



甲鱼裙边蛋白酶解物的加工特性及抗氧化性

张靖彬¹, 申松¹, 罗永康^{1,*}, 刘怀高²

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083; 2. 国肽生物科技(北京)有限公司, 北京 100011)

摘要: 为全面了解酶的种类、酶解时间及pH值对甲鱼裙边蛋白酶解物加工特性及抗氧化性的影响, 采用风味蛋白酶、木瓜蛋白酶和双酶(风味蛋白酶和木瓜蛋白酶)在各自的最适反应条件下对甲鱼裙边蛋白进行酶解, 得到酶解产物, 并对其感官品质、加工特性及抗氧化性进行研究。结果表明: 双酶酶解产物(HF+HP)在酶解2 h时具有较高的感官评分。3种甲鱼裙边蛋白酶解产物均具有良好的溶解性, 且酶解产物经63℃、30 min热处理后的溶解度仍保持在80%以上。与风味蛋白酶酶解产物(HF)和木瓜蛋白酶酶解产物(HP)相比, HF+HP具有较强的ABTS⁺清除能力和DPPH自由基清除能力, HP表现出较强的亚铁离子螯合能力和总还原能力。HF的乳化性相对于HP和HF+HP较大, HP和HF+HP的乳化性无显著差异。酶解时间和酶的种类会对甲鱼裙边蛋白酶解物的加工特性及抗氧化性产生较大影响。

关键词: 甲鱼裙边蛋白; 酶解产物; 感官品质; 加工特性; 抗氧化性

Processing Properties and Antioxidant Activities of Soft-Shell Turtle (*Trionyx sinensis*) Calipash Protein Hydrolysates

ZHANG Jingbin¹, SHEN Song¹, LUO Yongkang^{1,*}, LIU Huaigao²

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Guotai Biotechnology (Beijing) Co. Ltd., Beijing 100011, China)

Abstract: Processing properties and antioxidant activities of soft-shelled turtle calipash protein hydrolysates (SSTCPH) prepared with flavourzyme, papain or both (which were denoted HF, HP and HF + HP, respectively) were investigated. As a result, HF + HP obtained after 2 h of hydrolysis showed better sensory evaluation scores. For the processing properties, all three hydrolysates had good solubility at different pH. The hydrolysates exhibited good heat stability, showing more than 80% solubility at different pH after heating at 63 °C for 30 min. Compared with HF and HP, HF + HP exhibited higher scavenging activity against ABTS⁺ and DPPH radicals. On the other hand, HP showed higher ferrous ion chelating activity and reducing power. In addition, HF exhibited higher emulsion activity index (EAI) than HP and HF + HP. The results suggested that processing properties and antioxidant activities of SSTCPH were determined by the degree of hydrolysis (DH) and the enzyme type employed.

Key words: soft-shelled turtle calipash protein; hydrolysates; sensory quality; processing properties; antioxidant activities

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201706001

中图分类号: TS254.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2017) 06-0001-06

引文格式:

张靖彬, 申松, 罗永康, 等. 甲鱼裙边蛋白酶解物的加工特性及抗氧化性[J]. 肉类研究, 2017, 31(6): 1-6. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201706001. <http://www.rlyj.pub>

ZHANG Jingbin, SHEN Song, LUO Yongkang, et al. Processing properties and antioxidant activities of soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*) calipash protein hydrolysates[J]. Meat Research, 2017, 31(6): 1-6. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-201706001. <http://www.rlyj.pub>

甲鱼(*Trionyx sinensis*)又称鳖、团鱼、脚鱼或水鱼, 是一种珍贵的水生经济动物, 具有补血、强骨、益智、抗疲劳、延年益寿之功效, 是我国传统的食疗滋补佳品, 也是高

级保健食品的良好原料^[1]。随着人工养殖技术的快速发展, 甲鱼市场出现了供大于求的现象, 2015年中国甲鱼产量为341 588 t^[2], 这也为甲鱼的深加工和综合利用带来了机遇。

收稿日期: 2017-01-18

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2017YFD0400200)

