

中上层鱼类及加工副产品高值化利用的研究进展

陈晓婷^{1,2}, 吴靖娜^{2,3}, 陈艺晖¹, 刘智禹^{2,3*}

(1. 福建农林大学食品科学学院, 福州 350002; 2. 福建省水产研究所, 国家海水鱼类加工技术研发分中心, 福建省海洋生物增殖与高值化利用重点实验室, 厦门 361013; 3. 福建省海洋生物资源开发利用协同创新中心, 厦门 361013)

摘要: 中上层鱼类及加工副产品的高效利用是我国海洋鱼类资源综合开发利用的重要研究方向, 中上层鱼类产量巨大、营养丰富, 从不同领域研发中上层鱼类及副产品, 具有重要的经济价值和实践意义。目前, 主要从中上层鱼类及加工副产品中营养成分的角度出发, 加工优化食用制品以及提取利用其中的蛋白质、脂肪、矿物质等, 从而研发营养功能制品、医药品及调味品等。本文从鱼糜及鱼糜制品、生物医药及制品、鱼油提取及制品、调味品、休闲食品以及其他制品等方面, 综合论述了中上层鱼类及加工副产品高值化利用的研究进展, 并展望了中上层鱼类及加工副产品广阔的研究方向及发展趋势, 旨在有效提高中上层鱼类及加工副产品的附加值, 为其更深入的研究利用提供参考。

关键词: 中上层鱼类; 加工副产品; 高值化利用

Research progress of high-value utilization of pelagic fishes and by-products

CHEN Xiao-Ting^{1,2}, WU Jing-Na^{2,3}, CHEN Yi-Hui¹, LIU Zhi-Yu^{2,3*}

(1. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Fisheries Research Institute of Fujian, National Research and Development Center for Marine Fish Processing, Key Laboratory of Cultivation and High-Value Utilization of Marine Organisms in Fujian Province, Xiamen 361013, China; 3. Fujian Collaborative Innovation Center for Exploitation and Utilization of Marine Biological Resources, Xiamen 361013 China)

ABSTRACT: The important research direction of marine fish resources comprehensive exploitation and utilization is the efficient utilization of pelagic fishes and by-products. The pelagic fishes have large yield and rich nutrition, and have important economic value and practical significance from different fields to develop the pelagic fishes and by-products. At present, in the perspective of nutrients of pelagic fishes and by-products, the edible products were processed and optimized, and protein, fat, minerals and other materials were extracted and utilized, so as to research and develop functional products, pharmaceuticals and condiments, etc. The paper comprehensively discussed the processing research progress of high-value utilization of pelagic fishes and by-products from the minced fish and minced fish products, biological medicine and products, fish oil extraction and products, condiments, snack food and other products, etc. It showed the enormous development prospects of the pelagic fishes and by-products for exploration and marketing. This review improved the added value of pelagic fishes and by-products and could provide references for the further research.

基金项目: 福建省海洋高新产业发展专项([2014] 07)、福建省海洋高新产业项目([2012] 21)

Fund: Supported by the Fujian Province Marine Industrial Development of New Technological Projects ([2014] 07) and the Fujian Province Marine Industrial of New Technological Project ([2012] 21)

*通讯作者: 刘智禹, 博士, 教授级高级工程师, 主要研究方向为水产品加工与综合利用研究。E-mail: 272132622@qq.com

*Corresponding author: LIU Zhi-Yu, Ph.D., Professorate senior engineers, Fisheries Research Institute of Fujian, Dongdu Haishan Road, Xiamen 361013, China. E-mail: 272132622@qq.com

KEY WORDS: pelagic fishes; by-products; high-value utilization

1 引言

中上层鱼类主要有鲱鱼类、圆鲹鱼类、马鲛鱼类及鲷鱼类等^[1],其种类丰富^[2],产量较大且相对稳定^[3],但是随着捕捞技术的迅速发展,以及对海洋环境的恶意破坏,大宗的高值鱼类逐年减少,我国海洋底层及近底层的鱼类也不断衰竭,中上层鱼类资源则变成了重要的捕捞对象^[4]。中上层鱼类及加工副产品营养价值丰富,富含矿物质、氨基酸、EPA、DHA和其他活性物质等^[5]。但是,目前大部分的中上层鱼类由于加工技术的不够成熟,导致了滞留大部分的碎鱼肉、鱼骨、鱼皮、鱼内脏、鱼鳞等加工副产物没有被充分利用,从而造成资源浪费和环境污染,并且无法有效提高其经济价值^[6]。同时,随着人们生活质量的提升及生活节奏的加快,鱼类加工制品逐渐趋向于加工工艺便利、快捷和高营养价值的方向发展。因此,本文从中上层鱼类在食用、药用、保健等制品研发的角度,对其高值化综合利用进行阐述,为深入研究开发提供参考。

