 °C получались стабильные пищевые эмульсии с хорошей водо- и маслоудерживающей способностью (Alahmad et al., 2022). Еще одна технология базируется на получении сухого препарата из смеси яичного белка, к-каррагинана и гидролизата рыбного белка на основе вторичного сырья. Вторичное сырье от разделки рыбы (кожа, кости) измельчали и ферментировали алкалазой. Смесь к-каррагинана и яичного белка растворяли в теплой воде при гидромодуле 1:10, добавляли глютаминат натрия и гомогенизировали 5 мин, 14 000 об/мин, при температуре 20–22 °C. Для предотвращения окислительных процессов вносили α-токоферол. Полученную эмульсию сразу после приготовления распыляли в мини-распылительной сушилке. После высушивания смесь доводили до порошкообразного состояния для дальнейшего использования. Рыбный фарш измельчали с дробленым льдом и вносили порошок на основе яичного белка и к-каррагинана в количестве 8 %, смесь гомогенизировали в течение 30 с. Полученное тесто порционировали на кусочки массой 80 г и высушивали до кулинарной готовности. Далее кусочки обжаривали с двух сторон на растительном масле, получали продукт с положительными органолептическими свойствами и длительным сроком хранения (Gómez-Guillén et al., 2023).

Суанью (Suanyu) — популярное блюдо в Китае, получаемое ферментацией рыбы в течение длительного времени. После созревания оно приобретает уникальный вкус и аромат. Сырьем для производства суанью является белый амур и карп. Технология предусматривает добавление в рыбу кукурузного крахмала и созревание под действием собственных ферментов рыб. Созревший продукт отличают высокие органолептические показатели и длительный срок хранения. В последние годы ферментация смешанными культурами (ферменты рыб, молочнокислые бактерии, молочнокислые закваски) широко используется в различных областях пищевой промышленности Китая для получения деликатесной продукции из рыбного филе и кишок. Исследования показали, что смесь ферментов и микроорганизмов повышает их устойчивость по отношению к патогенной микрофлоре, ингибируя рост последней (Zeng et al., 2013).

Исследования показали, что использование рыбных гидролизатов из голов лососевых в качестве добавки к пище способствует уменьшению уровня стресса. Было установлено, что гидролизаты проявляют анксиолитическую активность, то есть снижают тревожное состояние старых мышей и восстанавливают уровень кортикостерона в плазме (Bernet et al., 2000; Freret et al., 2021; Le Faouder et al., 2022).

Рыбные гидролизаты могут быть использованы в качестве пищевой добавки к продуктам питания в виде порошка. Для этого гидролизаты пастеризуют, концентрируют и высушивают (Espinoza et al., 2022). Порошки, полученные после ферментного гидролиза, растворяются в воде лучше, чем после кислотного или щелочного, что упрощает их применение (Hassan et al., 2018).

Авторами (Nesse et al., 2014; Fernandes, 2016) проведено исследование возможности использования гидролизата на основе атлантического лосося в качестве пищевой добавки для детей, страдающих дефицитом белка в питании. В эксперименте участвовали дети в возрасте от шести до восьми лет, которые получали препарат на протяжении четырех месяцев. В составе препарата присутствуют ди- и трипептиды с молекулярной массой до 10 кДа, витамины и минеральные вещества. Дозировка в количестве 6 г/день положительно сказалась на изменении индекса массы тела у детей, при этом не вызвала побочных эффектов, поэтому добавка была рекомендована в качестве источника белка и незаменимых аминокислот в рационе детей.

Ирландские ученые (Harnedy-Rothwell et al., 2021) показали, что пептиды и аминокислоты, содержащиеся в рыбных гидролизатах путассу, проявляли антидиабетическую активность *in vitro* и контролировали аппетит *in vivo*, что позволит в будущем получать продукты на их основе.

Расулов Э. разработал технологию получения рыборастворительных тефтелей, котлет с добавлением белкового гидролизата, полученного из воблы и уклей. Технология предусматривает предварительный гидролиз при участии ферментов внутренностей рыб и последующее добавление гидролизата в рыборастворительный фарш (Расулов, 2006). При этом улучшается его консистенция, увеличивается выход готовой продукции и улучшаются органолептические показатели.

ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе переработки рыбы по данным (Muhammad et al., 2022) может накапливаться до 75 % отходов, которые, с одной стороны, могут стать угрозой экологической обстановке, а с другой — ценным белковым сырьем. Причем с увеличением объемов промысла рыбы

будут существенно увеличиваться и отходы. Несомненно, что рыбные белковые гидролизаты представляют интерес для многих отраслей промышленности, в том числе и пищевой: как белоксодержащее сырье и источник незаменимых аминокислот. Благодаря протеолитическим ферментам в ходе ферментативного гидролиза накапливаются фрагменты пептидов с разной молекулярной массой, которые и обуславливают функциональные свойства гидролизатов. Актуальность производства рыбных гидролизатов неоспорима: налаживание экспорта и сотрудничество с иностранными бизнес-партнерами¹², отработка технологии на производстве совместно с учеными¹³. В то же время имеются сложности, связанные с адаптацией гидролизатов в пищевом направлении. В частности, наличие рыбного запаха (Yarnprakdee et al., 2012) и небольшой горечи может считаться недостатком для их использования в качестве пищевых добавок. Однако эксперименты показали, что (Зарубин и др., 2016) использование лимонной кислоты значительно нивелирует рыбный запах в гидролизатах, не влияя на их качественные показатели, и что немало важно — не оказывает негативного влияния на желудочно-кишечный тракт. Рыбные гидролизаты открывают широкие перспективы для их внедрения пищевую промышленность, значительно расширяя не только ассортимент, сколько функциональность готовой продукции, что можно считать большим шагом в вопросе бережного освоения морских ресурсов.