作者简介: 张靖彬(1994—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学。E-mail: zjb@cau.edu.cn

*通信作者: 罗永康(1964—), 男, 教授, 博士, 研究方向为水产品加工及贮藏。E-mail: luoyongkang@263.net

蛋白质多肽链内部存在活性功能区,在酶解过程中,蛋白质被切割成较小的多肽,功能活性得以释放^[3]。国内外已对酶解动物蛋白开发食源活性肽进行了大量研究^[4-7],发现酶解产物的加工特性(溶解性、热稳定性及乳化性)及抗氧化性等生物活性与原料蛋白相比都得到了改善。甲鱼肉及甲鱼裙边富含蛋白质^[8],是进行酶解的良好材料。目前对甲鱼肉蛋白酶解的研究有很多^[8-12],但有关甲鱼裙边蛋白酶解及酶解产物加工特性及抗氧化性的报道较少。本研究以甲鱼裙边为原料,采用风味蛋白酶、木瓜蛋白酶和双酶(风味蛋白酶+木瓜蛋白酶)进行酶解,研究酶解产物的感官品质、加工特性及抗氧化性,以期对甲鱼裙边蛋白的深加工和进一步开发利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

甲鱼由浙江金大地农业集团有限公司提供,个体质量为 (845.5 ± 21.5) g,甲鱼运回实验室后进行宰杀,得到甲鱼裙边。

三硝基苯磺酸(trinitrobenzenesulfonic acid sol, TNBS, 纯度 $\geq 98\%$)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH, 纯度 $\leq 100\%$)、啡咯嗪(纯度 $\geq 97\%$)、2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺盐(2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt, ABTS, 纯度 $\geq 98\%$)美国Sigma公司;木瓜蛋白酶、风味蛋白酶 广西南宁庞博生物工程有限公司;其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

UNICO-2007分光光度计 美国Unico公司;FE20实验室pH计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;FD-1PF冷冻干燥机 北京德天佑科技发展有限公司;TGL-16A高速台式离心机 上海安亭科技仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 甲鱼裙边蛋白酶解物的制备

甲鱼裙边→灭内源性酶(90℃、15 min)→-20℃冻藏→解冻→粉碎机粉碎→与去离子水混合(1:3.5, m/V)→均质→调节温度(风味蛋白酶组65℃,木瓜蛋白酶组55℃,双酶组55℃)→加入蛋白酶酶解(酶与甲鱼裙边蛋白质量比为1:50)→分别在0、0.5、1、2、4、6、8 h取出酶解产物,灭酶(90℃、10 min)→离心(4 000 r/min、20 min)→取上清液→冷冻干燥→甲鱼裙边蛋白酶解产物。

1.3.2 感官评定

感官评定由10名经培训的专业人员共同完成,分别

对甲鱼裙边蛋白酶解产物(质量浓度为10 g/100 mL的溶液)的颜色、风味和滋味进行评价,每项满分5分,以3项的平均分作为感官评分的最终得分,分数越高代表酶解产物的品质越高,具体评分标准见表1。

表1 甲鱼裙边蛋白酶解物感官评分标准
Table 1 Criteria for sensory evaluation of SSTCH

项目	颜色	风味	滋味	感官评分
评分标准	纯白色	无腥味,有较浓的鱼香味	无苦涩味,乐于接受	5
	乳白色	腥味很淡,有淡淡的鱼香味	苦涩味很轻,容易接受	4
	淡黄色	腥味较淡,基本没有鱼香味	苦涩味较轻,可以接受	3
	黄色	腥味较浓	苦涩味较重,尚可接受	2
	浅灰色	腥味很重	苦涩味很重,难以接受	1
	灰色	腥味非常重	苦涩味非常重,不能接受	0

