

水产品加工废弃物中的蛋白 及生物活性肽的研究进展

吴晓洒¹, 蔡路昀^{1,*}, 曹爱玲², 李学鹏¹, 李婷婷³, 李敏镇⁴, 励建荣^{1,*}

(1.渤海大学食品科学研究院, 辽宁省食品安全重点实验室, 辽宁锦州 121013;

2.萧山出入境检验检疫局, 浙江杭州 311208;

3.大连民族学院生命科学学院, 辽宁大连 116600;

4.鞍山嘉鲜农业发展有限公司, 辽宁鞍山 114100)

摘要:为合理利用水产品加工过程中产生的废弃物, 本文以鱼类、贝类、水产软体动物为例, 综述了废弃物中蛋白利用的研究现状, 详细阐述了多种生物活性肽的功能特性, 包括降血压、抗氧化应激、抑菌、螯合钙、减肥等功能, 并对水产品加工废弃物的商业前景进行展望, 旨在为功能肽的研究和开发提供参考价值, 同时提高水产废弃物的附加值。

关键词:水产品, 废弃物, 蛋白, 活性肽, 研究进展

Research progress in protein and biological active peptides from the wastes of aquatic products processing

WU Xiao-sa¹, CAI Lu-yun^{1,*}, CAO Ai-ling², LI Xue-peng¹, LI Ting-ting³, LI Min-zhen⁴, LI Jian-rong^{1,*}

(1. Food Science Research Institute of Bohai University, Food Safety Key Lab of Liaoning Province, Jinzhou 121013, China;

2. Xiaoshan Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Hangzhou 311208, China;

3. College of Life Science, Dalian Nationality of University, Dalian 116600, China;

4. Anshan Jiashan Agricultural Development Co., Ltd. Anshan 114100, China)

Abstract: In order to make full use of residual wastes produced from aquatic products process, this paper reviewed the development status of protein using from residual wastes focused on fish, shell-fish and mollusk, stated the functions of various of biological active peptides including blood press reduction, anti-bacteria, chelated calcium, weight loss and so on, and prospected business outlook of aquatic products processing wastes, aimed to provide reference for function peptide research and development, as well as improved the added value of aquaculture wastes.

Key words: aquatic products; residual wastes; protein; active peptides; research progress

中图分类号: TS254.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2014)23-0372-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2014.23.070

水产品因其富含蛋白质、钙、维生素及其它生物活性物质, 深受广大消费者的喜爱。随着生活水平的提高和节奏的加快, 人们对水产品的需求量也越来越大, 但在水产品加工过程中, 可利用部分仅占 50%~70%^[1], 而包括头、壳、皮、鳞、内脏在内的废弃物未被合理利用, 其利用途径多限于加工饲料鱼粉、提取鱼油、生产皮革、制备调味料等, 但随着水产行

业的不断发展和人类需求的提高, 这些低附加值的产品已不能满足人们对生活更高层次的追求。另外, 资源的日益短缺要求我们必须合理利用一切资源, 不允许鱼贝类废弃物中的大量优质蛋白及多种生物活性成分被浪费。如果对这些废弃物深一步加工, 结合高新技术分离提取纯度较高的不同生物活性肽, 开发活性肽的特异功效, 并将其广泛应用于医药和食品行业, 这不仅为资源浪费、环境污染等提供了一个很好的解决方案, 还能为水产行业带来高额利润。

生物活性肽是一类特定的蛋白质片段, 具有一些潜在的生理功能, 如止痛、抑菌、抗血栓、降血压等^[2]。通常各种活性肽的构造不同, 长短各异, 从 2 到 20 个氨基酸残基不等。虽然目前已有大量关于生物活性肽的报道, 包括鱼类、软体动物及甲壳类动物等的活性肽^[3-4], 涉及功能作用、相对分子大小、氨基酸序列及部分机理方面的研究, 但对于活性肽的

收稿日期: 2014-04-15

作者简介: 吴晓洒(1990-), 女, 硕士, 主要从事水产品加工方面的研究。

* 通讯作者: 蔡路昀(1981-), 男, 博士, 讲师, 主要从事水产品加工方面的研究。

励建荣(1964-), 男, 博士, 教授, 主要从事水产品 and 果蔬贮藏加工、食品安全方面的研究。

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划(2012BAD29B06); 国家自然科学基金(31401478, 31301569, 31301572)。

