

# 水产品加工中蛋白酶的应用进展

张娅楠, 赵利\*, 袁美兰, 陈丽丽

(江西科技师范大学生命科学学院, 国家淡水鱼加工研发技术分中心(南昌), 南昌 330013)

**摘要:** 我国水域辽阔, 水产资源十分丰富, 水产品产量已连续 23 年位居世界首位, 水产养殖总量约占全球 20%。传统加工工艺处理水产品具有加工利用率低、副产物较高、经济效益差等缺点。将蛋白酶技术应用于水产品加工, 可有效提升产品品质, 提高资源利用率。目前国内外对蛋白酶在水产品中应用的研究, 主要集中于利用蛋白酶获得功能性多肽和氨基酸; 通过分解蛋白质破坏组织内部结构得到高产优质鱼油; 通过外加蛋白酶缩短鱼露发酵时间。另有少数学者研究发现, 蛋白酶水解产物可以作为新型鱼糜抗冻剂。水产品加工过程中的副产物是水产品开发过程中迫切需要解决的难题, 利用蛋白酶技术, 可将副产物加工成具有较高营养价值的鱼油、鱼露等产品。本文主要综述了蛋白酶种类及其在水产品加工中的研究进展。

**关键词:** 蛋白酶; 水产品; 加工; 应用

## Application progress of protease in processing of aquatic product

ZHANG Ya-Nan, ZHAO Li\*, YUAN Mei-Lan, CHEN Li-Li

(School of Life Science, Jiangxi Science and Technology Normal University, National R & D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing, Nanchang 330013, China)

**ABSTRACT:** The marine resources are very rich in China, the aquatic products output of China has ranked first in the world for 23 years, and the total aquaculture has accounted for about 20% of global. Proteases digestion technology is widely used to improve product efficiency and product quality on the processing of aquatic products. Researches showed that protease could be used to produce functional peptides and amino acids. High yield and high quality fish oil could be obtained by protease which could destroy the internal structure of protein organization. Adding protease could shorten the fish sauce fermentation time. A few studies had also shown the denaturation of surimi protein might be suppressed by the addition of hydrolysates. A big amount of marine by products was produced every year, and how to raise their utilizing efficiency was also a matter of great significance for reducing pollution. This paper reviews the kinds of proteases and the application status of proteases.

**KEY WORDS:** proteases; aquatic product; processing; application

## 1 引言

水产品具有低脂肪、高蛋白质、高营养价值等优良特点。食用水产品可以满足人体营养需求, 同时不会给身体

带来过多负担, 因此受到世界各国人民的喜爱。中国水产品产量已连续 23 年位居世界首位, 水产养殖总量约占全球 20%。我国水产品的传统加工技术主要是干制、烟熏、糟制、腌制和天然发酵等<sup>[1]</sup>。传统加工方法操作简单, 加工

基金项目: 江西省现代农业产业技术体系建设专项(2013-2580)

**Fund:** Supported by the Special Construction of Modern Agricultural Industry Technology System in Jiangxi Province (2013-2580)

\*通讯作者: 赵利, 教授, 主要研究方向为食品化学。E-mail: lizhao618@hotmail.com

\*Corresponding author: ZHAO Li, Professor, School of Life Science, Jiangxi Science and Technology Normal University. Nanchang 330013, China. E-mail: lizhao618@hotmail.com

利用率不高,产品附加值较低。

随着生活水平的提高,传统加工方式将无法满足不同消费者对食品营养价值和感官品质等方面的要求。近年来不少研究显示,酶技术特别是蛋白酶对改善水产品及其副产物风味、生物特性有显著效果。肖月娟<sup>[2]</sup>研究了斑鲮鱼蛋白酶酶解物的抗氧化活性,结果显示酶解产物的 DPPH 自由基清除率达到 89.54%。邓尚贵等<sup>[3]</sup>研究发现采用碱性蛋白酶、中性蛋白酶和风味蛋白酶制得的鱼露氮态氮占总氮 61.0%、钙含量为 33.7 mg/g,比传统鱼露更适合缺钙的老人和儿童。

