CAPÍTULO 25: POSSIBILIDADES PROTEICAS DO PROCESSAMENTO AGROINDUSTRIAL DE PEIXES

367

CAPÍTULO 25: POSIBILIDADES PROTEICAS DEL PROCESAMIENTO AGROINDUSTRIAL DEL PESCADO

CHAPTER 25: PROTEIN POSSIBILITIES OF AGRO-INDUSTRIAL FISH PROCESSING

Jessica Costa da Silva¹; Sérgio Lucas Nunes do Nascimento²; Beatriz de Aquino Marques da Costa³; Ana Lúcia Figueiredo Porto⁴; Vagne Melo Oliveira⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/978-65-88970-17-1.367-384>

RESUMO

O peixe tem se tornado cada vez mais hábito na alimentação humana, visando, sobretudo, o bem-estar. Fonte rica de compostos biologicamente favoráveis, uma alimentação com peixes também tem a seu favor os custos e a palatabilidade do filé. O entrave proveniente desse processo está na geração de resíduos sólidos concomitantes ao processamento dos peixes, onde são descartadas as partes de baixo valor comercial ou aproveitamento biotecnológico, como cabeças, ossos, carcaças, pele, escamas e vísceras internas, como estômago, intestinos, cecos pilóricos, fígados, resquícios de músculos, bexiga natatória, entre outros, fontes comprovadamente de proteínas de alto valor biológico. Assim, este trabalho objetivou revisar sobre as principais possibilidades proteicas de peixes, descrevendo as proteínas musculares, moléculas de colágeno, gelatinas, enzimas e os hidrolisados proteicos produzidos com partes ou carcaças de peixes. Para tanto, foram utilizadas plataformas científicas, tais como: ScienceDirect, Scielo, Elsevier, Google Scholar, Springer e PubMed; utilizando como descritores de busca os seguintes termos: “proteínas de peixes”, “colágeno de peixes”, “gelatina de peixe”, “enzimas de peixe”, “hidrolisado proteico de peixes”. As inúmeras possibilidades de aproveitamento das proteínas provenientes do processamento de peixes têm atraído cada vez mais os segmentos industriais voltados para alimentação e produção de compostos nutracêuticos. Com esta revisão, foi possível evidenciar as possibilidades de proteínas do filé, do colágeno extraído da pele, escamas, bexiga natatória e ossos, da gelatina produzida pela hidrólise parcial das moléculas dos subtipos de colágeno, pelas enzimas, especialmente as digestivas, pela produção de hidrolisados proteicos e, por fim, a sinalização do mercado tecnológico, ratificando cada vez mais o interesse crescente por produtos provenientes da Pesca e Aquicultura para fins biotecnológicos.

Palavras-Chave: proteínas, pescados, piscicultura, biotecnologia.

RESUMEN

El pescado se ha convertido cada vez más en un hábito en la alimentación humana, apuntando, sobre todo, al bienestar. Una rica fuente de compuestos biológicamente favorables, una dieta con pescado también tiene los costos y la palatabilidad del filete a su favor. El obstáculo resultante de este proceso es la generación de residuos sólidos concomitantes con el procesamiento del pescado, donde partes de bajo valor comercial o uso biotecnológico, como cabezas, huesos, canales, piel, escamas y vísceras internas, como estómago, intestinos, ciegos pilóricos, hígados, restos de músculos, vejiga natatoria, entre otros, fuentes probadas de proteínas de alto valor biológico. Así, este estudio tuvo como objetivo revisar las principales posibilidades proteicas del pescado, describiendo proteínas musculares, moléculas de colágeno, gelatinas, enzimas e hidrolizados de proteínas producidos con partes o canales de pescado.

¹ Doutoranda em Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, jess.cost@hotmail.com

² Curso de Engenharia de Pesca, Universidade Federal Rural de Pernambuco, lucasmnunes15@gmail.com

³ Mestrado em Biociência Animal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, deaquinobeatriz@gmail.com

⁴ Doutora, Universidade Federal Rural de Pernambuco, analuporto@yahoo.com.br

⁵ Doutor, Universidade Federal Rural de Pernambuco, vagne_melo@hotmail.com

Para eso se utilizaron plataformas científicas como: ScienceDirect, Scielo, Elsevier, Google Scholar, Springer y PubMed; utilizando como descriptores de búsqueda los siguientes términos: “proteínas de pescado”, “colágeno de pescado”, “gelatina de pescado”, “enzimas de pescado”, “hidrolizado de proteína de pescado”. Las innumerables posibilidades de utilizar proteínas del procesamiento del pescado han atraído cada vez más a los segmentos industriales centrados en la alimentación y la producción de compuestos nutraceuticos. Con esta revisión se pudieron resaltar las posibilidades de las proteínas de filete, colágeno extraído de la piel, escamas, vejiga natatoria y huesos, gelatina producida por hidrólisis parcial de las moléculas de los subtipos de colágeno, por enzimas, especialmente digestivas, por la producción de hidrolizados de proteínas y, finalmente, la señalización del mercado tecnológico, ratificando cada vez más el creciente interés por los productos de la Pesca y la Acuicultura con fines biotecnológicos.

Palabras Clave: proteínas, pescado, piscicultura, biotecnología.

ABSTRACT

Fish has progressively become a habit in human food, aiming for well-being, above all. A rich source of biologically favorable compounds, a diet with fish also has the fillet costs and palatability in its favor. The obstacle resulting from this process is the generation of solid residues that are concomitants to the fish processing, where parts of low commercial value or biotechnological use, such as heads, bones, carcasses, skin, scales and internal viscera, such as stomach, intestines, pyloric caecuses, livers, muscle remnants, swimming bladder, among others proven sources of proteins of high biological value are discarded. Thus, this study aimed to review the main protein possibilities of fish, describing muscle proteins, collagen molecules, gelatins, enzymes and protein hydrolysates produced with parts or carcasses of fish. For that, scientific platforms were used, such as: ScienceDirect, Scielo, Elsevier, Google Scholar, Springer and PubMed; using as search descriptors the following terms: “fish proteins”, “fish collagen”, “fish gelatin”, “fish enzymes”, “fish protein hydrolysate”. The countless possibilities of using proteins from fish processing have increasingly attracted industrial segments focused on food and production of nutraceutical compounds. With this review, it was possible to highlight the possibilities of fillet proteins, collagen extracted from the skin, scales, swimming bladder and bones, gelatin produced by partial hydrolysis of collagen subtype molecules, by enzymes, especially digestive ones, by the production of protein hydrolysates and, finally, the signaling of the technological market, ratifying more and more the growing interest in products from Fisheries and Aquaculture for biotechnological purposes.