应用性研究还不够全面。

1 水产品加工废弃物中的蛋白及其活性肽

1.1 鱼类废弃物中胶原蛋白的利用

胶原蛋白是由3条肽链组成的螺旋形纤维状蛋白,在动物皮肤、血管、骨骼形成中扮演重要角色,具有增生修复上皮细胞的作用,可用于烧伤的治疗。传统上主要从陆生动物中提取胶原蛋白,并应用于食品、医药、化妆品等领域,然而由于一些宗教、健康等因素,其推广受到了很大限制,因此开启了鱼类胶原蛋白的时代。

在鱼类加工过程中,多余的鱼皮、鱼骨、鱼肉、鱼鳞、鱼内脏被丢弃,有报道显示,鱼类加工过程中废弃物大约浪费了10%~20%的蛋白质^[5],近几年,开发水产品加工中的下脚料逐渐成为热点,靠技术设备部分实现了变废为宝的模式。日本学者Nagai等^[6]从海鲈、金枪鱼和鲷鱼的鱼皮、鱼鳍、鱼骨中提取胶原蛋白,并对其热稳定性作了对比性研究,鱼皮中胶原蛋白含量分别占51.4%、49.8%和50.1%(干基含量),而鱼骨胶原蛋白含量都在40%以上,且热稳定性高于鱼皮和鱼鳍的胶原蛋白。Muyonga等^[7]将从鲈鱼骨与鲈鱼皮中提取的胶原蛋白进行比较,结果发现从鱼骨中提取的胶原蛋白有较高的浊度和灰分含量,鱼骨胶原蛋白膜的延伸性比鱼皮胶原蛋白膜的强,推测鱼类胶原蛋白有可能代替脊椎动物胶原蛋白。

1.2 鱼类废弃物中活性肽的利用

活性肽是指一些具有特殊生理活性的肽类,是胶原蛋白的水解产物,具有多种独特的生理功能,这些功能是前体蛋白和游离氨基酸混合物所不具有的,其分子只有纳米大小,胃肠、血管及肌肤等极易吸收,其吸收率要远远高于大分子蛋白质。对肽的研究是从最初的探索到深入对比性的分析研究,挖掘了其内在生理价值,改变了对废弃物的认识。多项研究证明,通过酶解鱼皮制备的活性肽比其他的下脚料获得的肽在降血压和抗氧化方面功效更好^[8-9]。Benjakul等^[10]水解鳕鱼下脚料,对水解液的营养和功能性质进行了初步的研究,并探索了活性肽的存在。Morimura等^[11]用16种商业酶对鲱鱼骨蛋白进行水解,并对所得的寡聚肽进行分析,发现水解肽与其他肽类似,具有抗氧自由基和降血压的功效,同时此肽易于吸收,可作为食品添加剂。国内有学者从罗非鱼加工的下脚料鱼鳞中提取了活性肽并对其抗氧化性进行了探索研究^[12],确定了酶解提取活性抗氧化肽的最佳工艺。最近刘伟等^[13]在酶解罗非鱼鳞方面做了优化研究,在前人的研究上做出来进一步的深化。从国内外研究现状看,对下脚料活性肽成分的深入研究是值得的。

1.3 其他水产品加工废弃物中的蛋白及其活性肽

对于非鱼类的一些水产品,如贝类、虾类、藻类等,其蛋白结构复杂多样,为活性多肽的提取提供了物质基础,有利于将活性多肽与矿物质结合,促进矿物质的转运和吸收,进而开发新功能产品。甲壳类原料的浪费主要集中在壳类和头部,约占总废弃物的

30%~45%。壳中除含有甲壳素和类胡萝卜素外,还含有38%的蛋白质,而虾头则高达41%的蛋白质^[14-15]。早在1964年,Schmeer^[16]从文蛤软体中提取到一种肿瘤抑制因子,对小鼠S180肉瘤有显著的抑制作用,经过对其成分的进一步探讨,指出这是一类分子量小于10ku的多肽类物质。Bernay等^[17]从牡蛎匀浆液中分离得到一种具有抗肿瘤作用的低分子活性肽1(bioactive peptides 1, BPO-1),并证明其可明显抑制胃腺癌和肺腺癌的细胞生长。李健宁等^[18]从扇贝中提取出一种多肽(polypeptides from chlamys farreri, PCF),发现其能促进人脐血干细胞的分化。此外,如牡蛎、贻贝等双壳贝类血浆中含有一类小分子阳离子且富含半胱氨酸的活性肽,研究表明该活性肽具有抗菌活性,是贝类免疫体系的重要组成部分^[19]。