2 鱼糜及鱼糜制品

加工鱼糜及鱼糜制品是一种提高中上层鱼类商品价值最普遍的方式,并且深受广大消费者的青睐。中上层鱼类的种类、特性及组织结构在一定程度上影响着鱼糜及鱼糜制品,将不同中上层鱼类相互组合以及加工副产品的合理加工利用制成鱼糜及鱼糜制品,具有广泛的研发空间和市场前景。其中,鱼肉的凝胶形成能力高低是鱼糜及鱼糜制品品质优劣的关键点^[7],不同鱼的凝胶形成能力不同,可通过添加外源物质、改善配方和优化工艺等措施进行调节。

在添加外源物方面,淀粉类、可食性亲水胶体类、非鱼肉蛋白类以及一些辅料等物作为较好的凝胶增强剂,已被广泛应用于鱼糜及其制品中,能够有效改善其凝胶特性^[8]。

淀粉是最为常见的凝胶增强剂,其凝胶形成能力越好,鱼糜及其制品的凝胶特性和冻融稳定性越佳,并且降低成本^[9]。陈海华等^[10]以竹荚鱼鱼糜为原料,研究几种原淀粉材料对其凝胶特性的影响,结果显示鱼糜凝胶强度和持水性随淀粉中直链淀粉含量增加而增强,木薯淀粉和小麦淀粉效果最佳。另外,原淀粉经物理、化学手段处理后的变性淀粉,具有更好的稳定性、持水性、透明度及粘度等^[11]。李丹辰等^[12]比较木薯淀粉及其变性淀粉对鱼糜凝胶特性的影响,研究发现木薯变性淀粉使鱼糜的白度、保水性及凝胶强度更佳。

可食性亲水胶体类物质如瓜尔胶、魔芋胶、褐藻胶、卡拉胶等,其自身形成强大的网络结构,能与鱼糜肌原纤

维蛋白形成的网络交织以及能将水分子保存在其中,进而提高了鱼糜的凝胶强度^[13]。陈海华等^[14,15]以竹荚鱼鱼糜为原料,研究亲水胶体类物质对其的影响,结果表明可得胶、罗望子胶、魔芋胶、卡拉胶、琼胶和CMC的添加能够有效改善鱼糜凝胶特性。

非鱼肉蛋白类物质主要为酶类和非酶类蛋白质,目前常用的酶类蛋白质为谷氨酰胺转氨酶(TG酶)等,TG酶能使蛋白质网络结构更加紧密,进而提高凝胶特性^[16]。杨方等^[17]通过内源蛋白酶和谷氨酰胺转氨酶(TG酶)在鱼糜发酵过程中的酶活变化,研究两种酶对鱼糜凝胶特性的影响,结果发现TG酶在发酵前期使鱼肉蛋白产生交联作用,提高其凝胶强度,而内源酶在发酵后期降低其凝胶强度。Kaewudom等^[18]研究发现0~0.6 U/g的TG酶,使得鱼糜凝胶网络更加紧密,进而提高了鱼糜的持水性,但当大于0.6 U/g则反之^[19]。常用的非酶类物质有卵清蛋白、乳清蛋白及大豆分离蛋白等。王雨生等^[20]以竹荚鱼为原料,探讨添加卵清蛋白对其鱼糜凝胶特性的影响,结果发现,随卵清蛋白的添加量的增加,鱼糜的凝胶网络结构越紧密,添加1%的卵清蛋白,凝胶化条件为30℃、5h及加热20min得到最佳的凝胶特性。Soottawat等^[21]研究乳清浓缩蛋白和氯化钙对鲳鱼鱼糜凝胶性质的影响,结果表明,随着增加乳清浓缩蛋白浓度的增加,提高了鱼糜的断裂张力、变形特性和持水性,更好地保留了所有凝胶的肌球蛋白重链,仅白度轻微下降,有效提高其凝胶特性;反之,添加氯化钙则降低了鱼糜的凝胶特性。罗通彪^[22]研究添加大豆分离蛋白对鱼糜的凝胶特性的影响,结果得到最佳工艺参数为7%的大豆分离蛋白添加量,1:5:1的鱼水油,在45℃下凝胶化30min,在此条件下,得到最大的凝胶强度。

另外还有以添加一些辅料来改善鱼糜及其制品的品质及凝胶特性,如Debusca等^[23]在鱼糜中添加膳食纤维,使得鱼糜的网络结构和持水性更佳,添加6%的粉状长链膳食纤维有效改善了其凝胶弹性。Shi等^[24]研究大豆油、花生油、玉米油及菜籽油对鱼糜品质及凝胶流变特性的影响,结果显示,添加花生油的鱼糜的凝胶破断拉力较大,植物油可以明显改善鱼糜的品质。Reza等^[25]研究盐影响凝胶强度的因素,结果表明添加一定量的盐有利于提高凝胶强度。Buamard等^[26]研究椰子皮提取物对沙丁鱼鱼糜凝胶性质的影响,表明椰子壳提取物提高了鱼糜凝胶的破碎力,且对凝胶的感官特性无不利影响,仅白度轻微下降,电泳实验发现肌球蛋白重链消失。