1.3.3 水解度测定

采用TNBS法^[13]测定。

1.3.4 加工特性测定

1.3.4.1 溶解性

参照李雪等^[14]的方法。称取0.01 g酶解产物,用去离子水配制10 mL的溶液,用1 mol/L的HCl或NaOH溶液将酶解产物溶液pH值分别调至4、7、8,10 000 r/min条件下离心15 min,上清液中的蛋白质含量采用双缩脲法进行测定;将酶解产物溶解于0.5 mol/L的NaOH溶液中,测定其总蛋白含量。酶解产物的溶解性按照式(1)计算。

$$\text{溶解性}/\% = \frac{\text{SP}}{\text{TP}} \times 100 \quad (1)$$

式中:SP为上清液的蛋白质含量/g;TP为酶解产物的总蛋白含量/g。

1.3.4.2 热稳定性

参考Fujiwara等^[15]的测定方法。

1.3.4.3 乳化性

参考Pearce等^[16]的测定方法,并作一定改进。吸取质量浓度为1 g/100 mL的酶解产物溶液3 mL于离心管中,边搅拌边加入1 mL花生油;将上述混合液在10 000 r/min条件下高速匀浆1 min,乳化后立即从离心管底部吸取乳浊液0.1 mL,加入9.9 mL质量浓度为0.1 g/100 mL的十二烷基磺酸钠(sodium dodecyl sulfate, SDS),在500 nm波长处测定溶液的吸光度 A_0 。酶解产物的乳化活性指数(emulsion activity indexes, EAI)按照式(2)计算。

$$\text{乳化活性指数}/(\text{m}^2/\text{g}) = \frac{2TA_0}{0.25m} \quad (2)$$

式中: T 为转换系数/ m^2 ($T=2.303 \text{ m}^2$); A_0 为乳化完成后立即测定的吸光度; m 为乳化前酶解产物的蛋白质含量/g。

1.3.5 抗氧化性测定

亚铁离子螯合力的测定参考Tierney等^[17]的测定方

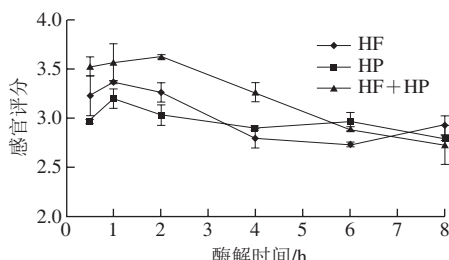
法; DPPH自由基清除率的测定参考Cai Luyun等^[18]的测定方法; ABTS⁺·清除率的测定参考Re等^[19]的测定方法; 总还原能力的测定参考Sila等^[20]的测定方法。

1.4 数据处理

实验数据均以平均值±标准差表示, 采用Excel 2010和SPSS Statistics 17.0统计分析软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 甲鱼裙边蛋白酶解物的感官评分



HF. 风味蛋白酶酶解产物; HP. 木瓜蛋白酶酶解产物; HF+HP. 双酶酶解产物。下同。

图1 酶及酶解时间对甲鱼裙边蛋白酶解物感官评分的影响

Fig. 1 Effect of enzyme type and hydrolysis time on sensory scores of SSTCPH

由图1可知, 3种酶解产物的感官评分均在酶解1 h内有所增加, 此后HF及HP的感官评分随酶解时间的延长逐渐降低。在酶解时间相同时, HF+HP相比于HF及HP有较高的感官评分, 但在酶解时间超过6 h后, 3种酶解产物的感官评分无显著差异 ($P>0.05$)。不同蛋白酶对蛋白质的作用位点不同, 导致酶解产物暴露出不同的氨基酸基团, 因而产生不同的感官品质。而随着酶解时间的延长, 酶解产物的分子质量降低, 并产生具有风味物质的游离氨基酸, 因而产生不同的感官特性。结果表明, 酶解产物的感官品质受水解度及蛋白酶种类的影响, HF+HP在酶解2 h时具有较高的感官品质。