2 水产品加工废弃物中多肽的生物活性

2.1 降血压活性

心血管疾病已被世界公认为健康的头号大敌,其涉及全身的循环系统。据报道,全世界约25%的人被高血压困扰,预计到2025年全球高血压人数会增加到15.6亿^[20]。当前对高血压和心悸的治疗都集中于肾素-血管紧张素系统方面,主要是通过抑制肾素和血管紧张素转化酶(ACE)这两种关键酶来实现的,在医学上往往通过服用药物来治疗类似疾病,但临床上的高血压药物也存在一些副作用,如降压过度、持续性咳嗽、过敏反应和味觉失真等,因此,采取安全可靠的手段治疗高血压等症状受到了人们的急切关注。

目前,有学者从水产下脚料的水解液中发现存在具有抑制ACE活性的物质,其中所进行的研究见表1。

2.2 抗氧化应激

氧化应激是指体内氧化与抗氧化作用的失衡,倾向于氧化,导致中性粒细胞炎性浸润,蛋白酶分泌增加,产生大量氧化中间产物。氧化应激引起的疾病一般是慢性疾病,例如:心脏病、中风、动脉粥样硬化、癌症等^[29],此外,氧化应激也会引起脂类氧化,导致食品品质下降,生产商采用一些合成类抗氧化剂BHA、BHT、TBHQ、没食子酸等延缓油脂食品的氧化变质,但是合成类食品添加剂的使用引起了消费者对其安全性的担忧,因此,选择一些天然抗氧化剂作为食品生产中的辅料,不仅能延长货架期,而且几乎没有副作用。虽然活性肽的抗氧化机制还没有完全被世人阐释,但已有研究表明蛋白酶解液或其他一些肽类物质具有清除自由基、抑制酶活、防止脂质氧化的能力,其能效与氨基酸的组成、排列以及疏水性基团存在有着紧密的联系,如亮氨酸、酪氨酸、蛋氨酸、半胱氨酸、组氨酸这五种氨基酸可以提供质子、电子,进而提高清除自由基的能力^[30-31],对于这类活性肽的制备早在1996年就有涉及,随着研究的深入,有少数研究者从水产下脚料中获取生物活性肽,合理利用资源,增加其附加值。早期学者使用酸法水解大西洋鳕鱼得到活性多肽,证明其具有强大的免疫刺激效果并刺激了大西洋鳕鱼白细胞的氧化进

表1 水产下脚料中的 ACE 抑制肽

Table 1 ACE inhibitory peptides derived from aquatic product residues

来源	酶	氨基酸序列	IC ₅₀ (μmol/L)	参考文献
沙丁鱼肉	碱性蛋白酶	KW	1.63	[21]
鳀鱼肉	嗜热菌蛋白酶	LKP	0.32	[22]
金枪鱼骨	胃蛋白酶	GDLGKTTTVSNWSPPKYKDTP	11.28	[23]
文蛤	复合蛋白酶	YN	51.00	[24]
海参	复合蛋白酶	MEGAQEAQGD	15.90	[25]
裙带菜	胃蛋白酶	YNKL	21.00	[26]
裙带菜	S 蛋白酶	IW	1.50	[27]
鲨鱼肉	SM98011 蛋白酶	MF	0.92	[28]

发^[32]。其他学者还分别以不同水产品的下脚料为原料进行了深入研究, Mendis 等^[33]利用鱼皮经三步酶解法制备了具有较好抗氧化活性的鱼皮胶原活性肽,同时从巨型鱿鱼鱼皮制得酶解产物,并测定了其氨基酸序列,得到两种具有较好抗氧化活性的肽,分别是 Phe-Asp-Ser-Pro-Ala-Gly-Val-Leu 和 Asn-Gly-Pro-Leu-Glu-Ala-Gly-Gln-Pro-Gly-Glu-Arg。国内学者也做了这方面的努力,张寒俊等^[34]直接采用酶解法提取了罗非鱼皮胶原活性肽,针对罗非鱼优化了提取工艺,并通过体外模拟实验说明该肽作为功能因子具有抗氧化的功效。郭瑶^[35]研究了罗非鱼皮多肽的制备并探索其抗氧化活性,经过多级纯化得到肽的清除 O₂⁻ 的 IC₅₀ 值为 4.61 μg/mL,发现该单一峰为复合肽组分,其主要氨基酸为 Ser、Gly、Val、Ala 和 Asp,其分子量范围是 311.3~932.8u,这些研究与国外相似,所属氨基酸的类型基本一致。