## 2 蛋白酶概述

酶是活细胞产生的具有高度专一性、高效催化功能和高度受控性的一类特殊物质<sup>[4]</sup>。蛋白酶指能够催化蛋白质内部肽键水解的活性物质,是主要的酶制剂之一。用于食品加工中的蛋白酶种类很多,从来源可分为动物蛋白酶(例如,胃蛋白酶、胰蛋白酶、胰凝乳蛋白酶)、植物蛋白酶(例如,菠萝蛋白酶、无花果蛋白酶、木瓜蛋白酶)和微生物蛋白酶(例如,Alcalase、Flavourzyme、Neutrase)三类。按剪切位点分为外切酶和内切酶,根据 pH 不同又可分为碱性蛋白酶、酸性蛋白酶和中性蛋白酶。胡学志等<sup>[5]</sup>认为从蛋白酶活性中心分类比较合理,将蛋白酶分为:丝氨酸蛋白酶、半胱氨酸蛋白酶、金属蛋白酶和天冬氨酸蛋白酶四类。

### 2.1 丝氨酸蛋白酶

丝氨酸蛋白酶类在霉菌、细菌及动物胰脏中广泛存在。这类蛋白酶以丝氨酸为活性中心,在病原侵入、细胞分化、组织重建、血管形成、胚胎发育过程中发挥重要作用<sup>[6]</sup>。丝氨酸蛋白酶类的活性部位结构相近,一般都含有 Ser、Asp 和 His,在结构上丝氨酸蛋白酶全部属于  $\beta$  蛋白,核心结构由两个相似的 C 结构域和 N 结构域组成<sup>[7]</sup>。人们对丝氨酸蛋白酶类的功能、结构及重组的研究比较深入,很多种类的丝氨酸蛋白酶已被广泛应用到医药和食品等领域。常见的丝氨酸蛋白酶有:胰蛋白酶、糜蛋白酶和弹性蛋白酶等。

### 2.2 半胱氨酸蛋白酶

半胱氨酸蛋白酶主要存在于真核生物和原核生物中,蛋白酶活性位点含有亲核的 Cys 残基<sup>[8]</sup>。大部分半胱氨酸蛋白酶的最适 pH 范围是 7~8,个别为酸性(如 Lysosomal 蛋白酶)。食品领域应用比较广泛的木瓜蛋白酶、无花果蛋白酶和菠萝蛋白酶都属于半胱氨酸蛋白酶类。

### 2.3 金属蛋白酶

金属蛋白酶是指活性中心依赖于金属离子的一类蛋白酶,大部分金属蛋白酶属于  $Zn^{2+}$ 金属蛋白酶<sup>[9]</sup>。此类蛋白酶最适 pH 范围是 7~8,酶解活性易受金属蛋白酶组织抑

制因子(TIMPs)所抑制,结构上具有 40%~50%的同源性,广泛分布于植物、动物及微生物中<sup>[10]</sup>。目前,金属蛋白酶主要应用于食品、抗肿瘤药物、化妆品及洗涤剂中,如:胰凝乳蛋白酶(Ca)、羧肽酶(Zn)、中性蛋白酶(Zn)、嗜热菌蛋白酶(Ca、Zn)和胶原酶(Ca、Zn)等。

### 2.4 天冬氨酸蛋白酶<sup>[11]</sup>

天冬氨酸蛋白酶是指活性位点 cleft 包含两个催化性天冬氨酸盐残基的一类蛋白水解酶。这类蛋白酶最适 pH 为 2~5, pH 高于 6 时失去活性,广泛存在于哺乳动物、植物、真菌及病毒中。天冬氨酸蛋白酶具有降解抗原、消化食物蛋白和调整血压等功能。

利用蛋白酶酶解水产品及其副产物,可使其中的大分子蛋白质分解成更容易被人体吸收的小分子多肽和游离氨基酸,有效提高了水产品蛋白质的营养价值。

## 3 蛋白酶在水产品加工中应用

### 3.1 水产蛋白肽

蛋白水解物具有多种优点,一方面具有营养价值高、运输储存方便快捷的优势,是良好的蛋白质来源<sup>[12]</sup>;另一方面水解物中含有丰富的低分子多肽和氨基酸。早在上个世纪,日本已经开发出适合高血压患者使用的低分子鱼肽<sup>[13]</sup>。国外对鱼蛋白的研究利用主要集中在近海鱼类方面,国内则主要研究低值海鱼和鱼下脚料酶法水解产物的功能特性、营养评价和风味强化等。

Evae 等<sup>[14]</sup>研究中性蛋白酶和碱性蛋白酶水解大西洋鲑鱼废弃物的性能,得出料液比是影响多肽回收率的主要因素。Liaset<sup>[15]</sup>等用风味蛋白酶酶解大马哈鱼鱼骨头上残留的蛋白质,在 50 °C、pH 7.7、90 AU/kg 酶添加量的条件下蛋白质回收率高达 76%。Asbjørn 等<sup>[16]</sup>比较了酶法水解鱼蛋白和酸法水解对虾头中蛋白回收率的影响,结果表明酶法水解效率是酸法水解的 5 倍。Byun 等<sup>[17]</sup>研究获得了阿拉斯加青鲑鱼水解物,并从水解产物中分离得到了 Gly-Pro-Leu 和 Gly-Pro-Me 两个三肽,它们的相对分子质量介于 900~1900 Da 之间,对血管紧张素转化酶(ACE)具有较高的抑制活性。

