

我国罗非鱼加工研究现状

赵志霞^{1,2}, 吴燕燕^{1,*}, 李来好¹, 杨贤庆¹, 陈胜军¹, 岑剑伟¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部水产品加工重点实验室, 广东广州 510300;
2. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要: 我国是罗非鱼生产和贸易大国, 由于市场因素、国际金融危机等因素, 我国罗非鱼产业出现了增产不增收的恶性循环现象, 因此, 分析我国罗非鱼加工研究现状对罗非鱼的发展具有重要的指导意义。本文介绍了近几年我国罗非鱼加工产品种类的研发技术, 并概述了罗非鱼加工下脚料(鱼头、鱼排、鱼皮、鱼鳞、内脏等)的研究开发现状, 展望了罗非鱼产业发展前景, 以及为打开国内市场, 下一步急需研发罗非鱼加工技术和产品。

关键词: 罗非鱼, 加工产品种类, 下脚料利用, 研发技术, 现状

Current research situation of tilapia processing in China

ZHAO Zhi-xia^{1,2}, WU Yan-yan^{1,*}, LI Lai-hao¹, YANG Xian-qing¹, CHEN Sheng-jun¹, CEN Jian-wei¹

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Lab of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China;
2. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: China is an important country of the tilapia production and trade. For the market situation, the international financial crisis and so on, the tilapia industry of China appeared a vicious circle of increased production without the increased income. Therefore, the analysis of current situation of tilapia processing in China has important meaning to guide the development of China's tilapia. In this paper, research and development technology of tilapia processing products and the tilapia processing residues (fish head, fish, fish skin, scales, viscera, and so on) in China in recent years were reviewed. The future prospects of tilapia industry and the next step in urgent need of developing tilapia processing technology and products were put forward to open the domestic market.

Key words: tilapia; processing products; byproducts utilization; development technique; current situation

中图分类号: TS254.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-0306(2017)09-0363-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.09.062

罗非鱼, 又称非洲鲫鱼、福寿鱼等, 由于生长迅速, 只有肌间骨刺, 肉质鲜嫩, 富含蛋白质和多种不饱和脂肪酸, 因此成为联合国粮农组织(FAO)向全世界推广养殖的优良品种之一^[1]。目前世界范围内已被养殖的约 15 种, 中国主要养殖品种有莫桑比克罗非鱼、尼罗罗非鱼、奥利亚罗非鱼、吉富罗非鱼、奥尼罗非鱼、红罗非鱼、超雄性罗非鱼等。罗非鱼养殖产业的发展缓解了海洋资源的压力, 保障了优质水产蛋白的供应, 带动了发展中国家的经济。

据 FAO 2014 年的统计资料显示, 目前罗非鱼的养殖遍布 120 多个国家和地区, 主要集中于亚洲、美洲和非洲, 全球罗非鱼养殖总产量达 530.78 万 t, 同年我国罗非鱼养殖产量达 169.85 万 t, 占世界总产量的 32%。2015 年我国罗非鱼产量达到 177.95 万 t, 比 2014 年增长了 4.77%。我国罗非鱼养殖业发展迅

速, 近十年来每年的产量以平均 4.82% 左右的速度递增(图 1), 稳居世界首位^[2]。目前, 我国罗非鱼的养殖主要集中于广东、海南、广西、福建、云南等地(表 1), 罗非鱼养殖产业的迅速发展, 带动了种苗、饲料、加工、贸易等相关产业的发展。

罗非鱼产业迅猛发展的同时也带来一些问题, 从图 2 我国近十年来的罗非鱼出口产量可以看出, 从 2014 年开始, 我国罗非鱼出口量出现下滑的趋势, 我国主要是以冻罗非鱼片和冻整条罗非鱼的初级加工产品出口为主, 产品单一, 初级产品占绝大部分, 深加工产品少; 而罗非鱼在国内市场的销售较少, 由于过分依赖国际市场, 所以受到国际上政治和技术性贸易壁垒等因素的影响, 使得我国的罗非鱼产业出现停滞不前的状态。下面就罗非鱼产品的加工种类、副产物加工利用及未来的发展进行阐述。

收稿日期: 2016-10-24

作者简介: 赵志霞(1993-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品加工与质量安全控制, E-mail: zhaozhixiadzx@163.com。

* 通讯作者: 吴燕燕(1969-), 博士, 研究员, 研究方向: 水产品加工与质量安全控制, E-mail: wuyygd@163.com。

基金项目: 国家现代农业(罗非鱼)产业技术体系建设专项(CARS-49); 国家自然科学基金面上项目(31271957); 国家支撑计划项目(2015BAD17B03-1); “扬帆计划”引进创新创业团队专项资助(2015YT02H109)。

表1 2015年全国各省罗非鱼养殖产量

Table 1 The national various provinces tilapia aquaculture production yield in 2015

地区	全国	广东	海南	广西	云南	福建	河北	山东	其他
产量(万 t)	177.95	74.12	35.26	30.81	17.19	13.51	1.36	0.83	4.87
占全国总产量的百分比(%)	/	41.65	19.82	17.31	9.66	7.59	0.76	0.47	2.74