Keywords: proteins, fish, pisciculture, biotechnology.

INTRODUÇÃO

Seguindo a tendência global, o crescimento da população e o subsequente rápido aumento da urbanização e industrialização, a produção de produtos aquícolas tem visto um aumento massivo impulsionado, principalmente, pelo desenvolvimento de novas tecnologias aplicada a pesca e aquicultura. Consequentemente, também é verificado um aumento considerável na quantidade de parte sólidas descartadas desses processamentos, por vezes designado de “resíduos”. Estima-se que cerca de dois terços da quantidade total de peixes são descartados como resíduos, criando enormes preocupações econômicas e, especialmente, ambientais. Por esse motivo, o descarte e a reciclagem desses materiais tornou-se uma questão (global) fundamental a ser resolvida (COPPOLA *et al.*, 2021).

Uma grande quantidade de partes do pescado subutilizados é gerada durante o

beneficiamento desses produtos quase que anualmente. Assim, existe uma tentativa de sanar essas questões de desperdícios, o que tem impulsionado pesquisas indetificar a presença de compostos biológicos, incluindo peptídeos bioativos, colágeno e gelatina, oligossacarídeos, ácidos graxos, uma ampla gama de enzimas (proteases ácidas, alcalinas, metaproteases, entre outros), cálcio, minerais solúveis em água. Os peptídeos biologicamente ativos obtidos a partir da reutilização de subprodutos de peixes (ex., pele, escamas, ossos) têm mostrado várias atividades biológicas, incluindo atividades anti-hipertensivas e antioxidantes e, portanto, podem ser um material potencial para as indústrias biomédica e alimentícia. O colágeno e a gelatina são usados atualmente em diversos campos, incluindo as indústrias alimentícia, cosmética e biomédica (SENEVIRATHNE; KIM, 2012). Assim, este trabalho objetivou revisar sobre as principais possibilidades proteicas a partir do processamento de peixes, descrevendo as proteínas musculares, moléculas de colágeno, gelatinas, enzimas e os hidrolisados proteicos produzidos com partes ou carcaças de peixes.

REFERENCIAL TEÓRICO

A indústria de Pesca e Aquicultura tem contribuído cada vez mais com alimentos com boa qualidade nutricional voltado, sobretudo, para alimentação humana (LIMA; MUJICA; LIMA, 2012). Durante o processamento dos recursos pesqueiros, uma parte significativa da matéria-prima pesqueira acaba sendo negligenciada, entre partes orgânicas e inorgânicas depositados principalmente em cultivos e criações, ou até mesmo subutilizadas. Todavia, estas partes descartadas (também chamadas de “resíduos”) são fontes ricas em conteúdo proteico de alta qualidade, como de moléculas colagenosas (LIMA; MUJICA; LIMA, 2012; SUBHAN *et al.*, 2021).

A definição de “resíduos de peixes” inclui muitas espécies de peixes e/ou produtos de captura acessória sem e/ou com baixo valor comercial, espécies comerciais subdimensionadas ou danificadas, bem como espécies de valor comercial, mas não capturados em quantidades suficientes para justificar a comercialização. Os descartes das pescarias mundiais excedem, em média/ano, 20 milhões de toneladas equivalentes a 25% da produção total da pesca marinha e incluem espécies “não-alvo”, resíduos do processamento de peixes e subprodutos (CARUSO, 2016).

Das partes descartadas do processamento de peixes, Lima; Mujica; Lima (2012) identificaram rendimento de 84,46% (peixe eviscerado), 20,80% (cabeça), 30,17% (filé com pele e espinha), 25,24% (filé sem pele e espinha), 17,51% (costela), 3,57% (escamas), 15,54% (vísceras) e 10,86% (carcaça inteira) numa espécie de caranha (*Piaractus mesopotamicus*),

sinalizando a possibilidade de novos aproveitamentos devido ao volume descartado e não comercializável. Os resíduos do processamento de peixes ainda são fontes de outros compostos, como de enzimas com alta eficiência catalítica para uso industrial, proteínas de alta qualidade para uso alimentício e terapêutico, peptídeos bioativos para fins nutricionais e farmacêuticos, óleos, aminoácidos, colágeno, gelatina, cálcio, biopolímeros e minerais solúveis em água, entre outros (NAMJOU *et al.*, 2019).

METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido no formato de mini-revisão a partir de informações científicas baseadas num levantamento bibliográfico, fazendo uso de plataformas eletrônicas, tais como: ScienceDirect (<http://www.sciencedirect.com/>), Scielo (<http://www.scielo.com/>), Elsevier (<https://www.elsevier.com/pt-br>), Google Scholar (<https://scholar.google.com.br/>), Springer (<http://www.springer.com/>) e PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>); utilizando como descritores de busca os seguintes termos: “proteínas de peixes”, “colágeno de peixes”, “gelatina de peixe”, “enzimas de peixe”, “hidrolisado proteico de peixes”.

Para a formação de conceitos, termos e discussões, a busca científica foi realizada sem que houvesse qualquer restrição temporal, quanto ao tipo de pesquisa (artigo original, artigo de revisão, patentes, dissertação e/ou teses) e/ou análise qualitativa e/ou quantitativa, ficando seu uso a critério e interesse dos autores, não havendo nenhum tipo de restrição.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aporte teórico foi realizado através de uma prospecção científica que facilitou o entendimento e a verificação da extensão das possibilidades de uso de proteínas obtidas do processamento de peixes nos mais variados segmentos da indústria e suas aplicações. As inúmeras possibilidades averiguadas confluíam, principalmente, para fins alimentícios e terapêuticos. O filé de peixes apresenta inúmeras proteínas nutricionalmente importantes para uma boa alimentação. Os resíduos obtidos após o processamento do filé, também apresentam potencialidades e/ou possibilidades de aplicações comerciais. Por resíduo ficam entendidas as partes comercialmente não valorizadas (seja pelo baixo valor econômico ou por não haver tecnologia disponível para sua utilização) e/ou aproveitáveis, tais como: carcaça, cabeça, pele, escamas, barbatanas e, especialmente, as vísceras internas, como estômago (quando presente), intestino, cecos pilóricos (quando presente), fígado e bexiga natatória, visualizados na Figura 01.