2.3 抑菌作用

抗菌肽是一类小分子物质,相对分子量小于 10ku,一般由少于 50 个氨基酸残基构成,疏水性氨基酸含量约占一半。通过酶解蛋白质切除信号肽和羧基端酸性片段形成具有很强抑菌活性的成熟肽。水产中的抗菌肽主要来源于鱼类和无脊椎动物^[36],一般以前体形式合成,由蛋白酶水解除去阴离子前导肽之后释放出成熟肽,阴离子前导肽功能尚不清楚,它可能具有中和成熟肽阳离子的功能,也可能具有某些生理或者免疫功能^[37]。杨燊等^[38]采用复合酶水解南海低值鱼蛋白制备多肽,并将其与钙离子螯合,发现多肽与钙离子螯合物具有显著的抗枯草芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌活性。有研究发现罗非鱼肉的酶解产物对白色念珠菌、大肠杆菌、荧光假单胞菌等具有一定的抑制作用,同时发现酶解物与钙离子螯合后其抑菌效果更加明显^[39]。张建荣等^[40]利用胃蛋白酶水解鲶鱼骨,发现酶解产物对大肠杆菌、藤黄微球菌和枯草杆菌具有较为明显的抑菌活性。此外,国内相关研究还从贝类蛋白酶解物中分离富集得到对大肠杆菌等具有抑制作用的抗菌肽,其相对分子量小于 3ku^[41-42]。

2.4 螯合钙作用

随着肽的进一步发展,有研究者尝试利用肽和矿物质螯合,改善人体对矿物质的利用。钙作为维持人体健康的重要矿物元素,在骨骼和牙齿的形成、

神经递质释放、肌肉组成和心脏调节等生理活动中发挥着重要的作用,而饮食结构和饮食习惯等原因导致我国居民钙缺乏现象依然严重,多肽具有很强的结合钙的能力,其中一些氨基酸可以提供与钙离子结合的位点,有利于多肽与钙结合反应的进行,因此,将两者结合可为下脚料的有效利用开辟新的方向,延伸了水产加工产业链,并为人们解决钙缺乏问题提供了科学思路。

Kim 等^[43]和 Jung 等^[44]相继报道了鱼类多肽能够促进人体对钙的吸收,随后,有学者确定鱼类水解液中含有类似肽,并发现了其中促进钙吸收的生长因子^[45]。其机理是这种肽能够结合破骨细胞表面的接受器,进而通过减少破骨细胞来促进钙的代谢。有资料表明,从鳕鱼和阿拉斯加鳕鱼骨架蛋白中提取的肽类物质具有结合钙的能力^[46-48]。Jung 等^[49]做了进一步的研究,改善了多肽结合钙的功效,以骨质疏松大鼠为对象进行了不同测试,为预防及治疗骨质疏松类多肽的应用做好了前期准备,许丹^[50]也研究了鱿鱼皮经酶解后具有抗氧化和抑制类风湿关节炎的功效,初探其抑制机理,这为开发新型治疗关节炎的功能食品提供了科学依据。

2.5 减肥效应

肥胖也是人类健康的一大威胁,可引起动脉粥样硬化、心肌梗塞、脑血管意外等。肥胖会增加慢性疾病的发生率,缩短人的寿命,对人体带来的伤害不亚于其他疾病,因此,减肥和预防肥胖已成为现代人们生活的重要内容。近年来有学者从虾头水解产物中得到一种小分子肽(1~1.5ku),可有效刺激 STC-1 细胞释放缩胆囊素,作为未来的减肥性功能食品,调节缩胆囊素的释放量进而达到减肥的目的^[51],此类肽被称为减肥肽,摄入后可促进交感神经的活化,诱导褐色脂肪组织的激活,增强基础代谢的活性,消耗脂肪,达到减肥的目的。

3 水产品加工废弃物生物活性肽的商业前景

传统的保健品主要来自于植物肽,如大豆肽、沙棘肽等,日本市场上已经出现了一些添加有水产下脚料蛋白活性肽的产品,主要用于满足个人消费和治疗轻度高血压,如 LapisSupport™ 和 Valturon®,它们具有降血压的功效,通常以辅料的形式加入饮料中,2010 年通过了欧洲食品安全局认证,可作为一种新型的保健品^[52]。我国对肽类保健品的研究开发较