Многочисленные научные данные подтверждают, что рыбные белковые гидролизаты — перспективное направление в науке, требующее дальнейшего изучения, нуждающееся в новых доказанных фактах о безопасности и пользе продуктов на их основе.

ЛИТЕРАТУРА

Андриянова, Е. В. (2011). Логистизация работы с отходами гидробионтов как фактор ресурсосбережения на предприятиях рыбной промышленности. *РИСК*, (1), 111–118.

Бредихина, О. В., & Зарубин, Н. Ю. (2019). Разработка комплексной технологии переработки органических отходов рыбоперерабатывающих предприятий на коллагенсодержащие гидролизаты пищевого назначения. *Труды ВНИРО. Технология переработки водных биоресурсов*, 176, 109–121.

ВЫВОДЫ

Популярность гидробионтов в настоящее время обусловлена многими факторами, в том числе, высокой пищевой ценностью продуктов, производимых из них, отличными гастрономическими качествами, широким диапазоном возможностей для получения лекарств, БАД, пищевых добавок, технической продукции и т.д. Наряду с большим спросом имеются серьезные проблемы с существенным недоиспользованием как промысловых, так и непромысловых видов рыб, значительным количеством вторичного сырья, которое, как правило, утилизируется или идет на производство кормовой муки. Комплексное использование гидробионтов — актуальная задача в современном мире. На основании обзора современных научных данных установлено, что одним из путей решения поставленной задачи является производство рыбных гидролизатов.

Рыбные гидролизаты уникальны по своему химическому составу, биологической ценности. Варьирование режимов ферментативного гидролиза позволяет получать пептиды и аминокислоты, обладающие функциональными свойствами: пептиды небольшой молекулярной массы (до 10 кДа) проявляют антигипертензивные, гепатопротекторные, антиокислительные свойства, с увеличением молекулярной массы проявляются эмульгирующие и пенообразующие свойства, добавление их к рациону позволит обогатить его эссенциальными аминокислотами, улучшить органолептические свойства, расширить ассортимент, увеличить спрос на новые виды продукции. Перспективность использования рыбных гидролизатов не вызывает сомнений, что также подтверждается многочисленными исследованиями в пищевой, биологической, медицинской областях науки.

Зарубин, Н. Ю., Литвинова, Е. В., Фролова, Ю. В., & Бредихина О. В. (2016). Новые данные об использовании коллагеновых гидролизатов в технологии рыбных полуфабрикатов. *Пищевая промышленность*, (12), 21–24.

Клещевский, О. Н., Николаева, М. А., & Рязанова, О. А. (2017). Современное состояние и перспективы развития рынка рыбы и рыбных товаров в России. *Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки*, (3), 34–42.

¹² Североморское межрегиональное управление Россельхознадзора. (2023, Август 9). Рыбный гидролизат экспортируется в страны ЕС с территории Мурманской области. <https://www.fishnet.ru/news/rynok/rybnyy-gidrolizat-eksportiruyetsya-v-strany-es-s-territorii-murmanskoy-oblasti/>

¹³ Коммерсант. Рыболовство. (2021, Июль 7). «Агама» чистит треску. <https://www.kommersant.ru/doc/4909545>