加工工艺中最为重要的就是漂洗、擂溃及凝胶化3个步骤。因此除了优化配方外,改善鱼糜及其制品的凝胶性能最主要的方法就是对其工艺的改进。

适宜的漂洗方式及条件是漂洗工艺的关键所在,张

浩等^[27]以蓝圆鲂为原料,研究不同漂洗方式对其特性的影响,结果表明,加碱漂洗优于加盐漂洗,但两者都能提高鱼糜的品质,得到最优漂洗方式为分别通过清水、NaHCO₃溶液(0.30%)、NaCl溶液(0.15%)各漂洗1次,1:5的漂洗液:鱼肉。郑晓杰等^[28]以马鲛鱼为原料,制成鱼糜,研究不同的漂洗条件对鱼糜制品的弹性及凝胶强度的影响,得到最优工艺为0.3%的食盐、漂洗3次、4倍的漂洗水,其成品弹性、凝胶强度及口感均最好。擂溃在加工工艺中起破坏肌肉组织的作用,从而溶出肌原纤维,主要有盐擂、空擂及混合擂溃,其工序操作时间一般为25~40 min,空擂和混合擂溃控制在5~10 min,盐擂控制在10~25 min,此条件下的鱼糜及其制品具有较好的弹性^[9]。

鱼糜的凝胶化方式一般经加热、超高压或超声波处理,每一种处理方式都对鱼糜凝胶性能有重要影响^[29]。其中加热有水浴加热、微波加热、蒸汽加热等方法较为常用,黄和等^[30]采用金鲳鱼制成鱼糜为材料,研究其最优的漂洗时间和次数、擂溃及加热时间对鱼糜凝胶特性的影响,结果显示,经5次漂洗(每次3 min)、21 min擂溃,加热两次(每次10 min),所得鱼糜凝胶强度为10728.16 g/mm。超高压方法作为操作简易、时间快、耗能低的新型技术,已被广泛应用于水产品加工中,罗晓玲等^[31]采用超高压处理复合马鲛鱼鱼糜,研究对鱼糜凝胶特性及色泽的影响,结果发现,100~500 MPa处理有效增强了鱼糜的凝胶强度,超高压处理有利于提高鱼糜的白度。

优化鱼糜及其制品的配方,目前主要从营养价值的角度出发,陈晓平等^[32]以各种新鲜无异味的小杂鱼研制的鱼糜或冷冻鱼糜为原料,通过马铃薯淀粉、蛋清、大豆蛋白3个因素进行正交试验,对成品的色、鲜、味、组织状态及弹性进行了综合的感官评价,得出17%淀粉、7%蛋清和2%大豆蛋白能够有效提高鱼糜制品凝胶强度。张菲菲等^[33]同样采用中上层鱼类研制的鱼糜为原料,开发一种富含膳食纤维和蛋白质、低胆固醇的鱼丸,确定最佳工艺配方为精盐、豆腐渣、蛋清粉、大豆蛋白和海藻酸钠分别占鱼肉总量的2.5%、3.35%、8.56%、12.32%和0.33%,成品鱼丸的硬度、内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性较佳。

3 生物医药及制品

蛋白质缺乏仍然是人类面临的重要问题,大部分鱼类都含有丰富蛋白质。鱼蛋白的开发利用则成为中上层鱼类高值化、资源化、生态化利用的重要方向。

在鱼蛋白制备中,酶解是最常用的技术方法,不同的鱼及目标蛋白都有最佳酶及酶解条件。蒋海萍^[34]以蓝圆鲂蛋白为原料,采用碱性蛋白酶进行酶解并优化其条件,制备抗氧化肽。林慧敏等^[35]以舟山海域马鲛鱼、带鱼、鳀鱼、梅童鱼4种鱼为原料,进行酶解,分析亚铁螯合物自由基清除活性,结果表明所获得的酶解多肽经亚铁修饰后具有

较好的抗氧化活性和抑菌活性。周燕芳^[36]研究双酶分步水解中上层鱼蛋白,确定出最优途径为先添加中性蛋白酶,后添加木瓜蛋白酶,水解时间为6 h,中性蛋白酶和木瓜蛋白酶的酶用量比例为3:1,水解温度为55℃,料液比为1:10,得到水解度为35.85%。