表2 国内外水产下脚料保健品现状

Table 2 Present situation of healthy food from aquatic residues in domestic and overseas

产品名称	保健功能	主要原料	生产商
Protizen® 200	缓解疲劳	鱼肉蛋白水解液	Copalis Sea Solutions(法国)
Valtyron®	抗高血压	沙丁鱼肽	Senmi Ekisu Co. Ltd(日本)
Lapis Support	抗高血压	沙丁鱼肽	Tokiwa Yakuin Co. Ltd.(日本)
Seacure®	改善肠胃健康	太平洋鳕鱼水解液	Proper Nutrition(美国)
NutripeptinTM	降血糖	鳕鱼水解液	Nutrimarine Life Science AS(挪威)
AntiStress 24	缓解疲劳	鱼肉蛋白水解液	Forte' Pharma Laboratories(法国)
大道安康牌胡萝卜素海洋肽胶囊	抗氧化	海洋鱼皮胶原低聚肽粉	大道安康(北京)科技发展有限公司
非得牌海参肽胶囊	免疫调节、抗疲劳	鲜海刺参	大连非得生物产业有限公司
全金R维C海洋鱼胶原肽粉(男士,白葡萄味)	缓解体力疲劳、增强免疫力	海洋鱼皮胶原低聚肽粉	北京怡生安康生物科技有限公司
完美牌胶原肽芦荟咀嚼片	增强免疫力、改善皮肤水份	鱼胶原肽粉	完美(北京)有限公司
惠普生牌灵芝海洋鱼胶原肽粉(香草口味)	抗辐射、增强免疫力	海洋鱼皮胶原低聚肽粉	南宁富莱欣生物科技有限公司
富莱欣牌维D海洋鱼骨胶原肽粉(苹果口味)	增加骨密度	海洋鱼骨胶原低聚肽、鱼骨粉	大道安康(北京)科技发展有限公司

晚,直到近几年市场上才陆续出现少量单功能肽保健品,其中国内外水产多肽保健品现状见表2。

国内市场自2008年出现以水产多肽为原料的保健品之后,保健品行业开始生产以水产废弃物为原料的功能产品,近两年我国一些大型企业将目光投向多种口味保健品的生产,有香橙、草莓、苹果、水蜜桃、蓝莓、西柚等水果口味,品种层出不穷,但功效主要还停留在增强免疫、改善皮肤水分方面,所以需要对其其他保健功效进一步开发应用。随着现代蛋白质工程、生物酶工程技术的迅速发展,还会有大量的多肽不断地被开发出来。因此,我们在积极开发海洋新产品的同时,应集中研究从水产废弃物中提取具有各种生理功能的低分子肽,结合生物技术开发不同层次的胶原多肽等,扩大胶原蛋白的市场比重。

从水产品加工废弃物中提取胶原蛋白,既解决了废弃物的污染问题,又能达到“低投入,高产出”的模式,促进了水产行业的可持续发展,同时也削弱了我们对陆生胶原蛋白的需求依赖。然而,在实际生产中胶原蛋白的提取工艺仍需进一步优化,结合新型生物技术寻求一种绿色高效的方法提取胶原蛋白迫在眉睫。胶原蛋白肽未来的研究重点是发现新的活性肽及揭示其可能存在的保健功能,使用新技术将其完美的应用于日常生活中,满足人们的多方面需求,贯穿多行多业,实现该产业更高的市场价值。

参考文献

[1] Kim S K, Wijesekera I. Development and biological activities of marine-derived bioactive peptides: A review [J]. Journal of Functional Foods, 2010, 2(1): 1-9.
 [2] Murray B A, FitzGerald R J. Angiotensin converting enzyme inhibitory peptides derived from food proteins: biochemistry, bioactivity and production [J]. Current Pharmaceutical Design, 2007, 13(8): 773-791.

