

蛋白酶在水产品加工中的应用研究进展

俞丽娜, 邵兴锋*

宁波大学食品科学与工程系, 浙江 宁波 315211

摘要: 传统加工技术使得低值水产品 and 加工下脚料无法充分利用,造成资源的浪费。蛋白酶酶解技术作为一种安全、高效和快捷的加工技术广泛应用于水产加工中,可提高产品利用率和产品质量。本文综述了目前蛋白酶在低值水产品 and 水产加工下脚料中的应用现状,主要介绍了其在生产水解鱼蛋白、提取生物活性物质和生产水产调味品中的应用,提出了蛋白酶酶解过程中的注意事项,并对今后其在水产品加工中的发展方向做了展望,以期能为水产品加工中蛋白酶的应用提供参考。

关键词: 蛋白酶;水产品;加工;应用

DOI:10.3969/j.issn.2095-2341.2014.01.04

The Application of Proteases on the Processing of Aquatic Products

YU Li-na, SHAO Xing-feng*

Department of Food Science and Engineering, Ningbo University, Zhejiang Ningbo 315211, China

Abstract: Low-value aquatic products and by-product of fish can not be fully utilized by traditional processing technology, resulting in a waste of resources. As a safe, efficient and speedy processing technology, proteases digestion technology is widely used to improve product efficiency and product quality on the processing of aquatic products. This paper reviews the application status of proteases on the processing of low-value aquatic products and by-product of fish, especially in hydrolyzing fish protein, extracting biologically active substances and preparing aquatic flavouring. It also proposed some precautions on the processing of protease digestion and predicted the development of proteases aim to as a reference for aquatic products processing.

Key words: proteases; aquatic product; processing; application

我国海域辽阔,海洋资源丰富,是世界第一水产大国。但是每年约有 30% 的海洋资源无法得到充分利用,造成资源的浪费。水产品的传统加工技术主要有腌制、干制、烟熏、糟制和天然发酵等,这些方法操作简便,加工成本低,故只适于对水产品进行初加工。随着科技的进步和生活水平的提高,人们更关注食品的感官品质和营养价值,传统工艺在改良食品品质、促进加工深度以及实现产品产业化方面存在很大的不足,而现代生物技术作为一种高新技术,改善了传统工艺的不足,能够对水产资源进行有效利用,实现水产品的深加工^[1]。现代生物技术主要包括基因工程技术、细胞工程技术、酶技术和发酵技术等四个方面,其

中,酶技术对水产品加工的影响最大。

近年来,由于水体污染和过度捕捞,低值水产品比例不断上升,水产加工下脚料也无法得到有效利用,因而运用酶技术将低值水产品和水产加工下脚料来生产高附加值的产品已成为水产品加工业发展的主要趋势^[2,3]。酶制剂是从生物中提取的具有酶特性的一类活性物质。在水产品加工业方面,研究人员对蛋白酶的研究最为深入,通过蛋白酶处理低值水产品 and 加工下脚料,可提高生产效率和产品质量,降低环境污染,丰富水产品市场^[4]。本文综述了蛋白酶在水产品加工中的应用研究现状,提出了使用蛋白酶酶解过程中的注意事项,并对其未来的发展趋势作出展望。

收稿日期:2013-10-11; 接受日期:2013-11-06

基金项目:国家星火计划项目(2013GA701038)资助。

作者简介:俞丽娜,硕士研究生,主要从事食品贮藏与保鲜研究。*通信作者:邵兴锋,副教授,主要从事食品贮藏与保鲜研究。
E-mail:shaoxingfeng@nbu.edu.cn

1 蛋白酶概述

蛋白酶,又名蛋白水解酶(proteolytic enzyme, proteinase),是最主要的酶制剂之一,能够催化蛋白质中肽键的水解。蛋白酶广泛存在于动物内脏、植物茎叶、果实和微生物中^[5]。蛋白酶种类繁多,按其来源可分为动物蛋白酶(胰蛋白酶、胃蛋白酶)、植物蛋白酶(木瓜蛋白酶、菠萝蛋白酶)和微生物蛋白酶(枯草杆菌蛋白酶、链霉菌蛋白酶);按其 pH 不同又可分为酸性蛋白酶、中性蛋白酶和碱性蛋白酶;按其活性中心起催化作用的基团属性则可分为金属蛋白酶、丝氨酸蛋白酶和巯基蛋白酶;还可根据剪切基团分为内切酶和外切酶两种类型。蛋白酶作为一种生物酶制剂具有三大特点,一是来源于动植物和微生物,安全性高,几乎没有有害残留物;二是蛋白酶具有专一性和高效性,因此酶用量较少;三是酶解反应条件温和,操作简便。因此蛋白酶酶解技术作为一种安全、高效和快捷的加工技术广泛应用于水产加工中^[6]。