2.2 甲鱼裙边蛋白酶解物的水解度

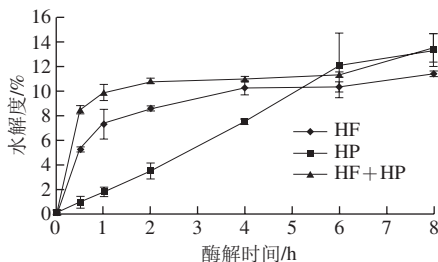


图2 酶及酶解时间对甲鱼裙边蛋白酶解物水解度的影响

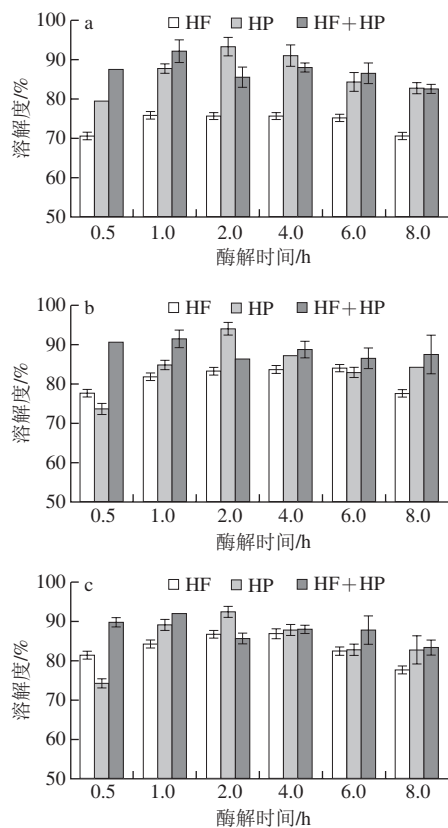
Fig. 2 Effect of enzyme type and hydrolysis time on the degree of hydrolysis of SSTCPH

由图2可知, 在酶解的前2 h, HF+HP和HF的水解度均随酶解时间的延长显著增加 ($P<0.05$), 而后随酶解

时间的延长, 水解度的变化速率逐渐减缓; 在酶解的前6 h, HP的水解度随酶解时间的延长逐渐增加, 之后变化相对缓慢, 这与徐怀德等^[9]有关甲鱼蛋白水解研究中水解度的变化趋势一致, 此外, 这一结果也与鳕鱼、鲑鱼等的研究结果类似^[21]。Aissaoui等^[22]指出, 随着水解时间的延长, 水解液中游离氨基酸含量的增加会对水解产生抑制。酶解过程的0~6 h, HF+HP的水解度显著高于HF和HP ($P<0.05$)。结果表明, 双酶酶解甲鱼裙边蛋白的酶解效果较单酶好。

2.3 甲鱼裙边蛋白酶解物的加工特性

2.3.1 溶解性



a. pH 4; b. pH 7; c. pH 8。

图3 不同pH条件下甲鱼裙边蛋白酶解物的溶解性

Fig. 3 Changes in the solubility of SSTCPH at different pHs

由图3可知, 甲鱼裙边蛋白酶解物在不同pH值下具有良好的溶解性 (溶解度均高于70%)。pH 4及pH 8条件下甲鱼裙边蛋白酶解产物的溶解性总体上小于pH 7时的溶解性, 即酶解产物在中性条件下的溶解性最高。李东萍等^[23]得到了相似的研究结果, 经风味蛋白酶及碱性蛋白酶酶解的鳙鱼肉蛋白酶解产物的溶解性在pH 7时较pH 4时高。这一结果也与郭珊珊等^[24]对鳕鱼的研究结果类似。此外, 酶解时间相同时, HF+HP的溶解性相对较高。酶解初期, 产物的溶解性随酶解度的增大而升高, 但随着酶解度的进一步增加, 溶解性逐渐降低。