目前,鱼蛋白制品的种类多样,功能性产品、新药物及新型饲料等方面不断得到研发。在功能性产品的研发中, Kim等^[37]研究发现很多海洋副产物及其蛋白水解物、多肽等具有调节人体生理机能、预防慢性疾病的功能。王攀峰^[38]以马鲛鱼副产物为原料,采用碱性蛋白酶进行酶促反应,得到较高的水解度和铁结合能力,再将酶解液制备成铁钛复合物,通过红外光谱测,再采用超滤、亲和层析、半制备反相高效液相等分离纯化方法以及用质谱进行氨基酸序列鉴定,确定铁结合能力最强的肽段,促进功能性食品、补铁剂等的研发,结果得分子量为656.104 Da,氨基酸序列为Asn-Pro-Val-Arg-Gly-Asn与分子量为672.079 Da,氨基酸序列Asn-Pro-Val-Arg-Gly-Asn的2个六肽以及分子量为861.104 Da,氨基酸序列Ser-Thr-Tyr-Glu-Leu-Thr-Phe的1个七肽。在新药物的研发中,于小航^[39]采用鳀鱼副产物制备的鳀鱼调味汁为原料,通过凝胶色谱柱、阴阳离子交换色谱柱和半制备柱进行分离纯化制备抗氧化肽,研究发现其中有一种新型抗氧化肽,能够降低细胞损伤。在营养性产品的研发上,顾林等^[40]以鱼粉生产废弃榨汁为原料,采用400 U/g中性蛋白酶在55℃下水解6 h,水解液中有较高的肽含量,富含必需氨基酸,可进一步开发成保健品和营养品。在新型肥料和饲料的开发中,魏修利^[41]以部分下脚料等杂鱼为原料,采用降解工艺和复配技术研发鱼蛋白有机液肥和氨基酸有机液肥,并获得农业部认证,通过发芽率、小白菜盆栽、大田试验和土壤微生物培养试验表明,鱼蛋白有机液肥有效促进发芽率和产量、减少氨基酸、增加叶绿素和维生素C含量、提高品质以及显著增强土壤微生物量及酶活性。

4 鱼油

鱼油中富含多不饱和脂肪酸(PUFA),其中n-3系列的EPA和DHA含量较为丰富,n-3 PUFA具有降低血浆胆固醇,预防高血压等功效^[42]。因此,低值鱼油提取已成为了食品、医学和保健等的重要研究方向。

鱼油的提取量大满足了市场的需求,但是鱼油不稳定、对光和热敏感易被氧化引起油脂变质,影响鱼油的品质、货架期及应用。针对这些问题科研学者不断优化和研发鱼油提取技术。目前,在中上层鱼类鱼油提取方法上,普遍采用酶解法,张华伟等^[43]采用两种酶酶解提取鳀鱼鱼油,采用胰蛋白酶和胃蛋白酶进行正交试验,得出最优工艺条件是1:3的料液比,先添加1.75%的胰蛋白酶,在45℃、pH 8下水解5 h,再加入1.25%的胃蛋白酶,在40℃、pH

2.5 下水解 3 h, 此条件下出油率为 77.55%。但相比较之下, 超临界流体萃取法表现出更多的优势, 能有效防止脂质氧化及显著降低砷等污染物的含量等, 从而提高鱼油的品质^[44]。Nuria 等^[45]通过超临界流体萃取提取鱼副产物鱼油, 研究发现在 25 MPa, 313 K 条件下, 二氧化碳超临界流体萃取有效降低鱼油氧化。Sahena 等^[46]同样使用超临界流体提取印度马鲛鱼鱼皮中的鱼油, 通过比较 20~35 MPa 和 45 °C~75 °C 不同的超临界流体萃取技术和索式提取法, 得出压力和温度的越高, 原油产量越大, 最高为 24.7, 研究发现在 35 MPa 和 75 °C 下的浸泡、变压得到鱼油回收率最高, 是提取鱼皮中鱼油的最好的方法。

5 调味品

随着社会发展和人们生活品质的提高, 调味品从最开始的单一的调味品转变为复合化学调味品, 但化学调味料的安全性和健康性没有保证, 造成消费者恐慌, 从而影响了调味品的销售量, 于是为了满足人们的要求以符合当今市场需求, 天然、卫生、安全及营养健康的调味品成为食品行业的研究开发热点, 目前, 研发的产品类型主要是调味料、鱼露及鱼酱酸等。

水产品调味料的研发加工, 通常采用是中上层鱼类的加工副产品, 于小航^[39]以鳀鱼副产物为原料, 通过低盐固态发酵制成鳀鱼风味酱油, 通过酶催化-纯种液态发酵制成鳀鱼调味汁, 两种成品具有特有风味和鲜美口感。另外, 李琳^[47]以海产小杂鱼和小鲫鱼的混合物为原料, 综合氨基氮、挥发性盐基氮及感官评分等指标, 筛选出适宜的蛋白酶及酶解工艺, 制备出风味鲜美、安全卫生的酶解液, 并以此为基料开发出海鲜复合调味料