2 蛋白酶在水产品加工中的应用研究现状

2.1 水解鱼蛋白研究

低值鱼的食用价值较低,利用酶技术生产水解鱼蛋白一方面能有效地对水产品进行综合利用,另一方面可以提高水产品加工的经济效益,实现低值鱼的高值化应用。水解鱼蛋白不仅蛋白质含量高,且品质优于整块鱼肉组织或者鱼蛋白的浓缩物^[7]。采用蛋白酶酶解得到的水解鱼蛋白营养丰富,水溶性好,且必需氨基酸比例恰当。

鱼体本身含有内源蛋白酶,所以可以利用内源酶的自溶技术水解鱼体自身蛋白质。内源蛋白酶最大的优点在于其活性高、成本低,且内源蛋白酶与底物结合的效果好。Choi 等^[8]对鳗鱼三种内源酶的性质进行研究,结果表明胰蛋白酶和胰凝乳蛋白酶具有相同的最适作用条件,在 pH 8.0、45℃ 条件下酶解效率最高,而组织蛋白酶的最适作用条件为 pH 6.0、50℃。Pastoriza 等^[9]利用内源蛋白酶(粉状的原料蛋白酶和鳕鱼内脏中提取的内源复合蛋白酶)和商业蛋白酶(木瓜蛋白酶

和胃蛋白酶)对鳕鱼下脚料进行动力学研究,结果表明利用鳕鱼内源蛋白酶在 pH 8.5、49℃ 时的水解效果最佳,明显优于商业蛋白酶。荣婧等^[10]以罗非鱼内脏为原料,研究了其内脏蛋白酶的自溶工艺,得到在最佳工艺条件下的水解度为 18.8%。但是内源蛋白酶的酶解过程难以控制,在生产过程中还易受到微生物的污染,得到的产物其功能特性也较差^[11],因此在实际加工过程中更多地使用外源蛋白酶。利用外源蛋白酶水解不仅可以避免鱼肉组织中营养素的损失,还能有效提高产品品质,避免微生物的危害。胃蛋白酶、木瓜蛋白酶和碱性蛋白酶等都适于鱼蛋白的水解,使其具有更好的溶解性或得到较长的肽链。研究发现,用碱性蛋白酶分别对白鲢内脏和蓝圆鲈进行水解,水解产物的水解度较高,可分别达 27.1% 和 51.9%,为低值鱼的高值化利用提供了研究方向^[12,13]。

蛋白酶水解低值水产品或水产加工下脚料得到的水解蛋白制品会产生不宜的腥味和苦味,影响产品的感官品质,限制了资源的综合开发利用。蛋白水解液的苦味是因为蛋白质经内切酶作用后,水解过程中产生含有疏水基团的多肽及疏水性游离氨基酸形成苦味肽^[14]。徐锦等^[15]应用木瓜蛋白酶、胰蛋白酶和风味蛋白酶等 6 种商品蛋白酶研究了鲢鱼蛋白的水解效果,结果表明木瓜蛋白酶的水解度最高,而风味蛋白酶的水解液风味最佳,由此可见,运用风味蛋白酶能够有效改善水解液的风味。风味蛋白酶作为真菌蛋白酶/肽酶的复合体,具有内切蛋白酶和外切肽酶两种活性。外切酶能够从多肽末端切断释放出氨基酸,将苦味肽降解为氨基酸^[16]。但是外切酶必须与内切酶复合使用或在内切酶使用后添加才可有效水解苦味肽,减轻苦味甚至达到完全去苦的效果。因此可以将水解度较高的蛋白酶与水解风味较好的蛋白酶进行双酶复合酶解。孙克岩等^[17]研究了木瓜蛋白酶和风味蛋白酶双酶酶解牡蛎,提高了酶解液中氨基氮的含量,改善了其风味。姚芳等^[18]通过研究三种复合酶(碱性蛋白酶和风味蛋白酶;胰酶和风味蛋白酶;碱性蛋白酶、胰酶和风味蛋白酶)对鲢鱼酶解效果的比较,得出碱性蛋白酶和风味蛋白酶以 1:1 组合水解效果最佳,风味最好。另一方面,在酶解鱼蛋白过程中,当肽链的长度足够长时则可将疏水性氨基酸包埋