Figura 01: Resíduos de peixes com potencial biotecnológico

371

Fonte: Própria.

Por uma sequência de entendimento, descrevemos as informações catalogadas para as proteínas do filé (carne comercializada), colágeno, gelatina, enzimas e hidrolisado proteico, evidenciando, assim, através do número e áreas de produtos tecnológicos usando proteínas de peixes para fins alimentícios, bebidas, biomédicos, ração animal, produtos nutracêuticos e/ou farmacêuticos, salientando a relevância desta temática para o mercado comercial de proteínas e produtos derivados, especialmente daquelas provenientes de fontes aquáticas, seja pela sua abundância ou ausência de restrições sanitárias.

Proteínas do peixe

As proteínas são polímeros constituídos por uma ou mais cadeias de aminoácidos. A carne de peixe constitui uma fonte de proteínas de alto valor biológico, abundante e de boa qualidade, sendo uma das proteínas de origem animal mais consumido (SOARES; GONÇALVES, 2012). Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), as proteínas no tecido muscular dos peixes podem ser divididas em três categorias:

- 1) As *proteínas estruturais* (actina, miosina, tropormiosina e actomiosina), que constituem 70-80% do conteúdo proteico total (em comparação com 40% em mamíferos),

sendo solúveis em soluções de sal neutro de força iônica razoavelmente alta;

2) *Proteínas sarcoplasmáticas* (mioalbumina, globulina e enzimas) que são solúveis em soluções salinas neutras de baixa força iônica, constituindo entre 25-30% da proteína;

3) *Proteínas do tecido conjuntivo* (colágeno), representando quase 3% da proteína em teleósteos e cerca de 10% em elasmobrânquios (em comparação com 17% em mamíferos) (FAO, 1995).

O músculo esquelético é responsável por mais da metade do peso do peixe e sofre as alterações mais significativas devido à ação de sinais anabólicos e catabólicos. Atenção especial é dada à intensidade da degradação de proteínas durante o período de crescimento ativo, caracterizado por uma alta taxa de síntese e metabolismo de proteínas em peixes, bem como à degradação de proteínas durante o período reprodutivo caracterizado pela predominância de processos catabólicos em contraste com o período de crescimento. O músculo esquelético desempenha um papel único como fonte de substratos plásticos e energéticos em peixes (NEMOVA; LYSENKO; KANTSEROVA, 2016). Bao *et al.* (2020) investigaram os efeitos do armazenamento refrigerado em diferentes temperaturas (4, -0,5, -3 e -20 °C) na degradação de proteínas e sua relação com as mudanças estruturais do músculo da carpa preta e observaram que a -0,5°C e 4°C ocorreram mudanças estruturais importantes, incluindo a formação de lacunas entre as miofibras e as miofibrilas, quebra das miofibrilas e miofibras e degradação do retículo sarcoplasmático.

Mudanças nos perfis de proteínas musculares podem ocorrer antes e depois da colheita e constituem uma caracterização geral das propriedades musculares, incluindo a textura (ØRNHOLT-JOHANSSON *et al.*, 2017). Yang *et al.* (2019) avaliaram a relação entre a degradação de proteínas estruturais miofibrilares e a textura do filé de carpa capim super-resfriada (*Ctenopharyngodon idella*) e observaram que as proteínas estruturais miofibrilares pequenas (de baixo peso molecular) como desmina e troponina-T iniciaram a deterioração textural, levando ao enfraquecimento do disco Z e soltura da actina. Em contraste, proteínas estruturais miofibrilares gigantes (de alto peso molecular), como titina e nebulina, foram degradadas em mais quantidade no armazenamento posterior, contribuindo para a desmontagem do disco Z e da banda M e vagas regiões claras e escuras (bandas I e A). Anda segundo os autores, todas essas mudanças estiveram envolvidas no aumento dos segmentos de fibrilas musculares e na diminuição acentuada da força de cisalhamento.

Kantserova *et al.* (2017) reportaram sistemas de degradação de proteínas nos músculos esqueléticos de salmão do atlântico e truta. A maior parte das proteínas sarcoplasmáticas presentes participa do metabolismo celular mediando reações químicas, como a conversão de

energia anaeróbia de glicogênio em ATP. Se as organelas dentro das células musculares forem quebradas, essa fração de proteína também pode conter as enzimas metabólicas localizadas dentro do retículo endoplasmático, mitocôndrias e lisossomas (FAO, 1995). Lima; Mujica; Lima (2012) investigaram o teor proteico da caranha (*Piaractus mesopotamicus*), obtendo dados a partir do peixe eviscerado, cabeça, costela, vísceras, escamas, filé com e sem pele/espinha e carcaça inteira, tendo sido observado teores elevados de proteínas (17%).

Colágeno de peixes

O colágeno é a principal proteína estrutural fibrosa na matriz extracelular, tecido conjuntivo e bloco de construção de ossos, tendões, pele, cartilagem e articulações (SUBHAN *et al.*, 2021), sendo considerado um polímero versátil e está presente nos resíduos da pesca e da aquicultura (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

O colágeno é formado por cadeias de polipeptídeos constituídas pela sequência repetida (Gly-XY)*n*, onde X e Y podem ser ocupados por qualquer aminoácido, embora essas posições sejam comumente ocupadas por prolina e hidroxiprolina (JAFARI *et al.*, 2020). As principais fontes de colágeno que atendem a indústria são provenientes de mamíferos (Figura 02), especialmente, bovinos e suínos. Todavia, questões sanitárias e culturais, principalmente, têm incentivado a busca por fontes alternativas, como os extraídos de organismos aquáticos ou dos resíduos provenientes de seu beneficiamento, como cabeças, peles, escamas (quando presentes), bexiga natatória e ossos/carcaça (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Existem pelo menos 29 subtipos de moléculas da família do colágeno, sendo o colágeno tipo I o mais abundante, encontrado na pele, escamas e ossos de peixes, e mais utilizado na indústria, muito devido suas propriedades físico-químicas, espectroscópicas e densitométricas (OLIVEIRA *et al.*, 2021). As propriedades de cada molécula de colágeno sinalizam viabilidade e tipo de aplicação industrial (SIONKOWSKA *et al.*, 2020).