- Расулов, Э. М. (2006). Разработка технологии продуктов функционального питания на основе использования белковых рыбных гидролизатов [Кандидатская диссертация, Кубанский государственный технологический университет]. Краснодар, Россия.
- Соколов, А. В. (2019). Современное состояние и тенденции развития рыбохозяйственного комплекса России. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*, (4), 36–48.
- Хелинг, А., Гримм, Т., Волков, В. В., & Мезенова, Н. Ю. (2016). Исследования различных способов гидролитического процесса вторичного рыбного сырья консервного производства. *Вестник Международной академии холода*, (1), 3–8. <https://doi.org/10.21047/1606-4313-2016-16-1-3-8>
- Югай, А. В. (2009). Обоснование пищевого использования бычков семейства Cottidae. *Известия ТИНРО*, 156, 341–347.
- Югай, А. В., & Ковалева, Е. А. (2014). Современные технологии в комплексной переработке гидробионтов. *Фундаментальные исследования*, (11–8), 1713–1716.
- Ahmed, M., Verma, A. K., & Patel, R. (2020). Collagen extraction and recent biological activities of collagen peptides derived from sea-food waste: a review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 18, 100315. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100315>
- Ahuja, I., Dauksas, E., Remme, J. F., Richardsen, R., & Løes, A. K. (2020). Fish and fish waste-based fertilizers in organic farming – With status in Norway: A review. *Waste management (New York, N.Y.)*, 115, 95–112. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.025>
- Akilloğlu, H. G., & Yalçın, E. (2010) Tahıl protein hidrolizatlarının antioksidan aktiviteleri [Antioxidant activities of cereal protein hydrolysates], *Gıda*, 35(3), 227–233.
- Alahmad, K., Xia, W., Jiang, Q., & Xu, Y. (2022). Effect of the degree of hydrolysis on nutritional, functional, and morphological characteristics of protein hydrolysate produced from bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) using ficin enzyme. *Foods*, 11, 1320. <https://doi.org/10.3390/foods11091320>
- Bazhenov, E. A., Baydalinova L. S., & Grimm T. (2023). Technology of proteolytic enzymes production from the digestive organs of fish of coastal fisheries in the North-Western region. *Journal of International Academy of Refrigeration*, (1), 66–77. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2023-22-1-66-77>
- Belhaj, N., Desor, F., Gleizes, C., Denis, F.M., Arab-Tehrany, E., Soulimani, R., & Linder, M. (2013). Anxiolytic-like effect of a salmon phospholipopeptidic complex composed of polyunsaturated fatty acids and bioactive peptides. *Marine Drugs*, (11), 4294–4317. <https://doi.org/10.3390/md11114294>
- Bernet, F., Montel, V., Noël, B., & Dupouy, J. P. (2000). Diazepam-like effects of a fish protein hydrolysate (Gabolysat PC60) on stress responsiveness of the rat pituitary-adrenal system and sympathoadrenal activity. *Psychopharmacology*, 149, 34–40. <https://doi.org/10.1007/s002139900338>
- Binsi, P. K., Viji P., Satyen K. P., Suseela M., Zynudheen, A. A., & Ravishankar, C. N. (2016). Characterization of hydrolysates prepared from engraved catfish (*Nemapteryx caelata*) roe by serial hydrolysis. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 158–70. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1998-6>
- Bucci, L., & Unlu, L. (2000). Proteins and amino acids in exercise and sport. In J. Driskell & I. Wolinsky (eds.) *Energy-yielding macronutrients and energy metabolism in sport nutrition*. CRC-Press.
- Chel-Guerrero, L., Estrella-Millán, Y., Betancur-Ancona, D., Aranda-González, I., Castellanos-Ruelas, A. & Gallegos-Tintoré, S. (2020). Antioxidant, chelating, and angiotensin-converting enzyme inhibitory activities of peptide fractions from red lionfish (*Pterois volitans* L.) muscle protein hydrolysates. *International Food Research*, 27, 224–233. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i1.2060>
- Chi, C., Wang, B., Hu, F., Wang, Y., Zhang, B., & Deng, S. (2015). Purification and identification of three novel antioxidant peptides from protein hydrolysate of bluefin leatherjacket (*Navodon septentrionalis*) skin. *Food Research International*, 73, 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.003>
- Derkach, S. R., Voron'ko, N. G., Kuchina, Y. A., & Kolotova, D. S. (2020). Modified fish gelatin as an alternative to mammalian gelatin in modern food technologies. *Polymers (Basel)*, 12(12), 3051. <https://doi.org/10.3390/polym12123051>
- Espe, M., Ruohonen, K., Bjornevik, M., Froyland, L., Nortvedt, R., & Kiessling, A. (2004). Interactions between ice storage time, collagen composition, gaping and textural properties in fanned salmon muscle harvested at different times of the year. *Aquaculture*, 240, 489–504. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.04.023>
- Espinoza, D., & Castillo, A. (2022). Avances tecnológicos en la obtención, identificación y producción de hidrolizados proteicos de residuos de pescado por acción enzimática: propiedades bioactivas y tecnofuncionales, aplicación en alimentos, mercado y regulación [Technological advances in the obtaining, identification and production of protein hydrolysates from fish waste by enzymatic action: bioactive and technofunctional properties, application in food, market and regulation]. *Scientia Agropecuaria*, 13(2), 135–148. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.012>
- Fernandes, P. (2016). Enzymes in fish and seafood processing. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, (4), 59. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2016.00059>. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2016.00059>
- Freeman, H. J., Sleisinger, M. H., & Kim, Y. S. (1983). Human protein digestion and absorption: normal