2.3.2 热稳定性

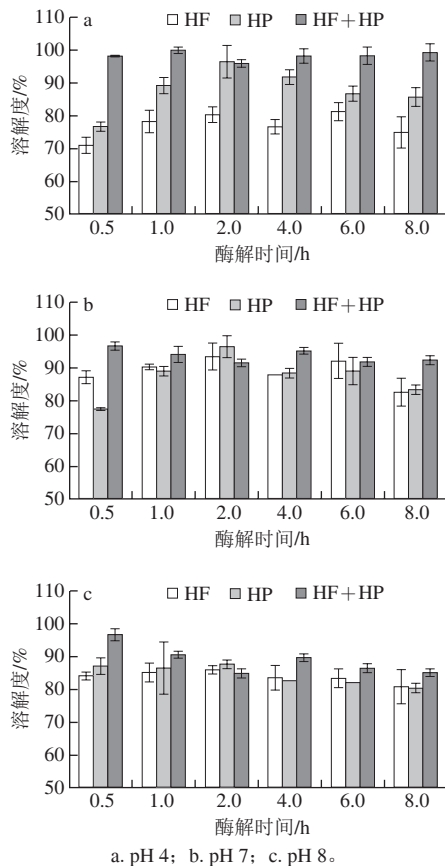


图4 不同pH条件下甲鱼裙边蛋白酶解物的热稳定性

Fig. 4 Changes in the heat stability of SSTCPH at different pHs

由图4可知,各酶解产物经63℃、30 min热处理后,虽然溶解度有所下降,但热稳定性良好,溶解度均高于70%,各酶解产物在pH 8条件下的溶解度下降最少,仍在80%以上,其中,HF+HP在各pH值条件下的热稳定性良好,溶解度均在84%以上。甲鱼裙边蛋白酶解物具有良好的热稳定性可能是由于酶解使蛋白肽链展开,亲水-疏水平衡得到改善,更容易与水分子形成氢键,降低了酶解物中蛋白质分子之间凝集的可能性^[14]。周亚迪等^[25]对猪血浆蛋白进行酶解,得到的酶解产物也有较好的热稳定性。

2.3.3 乳化性

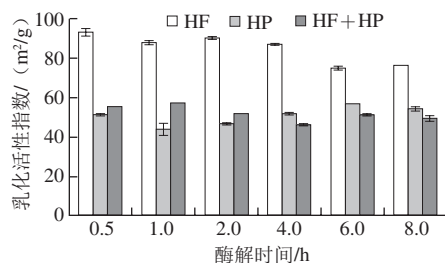


图5 酶及酶解时间对甲鱼裙边蛋白酶解物乳化性的影响

Fig. 5 Effect of enzyme type and hydrolysis time on emulsion activity index of SSTCPH

由图5可知,甲鱼裙边蛋白酶解产物具有一定的乳化性,其中HF的乳化性相对HP和HF+HP较大,其乳化性随酶解时间的延长而逐渐降低,而HP和HF+HP的乳化性在不同的酶解时间无显著差异($P>0.05$),这可能是由于在不同蛋白酶及不同酶解时间的作用下,酶解产物的分子质量不同,从而影响了酶解产物在油/水界面的扩散和吸附以及具有适宜厚度和流变性质的蛋白膜的形成^[26]。

2.4 甲鱼裙边蛋白酶解物的抗氧化性

2.4.1 亚铁离子螯合能力

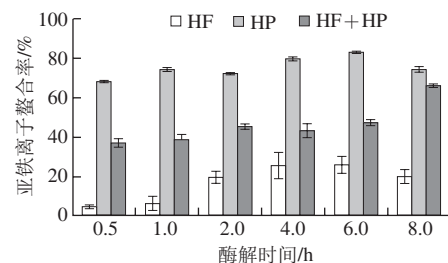


图6 酶及酶解时间对甲鱼裙边蛋白酶解物亚铁离子螯合能力的影响

Fig. 6 Effect of enzyme type and hydrolysis time on metal-chelating activity of SSTCPH

由图6可知,随着酶解时间的延长,各蛋白酶酶解甲鱼蛋白后所得酶解液的亚铁离子螯合能力整体呈增大趋势,这与Klompong等^[27]对黄条纹鲮鱼肉蛋白酶解产物亚铁离子螯合率的研究结果相似,水解度越大,亚铁离子螯合能力越强;此外,猪血浆蛋白酶解物的亚铁离子螯合能力也随水解度增加而增大^[28]。酶解时间相同时,HP的亚铁离子螯合能力显著高于HF和HF+HP($P<0.05$),HF的螯合能力最低。