鱼露通常以鳀鱼、沙丁鱼、鲭鱼等中上层鱼类及其加工副产物为原料, 利用自身酶含有的酶或微生物产生的酶在一定条件下发酵而成, 且集苦、甜、鲜、酸和咸味于一体的调味品, 又称鱼酱油, 但是传统鱼露的发酵工艺, 生产消耗时间较长, 盐含量高, 有鱼腥味、腐臭味和胶味等, 通常保质期是 10~12 个月, 严重阻碍了鱼露大规模的产业化生产^[48]。对此, Yongsawatdigul 等^[49]采用鳀鱼为原料, 利用碱性蛋白酶 60 °C 水解 2 h, 以及利用风味蛋白酶 50 °C 水解 4 h, 然后在酶解液中接入枝芽孢杆菌和葡萄球菌进行发酵, 成品鳀鱼酱油发酵只需 4 个月左右, 风味佳且各项指标均达到标准。孔繁东等^[50]以中上层低值鱼类为原料, 用 4 种霉菌制曲, 通过比较单菌制曲和混菌制曲的效果, 得出混菌制曲比单菌制曲的效果更好, 混菌制曲提高了蛋白酶活力, 最终发酵液的风味、气味等感官性质更佳。方忠兴^[51]以蓝圆鲹为原料加速酿造低盐鱼露, 采用温度二阶段法(20~30 °C)发酵, 其中添加虾头下脚料以及自酿曲种进行快速发酵, 从而有效缩短发酵周期, 制得的鱼露更佳, 气味、风味及滋味等更易被接受。

鱼酱酸作为另一种发酵型调味品, 是苗族的传统食品, 具有健胃生津和改善食欲的独特功效^[52], 其特殊的风味逐渐受到广大消费者的青睐, 将其优化及生产化具有广阔的市场前景。

6 休闲食品

休闲食品是中上层鱼类高值化的一个重要途径, 市场需求量大, 但以中上层鱼类及加工副产品为原料的休闲食品研发加工尚少, 仅在罐头制品、半干及干制品等可见。因此, 提高中上层鱼类附加值, 加大力度研发中上层鱼类及副产品的休闲食品成为食品行业的一个重要部分。

目前, 市场上的传统鱼罐头制品主要有油浸金枪鱼、茄汁金枪鱼和凤尾鱼、五香凤尾鱼和豆豉鲮鱼等, 深受消费者喜爱, 具有较高的市场销售量。王九华^[53]研究开发金枪鱼午餐肉罐头, 确定最优配方为 7% 的变性淀粉, 5% 的明胶, 15% 的蛋清, 40% 的水, 制得的成品罐头有独特滋味、香气和较好的营养价值。罐头制品以中上层低值鱼类鱼肉为主, 而剩余的加工副产品没有得以利用, 如何研发副产品休闲食品, 也就成了食品行业的一个重要研究方向。

7 结 论

中上层鱼类资源丰富, 逐渐成为捕捞、利用及研发的重点对象。总结学者们对中上层鱼类及加工副产物的高值化利用的研究成果, 可以发现对中上层鱼类的加工研发较多, 但对其加工副产品的综合利用较少。其中对于中上层鱼类的鱼骨的高值化利用未见相关研究, 可以参考酶解、高压处理等技术制备鱼骨粉和鱼骨蛋白等; 参考浓碱提取、稀碱提取、稀碱稀盐法和稀碱浓盐法等提取硫酸软骨素; 参考发酵工艺制成调味品; 参考活性肽、活性钙等提取技术制备营养功能产品等。中上层鱼类及加工副产物的高值化利用可以借鉴其他鱼类已有研究技术和成果, 尝试新技术和新方法, 以此来实现产品的全值化利用, 提高水产品的资源利用和经济效益。

参考文献

- [1] 郑元甲, 李建生, 张其永, 等. 中国重要海洋中上层经济鱼类生物学研究进展[J]. 水产学报, 2014, 38(1): 152-160.
Zheng YJ, Li JS, Zhang QY, et al. Research progresses of resource biology of important marine pelagic food fishes in China [J]. J Fish China, 2014, 38(1): 152-160.
- [2] 肖悦悦, 朱江峰, 戴小杰. 热带太平洋中上层鱼类群落结构研究[J]. 海洋湖沼通报, 2015, 4: 96-103.
Xiao YY, Zhu JF, Dai XJ. A study on the community structure of pelagic fish in tropical pacific ocean [J]. T Oceanol Limnol, 2015, 4: 96-103.
- [3] 李建生, 张其永, 郑元甲, 等. 中国海洋一般中上层经济鱼类生物学研究的回顾与前瞻[J]. 海洋渔业, 2014, 36(6): 565-575.