O método de extração também pode alterar a estrutura dessa molécula. E levando em consideração que o tipo de estrutura definirá a função, o método de extração deve ser escolhido com critério (extração ácida, enzimática, ambas, com técnicas auxiliares, como sonicação, entre outros, por exemplo) (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Figura 02: Principais fontes de colágeno na natureza

Fonte: Oliveira *et al.* (2021). (Adaptada e autorizada para reprodução).

Numerosos estudos investigaram as bioatividades e os efeitos biológicos do colágeno, gelatina e seus peptídeos de hidrólise, usando modelos de ensaio *in vitro* e *in vivo* (LIU *et al.*, 2015). O colágeno derivado de organismos marinhos tem a capacidade de eliminar os radicais livres e, portanto, pode ser utilizado para produtos de embelezamento e cuidados com a pele. O colágeno marinho tem sido amplamente utilizado como um andaime para engenharia de tecidos devido às suas propriedades físico-químicas e potencial de crescimento celular (VENKATESAN *et al.*, 2017; SUBHAN *et al.*, 2021).

Ainda, as principais características dos colágenos extraídos de organismos aquáticos, sobretudo de ambientes marinhos, são: alta disponibilidade de subprodutos da aquicultura; maior distância ontogenética dos peixes em relação aos humanos (baixo risco de transmissão de doenças quando comparado ao colágeno dos mamíferos); ausência de barreiras culturais e religiosas; facilidade dos processos de extração; alta versatilidade; biorreabsorvibilidade; toxicidade ausente (peixes); resposta inflamatória mínima; baixo ponto de fusão; baixa viscosidade; alto conteúdo de glicina e de alanina; boas propriedades hemostáticas; e, metabolicamente compatíveis (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Gelatina de peixes

A gelatina é um biopolímero que possui em sua composição proteínas (ocupando 85-92%), sal mineral e água (LV *et al.*, 2019; RANASINGHE *et al.*, 2020). A composição da gelatina extraída de organismos aquáticos é variável e dependerá da fonte de obtenção e do método de produção empregado, já tendo sido produzida com sucesso a partir do reaproveitamento de uma variedade de subprodutos do pescado. Várias são as características que tornam as gelatinas extraídas de peixes atrativas para uso na indústria, muitas das quais estão relacionadas à sua matéria-prima, as proteínas colagenosas (BILUCA; MARQUETTI; ALFARO, 2011; NAGARAJAN *et al.*, 2012; SHYNI *et al.*, 2014; ALFARO *et al.*, 2015), como, por exemplo, a gelatina de peixes de água fria tem baixo teor de prolina (Pro) e hidroxiprolina (Hyp) em comparação com a gelatina derivada de mamíferos (KWAK *et al.*, 2017).

Como ingrediente cru, é translúcido, incolor e insípido derivado da hidrólise parcial do colágeno, o qual é recolhido a partir dos ossos, peles e couros de animais mamíferos tais como suínos e bovinos através de tratamentos ácidos e/ou alcalinos. A gelatina é uma fonte rica em (aproximadamente 30%) proteína animal e é amplamente utilizado como um agente de revestimento, ligação, gelificação e glaceamento em produtos alimentícios, farmacêuticos e cosméticos, incluindo confeitos, cremes, loções, máscaras faciais, cápsulas e suplementos

dietéticos devido à sua estabilidade estrutural única e excelente funcional, nutricional e outras propriedades físico-químicas (SULTANA; ALI; AHAMAD, 2018).

Gelatina de peixe apresenta características semelhantes à gelatina suína e pode, assim, ser considerada uma alternativa à gelatina de mamíferos para uso em produtos alimentícios. A produção e utilização de gelatina de peixe não só satisfaz as necessidades dos consumidores, mas também serve como meio de utilizar alguns dos subprodutos da indústria pesqueira (KARIM; BHAT, 2009). Wu; Tsai; Sung (2019) utilizaram o pó de gelatina de pele de tilápia disponível comercialmente como matéria-prima para investigar as propriedades funcionais do pó de gelatina de pele de peixe tratado com irradiação UV e reportaram que o tratamento aumentou a força do gel e a estabilidade térmica, além de degradar as macromoléculas.

Kwak et al. (2017) fabricaram uma teia de nanofibras de gelatina de peixe ultrafina a partir de uma solução aquosa por eletrospinação para que fosse utilizada como uma fonte alternativa eficaz de gelatina para mamíferos; enquanto que Kang *et al.* (2019) descreveram a formação de nanogéis (NGs) utilizando gelatina de peixe metacrilóila (GelMA) e sua possibilidade de aplicação no sistema de liberação de fármacos. Segundo os autores, a fabricação dos GelMA NGs de peixes é realizada por reticulação através da fotopolimerização do substituinte metacrilóilo presente nas gotículas da nanoemulsão, seguida de purificação e redispersão. Zhang *et al.* (2019) desenvolveram um método para recuperação de proteínas de escamas de peixes e avaliaram a hidrólise da proteína da escamas. Segundo os autores, os resultados mostraram que o tratamento hidrotérmico pode aumentar a recuperação de proteína de escamas de tilápia sem desmineralização e melhorar dramaticamente o grau de hidrólise dos hidrolisados. Zheng *et al.* (2018) reportaram a indução da síntese de glutathione para prevenir o estresse oxidativo intestinal induzido por peróxido de hidrogênio via cascata Pept1-p62-Nrf2 através da produção de gelatina de pele de peixe.