- mechanisms and protein energy malnutrition. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 12, 357–378. [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(79\)90645-4](https://doi.org/10.1016/0002-9343(79)90645-4)
- Freret, T., Largilliere, S., Nee, G., Coolzaet, M., Corvaisier, S., & Boulouard, M. (2021). Fast anxiolytic-like effect observed in the rat conditioned defensive burying test, after a single oral dose of natural protein extract products. *Nutrients*, 13, 2445. <https://doi.org/10.3390/nu13072445>
- Gao, R., Yu, Q., Shen, Y., Chu, Q., & Chen, G., Fen, S., Yang, M., Yuan, L., McClements, D. J., & Sun, Q. (2021). Production, bioactive properties, and potential applications of fish protein hydrolysates: Developments and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 687–699. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.031>
- Gómez-Guillén, M. C., Pérez-García, S., Alemán, A., López-Caballero, M. E., Sotelo, C. G., & Montero, M. P. (2023). Development of a ready-to-eat fish product enriched with fish oil entrapped in a κ -carrageenan egg white fish protein hydrolysate dry powder. *Foods*, 12, 2272. <https://doi.org/10.3390/foods12112272>
- Ha, N. C., Hien, D. M., Thuy, N. T., Nguyen, L. T., & Devkota, L. (2017). Enzymatic hydrolysis of catfish (*Pangasius hypophthalmus*) by-product: kinetic analysis of key process parameters and characteristics of the hydrolysates obtained. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 26, 1070–1082. <https://doi.org/10.1080/10498850.2017.1376027>
- Hadidi, M., Garcia, S. R., Ziogkas, D., Maclements, D. J., & Moreno, A. (2023). Cereal bran proteins: recent advances in extraction, properties, and applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2226730>
- Halim, N. R. A., Azlan, A., Yusof, H. M., & Sarbon, N. M. (2018). Antioxidant and anticancer activities of enzymatic eel (*monopterus sp*) protein hydrolysate as influenced by different molecular weight. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, (6), 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.06.006>
- Harnedy-Rothwell, P. A., Khatib, N., Sharkey, S., Lafferty, R. A., Gite, S., Whooley, J., O'Harte, F. P. M., & FitzGerald, R. J. (2021). Physicochemical, nutritional and in vitro antidiabetic characterisation of blue whiting (*micromesistius poutassou*) protein Hydrolysates. *Marine. Drugs*, 19, 383. <https://doi.org/10.3390/https://doi.org/10.3390/md19070383>
- Hartmann, R., & Meisel, H. (2007). Food-derived peptides with biological activity: from research to food applications. *Current Opinion in Biotechnology*, 18, 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2007.01.013>
- Hassan, M. A., Deepitha, R. P., Xavier, K. A. M., Gupta, S., Nayak, B. B., & Balange, A. K. (2018). eEvaluation of the properties of spray dried visceral protein hydrolysate from pangasianodon hypophthalmus (sauvage, 1978) extracted by enzymatic and chemical methods. *Waste and Biomass Valorization*, 9, 2547–2558. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0302-1>
- Heffernan, S., Giblin, L., & O'Brien, N. (2021). Assessment of the biological activity of fish muscle protein hydrolysates using in vitro model systems. *Food chemistry*, 359, 129852. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129852>
- Hordur G. Kristinsson & Barbara A. Rasco (2000). Fish protein hydrolysates: production, biochemical, and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1), 43–81. <https://doi.org/10.1080/10408690091189266>
- Idowu, A. T., Benjakul, S., Sinthusamran, S., Sookchoo, P., & Kishimura, H. (2019). Protein hydrolysate from salmon frames: production, characteristics and antioxidative activity. *Journal of Food Biochemistry*, 43(2), e12734. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12734>
- Jeon, Y.-J., Byun, H.-G., & Kim, S.-K. (1999). Improvement of functional properties of cod frame protein hydrolysates using ultrafiltration membranes. *Process Biochemistry*, 35(5), 471–478. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1876-5>
- Kim, S. K, & Wijesekara, I. (2010). Development and biological activities of marine-derived bioactive peptides: A Review. *Journal of Functional Foods*, 2(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2010.01.003>
- Kim, S.-R., & Byun, H.-G. (2012). The novel angiotensin i converting enzyme inhibitory peptide from rainbow trout muscle hydrolysate. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 15, 183–190. <https://doi.org/10.1210/en.2004-0443>
- Kostyleva, E. V., Sereda, A. S., Velikoretskaya, I. A., Kurbatova, E. I., & Tsurikova, N. V. (2023). Proteases for obtaining of food protein hydrolysates from proteinaceous by-products. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*, 92(1), 116–32. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-1-116-132>.
- Kristinsson, H. G., & Rasco, B. A. (2000). Fish protein hydrolysates: production, biochemical and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40, 43–81. <https://doi.org/10.1080/10408690091189266>
- Le Faouder, J., Arnaud, B., Lavigne, R., Lucas, C., Com, E., Bouvret, E., Dinel, A.-L., & Pineau, C. (2022). Fish hydrolysate supplementation prevents stress-induced dysregulation of hippocampal proteins relative to mitochondrial metabolism and the neuronal network in mice. *Foods*, 11, 1591. <https://doi.org/10.3390/foods11111591>.
- Listrat, A., Lebret, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L., Picard, B., & Bugeon, J. (2016). How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. *The Scientific World Journal*, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2016/3182746>
- Mathew, P.T (2014). Fishery waste management problems and prospects. In A.A. Zynudheen, J. Bindu, G. Ninan, C.O. Mohan, R. Venkateswarlu (eds.) *Development of nutraceuticals, health foods & fish feed from fish &*