2.4.2 DPPH自由基清除率

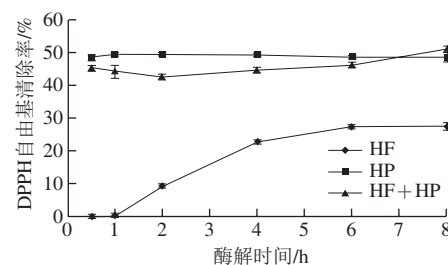


图7 酶及酶解时间对甲鱼裙边蛋白酶解物DPPH自由基清除能力的影响

Fig. 7 Effect of enzyme type and hydrolysis time on DPPH radical scavenging activity of SSTCPH

由图7可知,HP和HF+HP均具有较强的DPPH自由基清除能力,且显著高于HF($P<0.05$)。HP和HF+HP的DPPH自由基清除能力随酶解时间的延长均无显著差异,而HF的DPPH自由基清除能力随酶解时间的延长显著增强($P<0.05$),这可能由甲鱼裙边蛋白所处的酶解体系不同所致。Ovissipour等^[29]在对鲢状棱鲱酶解产物抗

氧化性的研究中指出, 酶解产物中疏水性氨基酸的含量越高, 其DPPH自由基清除能力越强。不同酶解产物间DPPH自由基清除能力的差异可能与酶解产物中疏水性氨基酸含量不同有关^[30]。

2.4.3 ABTS⁺·清除率

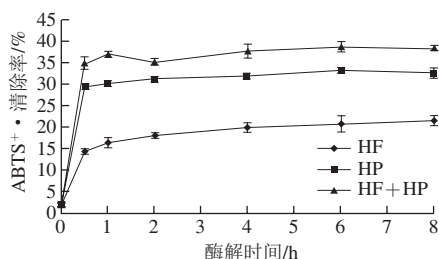


图8 酶及酶解时间对甲鱼裙边蛋白酶解物ABTS⁺·清除能力的影响

Fig. 8 Effect of enzymes and hydrolysis time on ABTS⁺ radical scavenging activity of SSTCPH

由图8可知, 酶解0~1 h内不同酶解产物的ABTS⁺·清除能力均有所增加, 随着酶解时间的延长, 不同酶解时间酶解产物的ABTS⁺·清除能力无显著变化, 与水解度的变化趋势相似。Sai-Ut等^[31]指出, ABTS⁺·清除率会随水解度的增加而增大。在整个酶解过程中, HF+HP的ABTS⁺·清除能力显著高于HF和HP ($P<0.05$), 而HF的ABTS⁺·清除能力最低。

2.4.4 总还原力

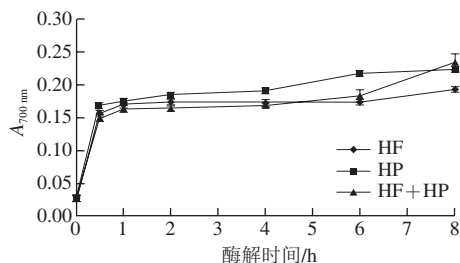


图9 酶及酶解时间对甲鱼裙边蛋白酶解物总还原力的影响

Fig. 9 Effect of enzyme type and hydrolysis time on reducing power of SSTCPH

由图9可知, 3种酶解产物均具有较好的总还原能力, 且随着酶解时间的延长, 总还原能力整体均呈增大的趋势。酶解时间相同时, HP的总还原力高于HF和HF+HP, 而HF和HF+HP的总还原力无明显差异 ($P>0.05$)。随着酶解时间的延长, 酶解产物的活性肽序列不断变化, 酶解产生的肽段类型不同导致酶解产物的总还原能力不同^[32]。