王新星等<sup>[18]</sup>研究了鱼蛋白水解后的氨基酸、矿物质和维生素含量等,结果显示水解产物必需氨基酸占总氨基酸含量的比值较高,并且富含硒、碘、VB<sub>2</sub> 和 VB<sub>5</sub> 等人体需要的元素和维生素。陈海桂等<sup>[19]</sup>利用鲢鱼为原料对鱼蛋白质粉的加工技术进行了系统研究,通过脱脂、蛋白酶优化、脱苦和脱腥等步骤制得了高蛋白含量、营养价值高和氮溶指数良好的鱼蛋白质粉。

大量研究资料表明,利用蛋白酶水解技术获得的肽类物质具有降血脂、抗氧化、抗肿瘤和护肤等生理活性。夏松养<sup>[20]</sup>选用中性蛋白酶和风味蛋白酶酶解鳊鱼蛋白质,获得的鳊鱼多肽能抑制高血脂大鼠的高密度脂蛋白胆固醇

(HDL-C)、甘油三酯(TG)和血清总胆固醇(TC)含量的升高,并且用该水解物连续灌胃 100 d 后,高血脂大鼠的高密度脂蛋白胆固醇浓度恢复正常。王静凤等<sup>[21]</sup>研究发现,不同相对分子质量的鱿鱼皮胶原蛋白多肽具有抑制 B16 黑色素瘤细胞黑素合成的作用。从加勒比海绵中分离获得的环肽 Poly discamide A 对肺癌 A 549 细胞具有细胞毒活性,其 IC<sub>50</sub> 可达 0.7 μg/mL<sup>[22]</sup>。

通过蛋白酶水解获得的生物活性肽具有成本低、安全性好、原料廉价、设备及实验条件要求较低、便于工业化生产等优点,因此获得广泛的研究和应用。

### 3.2 新型抗冻剂

在水产品冷冻过程中,蛋白质性质会发生变化,引起肉质品质和口感下降。冷冻后鱼糜制品的凝胶性、持水力和肌原纤维蛋白 ATP 酶活性都会显著降低。经蛋白酶处理的水产加工副产品,含丰富的氨基酸和多肽类物质。这类水解产物营养丰富,且表现出一定的生物活性<sup>[23]</sup>。国内外大量研究显示,鱼类蛋白质酶解产物表现出很强的抗氧化性。同时也有研究表明,鱼类蛋白质酶解产物具有一定的抗冻性。

束玉珍<sup>[24]</sup>利用风味蛋白酶酶解鲑鱼鱼肉,获得水解度分别为 5%、10%、15%、20%和 25%的酶解产物,并将不同水解度酶解产物添加至带鱼鱼糜中,-20℃冷冻储藏。结果显示,冷冻储藏 4 周后,加入水解度为 25%的酶解物实验组蛋白质 Ca-ATP 酶活仍维持 60%,鱼保水性为 97%左右,随水解程度增加,酶解产物抗蛋白冷冻效果增强。

张娅楠等<sup>[25]</sup>利用 Alcalase 碱性蛋白酶和木瓜蛋白酶分步水解鳗鱼鱼头,将制得的单一酶解产物与复合酶解产物添加至草鱼鱼糜中,-20℃冷冻储藏 80 天。结果显示,单一酶水解产物组和复合酶水解产物组肌原纤维蛋白含量分别为 34.84%和 35.41%,高于空白组和传统抗冻剂组;单一酶水解产物组和复合酶水解产物组肌原纤维蛋白 ATPase 活力分别维持在 21.72%和 26.27%,空白组 ATPase 活力为 3.32%。

### 3.3 鱼油

水产品中脂肪含量十分丰富,其营养价值也远高于普通油脂。与一般动植物油不同,鱼油中含有二十二碳六烯酸(DHA)和二十碳五烯酸(EPA)等 ω-3 系多不饱和脂肪酸,这类多不饱和脂肪酸具有降血压、预防心脑血管疾病、抗癌和促进幼儿生长发育等特殊生理功能,因此鱼油不仅可做食用、制皂、润滑剂和饲料添加剂,精加工后更可作为保健品为人类所利用<sup>[26]</sup>。传统鱼油提取方法多经过极端的操作条件,造成油脂过氧化、酸败及聚合等现象发生,引起鱼油中一些营养成分功能性丧失。为减少提取工艺对鱼油品质的影响,近年来出现了一些新技术,如利用酶法,使脂肪游离出来的生物酶技术,所得鱼油产率较高,品质较