[3] Zhang D L, Guan R Z, Huang W S, et al. Isolation and characterization of a novel antibacterial peptide derived from hemoglobin alpha in the liver of Japanese eel, *Anguilla japonica* [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2013, 35(3): 625-631.
 [4] Wang Q K, Li W, He Y H, et al. Novel antioxidative peptides from the protein hydrolysate of oysters (*Crassostrea talienwhanensis*) [J]. Food Chemistry, 2014, 145: 991-996.
 [5] Kristinsson H G. Functional and bioactive peptides from hydrolyzed aquatic food proteins, Marine nutraceuticals and functional foods [M]. Boca Raton: CRC Press, 1897: 229-246.
 [6] Nagai T, Suzuki N. Isolation of collagen from fish waste material-skin, bone and fins [J]. Food Chemistry, 2000, 68(3): 277-281.
 [7] Muyonga J H, Cole C G B, Duodu K G. Extraction and physico-chemical characterisation of Nile perch (*Lates niloticus*) skin and bone gelatin [J]. Food Hydrocolloids, 2004, 18(4): 581-592.
 [8] Byun H C, Kim S K. Purification and characterization of angiotensin I converting enzyme (ACE) inhibitory peptides from Alaska Pollack (*Theragra chalcogramma*) skin [J]. Process Biochemistry, 2001, 36(12): 1155-1162.
 [9] Kim S K, Kim Y T, Byun H G, et al. Isolation and characterization of antioxidative peptides from gelatin hydrolysate of Alaska Pollack skin [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(4): 1984-1989.
 [10] Benjakul S, Morrissey M T. Protein hydrolysates from Pacific whiting solid wastes [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45(9): 3423-3430.
 [11] Morimura S, Nagata H, Uemura Y, et al. Development of an effective process for utilization of collagen from livestock and fish waste [J]. Process Biochemistry, 2002, 37(12): 1403-1412.
 [12] 芦双, 黄儒强, 梁学世, 等. 罗非鱼鱼鳞活性肽的提取及其抗氧化活性研究 [J]. 广东农业科学, 2012, 39(22): 152-154.