Enzimas de peixes

As enzimas atuam como catalisadores biológicos no metabolismo (TRINCONE, 2011), assumindo papel fundamental nos processos de digestão de macromoléculas e na regulação de várias reações químicas, além de outros desempenhos dentro do organismo. As espécies de peixes são fontes ricas em conteúdo enzimático, sobretudo de proteases (enzimas que atuam clivando proteínas provenientes da dieta), ácidas (pepsina, por exemplo) e alcalinas (tripsina, quimotripsina, fibrinolítica, collagenase, por exemplo). Devido suas propriedades físico-químicas, as enzimas de peixes acabam ocupando uma parcela significativa no mercado global de enzimas, sendo matéria-prima para várias aplicações biotecnológicas: têxtil, produção de

couro, detergente, biomédica, terapêutica, entre outros (OLIVEIRA *et al.*, 2017), como descrito na tabela 01.

377

A biotecnologia enzimática marinha pode oferecer novos biocatalisadores com propriedades como alta tolerância ao sal, hiperterestabilidade, adaptabilidade ao frio e facilidade na produção em grande escala (DEBASHISH *et al.*, 2005).

Tabela 01: Aplicações biotecnológicas das principais enzimas de peixes utilizadas na indústria

Nome científico	Nome vulgar	Enzima	Aplicação	Autor
<i>Coryphaena hippurus</i>	Dourado	Tripsina	Produção de detergente	Santos <i>et al.</i> (2020)
<i>Thunnus alalunga</i>	Albacora	Tripsina	Produção de detergente	Poonsin <i>et al.</i> (2019)
<i>Thunnus alalunga</i>	Albacora	Tripsina	Extração de carotenoproteínas de cascas de camarão branco do Pacífico	Poonsin <i>et al.</i> (2019)
<i>Cynoscion leiarchus</i>	Pescada branca	Colagenase	Produção de peptídeos de colágeno	Oliveira <i>et al.</i> (2017b)
<i>Colossoma macropomum</i>	Tambaqui	Fibrinolítica	Trombolítica	Oliveira <i>et al.</i> (2019)

Fonte: Adaptado das prospecções realizadas.

Hidrolisado proteico de peixe

Os hidrolisados proteicos de peixes, mesmo quando produzidos com subprodutos de baixo valor comercial, são produtos com elevado valor nutricional (GEVAERT *et al.*, 2016; MANGANO *et al.*, 2021), que contém quase que predominantemente di- e tripeptídeos ou seja, são produtos da decomposição de proteínas de peixe em peptídeos menores, que normalmente contêm de 2 a 20 aminoácidos (CHALAMAIAH *et al.*, 2012), obtidos por via química ou enzimática (MARTINS; COSTA; PRENTICE-HERNÁNDEZ, 2009), sendo mais facilmente absorvidos do que os aminoácidos livres e as proteínas intactas, podendo também ser produzido a partir de produtos devariados, como colágeno extraído das próprias espécies de peixes (HONG *et al.*, 2019). Também, pelo menos em modelos animais, o hidrolisados proteicos de peixes demonstram possuir inúmeras propriedades benéficas para a saúde (VILLAMIL; VÁQUIRO; SOLANILLA, 2017; LEES; CARSON, 2020).

Os hidrolisados proteicos de peixes melhoram as propriedades funcionais e permitem a liberação de peptídeos com diferentes tamanhos e biofuncionalidades, tais como: agir como antioxidantes, antimicrobianos, anti-inflamatórios, anti-hiperglicêmicos e/ou até mesmo como anti-hipertensivo (ZAMORA-SILLERO; GHARSALLAOUI; PRENTICE, 2018; SHARKEY

et al., 2020). Vázquez *et al.* (2017) produziram hidrolisados proteicos com descartes de *Scyliorhinus canicula* com atividades anti-hipertensivas e antioxidantes, usando como método a hidrólise enzimática. O potencial das proteínas hidrolisadas de peixes em apresentar compostos com funções biológicas foi descrito por Ug *et al.* (2019) ao evidenciarem a capacidade anti-hipertensiva, como também por Rivero-Pino; Espejo-Carpio; Guadix (2020) que constatarem o perfil anti-hipertensivo e antioxidante de hidrolisados de sardinha, sinalizando as inúmeras possibilidades dessa matéria-prima.

Até a presente data, existem poucos alimentos direcionados à alimentação humana usando hidrolisado proteico de peixe, com exceção dos condimentos e molhos do Leste Asiático (KRISTINSSON; RASCO, 2000). He; Franco; Zhang (2015) usaram hidrolisado proteico de peixe para produção de empanado e bolo de peixe fritos. Contudo, a maior parte dos trabalhos com hidrolisados proteicos de peixes descreve os efeitos dos hidrolisado na nutrição animal, como os realizados por Rimoldi *et al.* (2020) em que os autores estudaram os efeitos da proteína hidrolisada de peixe e da levedura autolisada como substitutos da farinha de peixe na dieta de dourada (*Sparus aurata*), na microbiota intestinal de peixes.

Pezeshk *et al.* (2019) utilizaram o fracionamento hidrolisados proteicos de resíduos de atum albacora (*Thunnus albacores*) usando ultrafiltração de membrana (tamanho molecular: <3, 3-10, 10-30 e 30 kDa <) e puderam constatar as propriedades antibacterianas e antioxidantes a partir da fração de menor peso molecular (<3 kDa) teve significativamente a maior ($P < 0,05$) porcentagem de inibição de bactérias contra Gram-positivos (*Listeria* e *Staphylococcus*) e Gram-negativos (*E. coli* e *Pseudomonas*) microrganismos patogênicos e associados à deterioração de peixes e atividade de eliminação contra o radical DPPH e ABTS e o poder antioxidante redutor férrico entre os hidrolisados enzimáticos fracionados. Ghalamara *et al.* (2020) reportaram o potencial dos biopeptídeos de subprodutos de peixes, reforçando a importância de estudos adicionais para explorar, sobremaneira, o potencial dos peptídeos provenientes de proteínas de peixes como agentes antimicrobianos em potencial.