佳,不饱和脂肪酸含量也比较理想。

郝记明等<sup>[27]</sup>采用中性蛋白酶处理罗非鱼副产物,在酶解工艺为固液比 1:1、酶解温度 30℃、酶添加量 1%和酶解时间 20 min 条件下,所得鱼油中多不饱和脂肪酸和单不饱和脂肪含量分别为 17.9%和 37.6%。刘春娥等<sup>[28]</sup>向大马哈鱼脂肪线中添加中性蛋白酶提取鱼油,结果表明当固液比 2:1,酶解温度 45℃、酶添加量 1.5%和酶解时间 60 min 时,鱼油提取率为 78.70%,所获得的鱼油理化指标可达到粗鱼油二级标准。刘书成等<sup>[29]</sup>用胰蛋白酶酶解金枪鱼鱼头,提取的鱼油中含不饱和脂肪酸总量为 38.47%,EPA 和 DHA 含量分别为 4.84%和 23.63%。

蛋白酶水解蛋白质能更彻底地破坏含油组织结构,促进油脂游离出来。酶法工艺鱼油提取率较高,可很好地保证鱼油品质,提取后剩余部分可被继续加工利用,不会对环境造成污染。

### 3.4 鱼露调味品

鱼露是日本、东南亚各国及我国东南部沿海经常食用的一种风味独特的调味品,一般以鱼及其副产品作为原料。鱼露传统制造工艺主要是利用鱼体内所含的酶类物质及微生物,分解原料中的脂肪和蛋白质等成分发酵制得<sup>[30]</sup>。传统工艺生产所得的鱼露盐分含量高,发酵周期长,劳动强度大。

近年来,不少学者研究发现,通过外加蛋白酶可有效缩短发酵时间,并可在一定程度上提高鱼露品质。江津津等<sup>[31]</sup>研究发现鱼露发酵初期加入中性蛋白酶的实验组总氮含量为对照传统发酵工艺实验组的 2.58 倍,氨基态氮含量为对照组的 1.65 倍。黄椿鉴等<sup>[32]</sup>通过外加中性蛋白酶发酵制备鱼露,实验结果表明外加酶发酵组氨基态氮含量增加速度约为自然发酵组的 1.8 倍。晁岱秀等<sup>[33]</sup>利用碱性蛋白酶、木瓜蛋白酶和风味蛋白酶酶解罗非鱼鱼排和鳗鱼制取鱼露,实验表明木瓜蛋白酶与风味蛋白酶复合水解组鱼露样品中总可溶性氮含量最高,是传统鱼露组的 2 倍,风味成分组成与传统组也有较大差别。

蛋白酶种类繁多,酶解效果差异较大,并非所有蛋白酶均适合水产品及其副产品的加工利用,选择适宜的蛋白酶,并选择较好的酶解工艺对提升产品品质及经济效益有重要意义。

## 4 蛋白酶技术应用中存在的问题

### 4.1 蛋白酶筛选及工艺优化

蛋白酶的价格直接影响加工成本,同时由于切割位点不同,蛋白酶对同种蛋白质的水解效果也不同,相同蛋白酶在不同工艺条件下水解效果也有较大差别。筛选廉价、高效的蛋白酶,并研究不同工艺条件蛋白酶水解效果对生产加工有重要意义。

Vilailak<sup>[34]</sup>用 Alcalase 碱性蛋白酶和风味蛋白酶分别水解黄条纹鲑鱼, Alcalase 碱性蛋白酶水解效果较好, 水解度可达到 18%, 木瓜蛋白酶水解液的水解度只有 10%左右。Deng 等<sup>[35]</sup>采用木瓜蛋白酶和风味蛋白酶水解低值鱼鱼肉蛋白, 水解度可达到 23.7%。

#### 4.2 酶解产物脱色和去除苦味

蛋白酶酶解作用会造成蛋白质内部的疏水氨基酸残基暴露出来, 使酶解产物产生苦味<sup>[36]</sup>。酶解产物中苦味肽的存在会影响消费者对产品的接受程度。酶解产物苦味值的大小, 主要受所用蛋白酶种类及水解效果影响。研究表明通过复合酶水解工艺可以在一定程度上减少了苦味的产生。林奕等<sup>[37]</sup>用复合蛋白酶和风味蛋白酶分段水解水蛤肉, 水解液鲜味浓郁, 无腥苦味, 风味评分值为 230.98。