- Li JS, Zhang QY, Zheng YJ, *et al.* Review and prospect of biological study on common marine pelagic commercial fishes in China [J]. *Mar Fish*, 2014, 36(6): 565–575.
- [4] 岳冬冬, 王鲁民, 方辉, 等. 我国近海捕捞渔业发展现状、问题与对策研究[J]. *渔业信息与战略*, 2015, 30(4): 239–245.
- Yue DD, Wang LM, Fang H, *et al.* On the current situation and countermeasures of inshore fishery in China [J]. *Fish Inf Strat*, 2015, 30(4): 239–245.
- [5] 白福玉, 郑华, 蒋爱民. 低值水产品及其水产副产品的加工鱼综合利用[J]. *农产品加工·学刊*, 2007, 4: 76–79.
- Bai FY, Zheng H, Jiang AM. Process and comprehensive use of cheap aquatic product and its by-products [J]. *Acad Period Farm Prod Proc*, 2007, 4: 76–79.
- [6] 胡小燕. 浅析低值水产品及其水产副产品的加工及综合利用[J]. *中国农业信息*, 2013, 21: 148.
- Hu XY. Analysis the processing and comprehensive utilization of low-value aquatic products and aquatic by-products [J]. *China Agric Inf*, 2013, 21: 148.
- [7] 王崑, 仪淑敏, 李学鹏, 等. 鱼糜凝胶的形成机制及混合鱼糜研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(1): 231–237.
- Wang W, Yi SM, Li XP, *et al.* Formation mechanism of surimi gelation and research progress on blend surimi [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, 7(1): 231–237.
- [8] 王丽丽, 杨文鸽, 徐大伦, 等. 外源添加物对鱼糜及其制品凝胶性能影响的研究[J]. *核农学报*, 2015, 29(10): 1985–1990.
- Wang LL, Yang WG, Xu DL, *et al.* Effects of exogenous additives on gel properties of surimi and its products [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2015, 29(10): 1985–1990.
- [9] 王禹, 刘琪, 王娜, 等. 鱼糜制品凝胶特性改良研究进展[J]. *渔业现代化*, 2014, 41(1): 61–66.
- Wang Y, Liu T, Wang N, *et al.* Research progress on improvement of gel properties of surimi products [J]. *Fish Mod*, 2014, 41(1): 61–66.
- [10] 陈海华, 薛长湖. 淀粉对竹荚鱼鱼糜流变性质和凝胶特性的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(5): 293–298.
- Chen HH, Xue CH. Effects of starch on rheological and gel properties of horse-mackerel surimi [J]. *T CSAE*, 2009, 25(5): 293–298.
- [11] 畅阳. 不同种木薯变性淀粉对肌原纤维蛋白热诱导凝胶特性的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- Chang Y. Effects of different modified tapioca starches on the heat-induced gelation properties of myofibrillar protein [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.
- [12] 李丹辰, 陈丽娇, 梁鹏, 等. 木薯淀粉与木薯变性淀粉鱼糜加工性质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2014, 29(8): 60–64.
- Li DC, Chen LJ, Liang P, *et al.* The effect of tapioca starch and modified tapioca starch on surimi processing properties [J]. *J Chin Cereals Oils Assoc*, 2014, 29(8): 60–64.
- [13] 于琴芳. 提高鲢鱼鱼糜凝胶强度的工艺研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- Yu QF. Studies on technology of improve gel strength of silver carp surimi gel [J]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2012.
- [14] 陈海华, 薛长湖. 亲水胶体对竹荚鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. *农业机械学报*, 2009, 40(2): 119–125.
- Chen HH, Xue CH. Effect of Hydrocolloids on the gel properties of horse-mackerel surimi [J]. *T Chin Soc Agric Mach*, 2009, 40(2): 119–125.