- [13] 刘伟, 丁丁, 黄雅钦. 鱼鳞胶原蛋白水解物的制备[J]. 明胶科学与技术, 2013, 33(2): 63-67.
- [14] Venugopal V. Seafood processing wastes; Chitin, chitosan and other compounds. Marine products for healthcare: Functional and bioactive nutraceutical compounds from the ocean [M]. Boca Raton: CRC Press, 2009a; 185-219.
- [15] Venugopal V. Seafood proteins; Functional properties and protein supplements. Marine products for healthcare: Functional and bioactive nutraceutical compounds from the ocean [M]. Boca Raton: CRC Press, 2009b; 51-102.
- [16] Schmeer M R. Growth-inhibiting agents from mercenaria extracts; chemical and biological properties [J]. Science, 1964, 144(3617): 413-414.
- [17] Bernay B, Baudy-Floch M, Zanuttini B, et al. Ovarian and sperm regulatory peptides regulate ovulation in the oyster *Crassostrea gigas* [J]. Molecular Reproduction and Development, 2006, 73(5): 607-616.
- [18] 李健宁, 孙欣, 林颖. 扇贝多肽对人脐血干细胞体外分化的影响[J]. 中国矫形外科杂志, 2007, 15(14): 1098-1099.
- [19] Mitta G, Hubert F, Dyrinda E, et al. Mytilin B and MGD2, two antimicrobial peptides of marine mussels: gene structure and expression analysis [J]. Developmental & Comparative Immunology, 2000, 24(4): 381-393.
- [20] Kearney P M, Whelton M, Reynolds K, et al. Global burden of hypertension: analysis of worldwide data [J]. The Lancet, 2005, 365(9455): 217-223.
- [21] Matsufuji H, Matsui T, Seki E, et al. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides in an alkaline protease hydrolyzate derived from sardine muscle [J]. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry, 1994, 58(12): 2244-2245.
- [22] Fujita H, Yoshikawa M. LKPNM: a prodrug-type ACE-inhibitory peptide derived from fish protein [J]. Immunopharmacology, 1999, 44(1-2): 123-127.
- [23] Lee S H, Qian Z J, Kim S K. A novel angiotensin I converting enzyme inhibitory peptide from tuna frame protein hydrolysate and its antihypertensive effect in spontaneously hypertensive rats [J]. Food Chemistry, 2010, 118(1): 96-102.
- [24] Tsai J S, Chen J L, Pan B S. ACE-inhibitory peptides identified from the muscle protein hydrolysate of hard clam (*Meretrix lusoria*) [J]. Process Biochemistry, 2008, 43(7): 743-747.
- [25] Zhao Y, Li B, Dong S, et al. A novel ACE inhibitory peptide isolated from *Acaudina molpadioidea* hydrolysate [J]. Peptides, 2009, 30(6): 1028-1033.
- [26] Suetsuna K, Nakano T. Identification of an antihypertensive peptide from peptic digest of wakame (*Undaria pinnatifida*) [J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 2000, 11(9): 450-454.
- [27] Sato M, Hosokawa T, Yamaguchi T, et al. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides derived from wakame (*Undaria pinnatifida*) and their antihypertensive effect in spontaneously hypertensive rats [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(21): 6245-6252.
- [28] Wu H, He H L, Chen X L, et al. Purification and identification of novel angiotensin-I-converting enzyme inhibitory peptides from shark meat hydrolysate [J]. Process Biochemistry, 2008, 43(4): 457-461.
- [29] Da'valos A, Miguel M, Bartolome' B, et al. Antioxidant activity of peptides derived from egg white proteins by enzymatic hydrolysis [J]. Journal of Food Protection, 2004, 67(9): 1939-1944.
- [30] Erdmann K, Cheung B W Y, Schroeder H. The possible roles of food-derived bioactive peptides in reducing the risk of cardiovascular disease [J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2008, 19(10): 643-654.
- [31] Sarmadi B H, Ismail A. Antioxidative peptides from food proteins: A review [J]. Peptides, 2010, 31(10): 1949-1956.
- [32] Gildberg A, Bogwald J, Johansen A, et al. Isolation of acid peptide fractions from a fish protein hydrolysate with strong stimulatory effect on Atlantic salmon (*Salmo salar*) head kidney leucocytes [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 1996, 114(1): 97-101.
- [33] Mendis E, Rajapakse N, Byun H G, et al. Investigation of jumbo squid skin gelatin peptides for their *in vitro* antioxidant effects [J]. Life Sciences, 2005, 77(17): 2166-2178.
- [34] 张寒俊, 杨国燕, 张蕾. 罗非鱼皮胶原蛋白肽酶解液的制备及其抗氧化特性研究 [J]. 中国酿造, 2008, 13(7): 13-16.
- [35] 郭瑶. 罗非鱼皮胶原肽的制备及其抗氧化活性的研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- [36] 宫晓静, 吴燕燕. 海洋无脊椎动物抗菌肽研究进展及其在食品保鲜中的应用 [J]. 2011(3): 27-32.
- [37] Fernandes J M O, Molleb G, Kempc G D, et al. Isolation and characterisation of oncorhynchin II, a histone H1-derived antimicrobial peptide from skin secretions of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. Developmental & Comparative Immunology, 2004, 28(2): 127-138.
- [38] 杨燊, 邓尚贵, 秦小明. 低值鱼蛋白多肽-钙螯合物的制备和抗氧化、抗菌活性研究 [J]. 食品科学, 2008, 29(1): 202-206.
- [39] 丁利君, 危雪如. 罗非鱼蛋白酶解液的多肽与钙复合物的制备及抑菌分析 [J]. 食品科学, 2009, 30(20): 198-202.
- [40] 张建荣, 马俪珍, 梁鹏. 鲑鱼骨蛋白酶解物中抗菌活性物质的初步分离纯化 [J]. 食品发酵与工业, 2009, 35(2): 48-52.
- [41] 宋红霞. 紫贻贝抗菌肽的研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
- [42] 姚兴存, 邱春江. 文蛤蛋白抗菌肽制备工艺优化与抗菌活性研究 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(31): 17729-17730.
- [43] Kim S K, Jeon Y J, Byun H G, et al. Calcium absorption acceleration effect on phosphorylated and non-phosphorylated peptides from hoki (*Johnius belengerii*) frame [J]. The Korean Fishes Society, 1999, 32(6): 713-717.
- [44] Jung W K, Park P J, Byun H G, et al. Preparation of hoki (*Johnius belengerii*) bone oligophosphopeptide with a high affinity to calcium by carnivorous intestine crude proteinase [J]. Food Chemistry, 2005, 91(2): 333-340.
- [45] Fouchereau-Peron M, Duval L, Michel C, et al. Isolation of

Food Science and Biotechnology, 2014, 23(1):33-41.

[25] Liu Q, Kong B H, Han J C, *et al.* Structure and antioxidant activity of whey protein isolate conjugated with glucose via the Maillard reaction under dry - heating conditions [J]. Food structure, 2013, 9:1-10.

[26] Herasimenka Y, Benincasa M, Mattiuzzo M, *et al.* Interaction of antimicrobial peptides with bacterial polysaccharides from lung pathogens [J]. Peptides, 2005, 26(7):1127-1132.

[27] Martinez K D, Baeza R I, Millán F, *et al.* Effect of limited hydrolysis of sunflower protein on the interactions with polysaccharides in foams [J]. Food Hydrocolloids, 2005, 19(3):361-369.