在其结构内部,也能达到减弱苦味的效果^[19,20]。除了应用酶法去苦外,通过吸附、沉淀、掩盖等理化手段也可起到去苦作用,或者将酶法去苦和理化去苦相结合,去苦效果更佳。

2.2 提取生物活性物质

利用蛋白酶的水解作用,适度水解蛋白质,使活性物质游离出来,最后进行分离,是制备生物活性物质的一般流程。生物活性物质主要包括生物活性肽、多糖和高度不饱和脂肪酸等。其中,生物活性肽是一类能够优化机体代谢环境,促进机体健康的多肽。采用酶法从低值水产品及其加工副产物中提取活性肽是目前研究的热点。

淡水鱼及其加工下脚料中蛋白质含量丰富,富含抗菌肽、降血压肽、抗氧化肽和免疫活性肽等多种活性物质^[21,22],它们以非活性状态潜藏于下脚料蛋白中,只有将其释放出来才能发挥生物活性作用。近年来,国内外学者致力于研究通过蛋白质的可控酶解技术制备天然的抗氧化肽。鲢鱼作为我国淡水鱼的主要品种,由于其特有的腥味和多骨多刺的特点而不受消费者喜爱,但是鲢鱼酶解产物具有抗氧化活性,可以制备抗氧化肽,提高鲢鱼附加值。尤娟等^[23]应用酶法提取鲢鱼蛋白抗氧化肽,研究了风味蛋白酶、碱性蛋白酶、木瓜蛋白酶、胃蛋白酶和中性蛋白酶等5种酶水解其鱼肉蛋白,结果表明胃蛋白酶酶解产物具有较强的清除 DPPH(1,1-二苯基-2-三硝基苯肼)自由基的能力。胃蛋白酶还能用于水解鱼皮蛋白质,水解后添加蜂蜜、葡萄糖能够制备营养丰富的多肽口服液。申锋等^[24]用4种蛋白酶水解草鱼鱼鳞,结果表明胃蛋白酶水解鱼鳞胶原蛋白的水解产物具有较好的凝胶能力,制得的鱼鳞胶原肽可作为胶凝剂、增稠剂和乳化剂应用于保健品、化妆品等领域。

二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)和二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)属于生物活性物质中的高度不饱和脂肪酸。淡水鱼内脏中含有一定的 EPA 和 DHA,具有降低人体血液中的低密度脂蛋白、减少血液的粘稠度、预防动脉粥样硬化和心脑血管疾病、增强免疫力和保护视力等作用。因此,利用蛋白酶法提取鱼油,可以使淡水鱼加工副产物得以充分利用。此过程是通过蛋白酶的水解作用,破坏了蛋白质和鱼油

的结合,从而使油脂释放出来。熊光权等^[25]应用酶解法从鲢鱼内脏中提取鱼油,结果表明中性蛋白酶是最佳酶源,提取率可达 17.2%。此外,应用胰蛋白酶制备的鱼油提取率也很高,例如用胰蛋白酶提取金枪鱼鱼油,其提取率高达 90.2%^[26]。蛋白酶法提取鱼油的优势在于其作用条件温和,鱼油提取率高,生产的鱼油质量好,并且提高了低值鱼类的附加值。

2.3 研发水产调味品

利用低值鱼、虾蟹和贝类等加工下脚料为原料生产水产调味品,实现了对海洋资源的综合利用,丰富了水产品市场。

鱼露是一类风味独特的水产调味品,味咸鲜美,略带腥味。传统生产鱼露的生物技术是天然发酵法,高盐腌制后进行发酵。但此法生产周期长,产品盐浓度高,无法满足现代人对健康饮食的需求。运用以加酶法为主的现代速酿技术生产鱼露不仅缩短了鱼露的生产周期,还能大大降低产品的盐度。例如,迟玉森等^[27]利用 As1398 蛋白酶水解鳗鱼,20 h 即制成鱼鲜酱油。何建君等^[28]利用复合蛋白酶水解小杂鱼和鲢鱼下脚料中的蛋白质,发酵后制成了淡水鱼露,降低了调味品的盐浓度。近几年,对鱼露快速发酵工艺的研究更加深入,将发酵工艺细分为前期、中期和后期三个阶段。黄紫燕等^[29]研究表明,通过前期高盐酶解、中期加曲自然发酵和后期高盐保温的分段式鱼露发酵工艺,可以显著提高鱼露的可溶性氮、氨基酸态氮和游离氨基酸的含量。