CONCLUSÕES

As inúmeras possibilidades de aproveitamento das proteínas provenientes do processamento de peixes têm atraído cada vez mais os segmentos industriais voltados para alimentação e produção de compostos nutracêuticos. Com esta revisão, foi possível evidenciar as possibilidades de proteínas do filé, do colágeno extraído da pele, escamas, bexiga natatória e ossos, da gelatina produzida pela hidrólise parcial das moléculas dos subtipos de colágeno, pelas enzimas, especialmente as digestivas, pela produção de hidrolisados proteicos e, por fim,

a sinalização do mercado tecnológico, ratificando cada vez mais o interesse crescente por produtos provenientes da Pesca e Aquicultura para fins biotecnológicos.

REFERÊNCIAS

ALFARO, A.T.; BALBINOT, E.; WEBER, C.I. *et al.* Fish Gelatin: Characteristics, Functional Properties, Applications and Future Potentials. **Food Engineering Reviews**, v.7, p.33–44, 2015. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9096-5>

BAO, Y.; WANG, K.; YANG, H.; REGENSTEIN, J.M.; ERTBJERG, P.; ZHOU, P. Protein degradation of black carp (*Mylopharyngodon piceus*) muscle during cold storage. **Food chemistry**, v.308, 125576, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125576>

BILUCA, F.C.; MARQUETTI, C.; ALFARO, A.T. Produção de gelatina de pele e ossos de bagre (*Clarias gariepinus*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v.5, n.1, p.418–426, 2011. 10.3895/S1981-36862011000100005S1

BOUGATEF, A. Trypsins from fish processing waste: characteristics and biotechnological applications – comprehensive review. **Journal of Cleaner Production**, v.57, p.257–265, 2013. doi:10.1016/j.jclepro.2013.06.005

CARUSO, G. Fishery Wastes and By-products: A Resource to Be Valorised. **Journal of FisheriesSciences.com**, v.10, n.1, p.012–015, 2016.

CHALAMAIAH, M.; DINESH KUMAR, B.; HEMALATHA, R.; JYOTHIRMAYI, T. Fish protein hydrolysates: proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: a review. **Food chemistry**, v.135, n.4, p.3020–3038, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.100>

COPPOLA, D.; LAURITANO, C.; PALMA ESPOSITO, F.; RICCIO, G.; RIZZO, C.; PASCALE, D. Fish Waste: From Problem to Valuable Resource. **Marine drugs**, v.19, n.2, Artigo 116, 2021.

DEBASHISH, G.;MALAY, S.; BARINDRA, S.; JOYDEEP, M. Marine enzymes. **Advances in biochemical engineering/biotechnology**, v.96, p.189–218, 2005. <https://doi.org/10.1007/b135785>

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Quality and quality changes in fresh fish**. Rome, 1995. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/v7180e/V7180E05.htm#4.3%20Proteins>>. Acesso: 28/04/2021.

GEVAERT, B.; VERYSER, L.; VERBEKE, F.; WYNENDAELE, E.; DE SPIEGELEER, B. Fish Hydrolysates: A Regulatory Perspective of Bioactive Peptides. **Protein and peptide letters**, v.23, n.12, p.1052–1060, 2016. <https://doi.org/10.2174/0929866523666161102122637>

GHALAMARA, S.; SILVA, S.; BRAZINHA, C.; PINTADO, M. Valorization of Fish by-products: Purification of Bioactive Peptides from Codfish Blood and Sardine Cooking Wastewaters by Membrane Processing. **Membranes**, v.10, n.3, Artigo 44, 2020.

<https://doi.org/10.3390/membranes10030044>

HE, S.; FRANCO, C.; ZHANG, W. Fish protein hydrolysates: application in deep-fried food and food safety analysis. **Journal of food science**, v.80, n.1, p.E108–E115, 2015. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12684>

380

HONG, H.; FAN, H.; CHALAMAIAH, M.; WU, J. Preparation of low-molecular-weight, collagen hydrolysates (peptides): Current progress, challenges, and future perspectives. **Food chemistry**, v.301, Artigo 125222, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125222>

JAFARI, H.; LISTA, A.; SIEKAPEN, M.M.; GHAFARI-BOHLOULI, P.; NIE, L.; ALIMORADI, H.; SHAVANDI, A. Fish Collagen: Extraction, Characterization, and Applications for Biomaterials Engineering. **Polymers**, v.12, n.10, Artigo 2230, 2020. <https://doi.org/10.3390/polym12102230>

KANG, M.G.; LEE, M.Y.; CHA, J.M.; LEE, J.K.; LEE, S.C.; KIM, J.; HWANG, Y.S.; BAE, H. Nanogels Derived from Fish Gelatin: Application to Drug Delivery System. **Marine drugs**, v.17, n.4, 246, 2019. <https://doi.org/10.3390/md17040246>

KANTSEROVA, N.P.; LYSENKO, L.A.; VESELOV, A.E.; NEMOVA, N.N. Protein degradation systems in the skeletal muscles of parr and smolt Atlantic salmon *Salmo salar* L. and brown trout *Salmo trutta* L. *Fish physiology and biochemistry*, v.43, n.4, p.1187–1194, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10695-017-0364-1>

KARIM, A.A.; BHAT, R. Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. **Food Hydrocolloids**, v.23, n.3, p.563–576, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.07.002>

KRISTINSSON, H.G.; RASCO, B.A. Fish protein hydrolysates: production, biochemical, and functional properties. **Critical reviews in food science and nutrition**, v.40, n.1, p.43–81, 2000. <https://doi.org/10.1080/10408690091189266>

KWAK, H.W.; SHIN, M.; LEE, J.Y.; YUN, H.; SONG, D.W.; YANG, Y.; SHIN, B.S.; PARK, Y.H.; LEE, K.H. Fabrication of an ultrafine fish gelatin nanofibrous web from an aqueous solution by electrospinning. **International journal of biological macromolecules**, v.102, p.1092–1103, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.04.087>

LEES, M.J.; CARSON, B.P. The Potential Role of Fish-Derived Protein Hydrolysates on Metabolic Health, Skeletal Muscle Mass and Function in Ageing. **Nutrients**, v.12, n.8, Artigo 2434, 2020. <https://doi.org/10.3390/nu12082434>

LIMA, M.M.; MUJICA, P.I.C.; LIMA, A.M. Caracterização química e avaliação do rendimento em filés de caranha (*Piaractus mesopotamicus*). **Brazilian Journal of Food Technology**, v.15, p.41–46, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1981-67232012005000031>>. Acesso: 29/04/2021.