- shellfish processing discards*. Central Institute of Fisheries Technology.
- Messaoudi, M., Nejdj, A., Bisson, J.-F., Rozan, P., Javelot, H., & Lalonde, R. (2008). Anxiolytic and antidepressant-like effects of garum armoricum®(ga), a blue ling fish protein autolysate in male wistar rats. *Current Topics in Nutraceutical Research*, 6, 115–123.
- Mo, W. Y., Man, Y. B., & Wong, M. H. (2018). Use of food waste, fish waste and food processing waste for China's aquaculture industry: Needs and challenge. *Science of the Total Environment*, 613, 635–643. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.321>
- Muhammad, U., Amna, S., Muhammad, I., Ubaid ur R., Aysha S., & Rana Muhammad, A. (2022) Gelatin extraction from fish waste and potential applications in food sector. *International Journal of Food Science and Technology*, 57, 154–163. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15286>
- Nemati, M., Javadian S.R., Ovissipour M. & Keshavarz, M., (2012). A study on the properties of Alosa (*Alosa caspia*) by-products protein hydrolysates using commercial enzymes. *World Applied Sciences Journal*, 18(7), 950–956.
- Nesse, K. O., Nagalakshmi, A. P., Marimuthu, P., Singh, M., Bhetariya, P. J., Ho, M., & Simon, R. R. (2014). Safety evaluation of fish protein hydrolysate supplementation in malnourished children. *Regulatory Toxicology and Pharmacology: RTP*, 69(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2014.02.009>
- Phadke, G. G., Rathod, N. B., Ozogul, F., Elavarasan, K., Karthikeyan, M., Shin, K. H., & Kim, S. K. (2021). Exploiting of secondary raw materials from fish processing industry as a source of bioactive peptide-rich protein hydrolysates. *Marine. Drugs*, 19(9), 480. <https://doi.org/10.3390/md19090480>
- Raghavan, S., & Kristinsson, H. G. (2008). Antioxidative efficacy of alkali-treated tilapia protein hydrolysates: a comparative study of five enzymes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 1434–1441.
- Ruthu, Murthy, P. S., Rai, A. K., & Bhaskar, N. (2014). Fermentative recovery of lipids and proteins from freshwater fish head waste with reference to antimicrobial and antioxidant properties of protein hydrolysate. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1884–1892. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0730-z>
- Ryu, B., Shin, K.-H., & Kim, S.-K. (2021). Muscle Protein Hydrolysates and Amino Acid Composition in Fish. *Marine. Drugs*, 19, 377. <https://doi.org/10.3390/md19070377>
- Salampessy, J., Reddy, N., Phillips, M., & Kailasapathy, K. (2017). Isolation and characterization of nutraceutically potential ACE-Inhibitory peptides from leatherjacket (*Meuschenia* sp.) protein hydrolysates. *LWT*, 80, 430–436. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.004>
- Sen, D. P., Sripathy, N. V., Lahiry, N. L., Sreenivasan, A., & Subrahmanyam, V., (1962). Fish hydrolysates. I. Rate of hydrolysis of fish flesh with papain, *Food Technology*, (5), 80.
- Siddik, M. A. B., Howieson, J., Fotedar, R., & Partridge, G. J. (2020). Enzymatic fish protein hydrolysates in finfish aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 406–430. <https://doi.org/10.1111/raq.12481>
- Skanderby, M., (1994). Protein hydrolysates: their functionality and applications., *European Food Research and Technology*, (10), 141.
- Souissi, N., Bougatef, A., Triki – Ellouz, Y. & Nasri, M., (2007). Biochemical and functional properties of sardinella (*Sardinella aurita*) by-product hydrolysates. *Food Technology and Biotechnology*, 45, 187–194.
- Stevens, J. R., Newton, R. W., Tlusty, M., & Little, D. C. (2018). The rise of aquaculture by-products: Increasing food production, value, and sustainability through strategic utilization. *Marine. Policy*, 90, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.12.027>
- Suleria, H. A. R., Gobe, G., Masci, P., & Osborne, S. (2016). Marine bioactive compounds and health promoting perspectives; innovation pathways for drug discovery. *Trends Food Science & Technology*, 50, 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.019>
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2017). Food Matters: Fish, Income, and Food Supply—A Comparative Analysis. *Fisheries Science & Aquaculture*, 26, 15–28. <https://doi.org/10.1016/23308249.2017.1328659>
- Thawornchinsombut, S., & Park, J. W. (2007). Effect of NaCl on gelation characteristics of acid- and alkali-treated pacific whiting fish protein isolates. *Journal of Food Biochemistry*, 31, 427–455. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2007.00121.x>
- Usman, M., Sahar, A., Inam-Ur-Raheem, M., Rahman, U., Sameen, A., & Aadil, R. M. (2022). Gelatin extraction from fish waste and potential applications in food sector. *Food Science and Technology*, 57, 154–163. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15286>
- Wangkheirakpam, R., Mahanand, S. S., Majumdar, R. K., Sharma, S., Hidangmayum, D. D. & Netam, S. (2019). Fish waste utilization with reference to fish protein hydrolysate – a review. *Fishery Technology*, 56, 169–178.
- Wijesekara, I., Qian, Z.-J., Ryu, B., Ngo, D.-H., & Kim, S.-K. (2011). Purification and identification of antihypertensive peptides from seaweed pipefish (*Syngnathus schlegelii*) muscle protein hydrolysate. *Food Research International*, 44, 703–707.
- Yan, N., & Chen, X. (2015). Sustainability: don't waste seafood waste. *Nature*, 524, 155–157. <https://doi.org/10.1038/524155a>
- Yarnpakdee, S., Benjakul, S., Kristinsson, H. G. (2012). Effect of pretreatments on chemical compositions of mince from Nile

- tilapia (*Oreochromis niloticus*) and fishy odor development in protein hydrolysate. *International Aquatic Research*, 4(1), 7. <https://doi.org/10.1186/2008-6970-4-7>
- Zamora-Sillero, J., Gharsallaoui, A., & Prentice, C. (2018). Peptides from fish by-product protein hydrolysates and its functional properties: An overview. *Marine Biotechnology*, 20(2), 118–130. <https://doi.org/10.1007/s10126-018-9799-3>
- Zeng, X., Xia, W., Jiang, Q., & Yang, F. (2013). Chemical and microbial properties of Chinese traditional low-salt fermented whole fish product Suan yu. *Food Control*, 30, 590–595. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1944-7>
- Zhang, H., Li, Y., Xu, K., Wu, J., & Dai, Z. (2015). Microbiological changes and biodiversity of cultivable indigenous bacteria in sanbao larger yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*), a Chinese salted and fermented seafood. *Food Science & Technology*, 80, 776. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100725>
- ## REFERENCES
- Andriyanova, E. V. (2011). Logistics of work with aquatic waste as a resource-saving factor at fishing industry enterprises. *RISK*, (1), 111–118.
- Bredikhina, O. V., & Zarubin, N. Yu. (2019). Development of a comprehensive technology for processing organic waste from fish processing enterprises into collagen-containing hydrolysates for food use. *Trudy VNIRO. Tekhnologiya pererabotki vodnykh bioresursov*, 176, 109–121.
- Zarubin, N. Yu., Litvinova, E. V., Frolova, Yu. V., & Bredikhina O. V. (2016). New data on the use of collagen hydrolysates in the technology of semi-finished fish products. *Pishchevaya promyshlennost'*, (12), 21–24.
- Kleshchevsky, O. N., Nikolaeva, M. A., & Ryazanova, O. A. (2017). Current state and prospects for the development of the fish and fishery products market in Russia. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Politicheskie, sociologicheskie i ekonomicheskie nauki*, (3), 34–42.
- Rasulov, E. M. (2006). Development of technology for functional food products based on the use of protein fish hydrolysates [Candidate thesis, Kuban State Technological University]. Krasnodar, Russia.
- Sokolov, A. V. (2019). Current state and development trends of the Russian fishery complex. *Tekhnologii pishchevoj i pererabatyvayushchej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya*, (4), 36–48.
- Heling, A., Grimm, T., Volkov, V. V., & Mezenova, N. Yu. (2016). Research of various methods of hydrolytic process of secondary fish raw materials for canning production. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*, (1), 3–8. <https://doi.org/10.21047/1606-4313-2016-16-1-3-8>
- Yugay, A. V. (2009). Justification for the food use of gobies of the family Cottidae. *Izvestiya TINRO*, 156, 341–347.
- Yugay, A. V., & Kovaleva, E. A. (2014). Modern technologies in the complex processing of aquatic organisms. *Fundamental'nye issledovaniya*, (11–8), 1713–1716.
- Ahmed, M., Verma, A. K., & Patel, R. (2020). Collagen extraction and recent biological activities of collagen peptides derived from sea-food waste: a review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 18, 100315. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100315>
- Ahuja, I., Dauksas, E., Remme, J. F., Richardsen, R., & Løes, A. K. (2020). Fish and fish waste-based fertilizers in organic farming – With status in Norway: A review. *Waste management (New York, N.Y.)*, 115, 95–112. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.025>
- Akillioğlu, H.G., & Yalçın, E. (2010). Tahıl protein hidrolizatlarının antioksidan aktiviteleri [Antioxidant activities of cereal protein hydrolysates], *Gıda*, 35(3), 227–233.
- Alahmad, K., Xia, W., Jiang, Q., & Xu, Y. (2022). Effect of the degree of hydrolysis on nutritional, functional, and morphological characteristics of protein hydrolysate produced from bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) using ficin enzyme. *Foods*, 11, 1320. <https://doi.org/10.3390/foods11091320>
- Bazhenov, E. A., Baydalina L. S., & Grimm T. (2023). Technology of proteolytic enzymes production from the digestive organs of fish of coastal fisheries in the North-Western region. *Journal of International Academy of Refrigeration*, (1), 66–77. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2023-22-1-66-77>
- Belhaj, N., Desor, F., Gleizes, C., Denis, F.M., Arab-Tehrany, E., Soulimani, R., & Linder, M. (2013). Anxiolytic-like effect of a salmon phospholipopeptidic complex composed of polyunsaturated fatty acids and bioactive peptides. *Marine Drugs*, (11), 4294–4317. <https://doi.org/10.3390/md11114294>
- Bernet, F., Montel, V., Noël, B., & Dupouy, J. P. (2000). Diazepam-like effects of a fish protein hydrolysate (Gabolysat PC60) on stress responsiveness of the rat pituitary-adrenal system and sympathoadrenal activity. *Psychopharmacology*, 149, 34–40. <https://doi.org/10.1007/s002139900338>
- Binsi, P. K., Viji P., Satyen K. P., Suseela M., Zynudheen, A. A., & Ravishankar, C. N. (2016). Characterization of hydrolysates prepared from engraved catfish (*Nemapteryx caelata*) roe by serial hydrolysis. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 158–70. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1998-6>