蛋白酶除了能生产鱼露调味品,还能水解海蟹类和鱼贝类加工下脚料制备海鲜调味品。目前,我国许多海鲜调味品中添加了合成香精、动植物蛋白质和味精来提高氮含量及鲜味,这种调味品不仅风味不佳,而且营养价值低。而天然海鲜调味品富含有益的活性物质,具有特定的营养和保健功能,有益于人体健康。刘光明等^[30]利用木瓜蛋白酶和风味蛋白酶水解制得的海蟹调味品蟹味浓郁、鲜味明显,不仅保持了原材料的营养成分和独特风味,而且蛋白质资源也得到了有效回收。靳挺等^[31]也用木瓜蛋白酶和风味蛋白酶水解龙头鱼,制备出风味纯正、自然的海鲜调味料。陈超等^[32]则通过酶解贝类加工废弃物制得了复合海鲜调味料,不仅风味极佳,而且富含游离氨基酸态氮,提高了调味料的营养价值。

2.4 其他应用研究

蛋白酶除了以上三种主要应用外,还能用于去皮、脱鳞以及制备不带鱼肉的鱼骨制品。水产品加工中去皮和去鳞的步骤较繁琐,目前主要采用机械法,但易造成水生动物体损伤,且处理后仍有残留物粘附在其表面,降低了产品得率。一般机械法处理后还需人工去皮,二次处理更提高了加工成本,故此法不经济。研究表明,蛋白酶尤其是木瓜蛋白酶具有较好的去皮和脱鳞效果。陈青等^[33]研究了木瓜蛋白酶对东海海参的脱皮工艺,先将干海参水发,然后用木瓜蛋白酶处理,最后脱皮。结果表明,0.09%的木瓜蛋白酶液在40℃下处理8 h即能去除东海海参粗糙厚实的表皮,并且保持了其营养成分和优良的口感。吕飞等^[34]则将木瓜蛋白酶应用于鱼皮去鳞,首先清洗带鳞黑鱼鱼皮表面黏液并除去残留的鱼肉,接着用木瓜蛋白酶处理,不停搅拌酶溶液。结果表明,0.6%的木瓜蛋白酶酶溶液在20℃下搅拌20 min能有效去除鱼鳞,且操作简便。鱼骨粉和鱼骨休闲食品则需要在加工前首先将鱼肉去除。例如利用碱性蛋白酶将鱼骨上残存的碎肉酶解,过滤即能制得不带鱼肉的鱼骨^[35]。枯草杆菌蛋白酶也能去除残存在鱼骨间的鱼肉,不仅脱肉效果好能得到干净的鱼肉,还能降低鱼骨的腥味^[36]。

3 蛋白酶技术应用的注意事项

3.1 酶种类的选取

蛋白酶种类繁多、应用广泛,在对不同的水产品加工过程中,并非所有的蛋白酶都适合加工同一水产品,不同的蛋白酶对同一酶底物表现出的水解能力差异很大。徐锦等^[14]研究了6种商品蛋白酶对鲢鱼蛋白的水解效果,在各酶的最佳水解条件下得出木瓜蛋白酶的水解度最高,达26.3%,而风味蛋白酶的水解度最低,为17%。田宝玉等^[37]也研究了不同酶对白鲢蛋白的水解效果,结果同样显示风味蛋白酶的水解度最低。因此,不同的蛋白底物选择合适的蛋白酶至关重要。

3.2 作用方式的确定

在水产品加工中,一般多酶水解可溶性蛋白得率要高于单酶水解。杨萍等^[38]分别用胰蛋白酶、木瓜蛋白酶和风味蛋白酶对青鳞鱼肉进行单酶水解和两两组合水解,测得木瓜蛋白酶与风味