蛋白质经酶解后, 酶解液一般呈现深浅不一的黄色, 水解度增大, 酶解液颜色呈加深趋势<sup>[38]</sup>。刘惠宾等<sup>[39]</sup>研究表明, 利用活性炭对鳀鱼酶解液进行脱色效果显著。

### 5 展 望

我国水产品消费主要由城乡居民消费需求、居民对水产加工品需要、水产品净出口以及加工运输过程中的损耗和减重四部分组成<sup>[40]</sup>。任爱景等预计到 2030 年我国城乡居民水产品的消费需求将达到 3314 万吨; 加工水产品需求量可达 2188.95 万吨; 水产品出口量将达 696.09 万吨; 我国水产需求总量将超过 9000 万吨<sup>[41]</sup>。

随着人们健康理念的提高, 水产蛋白因其优质又健康必然将越来越受到大众的青睐, 水产品市场将会出现供不应求的现象, 要满足人民生活需求必须提高渔业生产效率。在水产养殖环境恶化和海洋资源退化的客观条件下, 有效利用水产品加工中产生的多达 40% 的下脚料, 开发高附加值的水产制品, 对缓解资源短缺现状有重要意义<sup>[42,43]</sup>。

鱼类加工过程中会产生鱼头、鱼骨、鱼鳍、鱼鳞、鱼皮等大量的副产物, 这些副产物中含有大量的优质蛋白质, 简单的粉碎和干燥处理方法无法实现蛋白质的充分利用, 产品的经济价值也较低<sup>[44]</sup>。虾类加工过程中的副产物主要包括虾头和虾壳, 利用蛋白酶技术生产虾油等虾味调味品具有重要的实践意义<sup>[45]</sup>。郑捷等利用复合蛋白酶技术处理虾副产物, 经过辅料调配, 制成了香味浓郁、虾味鲜美的高级调味料<sup>[46]</sup>。贝类加工过程中产生的副产物有裙边肉、中肠腺软体部和贝壳等, 利用蛋白酶技术结合喷雾技术和美拉德反应可以生产牛磺酸、氨基酸和调味品等<sup>[47]</sup>。

我国水产资源长期处于过度捕捞状态, 经济型水产资源逐渐衰退, 利用低值水产资源将成为水产研究的重点<sup>[48,49]</sup>。虽然我国水产品产量逐年升高, 但产品质量不高, 加工技术较落后, 深加工和精加工较少, 这些因素都制约着我国水产资源的发展<sup>[50]</sup>。加强蛋白酶等新技术在水产加工