- [15] 陈海华, 薛长湖. 亲水胶体对竹荚鱼鱼糜流变特性的影响[J]. *食品科学*, 2009, 30(17): 52–55.
- Chen HH, Xue CH. Effect of various kinds and amounts of hydrocolloid on rheological properties of horse mackerel surimi [J]. *Food Sci*, 2009, 30(17): 52–55.
- [16] Zhu ZW, Lanier TC, Farkas BE, *et al.* Transglutaminase and high pressure effects on heat-induced gelation of alaska pollock (*Theragra chalcogramma*) surimi [J]. *J Food Eng*, 2014, 131: 154–160.
- [17] 杨方, 夏文水. 鱼肉内源酶对发酵鱼糜凝胶特性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2015, 41(11): 18–22.
- Yang F, Xia WS. Effect of endogenous enzymes on gel properties of fermented fish mince [J]. *Food Ferment Ind*, 2015, 41(11): 18–22.
- [18] Kaewudom P, Benjakul S, Kijroongrojana K. Properties of surimi gel as influenced by fish gelatin and microbial transglutaminase [J]. *Food Biosci*, 2013, 3(1): 39–47.
- [19] Chanarat S, Benjakul S, H-kittikun A. Comparative study on protein cross-linking and gel enhancing effect of microbial transglutaminase on surimi from different fish [J]. *J Sci Food Agric*, 2012, 92(4): 844–852.
- [20] 王雨生, 陈海华. 凝胶化时间和卵清蛋白添加量对竹荚鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. *食品科学*, 2013, 34(3): 64–69.
- Wang YS, Chen HH. Effects of gelation conditions and egg white protein content on gel properties of surimi from frozen horse-mackerel (*Trachurus trachurus*) [J]. *Food Sci*, 2013, 34(3): 64–69.
- [21] Soottawat B, Suthasinee Y, Wonnop V, *et al.* Combination effects of whey protein concentrate and calcium chloride on the properties of goatfish surimi gel [J]. *J Texture Stud*, 2010, 41(3): 341–357.
- [22] 罗通彪. 大豆分离蛋白对鱼糜凝胶特性的影响[J]. *食品工程*, 2015, 4: 37–40.
- Luo TB. Influence of soy protein isolate on the physical properties of minced fish [J]. *Food Eng*, 2015, 4: 37–40.
- [23] Debusa A, Tahergorabi R, Beamer SK, *et al.* Physicochemical properties of surimi gels fortified with dietary fiber [J]. *Food Chem*, 2014, 148(1): 70–76.
- [24] Shi L, Wang XF, Chang T, *et al.* Effects of vegetable oils on gel properties of surimi gels [J]. *LWT-Food Technol*, 2014, 57(2): 586–593.
- [25] Reza T, Sarah KB, Kristen E M, *et al.* Salt substitution in surimi seafood and its effects on instrumental quality attributes [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2012, 48: 175–181.
- [26] Buamard N, Benjakul S. Improvement of gel properties of sardine (*Sardinella albella*) surimi using coconut husk extracts [J]. *Food Hydrocolloid*, 2015, 51: 146–155.
- [27] 张浩, 李丹辰, 洪佳敏, 等. 漂洗条件对蓝圆鲹鱼糜特性的影响[J]. *食品工业*, 2014, 35(3): 18–20.
- Zhang H, Li DC, Hon JM, *et al.* Effects of Washing Conditions on the Quality of Surimi from *Decapterus maruadsi* [J]. *Food Ind*, 2014, 35(3): 18–20.
- [28] 郑晓杰, 李彦坡, 王海棠, 等. 漂洗条件对马鲛鱼鱼糜制品弹性和凝胶强度的影响[J]. *食品科技*, 2012, 37(4): 124–133.
- Zheng XJ, Li YP, Wang HT, *et al.* Effect of rinsing conditions on the elastic and gel strength of surimi product [J]. *Food Sci Technol*, 2012,