- Bucci, L., & Unlu, L. (2000). Proteins and amino acids in exercise and sport. In J. Driskell & I. Wolinsky (eds.) *Energy-yielding macronutrients and energy metabolism in sport nutrition*. CRC-Press.
- Chel-Guerrero, L., Estrella-Millán, Y., Betancur-Ancona, D., Aranda-González, I., Castellanos-Ruelas, A. & Gallegos-Tintoré, S. (2020). Antioxidant, chelating, and angiotensin-converting enzyme inhibitory activities of peptide fractions from red lionfish (*Pterois volitans* L.) muscle protein hydrolysates. *International Food Research*, 27, 224–233. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i1.2060>
- Chi, C., Wang, B., Hu, F., Wang, Y., Zhang, B., & Deng, S. (2015). Purification and identification of three novel antioxidant peptides from protein hydrolysate of bluefin leatherjacket (*Navodon septentrionalis*) skin. *Food Research International*, 73, 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.003>
- Derkach, S. R., Voron'ko, N. G., Kuchina, Y. A., & Kolotova, D. S. (2020). Modified fish gelatin as an alternative to mammalian gelatin in modern food technologies. *Polymers (Basel)*, 12(12), 3051. <https://doi.org/10.3390/polym12123051>
- Espe, M., Ruohonen, K., Bjornevik, M., Froyland, L., Nortvedt, R., & Kiessling, A. (2004). Interactions between ice storage time, collagen composition, gaping and textural properties in fanned salmon muscle harvested at different times of the year. *Aquaculture*, 240, 489–504. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.04.023>
- Espinoza, D., & Castillo, A. (2022). Avances tecnológicos en la obtención, identificación y producción de hidrolizados proteicos de residuos de pescado por acción enzimática: propiedades bioactivas y tecnofuncionales, aplicación en alimentos, mercado y regulación [Technological advances in the obtaining, identification and production of protein hydrolysates from fish waste by enzymatic action: bioactive and technofunctional properties, application in food, market and regulation]. *Scientia Agropecuaria*, 13(2), 135–148. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.012>
- Fernandes, P. (2016). Enzymes in fish and seafood processing. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, (4), 59. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2016.00059>
- Freeman, H. J., Slesinger, M. H., & Kim, Y. S. (1983). Human protein digestion and absorption: normal mechanisms and protein energy malnutrition. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 12, 357–378. [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(79\)90645-4](https://doi.org/10.1016/0002-9343(79)90645-4)
- Freret, T., Largilliere, S., Nee, G., Coolzaet, M., Corvaisier, S., & Boulouard, M. (2021). Fast anxiolytic-like effect observed in the rat conditioned defensive burying test, after a single oral dose of natural protein extract products. *Nutrients*, 13, 2445. <https://doi.org/10.3390/nu13072445>
- Gao, R., Yu, Q., Shen, Y., Chu, Q., & Chen, G., Fen, S., Yang, M., Yuan, L., McClements, D. J., & Sun, Q. (2021). Production, bioactive properties, and potential applications of fish protein hydrolysates: Developments and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 687–699. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.031>
- Gómez-Guillén, M. C., Pérez-García, S., Alemán, A., López-Caballero, M. E., Sotelo, C. G., & Montero, M. P. (2023). Development of a ready-to-eat fish product enriched with fish oil entrapped in a κ -carrageenan egg white fish protein hydrolysate dry powder. *Foods*, 12, 2272. <https://doi.org/10.3390/foods12112272>
- Ha, N. C., Hien, D. M., Thuy, N. T., Nguyen, L. T., & Devkota, L. (2017). Enzymatic hydrolysis of catfish (*Pangasius hypophthalmus*) by-product: kinetic analysis of key process parameters and characteristics of the hydrolysates obtained. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 26, 1070–1082. <https://doi.org/10.1080/10498850.2017.1376027>
- Hadidi, M., Garcia, S. R., Ziogkas, D., Maclements, D. J., & Moreno, A. (2023). Cereal bran proteins: recent advances in extraction, properties, and applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2226730>
- Halim, N. R. A., Azlan, A., Yusof, H. M., & Sarbon, N. M. (2018). Antioxidant and anticancer activities of enzymatic eel (*monopterus sp*) protein hydrolysate as influenced by different molecular weight. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, (6), 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.06.006>
- Harnedy-Rothwell, P. A., Khatib, N., Sharkey, S., Lafferty, R. A., Gite, S., Whooley, J., O'Harte, F. P. M., & FitzGerald, R. J. (2021). Physicochemical, nutritional and in vitro antidiabetic characterisation of blue whiting (*micromesistius poutassou*) protein Hydrolysates. *Marine. Drugs*, 19, 383. <https://doi.org/10.3390/md19070383>
- Hartmann, R., & Meisel, H. (2007). Food-derived peptides with biological activity: from research to food applications. *Current Opinion in Biotechnology*, 18, 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2007.01.013>
- Hassan, M. A., Deepitha, R. P., Xavier, K. A. M., Gupta, S., Nayak, B. B., & Balange, A. K. (2018). eEvaluation of the properties of spray dried visceral protein hydrolysate from pangasianodon hypophthalmus (sauvage, 1978) extracted by enzymatic and chemical methods. *Waste and Biomass Valorization*, 9, 2547–2558. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0302-1>
- Heffernan, S., Giblin, L., & O'Brien, N. (2021). Assessment of the biological activity of fish muscle protein hydrolysates using in vitro model systems. *Food chemistry*, 359, 129852. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129852>
- Hordur G. Kristinsson & Barbara A. Rasco (2000). Fish protein hydrolysates: production, biochemical, and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1), 43–81. <https://doi.org/10.1080/10408690091189266>