3 结论

酶的种类和酶解时间均会对酶解产物的感官品质有较大影响, HF+HP具有较高的感官评分。3种蛋白

酶酶解得到的甲鱼裙边蛋白酶解产物均具有良好的溶解性, 酶解产物经63℃、30 min热处理后的溶解度仍保持在80%以上。酶解时间相同时, HF的乳化性相对HP和HF+HP较大, 而HP和HF+HP的乳化性无明显差异。不同酶解产物具有不同的抗氧化特性, HF+HP具有较强的ABTS⁺·清除能力和DPPH自由基清除能力, 而HP表现出较强的亚铁离子螯合能力和总还原能力。

采用双酶酶解2 h得到的甲鱼裙边蛋白酶解产物具有良好的感官品质、加工特性及抗氧化性。

参考文献:

- [1] 江苏新医学院. 中药大辞典(下)[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1986: 2723-2726.
- [2] 农业部渔业渔政管理局. 2016中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016: 30.
- [3] MEISEL H, BOCKELMANN W. Bioactive peptides encrypted in milk proteins: proteolytic activation and thropho-functional properties[J]. Antonie van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology, 1999, 76(1/4): 207-215. DOI:10.1023/A:1002063805780.
- [4] 杨会成, 郑斌, 廖妙飞, 等. 鲢鳙皮胶原蛋白肽最佳制备工艺及自由基清除活性研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(20): 159-164. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.20.026.
- [5] 孙协军, 李秀霞, 蔡路昀, 等. 鲢鱼蛋白水解产物功能性质分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(6): 179-184. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.06.032.
- [6] DU L H, BETTI M. Chicken collagen hydrolysate cryoprotection of natural actomyosin: mechanism studies during freeze-thaw cycles and simulated digestion[J]. Food Chemistry, 2016, 211: 791-802. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.05.092.
- [7] VILLAMIL O, VÁQUIRO H, SOLANILLA J F. Fish viscera protein hydrolysates: production, potential applications and functional and bioactive properties[J]. Food Chemistry, 2017, 224: 160-171. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.12.057.
- [8] 张晓旭, 赵国琦, 钱利纯, 等. 木瓜蛋白酶水解甲鱼蛋白工艺条件的优化[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(4): 35-39.
- [9] 徐怀德, 殷金莲, 陈沁. 甲鱼酶解产物抗氧化功能的研究[J]. 中国食品学报, 2007, 7(4): 25-32. DOI:10.16429/j.1009-7848.2007.04.022.
- [10] 王楠, 王伟, 周虹, 等. 甲鱼蛋白抗氧化肽的中性蛋白酶酶解条件优化[J]. 浙江农业学报, 2014, 26(2): 303-308. DOI:10.3969/j.issn.1004-1524.2014.02.08.
- [11] LIU Chengchu, LIU Yan, JIN Yinzhe, et al. Extraction and antioxidant activity of collagen from the Chinese soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*)[J]. Advanced Materials Research, 2010, 152/153: 1788-1792. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.152-153.1788.
- [12] LIU Lianliang, LU Baiyi, GONG Lingxiao, et al. Studies on bioactive peptide from Chinese soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*) with functionalities of ACE inhibition and antioxidation[J]. African Journal of Biotechnology, 2012, 11(25): 6723-6729. DOI:10.5897/AJB11.3537.
- [13] LE MAUX S, NONGONIERMA A B, BARRE C, et al. Enzymatic generation of whey protein hydrolysates under pH-controlled and non pH-controlled conditions: impact on physicochemical and bioactive properties[J]. Food Chemistry, 2016, 199: 246-251. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.12.021.