LIU, D.; NIKOO, M.; BORAN, G.; ZHOU, P.; REGENSTEIN, J.M. Collagen and gelatin. **Annual review of food science and technology**, v.6, p.527–557, 2015. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-031414-111800>

LV, L.-C.; HUANG, Q.-Y.; DING, W.; XIAO, X.-H.; ZHANG, H.-Y.; XIONG, X.X. Fish gelatin: The novel potential applications. **Journal of Functional Foods**, v.63, Artigo 103581, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103581>

MANGANO, V.; GERVASI, T.; ROTONDO, A.; DE PASQUALE, P.; DUGO, G.; MACRÌ, F.; SALVO, A. Protein hydrolysates from anchovy waste: purification and chemical characterization. **Natural product research**, v.35, n.3, p.399–406, 2021. <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1634711>

MARTINS, V.G.; COSTA, J.A.V; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. Hidrolisado protéico de pescado obtido por vias química e enzimática a partir de corvina (*Micropogonias furnieri*). **Química Nova**, v.32, n.1, p.61-66, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000100012>

NAGARAJAN, M. *et al.* Characteristics and functional properties of gelatin from splendid squid (*Loligo formosana*) skin as affected by extraction temperatures. **Food Hydrocolloids**, v.29, n.2, p.389–397, 2012. [10.1016/j.foodhyd.2012.04.001](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.04.001)

NAMJOU, F.; YEGANEH, S.; MADANI, R.; OURAJI, H. Extraction, Purification, and Characterization of Trypsin Obtained from the Digestive System of Yellowfin Seabream (*Acanthopagrus latus*). **Archives of Razi Institute**, v.74, n.4, p.405–411, 2019. <https://doi.org/10.22092/ari.2018.122854.1229>

NEMOVA, N.N.; LYSENKO, L.A.; KANTSEROVA, N.P. Degradation of skeletal muscle protein during growth and development of salmonid fish. **Ontogenez**, v.47, n.4, p.197-208, 2016.

OLIVEIRA, V.M.; CARNEIRO CUNHA, M.N.; ASSIS, C.R.D.; NASCIMENTO, T.P.; HERCULANO, P.N.; CAVALCANTI, M.T.H.; PORTO, A.L. Colagenases de pescado e suas aplicações industriais. **Pubvet**, v.11, n.3, p.243-255, 2017a.

OLIVEIRA, V.M.; ASSIS, C.R.D.; HERCULANO, P.N.; CAVALCANTI, M.T.H.; BEZERRA, R.S.; PORTO, A.L.F. Collagenase from smooth weakfish: extraction, partial purification, characterization and collagen specificity test for industrial application. **Boletim do Instituto de Pesca (Online)**, v.43, p. 52-64, 2017b. [10.20950/1678-2305.2017v43n1p52](https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n1p52)

OLIVEIRA, V.M.; ASSIS, C.R.D.; SILVA, J.C.; SILVA, Q.J.; BEZERRA, R.S.; PORTO, A.L.F. Recovery of fibrinolytic and collagenolytic enzymes from fish and shrimp byproducts: potential source for biomedical applications. **Boletim do Instituto de Pesca (Online)**, v. 45, p.1-10, 2019. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2019.45.1.389>

OLIVEIRA, V.M.; ASSIS, C.R.D.; COSTA, B.A.M.; NERI, R.C.A.; DUARTE DO MONTE, F.T.; FREITAS, H.M.S.C.V.; FRANÇA, R.C.P.; SANTOS, J.F.; BEZERRA, R.S.; PORTO, A.L.F. Physical, biochemical, densitometric and spectroscopic techniques for characterization collagen from alternative sources: a review based on the sustainable valorization of aquatic by-products. **Journal of Molecular Structure**, v.1224, p.1-28, Artigo 129023, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.129023>

ØRNHOLT-JOHANSSON, G.; FROSCH, S.; GUDJÓNSDÓTTIR, M.; WULFF, T.; JESSEN, F. Muscle Protein Profiles Used for Prediction of Texture of Farmed Salmon (*Salmo salar* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.65, n.16, p.3413-3421. doi:

10.1021/acs.jafc.6b05588.

382

PEZESHK, S.; OJAGH, S.M.; REZAEI, M.; SHABANPOUR, B. Fractionation of Protein Hydrolysates of Fish Waste Using Membrane Ultrafiltration: Investigation of Antibacterial and Antioxidant Activities. **Probiotics and antimicrobial proteins**, v.11, n.3, p.1015–1022, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12602-018-9483-y>

POONSIN, T.; SIMPSON, B.K.; BENJAKUL, S.; VISESSANGUAN, W.; YOSHIDA, A.; KLOMKLAO, S. Albacore tuna spleen trypsin: Potential application as laundry detergent additive and in carotenoprotein extraction from Pacific white shrimp shells. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v.17, p.638–646, 2019. 10.1016/j.bcab.2019.01.013

RANASINGHE, R.A.S.N. *et al.* Functional and Bioactive Properties of Gelatin Extracted from Aquatic Bioresources – A Review. **Food Reviews International**, p.1–44, 2020. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1747486>

RIMOLDI, S.; GINI, E.; KOCH, J.; IANNINI, F.; BRAMBILLA, F.; TEROVA, G. Effects of hydrolyzed fish protein and autolyzed yeast as substitutes of fishmeal in the gilthead sea bream (*Sparus aurata*) diet, on fish intestinal microbiome. **BMC veterinary research**, v.16, n.1, Artigo 118, 2020. <https://doi.org/10.1186/s12917-020-02335-1>

RIVERO-PINO, F.; ESPEJO-CARPIO, F.J.; GUADIX, E.M. Evaluation of the bioactive potential of foods fortified with fish protein hydrolysates. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v.137, Artigo 109572, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109572>