蛋白酶双酶水解的可溶性蛋白得率高达85.6%,而单酶水解的得率仅有40%左右。此外,内源酶水解水产品往往产生不适宜的苦腥味,风味蛋白酶虽然水解度较低,但是其水解风味较好,所以可以将其与水解度高的蛋白酶混合酶解,改善水产品的水解度和水解液的风味^[17,18]。

3.2 使用方法的选择

在水产品加工中,蛋白酶的使用方法主要有以下三种:第一,直接加入商业酶制剂^[12,13],此法因使用方便而应用最为广泛,缺点是生产成本较高;第二,利用内源蛋白酶水解^[8,9],与商业酶制剂相比可降低生产成本,节约资源,但酶解时间相对较长;第三,还可以通过直接加入富含蛋白酶的产品来提供水解所需的蛋白酶^[39],但易残留蛋白酶源的食品特性而影响加工产品的品质,故使用最少。根据不同蛋白酶和加工产品的特点选择合适的使用方法,既能获得所需的产品,又能最大限度降低生产成本,在生产加工中至关重要。

4 展望

随着渔业资源的衰退,应用蛋白酶对水产品进行综合利用,不仅降低生产成本、节约资源,而且实现了对低值水产品的高值化利用,促进了水产加工业的可持续发展。但是我国酶制剂工业仍处于初步发展阶段,提取设备和工艺技术落后,难以在生产实践中得到广泛应用。此外,酶制剂的安全性问题也关系到广大消费者的健康。虽然酶作为一种生物产品比化学制剂的安全性高,但是在酶制剂的生产过程中极易受到微生物的污染,产生生物毒素。今后在酶制剂工业发展中,应利用现代新技术开发具有高活力和良好风味的酶制剂,降低生产成本,实现大规模的产业化应用。随着酶技术的进一步发展以及酶工业的进步,酶制剂尤其是蛋白酶在水产品加工中的应用将会越来越广泛。

参 考 文 献

- [1] 周卫东.现代生物技术食品工业中的应用[J].生物学通报,2010,45(6):13-15.
- [2] Shahidi F, Janak Kamil Y V A. Enzymes from fish and aquatic invertebrates and their application in the food industry [J]. Trends Food Sci. & Technol., 2001, 12(12): 435-464.
- [3] Li J R, Lu H X, Zhu J L, et al.. Aquatic products processing