中的运用, 一方面可以提高产品技术含量, 另一方面可以有效地利用水产加工副产物, 对提升我国水产品的国际竞争力有重要意义。

#### 参考文献

- [1] 孟祥萍. 食品原料学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2010: 55-94.  
Meng XP. Raw material of food[M]. Beijing: Beijing Normal University press, 2010: 55-94.
- [2] 肖月娟, 李润丰, 郑立红, 等. 斑鲮鱼蛋白控制酶解及其酶解物抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2010, 10(5): 91-97.  
Xiao YJ, Li RF, Zheng LH, *et al.* Studies on controlled enzymolysis of clupanodome punctatus protein and antioxidant activity of its hydrolysates [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2010, 10(5): 91-97.
- [3] 邓尚贵, 彭志英, 杨萍, 等. 多酶法在鱼露生产工艺中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(2): 32-36.  
Deng SG, Peng ZY, Yang P, *et al.* Application of multi-enzymatic method in fermented fish sauce production from harengula zumasi's offal [J]. Food Ferment Ind, 2002, 28(2): 32-36.
- [4] Birch GG, Blakebrough N. Enzymes and food processing [M]. Applied Science Publishers LTD. 1981
- [5] 胡学智. 蛋白酶的生产和应用[J]. 江苏调味副产品, 2006, 23(6): 1-22.  
Hu XZ. Protease's Production and its application [J]. Jiangsu Condiment Subsidiary Food, 2006, 23(6): 1-22.
- [6] 何智, 陈政良. 补体系统丝氨酸蛋白酶的结构与功能[J]. 国外医学免疫学分册, 2004, 27(6): 316-319.  
He Z, Chen ZL. The Structure and Function of the complement system serine protease [J]. Foreign Med Sci Immunol, 2004, 27(6): 316-319.
- [7] 孙之荣, 王钰, 胡胜民, 等. 丝氨酸蛋白酶超家族分子结构进化研究[J]. 生物物理学报, 1999, 15(3): 530-534.  
Sun ZR, Wang R, Hu SM, *et al.* Study on the molecule structural evolution of serine proteinase superfamily [J]. Acta Biophysica Sinica, 1999, 15(3): 530-534.
- [8] Bernd W. Structure- function relationship in class CA1 cysteine peptidase propeptides[J]. Acta Biochemical Polonica, 2003, 50(3): 691-713.
- [9] 荆谷, 冯静, 孔健, 等. 微生物金属蛋白酶的研究进展[J]. 生物工程进展, 2002, 22(1): 56-63.  
Jin G, Feng J, Kong J, *et al.* Progress in the study on therapeutic mab[J]. Prog Biotechnol, 2002, 22(1): 56-63.
- [10] 赵云阁, 祝诚. 细胞外基质与基质金属蛋白酶[J]. 生物化学与生物物理进展, 1999, 26(3): 223-228.  
Zhao YG, Zhu C. Extra cellular matrix and matrix metalloproteinases[J]. Prog Biochem Biophys, 1999, 26(3): 223-228.
- [11] 吕刚, 韩笑, 张秀娟, 等. 天冬氨酸蛋白酶的研究进展[J]. 吉林化工学院学报, 2008, 25(1): 13-18.  
Lv G, Han X, Zhang XJ, *et al.* Research advancement on aspartic proteinase [J]. J Jilin Inst Chem Technol, 2008, 25(1): 13-18.
- [12] 夏松养, 奚印慈, 谢超. 水产食品加工学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 199-236.  
Xia SY, Xi YC, Xie C. Processing of aquatic food science[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008: 199-236.
- [13] 葛轶群, 俞建瑛, 宋伟文, 等. 生物活性肽的研究进展[J]. 中国生物化学物杂志. 1998, 19(6): 404-406.  
Ge YQ, Yu JY, Song WW, *et al.* Research progress of bioactive pep-