SANTOS, D.M.R.C.; SANTOS, C.W.V.; SOUZA, C.B.; ALBUQUERQUE, F.S.; OLIVEIRA, J.M.S.; PEREIRA, H.J.V. Trypsin purified from *Coryphaena hippurus* (common dolphinfish): Purification, characterization, and application in commercial detergents. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v.25, Artigo 101584, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101584>

SENEVIRATHNE, M.; KIM, S.K. Utilization of seafood processing by-products: medicinal applications. **Advances in food and nutrition research**, v.65, p.495–512, 2012. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416003-3.00032-9>

SOARES, K.M.P.; GONÇALVES, A.A. Qualidade e segurança do pescado. **Revista do Instituto Adolfo Lutz (Impresso)**, v.71, n.1, p.1–10, 2012. Disponível em <http://periodicos.ses.sp.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0073-98552012000100001&lng=en&nrm=iso>. Acesso: 28/04/2021.

SUBHAN, F.; HUSSAIN, Z.; TAUSEEF, I.; SHEHZAD, A.; WAHID, F. A review on recent advances and applications of fish collagen. **Critical reviews in food science and nutrition**, v.61, n.6, p.1027–1037, 2021. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1751585>

SULTANA, S.; ALI, E.; AHAMAD, M.N.S. **Gelatine, collagen, and single cell proteins as a natural and newly emerging food ingredients**. In: ALI, E.; NIZAR, N.N.A. Preparation and Processing of Religious and Cultural Foods, p.215–239, 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101892-7.00011-0>

SHARKEY, S.J.; HARNEDY-ROTHWELL, P.A.; ALLSOPP, P.J.; HOLLYWOOD, L.E.;

FITZGERALD, R.J.; O'HARTE, F. A Narrative Review of the Anti-Hyperglycemic and Satiating Effects of Fish Protein Hydrolysates and Their Bioactive Peptides. **Molecular nutrition & food research**, v.64, n.21, Artigo e2000403, 2020. <https://doi.org/10.1002/mnfr.202000403>

SHYNI, K. *et al.* Isolation and characterization of gelatin from the skins of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*), dog shark (*Scoliodon sorrakowah*), and rohu (*Labeo rohita*). **Food Hydrocolloids**, v.39, p.68–76, 2014. 10.1016/j.foodhyd.2013.12.008

SILVA, J.C.; LINO, L.H.S.; CUNHA, M.N.C.; SILVA, J.M.; OLIVEIRA, V.M.; PORTO, A.L.F. Extraction of collagenolytic enzyme from fish viscera by phase partitioning (PEG/citrate) and its potential for industrial application. **Boletim do Instituto de Pesca (Online)**, v.46, p.1-8, 2021. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2020.46.4.593>

SIONKOWSKA, A.; ADAMIAK, K.; MUSIAŁ, K.; GADOMSKA, M. Collagen Based Materials in Cosmetic Applications: A Review. **Materials (Basel, Switzerland)**, v.13, n.19, Artigo 4217, 2020. <https://doi.org/10.3390/ma13194217>

TRINCONI, A. Marine biocatalysts: enzymatic features and applications. **Marine drugs**, v.9, n.4, p.478–499, 2011. <https://doi.org/10.3390/md9040478>

UG, Y.; BHAT, I.; KARUNASAGAR, I.; BS, M. Antihypertensive activity of fish protein hydrolysates and its peptides. **Critical reviews in food science and nutrition**, v.59, n.15, p.2363–2374, 2019. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1452182>

VÁZQUEZ, J.A.; BLANCO, M.; MASSA, A.E.; AMADO, I.R.; PÉREZ-MARTÍN, R.I. Production of Fish Protein Hydrolysates from *Scyliorhinus canicula* Discards with Antihypertensive and Antioxidant Activities by Enzymatic Hydrolysis and Mathematical Optimization Using Response Surface Methodology. **Marine drugs**, v.15, n.10, Artigo 306, 2017. <https://doi.org/10.3390/md15100306>

VENKATESAN, J.; ANIL, S.; KIM, S.K.; SHIM, M.S. Marine fish proteins and peptides for cosmeceuticals: a review. **Marine drugs**, v.15, n.5, Artigo 143, 2017. <https://doi.org/10.3390/md15050143>

VILLAMIL, O.; VÁQUIRO, H.; SOLANILLA, J.F. Fish viscera protein hydrolysates: Production, potential applications and functional and bioactive properties. **Food chemistry**, v.224, p.160–171, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.057>

WU, C.K.; TSAI, J.S.; SUNG, W.C. Functional Characteristics of Ultraviolet-Irradiated Tilapia Fish Skin Gelatin. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v.24, n.2, 254, 2019. <https://doi.org/10.3390/molecules24020254>

ZAMORA-SILLERO, J.; GHARSALLAOUI, A.; PRENTICE, C. Peptides from Fish By-product Protein Hydrolysates and Its Functional Properties: an Overview. **Marine biotechnology (New York, N.Y.)**, v.20, n.2, p.118–130, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10126-018-9799-3>

ZHANG, Y.; TU, D.; SHEN, Q.; DAI, Z. Fish Scale Valorization by Hydrothermal Pretreatment Followed by Enzymatic Hydrolysis for Gelatin Hydrolysate Production.

ZHENG, L.; WEI, H.; YU, H.; XING, Q.; ZOU, Y.; ZHOU, Y.; PENG, J. Fish Skin Gelatin Hydrolysate Production by Ginger Powder Induces Glutathione Synthesis To Prevent Hydrogen Peroxide Induced Intestinal Oxidative Stress via the Pept1-p62-Nrf2 Cascade. **Journal of agricultural and food chemistry**, v.66, n.44, p.11601–11611, 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02840>

YANG, F.; JIA, S.; LIU, J.; GAO, P.; YU, D.; JIANG, Q.; XU, Y.; YU, P.; XIA, W.; ZHAN, X. The relationship between degradation of myofibrillar structural proteins and texture of superchilled grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillet. **Food chemistry**, v.301, 125278, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125278>