- [14] 李雪, 罗永康, 尤娟. 草鱼鱼肉蛋白酶解物抗氧化性及功能特性研究[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(1): 94-99.
- [15] FUJIWARA K, OOSAWA T, SAEKI H. Improved thermal stability and emulsifying properties of carp myofibrillar proteins by conjugation with dextran[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(4): 1257-1261. DOI: 10.1021/jf9708148.
- [16] PEARCE K N, KINSELLA J E. Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidimetric technique[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1978, 26(3): 716-723. DOI:10.1021/jf60217a041.
- [17] TIERNEY M S, SMYTH T J, RAI D K, et al. Enrichment of polyphenol contents and antioxidant activities of Irish brown macroalgae using food-friendly techniques based on polarity and molecular size[J]. Food Chemistry, 2013, 139(1/4): 753-761. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.01.019.
- [18] CAI Luyun, WU Xiaosa, ZHANG Yunhao, et al. Purification and characterization of three antioxidant peptides from protein hydrolysate of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) skin[J]. Journal of Functional Foods, 2015, 16(3): 234-242. DOI:10.1016/j.jff.2015.04.042.
- [19] RE R, PELLEGRINI N, PROTEGGENTE A, et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay[J]. Free Radical Biology and Medicine, 1999, 26(9/10): 1231-1237. DOI:10.1016/S0891-5849(98)00315-3.
- [20] SILA A, SAYARI N, BALTI R, et al. Biochemical and antioxidant properties of peptidic fraction of carotenoproteins generated from shrimp by-products by enzymatic hydrolysis[J]. Food Chemistry, 2014, 148(4): 445-452. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.05.146.
- [21] 史策, 韩烽烽, 刘鹏, 等. 鳕鱼和鲑鱼鱼肉蛋白酶解产物功能特性及抗氧化性[J]. 肉类研究, 2013, 27(8): 5-7.
- [22] AISSAOUI N, ABIDI F, MARZOUKI M N. ACE inhibitory and antioxidant activities of red scorpionfish (*Scorpaena notata*) protein hydrolysates[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(11): 7092-7102. DOI:10.1007/s13197-015-1862-8.
- [23] 李东萍, 张展, 郭珊珊, 等. 鳙鱼鱼肉不同酶解产物的加工特性及抗氧化性[J]. 肉类研究, 2016, 30(6): 1-5. DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.06.001.
- [24] 郭珊珊, 东刚, 罗永康. 鱼肉蛋白酶解产物加工特性及抗氧化性评价[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(6): 37-39.
- [25] 周亚迪, 汪之颖, 姚旻晶, 等. 具有抗氧化活性的猪血浆蛋白酶解产物的制备及理化特性[J]. 中国农业大学学报, 2014, 19(2): 150-155. DOI:10.11841/j.issn.1007-4333.2014.02.22.
- [26] 安然, 罗永康, 尤娟, 等. 草鱼鱼鳞蛋白酶解产物功能特性及其抗氧化活性[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(8): 76-80. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2011.08.030.
- [27] KLOMPONG V, BENJAKUL S, KANTACHOTE D, et al. 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 Chemistry, 2007, 102(4): 1317-1327. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.07.016.
- [28] LIU Q, KONG B H, XIONG Y L L, et al. Antioxidant activity and functional properties of porcine plasma protein hydrolysate as influenced by the degree of hydrolysis[J]. Food Chemistry, 2010, 118(2): 403-410. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.05.013.
- [29] OVISSIPPOUR M, RASCO B, SHIROODI S G, et al. Antioxidant activity of protein hydrolysates from whole anchovy sprat (*Clupeonella engrauliformis*) prepared using endogenous enzymes and commercial proteases[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(7): 1718-1726. DOI:10.1002/jsfa.5957.
- [30] CHALAMAIAH M, JYOTHIMAYI T, DIWAN P V, et al. Antioxidant activity and functional properties of enzymatic protein hydrolysates from common carp (*Cyprinus carpio*) roe (egg)[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(9): 5817-5825. DOI:10.1007/s13197-015-1714-6.
- [31] SAI-UT S, BENJAKUL S, SUMPAPAPOL P, et al. Antioxidant activity of gelatin hydrolysate produced from fish skin gelatin using extracellular protease from *Bacillus amyloliquefaciens* H11[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2015, 39(4): 394-403. DOI:10.1111/jfpp.12244.
- [32] 孙骞, 胡鑫, 罗永康, 等. 猪血红蛋白抗氧化肽的酶法制备及其体外抗氧化活力观察[J]. 中国农业大学学报, 2008, 13(4): 77-81.