[28] Schmidtchen A, Malmsten M. Peptide interactions with bacterial lipopolysaccharides [J]. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 2013, 18(5):381-392.

[29] Lian X J, Zhu W, Wend Y, *et al.* Effects of soy protein hydrolysates on maize starch retrogradation studied by IR spectra and ESI - MS analysis [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 59:143-150.

[30] Goel P K, Singhal R S, Kulkarni P R. Studies on interactions of corn starch with casein and casein hydrolysates [J]. Food Chemistry, 1999, 64(3):383-389.

[31] Considine T, Noisuwan A, Hemar Y. Rheological investigations of the interactions between starch and milk proteins in model dairy systems: A review [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(8):2008-2017.

[32] Nazeer R A, Kumar N S, Jai Ganesh R. *In vitro* and *in vivo* studies on the antioxidant activity of fish peptide isolated from the croaker (*Otolithes ruber*) muscle protein hydrolysate [J]. Peptides,

2012, 35(2):261-268.

[33] Zhang Y, Duan X, Zhuang Y. Purification and characterization of novel antioxidant peptides from enzymatic hydrolysates of tilapia (*Oreochromis niloticus*) skin gelatin [J]. Peptides, 2012, 38(1):13-21.

[34] Luo H Y, Wang B, Li Z R, *et al.* Preparation and evaluation of antioxidant peptide from papain hydrolysate of *Sphyrna lewini* muscle protein [J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 51(1):281-288.

[35] Wang B, Li L, Chi C F, *et al.* Purification and characterisation of a novel antioxidant peptide derived from blue mussel (*Mytilus edulis*) protein hydrolysate [J]. Food Chemistry, 2013, 138(2-3):1713-1719.

[36] 缪铭, 江波, 张涛. 食品典型组分相互作用的研究进展 [J]. 食品科学. 2008, 29(10):625-629.

[37] 曹平. 天然抗氧化剂抑制油脂氧化的研究进展 [J]. 中国油脂. 2005, 30(7):49-53.

[38] Zhou K Q, Canning C, Sun S. Effects of rice protein hydrolysates prepared by microbial proteases and ultrafiltration on free radicals and meat lipid oxidation [J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 50(1):331-335.

[39] Park E Y, Imazu H, Matsumura Y, *et al.* Effects of Peptide Fractions with Different Isoelectric Points from Wheat Gluten Hydrolysates on Lipid Oxidation in Pork Meat Patties [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(30):7483-7488.

[40] Sakanaka S, Tachibana Y. Active oxygen scavenging activity of egg - yolk protein hydrolysates and their effects on lipid oxidation in beef and tuna homogenates. Food Chemistry, 2004, 95(2):243-249.

(上接第 376 页)

an acid fraction from a fish protein hydrolysate with a calcitonin-related-peptide-like biological activity [J]. Biotechnology and Applied Biochemistry, 1999, 29(1):87-92.

[46] Jung W K, Karawita R, Heo S J, *et al.* Recovery of a novel Ca - binding peptide from Alaska Pollack (*Theragra chalcogramma*) backbone by pepsinolytic hydrolysis [J]. Process Biochemistry, 2006, 41(9):2097-2100.

[47] Jung W K, Kim S K. Calcium-binding peptide derived from pepsinolytic hydrolysates of hoki (*Johnius belangerii*) frame [J]. European Food Research and Technology, 2007, 224:763-767.

[48] Jung W K, Park P J, Byun H G, *et al.* Preparation of hoki (*Johnius belangerii*) bone oligophosphopeptide with a high affinity to calcium by carnivorous intestine crude proteinase [J]. Food

Chemistry, 2005, 91(2):333-340.

[49] Jung W K, Lee B J, Kim S K. Fish-bone peptide increases calcium solubility and bioavailability in ovariectomised rats [J]. British Journal of Nutrition, 2006, 95:124-128.

[50] 许丹. 鲑鱼皮胶原蛋白肽制备及其对类风湿关节炎的作用的研究 [D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2012.

[51] Cudennec B, Ravallec - Ple' R, Courois E, *et al.* Peptides from fish and crustacean by - products hydrolysates stimulate cholecystokinin release in STC-1 cells [J]. Food Chemistry, 2008, 111(4):970-975.

[52] EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. Scientific opinion on the safety of 'sardine peptide product' [J]. EFSA Journal, 2010, 8(7):1684-1700.