- Idowu, A. T., Benjakul, S., Sinthusamran, S., Sookchoo, P., & Kishimura, H. (2019). Protein hydrolysate from salmon frames: production, characteristics and antioxidative activity. *Journal of Food Biochemistry*, 43(2), e12734. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12734>
- Jeon, Y.-J., Byun, H.-G., & Kim, S.-K. (1999). Improvement of functional properties of cod frame protein hydrolysates using ultrafiltration membranes. *Process Biochemistry*, 35(5), 471–478. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1876-5>
- Kim, S. K., & Wijesekara, I. (2010). Development and biological activities of marine-derived bioactive peptides: A Review. *Journal of Functional Foods*, 2(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2010.01.003>
- Kim, S.-R., & Byun, H.-G. (2012). The novel angiotensin I converting enzyme inhibitory peptide from rainbow trout muscle hydrolysate. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 15, 183–190. <https://doi.org/10.1210/en.2004-0443>
- Kostyleva, E. V., Sereda, A. S., Velikoretskaya, I. A., Kurbatova, E. I., & Tsurikova, N. V. (2023). Proteases for obtaining of food protein hydrolysates from proteinaceous by-products. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*, 92(1), 116–32. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-1-116-132>
- Kristinsson, H. G., & Rasco, B. A. (2000). Fish protein hydrolysates: production, biochemical and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40, 43–81. <https://doi.org/10.1080/10408690091189266>
- Le Faouder, J., Arnaud, B., Lavigne, R., Lucas, C., Com, E., Bouvret, E., Dinel, A.-L., & Pineau, C. (2022). Fish hydrolysate supplementation prevents stress-induced dysregulation of hippocampal proteins relative to mitochondrial metabolism and the neuronal network in mice. *Foods*, 11, 1591. <https://doi.org/10.3390/foods11111591>
- Listrat, A., Leuret, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L., Picard, B., & Bugeon, J. (2016). How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. *The Scientific World Journal*, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2016/3182746>
- Mathew, P.T (2014). Fishery waste management problems and prospects. In A.A. Zynudheen, J. Bindu, G. Ninan, C.O. Mohan, R. Venkateswarlu (eds.) *Development of nutraceuticals, health foods & fish feed from fish & shellfish processing discards*. Central Institute of Fisheries Technology.
- Messaoudi, M., Nejdj, A., Bisson, J.-F., Rozan, P., Javelot, H., & Lalonde, R. (2008). Anxiolytic and antidepressant-like effects of garum armoricum®(ga), a blue ling fish protein autolysate in male wistar rats. *Current Topics in Nutraceutical Research*, 6, 115–123.
- Mo, W. Y., Man, Y. B., & Wong, M. H. (2018). Use of food waste, fish waste and food processing waste for China's aquaculture industry: Needs and challenge. *Science of the Total Environment*, 613, 635–643. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.321>
- Muhammad, U., Amna, S., Muhammad, I., Ubaid ur R., Aysha S., & Rana Muhammad, A. (2022) Gelatin extraction from fish waste and potential applications in food sector. *International Journal of Food Science and Technology*, 57, 154–163. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15286>
- Nemati, M., Javadian S.R., Ovissipour M. & Keshavarz, M., (2012). A study on the properties of Alosa (*Alosa caspia*) by-products protein hydrolysates using commercial enzymes. *World Applied Sciences Journal*, 18(7), 950–956.
- Nesse, K. O., Nagalakshmi, A. P., Marimuthu, P., Singh, M., Bhetariya, P. J., Ho, M., & Simon, R. R. (2014). Safety evaluation of fish protein hydrolysate supplementation in malnourished children. *Regulatory Toxicology and Pharmacology: RTP*, 69(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2014.02.009>
- Phadke, G. G., Rathod, N. B., Ozogul, F., Elavarasan, K., Karthikeyan, M., Shin, K. H., & Kim, S. K. (2021). Exploiting of secondary raw materials from fish processing industry as a source of bioactive peptide-rich protein hydrolysates. *Marine. Drugs*, 19(9), 480. <https://doi.org/10.3390/md19090480>
- Raghavan, S., & Kristinsson, H. G. (2008). Antioxidative efficacy of alkali-treated tilapia protein hydrolysates: a comparative study of five enzymes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 1434–1441.
- Ruthu, Murthy, P. S., Rai, A. K., & Bhaskar, N. (2014). Fermentative recovery of lipids and proteins from freshwater fish head waste with reference to antimicrobial and antioxidant properties of protein hydrolysate. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1884–1892. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0730-z>
- Ryu, B., Shin, K.-H., & Kim, S.-K. (2021). Muscle Protein Hydrolysates and Amino Acid Composition in Fish. *Marine. Drugs*, 19, 377. <https://doi.org/10.3390/md19070377>
- Salampeyy, J., Reddy, N., Phillips, M., & Kailasapathy, K. (2017). Isolation and characterization of nutraceutically potential ACE-Inhibitory peptides from leatherjacket (*Meuschenia* sp.) protein hydrolysates. *LWT*, 80, 430–436. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.004>
- Sen, D. P., Sripathy, N. V., Lahiry, N. L., Sreenivasan, A., & Subrahmanyam, V., (1962). Fish hydrolysates. I. Rate of hydrolysis of fish flesh with papain, *Food Technology*, (5), 80.
- Siddik, M. A. B., Howieson, J., Fotedar, R., & Partridge, G. J. (2020). Enzymatic fish protein hydrolysates in finfish aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 406–430. <https://doi.org/10.1111/raq.12481>
- Skanderby, M., (1994). Protein hydrolysates: their functionality and applications., *European Food Research and Technology*, (10), 141.