- tides[J]. Chin J Biochem Pharm, 1998, 19(6): 404-406.
- [14] Rasa L, Egidijus D, Eva F. Yield and composition of different fractions obtained after enzymatic hydrolysis of cod (*Gadus morhua*) by-products [J]. Process Biochem, 2005, 40: 1415-1424.
- [15] Liaset B, Nortved R, Lied E. Studies on the nitrogen recovery in enzymic hydrolysis of Atlanticsalmon (*Salmo salar*, L.) frames by Protamex protease [J]. Process Biochem, 2002, 37: 1263-1269.
- [16] Asbjørn G, Even S. A new process for advanced utilization of shrimp waste [J]. Process Biochem, 2001, 36: 809-812.
- [17] Byun H G, Kim SK. Purification and characterization of angiotensin I converting enzyme(ACE) inhibitory peptides from Alaska Pollack (*Theragra chalcogramma*) skin [J]. Process Biochem, 2001, 36: 1155-1162.
- [18] 王新星, 孔凡华. 水解鱼蛋白营养组成及评价[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(3): 104-110.  
Wang XX, Kong FH, *et al.* Evaluation on the nutritional composition of fish protein hydrolysate[J]. Progress Fishery Sci, 2011, 32(3): 104-110.
- [19] 陈海桂, 王阳光. 酶解鲈鱼蛋白制取功能性鱼蛋白粉加工工艺研究[J]. 现代农业科技, 2008, 20: 227-228.  
Chen HG, Wang HG. Study on Processing technology of chub mackerel protein powder for preparing functional fish protein enzymolysis [J]. Mod Agric Sci Technol, 2008, 20: 227-228.
- [20] 夏松养, 邓尚贵, 谢超, 等. 鲢鱼蛋白水解物的营养成分及抗高血脂作用的研究[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(4): 368-373.  
Xia SY, Deng SC, Xie C, *et al.* Nutritional ingredient and antihyperlipidemia action of protein hydrolysates from anchovy *engraulis japonicas* [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2008, 39(4): 368-373.
- [21] 王静凤, 王奕, 崔凤霞. 鲑鱼皮胶原蛋白多肽对 B16 黑素瘤细胞黑素合成的影响[J]. 中国药理学通报, 2007, 23(9): 1181-1184.  
Wang JF, Wang Y, Cui FX. Effects of collagen polypeptides from squid skin on melanogenesis in B16 melanoma cells[J]. Chin Pharm Bull, 2007, 23(9): 1181-1184.
- [22] 赵锐, 顾谦群, 管华诗. 海洋活性肽的研究进展[J]. 海洋科学, 2000, 24(6): 14.  
Zhao R, Gu QQ, Guan HS. Progress in studies of marine biological peptides [J]. Mar Sci, 2000, 24(6): 14.
- [23] 董文滨, 杨覃艳, 胡献丽, 等. 动物蛋白生物活性肽的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2004, 25(5): 66-69.  
Dong WB, Yang ZY, Hu XL, *et al.* Research advances of bioactive peptides derived from animal protein[J]. Food Res Dev, 2004, 25(5): 66-69.
- [24] 束玉珍, 杨文鸽, 徐大伦, 等. 鲈鱼肉酶解物对带鱼鱼糜蛋白冷冻变性的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(1): 68-73.  
Su YZ, Yang WG, Xu DL, *et al.* Effect of hydrolysate on protein denaturation of hairtail surimi during frozen storage [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2014, 14(1): 68-73.
- [25] 张娅楠. 鳗鱼头酶解工艺及产物性质研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2012: 15-39.  
Zhang YN. Eel head enzymolysis and product Characteristics[D]. Nanchang: Nanchang University, 2012: 15-39.
- [26] 杨春祥. 鱼油加工工艺的研究[J]. 中国油脂, 2002, 27(3): 94-95.  
Yang CX. Study on the processing technology of fish oil [J]. China Oils Fats, 2002, 27(3): 94-95.
- [27] 郝记明, 刘书成, 张静, 等. 利用罗非鱼下脚料提取鱼油的工艺研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(7): 207-211.  
He JM, Liu SC, Zhang J, *et al.* Research on extraction of fish oil from tilapia byproduct [J]. Food Sci Technol, 2009, 30(7): 207-211.
- [28] 刘春娥, 刘峰, 孙晓. 酶法从大麻哈鱼的脂肪线中提取鱼油的方法研究[J]. 食品研究与开发, 2010, 5(5): 73-75.  
Liu CE, Liu F, Sun X. Study on extraction of fish oil from chum salmon fat line by enzymolysis [J]. Food Res Dev, 2010, 5(5): 73-75.
- [29] 刘书成, 章超群, 洪鹏志, 等. 酶解法从黄鳍金枪鱼鱼头中提取鱼油的研究[J]. 福建水产, 2007, 3(1): 46-50.  
Liu SC, Zhang CH, Hong PZ, *et al.* Extraction of fish oil from yellow fin tuna head by protease hydrolysis [J]. J Fujian Fisheries, 2007, 3(1): 46-50.
- [30] 孙美琴. 鱼露的风味及快速发酵工艺研究[J]. 现代食品科技, 2006, 22(4): 280-284.  
Sun MQ. The flavor and rapid fermentation process of fish sauce [J]. Mod Food Sci Technol, 2006, 22(4): 280-284.
- [31] 江津津, 曾庆孝, 朱志伟, 等. 中性蛋白酶对鲢制鱼露风味形成的影响[J]. 现代食品科技, 2009, 25(2): 141-143.  
Jiang JJ, Zeng QX, Zhu ZW, *et al.* Influence of neutral protease on formation of volatile aroma components in anchovy sauce[J]. Mod Food Sci Technol, 2009, 25(2): 141-143.
- [32] 黄樟鉴, 傅红, 汪少芸, 等. 鱼露外加酶工艺的探讨[J]. 福州大学学报(自然科学版), 1997, 25(4): 119-121.  
Huang CJ, Fu H, Wang SY, *et al.* Inquiries about external enzyme technique of fish-sauce [J]. J Fuzhou University, 1997, 25(4): 119-121.
- [33] 晁岱秀, 朱志伟, 曾庆孝, 等. 罗非鱼和鲢鱼酶解鱼露后熟阶段理化变化研究[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(9): 62-67.  
Yao DX, Zhu ZW, Zeng QX, *et al.* Physicochemical changes of after-ripening of enzymatic hydrolysis fish sauce with anchovy and tilapia [J]. Food Ferment Ind, 2009, 35(9): 62-67.
- [34] Vilailak K, Soottawat B, Duangporn K. Antioxidative activity and functional properties of protein hydrolysate of yellow stripe trevally (*Selaroides leptocephalus*) as influenced by the degree of hydrolysis and enzyme type [J]. Food Chem, 2007, 102: 1317-1327.
- [35] Deng SG, Huo JC, Xie C. Preparation by enzymolysis and bioactivity of iron complex of fish protein hydrolysate from low value fish [J]. Chin J Oceanol Limnol, 2008, 3(26): 300-306.
- [36] Adler-Nissen J. Enzymic hydrolysis of food proteins[M]. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1985. 57-62, 69-73.
- [37] 林雯, 陈丽娇. 文蛤肉复合酶分步酶解工艺的研究[J]. 食品科学, 2009, 30(9): 158-162.  
Lin L, Chen LJ. Two-step enzymolysis technology of had clam meat with compound proteases [J]. Food Sci, 2009, 30(9): 158-162.
- [38] 王龙, 叶克难. 水产蛋白资源的酶解利用研究现状与展望[J]. 食品科学, 2006, 27(12): 807-812.  
Wang L, Ye KN. Enzymatic hydrolysis of aquatic proteins a review [J]. Food Sci, 2006, 27(12): 807-812.
- [39] 刘惠宾, 赖其法, 金承涛. 活性炭对鱼蛋白水解液脱色效果的研究[J]. 食品科学, 1998, 19(9): 17-20.  
Liu HB, Lai QF, Jin CT. Study on the fish protein hydrolysate decolorization activated carbon [J]. Food Sci, 1998, 19(9): 17-20.
- [40] 孙琛. 我国水产品市场供需平衡分析[J]. 中国渔业经济研究, 2000, (3): 28-29.  
Sun C. An analysis on the balance of supply and demand in aquatic products market in China [J]. Chin Fisheries Eco Res, 2000, (3): 28-29.