- 37(4): 124-133.
- [29] 秦影, 欧昌荣, 汤海青, 等. 鱼糜制品凝胶特性研究进展[J]. 核农学报, 2015, 29(9): 1766-1773.
Qin Y, Ou CR, Tang HQ, *et al.* Research progress on gel properties of surimi products [J]. J Nucl Agric Sci, 2015, 29(9): 1766-1773.
- [30] 黄和, 王娜, 陈良, 等. 金鲳鱼鱼糜制品加工工艺优化[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 193-198.
Huang H, Wang N, Chen L, *et al.* Optimization on processing of *Trachinotus ovatus* surimi gel by response surface methodology [J]. Food Mach, 2015, 31(6): 193-198.
- [31] 罗晓玲, 杨瑞金, 赵伟, 等. 超高压处理复合鱼糜凝胶性能研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(4): 15-18.
Luo XL, Yang RJ, Zhao W, *et al.* Study on gelling properties of Spanish mackerel(*Scomberomorus niphonius*)gels blending with concentrated tomato juice by ultra high pressure [J]. Food Mach, 2010, 26(4): 15-18.
- [32] 陈晓婷, 何姣, 李烟, 等. 不同辅料对鱼糜制品品质的影响研究[J]. 食品工业, 2011, 11: 87-90.
Chen XP, He J, Li Y, *et al.* The effect of subsidiary materials on the quality of trash fish surimi products [J]. Food Ind, 2011, 11: 87-90.
- [33] 张菲菲, 殷军港, 王亚囡. 利用低值鱼鱼糜制作鱼丸配方的研究[J]. 食品工业, 2014, 35(8): 35-40.
Zhang FF, Yin JG, Wang YN. The research of formula of fish balls made from low-value minced fish [J]. Food Ind, 2014, 35(8): 35-40.
- [34] 蒋海萍. 蓝圆鲹蛋白制备抗氧化肽的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2014..
Jiang HP. Preparation of antioxidative peptides from round scad protein [D]. Nanning: Guangxi University, 2014.
- [35] 林慧敏, 张宾, 邓尚贵, 等. 舟山海域4种低值鱼酶解蛋白亚铁螯合物自由基清除活性与抑菌活性研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(1): 19-23.
Lin HM, Zhang B, Deng SG, *et al.* Free radical scavenging activities and antibacterial activity of enzymatic hydrolysates protein ferrous chelates peptides from several low value fish of zhoushan sea area [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2012, 12(1): 19-23.
- [36] 周燕芳. 双酶分步水解低值鱼蛋白的研究[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(16): 3890-3892.
Zhou YF. The hydrolysis of low - price fish protein with neutral protease and papain [J]. Hubei Agric Sci, 2014, 53(16): 3890-3892.
- [37] Kim SK, Wijesekera I. Development and biological activities of marine-derived bioactive peptides: a review [J]. J Funct Food, 2010, 2(1): 1-9.
- [38] 王攀峰. 马鲛鱼加工副产物酶促水解制备铁结合肽的研究[D]. 杭州: 中国计量学院, 2014.
Wang PF. Preparation of iron binding peptides from mackerel processing by-products by enzymatic hydrolysis [D]. Hangzhou: China Jiliang University, 2014.
- [39] 于小航. 鲱鱼调味品及抗氧化肽的研究与制备[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
Yu XH. The study and production of anchovy condiments and antioxidant peptides [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [40] 顾林, 孙婧, 姜军. 鱼粉生产废弃榨汁的中性蛋白酶水解技术研究初探[J]. 食品科学, 2007, 28(7): 121-125.
Gu L, Sun J, Jiang J. Preliminary study on enzyme hydrolysis of squeeze junk from fish powder production [J]. Food Sci, 2007, 28(7): 121-125.
- [41] 魏修利. 鱼蛋白有机液肥的研发及其应用机理与效果的研究[J]. 杭州: 浙江大学, 2010.
Wei XL. Research of fish-protein-organic-liquid fertilizer on development ,mechanism of application and effect [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010.
- [42] Sahena F, Zaidul ISM, Jina PS, *et al.* Fatty acid composition of fish oil extracted from different parts of Indian mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) using various techniques of supercritical CO₂ extraction [J]. Food Chem, 2009, 10(55): 1-7.
- [43] 张华伟, 诸燕, 范琛, 等. 酶解法提取鲱鱼油的工艺研究[J]. 粮油食品科技, 2010, 18(1): 27-30.
Zhang HW, Zhu Y, Fan C, *et al.* Study on extraction process of anchovy oil by enzymatic hydrolysis [J]. Sci Technol Cereals Oil Food, 2010, 18(1): 27-30.
- [44] Rubio-Rodriguez N, Diego S M, Beltran S, *et al.* Supercritical fluid extraction of fish oil from fish by-products: A comparison with other extraction methods [J]. J Food Eng, 2012, 109: 238-248.
- [45] Nuria RR, Sara M D, Sagrario B, *et al.* Supercritical fluid extraction of fish oil from fish by -products: A comparison with other methods [J]. Food Eng, 2012, 109: 238-248.
- [46] Sahena F, Zaidul ISM, Jinap S, *et al.* Extraction of fish oil from the skin of Indian mackerel using supercritical fluids [J]. J Food Eng, 2010, 99: 63-69.
- [47] 李琳, 沈志华, 李伟明, 等. 低值鱼的深度酶解及海鲜复合调味料的生产[J]. 中国酿造, 2014, 39(2): 67-71.
Li L, Shen ZH, Li WM, *et al.* High degree of enzymatic hydrolysis of low-value fish protein and production of seafood compound seasoning [J]. China Condiment, 2014, 39(2): 67-71.
- [48] 张豪. 两段式快速发酵鱼露的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2014.
Zhang H. The research of two sections of rapid fermentation of fish sauce [D]. Zhanjiang: Ocean University of Guangdong, 2014.
- [49] Yongsawatdigul J, Rodtong S, Raksakulthai N. Acceleration of Thai fish sauce fermentation using proteinases and bacterial starter cultures [J]. J Food Sci, 2007, 72(9): 382-390.
- [50] 孔繁东, 霍奕璇. 鱼酱油制曲菌种筛选及制曲条件研究[J]. 中国酿造, 2012, 31(10): 86-89.
Kong FD, Huo YX. Screening of strains and optional conditions for koji-making from petis [J]. China Brewing, 2012, 31(10): 86-89.
- [51] 方忠兴. 蓝圆鲹低盐鱼露速酿工艺及理化性质的研究[D]. 厦门: 集美大学, 2010.
Fan ZX. Study on the accelerated fermentation technology and physicochemical properties of low salt fish sauce from decapterus maruadsi [D]. Xiamen: Jimei University, 2010.
- [52] 袁玮, 陈冬华, 石敏. 民族食品鱼酱酸工艺及成分分析[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(22): 12030-12031.
Yuan W, Chen DH, Shi M. Process and composition analysis of ethnic food fish sauce acid [J]. J Ahui Sci, 2010, 38(22): 12030-12031.
- [53] 王九华. 金枪鱼午餐肉罐头的研制[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(5): 83-85.
Wang JH. The development of canned tuna luncheon meat [J]. Food Res Dev, 2010, 31(5): 83-85.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



陈晓婷, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为水产品加工与综合利用。
E-mail: 1060253913@qq.com



刘智禹, 博士, 教授级高级工程师, 主要研究方向为水产品加工与综合利用。
E-mail: 272132622@qq.com