- industry in China: challenges and outlook [J]. Trends Food Sci. & Technol., 2009, 20(2): 73-77.
- [4] 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.
- [5] 郝记明. 蛋白酶在低值水产品加工中的应用[J]. 现代农业科技, 2010, (11): 346-347.
- [6] 刘军波. 酶在淡水鱼加工中的应用[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(23): 1-8.
- [7] Guerard F, Guimas L, Binet A. Production of tuna waste hydrolysates by a commercial neutral protease preparation [J]. J. Mol. Catal. B: Enzym., 2002, 19(20): 489-498.
- [8] Choi Y J, Heu M S, Kim H R, et al.. Properties of proteases responsible for degradation of muscle proteins during anchovy sauce fermentation [J]. Devel. Food Sci., 2004, 42: 425-439.
- [9] Pastoriza L, Sampedro G, Cabo ML, et al.. Solubilisation of proteins from rayfish residues by endogenous and commercial enzymes [J]. J. Sci. Food Agricult., 2003, 84(1): 83-88.
- [10] 荣婧, 蒋爱民, 郭善广, 等. 罗非鱼内脏蛋白酶特性及内脏蛋白自溶工艺研究[J]. 现代食品科技, 2012, 28(6): 651-654.
- [11] Shahidi F, Han X F, Synowiecki J. Production and characteristics of protein hydrolysates from capelin (*Mallotus villosus*) [J]. Food Chem., 1995, 53: 285-293.
- [12] 余佳, 荣建华, 熊善柏. 外源蛋白酶水解白鲢内脏的工艺条件[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(2): 241-244.
- [13] 陈申如, 倪辉, 杨远帆, 等. 碱性蛋白酶水解蓝圆鲹条件的优化[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(2): 38-41.
- [14] 高加龙, 文健峰, 吉宏武, 等. 鲮鱼水解蛋白脱腥脱苦研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(5): 498-502.
- [15] 徐锦, 李明元, 黄家莉, 等. 六种商品蛋白酶对鲢鱼蛋白水解效果比较研究[J]. 中国调味品, 2012, 37(4): 53-63.
- [16] 李咏梅. 水产品加工中蛋白酶的应用研究[J]. 畜牧与饲料科学, 2011, 32(7): 89-90.
- [17] 孙克岩, 张志胜, 佟海菊, 等. 响应面法优化木瓜蛋白酶和风味蛋白酶双酶酶解牡蛎工艺研究[J]. 食品科技, 2011, 36(6): 13-17.
- [18] 姚芳, 祁兴善, 刘萍. 复合蛋白酶水解低值淡水鱼工艺的响应面优化[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(6): 229-233.
- [19] Fitz Gerald R J, O' Cuinn G. Enzymatic debittering of food protein hydrolysates [J]. Biotechnol. Adv., 2006, 24: 234-237.
- [20] Saha B C, Hayashi K. Debittering of protein hydrolysates [J]. Biotechnol. Adv., 2001, 19: 355-370.
- [21] 胡文婷, 张凯. 酶解海洋生物源蛋白制备活性肽研究进展[J]. 海洋科学, 2010, 34(5): 83-88.
- [22] 张岩, 吴燕燕, 李来好, 等. 酶法制备海洋活性肽及其功能活性研究进展[J]. 生物技术通报, 2012, (3): 42-48.
- [23] 尤娟, 罗永康, 沈慧星. 酶法制备鲢鱼蛋白抗氧化肽研究[J]. 渔业现代化, 2010, 37(3): 42-47.
- [24] 申锋, 杨莉莉, 熊善柏, 等. 胃蛋白酶水解草鱼鱼鳞制备胶原肽的工艺优化[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(3): 387-391.
- [25] 熊光权, 薛淑静, 关健, 等. 酶解法在鲢鱼内脏鱼油提取中的应用[J]. 湖北农业科学, 2008, 47(11): 1320-1322.
- [26] 何键东, 王朋, 胡焯, 等. 响应面法优化酶解提取金枪鱼鱼油的工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(15): 8731-8766.
- [27] 迟玉森, 郑延东, 唐琳, 等. 鱼鲜酱油制作工艺研究[J]. 中国调味品, 1996, (5): 15-17.
- [28] 何建军, 叶丽秀, 熊光权. 淡水鱼露的研制[J]. 食品工业, 1997, (5): 18-19.
- [29] 黄紫燕, 晁岱秀, 朱志伟, 等. 鱼露快速发酵工艺的研究[J]. 现代食品科技, 2010, 26(11): 1207-1211.
- [30] 刘光明, 曹敏杰, 袁静静, 等. 酶水解海蟹加工下脚料制备调味品原料[J]. 中国食品学报, 2009, 9(6): 83-89.
- [31] 靳挺, 武玉学, 徐东, 等. 龙头鱼海鲜调味料的制备研究[J]. 中国食品学报, 2010, 10(1): 127-132.
- [32] 陈超, 魏玉西, 刘慧慧, 等. 贝类加工废弃物复合海鲜调味料的制备工艺[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 433-436.
- [33] 陈青, 徐志斌, 励建荣. 东海海参木瓜蛋白酶法脱皮工艺研究[J]. 中国食品学报, 2010, (10): 81-87.
- [34] 吕飞, 沈军樑, 金炉俊, 等. 鱼皮酶法去鳞技术的研究[J]. 浙江农业科学, 2013, (7): 872-874, 916.
- [35] 李娟. 鱼骨休闲食品研制[D]. 江苏无锡: 江南大学食品学院, 硕士学位论文, 2008.
- [36] 石红, 郝淑贤, 邓国艳, 等. 利用鱼类加工废弃鱼骨制备鱼骨粉的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 295-298.
- [37] 田宝玉, 林丽萍, 黄薇, 等. 低值水产品蛋白资源酶解产物的抗氧化性分析和评价[J]. 中国农学通报, 2012, 28(26): 110-114.
- [38] 杨萍, 邓尚贵, 吴玉廉. 蛋白酶及其作用方式对制取青鳞鱼肉水解蛋白的影响[J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(4): 91-94.
- [39] 洪鹏志, 曹文红, 郝更新, 等. 虾头内源酶酶解虾肉产物的ACE抑制活性及其降低原发性高血压老鼠血压的效果[J]. 水产学报, 2007, 31(1): 76-83.