- [41] 任爱景, 杨正勇, 戴亚娟, 等. 我国水产品需求预测研究[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 1(21): 145-150.  
Ren AJ, Yang ZY, Dai YJ, *et al.* Research on aquatic product demand forecasting in China [J]. J Shanghai Ocean University, 2012, 1(21): 145-150.
- [42] 付万东, 杨会成, 李碧清, 等. 我国水产品加工综合利用的研究现状与发展趋势[J]. 现代渔业信息, 2009, 12(24): 3-5.  
Fu WD, Yang HC, Li BQ, *et al.* Research status and development trend for comprehensive utilization of aquatic products processing [J]. Mod Fisheries Inform, 2009, 12(24): 3-5.
- [43] 倪瑞芳, 胡骏, 王开洋. 水产品加工副产物的综合利用[J]. 河北渔业, 2010, 8: 47-50.  
Ni RF, Hu J, Wang KY. The integrated utilization of byproducts from aquatic products processing[J]. Hebei Fisheries, 2010, 8: 47-50.
- [44] 车斌, 孙琛, 孙德利. 中国大陆鱼粉市场现状分析[J]. 渔业经济研究, 2006(4): 18-20.  
Che B, Sun C, Sun DL. Analysis of market status of fish meal in the mainland of China [J]. Fisheries Eco Res, 2006, (4): 18-20.
- [45] 何静, 吴玉英, 于先茸, 等. 金甲陆虾蛋白酶水解液水解度的测定[J]. 北京林业大学学报, 1997, 2(19): 84-87.  
He J, Wu YY, Yu XR, *et al.* Analysis of market status of fish meal in the mainland of China [J]. J Beijing Forestry Univ, 1997, 2(19): 84-87.
- [46] 郑捷, 王平, 尹诗, 等. 酶解虾下脚料制备海鲜味复合调味料[J]. 中国调味品, 2011, 11(36): 48-50.  
Zheng J, Wang P, Yi S, *et al.* Preparation of compound seafood condiment by hydrolysis of shrimp offal [J]. China Condiment, 2011, 11(36): 48-50.
- [47] 楚水晶, 农绍庄, 王珊珊, 等. 扇贝裙边水解液制备海鲜酱的加工工艺[J]. 中国酿造, 2010, 1: 146-149.  
Chu SJ, Nong SZ, Wang SS, *et al.* Processing technology of seafood sauce with hydrolyzed scallop skirt [J]. China Brewin, 2010, 1: 146-149.
- [48] 程娜. 可持续发展视阈下中国海洋经济发展研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013: 21-35.  
Cheng N. Research of Chinese marine economy development in the sustainable development perspective[D]. Changchun: Jilin University, 2013: 21-35.
- [49] 孙悦民. 中国海洋资源开发现状及对策[J]. 海洋信息, 2009, 1: 20-23.  
Sun YM. Present situation and countermeasures of China marine resources development [J]. Marine Inform, 2009, 1: 20-23.
- [50] 胡德春. 中国淡水产品出口现状及问题[J]. 中国农村经济, 2004, 7: 53-57.  
Hu DC. Present situation and problems of freshwater product export of China [J]. Chin Rural Economy, 2004, 7: 53-57.

(责任编辑: 白洪健)

## 作者简介

赵利, 教授, 主要研究方向为食品化学。

E-mail: lizhao618@hotmail.com