- Souissi, N., Bougatef, A., Triki – Ellouz, Y. & Nasri, M., (2007). Biochemical and functional properties of sardinella (*Sardinella aurita*) by-product hydrolysates. *Food Technology and Biotechnology*, 45, 187–194.
- Stevens, J. R., Newton, R. W., Tlusty, M., & Little, D. C. (2018). The rise of aquaculture by-products: Increasing food production, value, and sustainability through strategic utilization. *Marine Policy*, 90, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.12.027>
- Suleria, H. A. R., Gobe, G., Masci, P., & Osborne, S. (2016). Marine bioactive compounds and health promoting perspectives; innovation pathways for drug discovery. *Trends Food Science & Technology*, 50, 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.019>
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2017). Food Matters: Fish, Income, and Food Supply-A Comparative Analysis. *Fisheries Science & Aquaculture*, 26, 15–28. <https://doi.org/10.1080/23308249.2017.1328659>
- Thawornchinsombut, S., & Park, J. W. (2007). Effect of NaCl on gelation characteristics of acid- and alkali-treated pacific whiting fish protein isolates. *Journal of Food Biochemistry*, 31, 427–455. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2007.00121.x>
- Usman, M., Sahar, A., Inam-Ur-Raheem, M., Rahman, U., Sameen, A., & Aadil, R. M. (2022). Gelatin extraction from fish waste and potential applications in food sector. *Food Science and Technology*, 57, 154–163. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15286>
- Wangkheirakpam, R., Mahanand, S. S., Majumdar, R. K., Sharma, S., Hidangmayum, D. D. & Netam, S. (2019). Fish waste utilization with reference to fish protein hydrolysate – a review. *Fishery Technology*, 56, 169–178.
- Wijesekara, I., Qian, Z.-J., Ryu, B., Ngo, D.-H., & Kim, S.-K. (2011). Purification and identification of antihypertensive peptides from seaweed pipefish (*Syngnathus schlegeli*) muscle protein hydrolysate. *Food Research International*, 44, 703–707.
- Yan, N., & Chen, X. (2015). Sustainability: don't waste seafood waste. *Nature*, 524, 155–157. <https://doi.org/10.1038/524155a>
- Yarnpakdee, S., Benjakul, S., Kristinsson, H. G. (2012). Effect of pretreatments on chemical compositions of mince from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and fishy odor development in protein hydrolysate. *International Aquatic Research*, 4(1), 7. <https://doi.org/10.1186/2008-6970-4-7>
- Zamora-Sillero, J., Gharsallaoui, A., & Prentice, C. (2018). Peptides from fish by-product protein hydrolysates and its functional properties: An overview. *Marine Biotechnology*, 20(2), 118–130. <https://doi.org/10.1007/s10126-018-9799-3>
- Zeng, X., Xia, W., Jiang, Q., & Yang, F. (2013). Chemical and microbial properties of Chinese traditional low-salt fermented whole fish product Suan yu. *Food Control*, 30, 590–595. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1944-7>
- Zhang, H., Li, Y., Xu, K., Wu, J., & Dai, Z. (2015). Microbiological changes and biodiversity of cultivable indigenous bacteria in sanbao larger yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*), a Chinese salted and fermented seafood. *Food Science & Technology*, 80, 776. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100725>