注:数据来源:中国渔业年鉴(2016)。

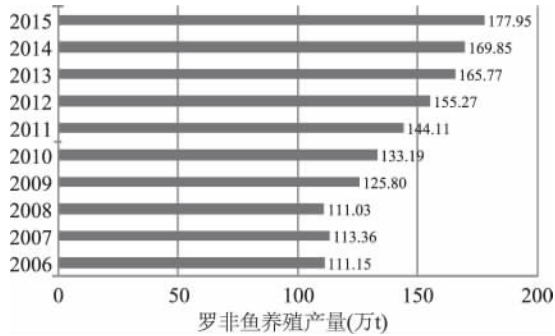


图1 2006~2015年中国罗非鱼养殖产量

Fig.1 Aquaculture production of China tilapia from 2006 to 2015

注:数据来源:中国渔业年鉴(2006~2016年)。

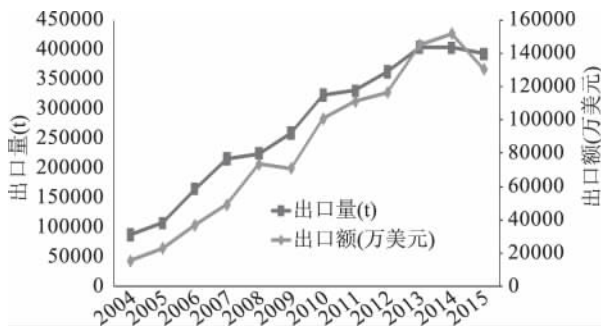


图2 2004~2015年中国罗非鱼出口量额

Fig.2 China tilapia exports from 2004 to 2015

注:数据来源:中国渔业年鉴(2006~2016年)和第十三届罗非鱼产业发展研讨会会刊。

1 罗非鱼加工产品研究开发现状

1.1 罗非鱼片

1.1.1 冻罗非鱼片 冻罗非鱼片是我国主要的加工出口产品形式,其加工工艺流程^[3]:经暂养过的活罗非鱼→放血→清洗消毒→剖片→剥皮→磨皮→整形→挑刺修补→灯检→鱼片发色→臭氧水消毒→浸液、漂洗→吸水→真空包装→速冻→定重→装箱→金属探测→成品冷藏。罗非鱼加工过程,存在鱼肉变色和冷冻过程水分流失的问题,近几年来,国内外学者围绕这些问题开展了相关的研究。为延缓鱼片中红色肉氧化变色,Ishiwata^[4]、Li^[5]等研究了罗非鱼片的CO发色技术。最早是采用鱼片袋装CO发色,但发色不均匀且对操作工人有危害。因此,郝淑贤等^[6]研究了罗非鱼活体发色技术,即在工厂暂养池中通入一定量的CO,鱼吸入的CO通过血液循环运往全身各个组织,与肌肉中的肌红蛋白结合达到发色的目的。但CO发色水产品的安全性问题一直没有得到客观的评价,我国卫生部于2008年将CO列为水产品中非食品添加剂。所以

寻求新的罗非鱼片护色技术是当前研究热点,成一伟等^[7]采用复配冰衣对罗非鱼片进行护色处理,研究发现添加异抗坏血酸钠0.32%、山梨酸钾0.68%发色处理的冰衣鱼片中高铁肌红蛋白(met-Mb)百分含量变化系数为10.42,而对照组的变系数12.93,复配冰衣护色处理能够有效地减缓发色罗非鱼片的褪色,延长鱼片色泽的保持时间。

Manthe等^[8]、Ryder等^[9]研究发现罗非鱼冻藏过程蛋白质和脂肪含量会降低。鱼片在冷冻条件下水分容易丧失,冯慧等^[10]发现添加多聚磷酸盐增强了蛋白质结合水的能力,延缓了活性巯基氧化、二硫键的形成,但多聚磷酸盐一旦水解,蛋白质变性程度就会升高,直接导致活性巯基含量下降。由于过多食用磷酸盐对人体也有危害,会使皮肤及肌肉萎缩,且可能损害心脏和肾脏^[11]。因此,张雪莹等^[12]比较了无磷保水剂和复合磷酸盐对罗非鱼片保水性和热稳定性的影响,表明用柠檬酸钠0.2%、木糖0.1%、碳酸钠0.4%在pH11.5条件下处理鱼片,鱼片增重率为5.07%,解冻失重率为4.24%,其保水性和热稳定性均优于复合磷酸盐组和无处理组。

1.1.2 冰鲜罗非鱼片 冰鲜罗非鱼片的品质较接近鲜活罗非鱼片,越来越受到人们的青睐。其工艺流程^[13]:鲜罗非鱼片→分规格→臭氧水消毒→吸水→真空包装→冰温保鲜。冰藏可以最大限度地保持鱼肉的鲜度,但劣势是货架期短,不能满足流通销售的要求。近年来不少学者研究了冰鲜罗非鱼的保鲜技术、抑菌技术,延长产品货架期。马海霞^[14]、李来好等^[15]研究发现在冰温条件下,用CO₂和N₂组成的气调包装处理能明显延长鲜罗非鱼片的货架期,货架期至少在16d以上,该技术为罗非鱼的内销提供技术支撑。

Hsieh^[16]、Ko等^[17]研究了在4℃贮藏条件下高压静电场对罗非鱼片品质的影响,发现细菌总数下降,同时抑制了K值的生长,但12h后微生物再度活化,说明高压静电场抑制微生物生长时间较短。赵良等^[18]将高压静电场和冰温气调保鲜结合研究对罗非鱼片保鲜效果,结果表明高压静电能够明显抑制微生物增殖,结合冰温气调保鲜技术储藏,货架期可达30d,样品没有异味,比冰温气调保鲜延长9d,与传统空气冷藏保鲜方法相比,该保鲜方法具有明显的优势,这为罗非鱼片的保鲜带来新的生机。

添加保鲜剂也是延长罗非鱼片货架期的重要方法,Cao^[19]等研究表明壳聚糖可以延长罗非鱼片货架期,但保鲜效果提升是有限的。臭氧水是一种较强的氧化剂,同时也是一种广谱高效的抗菌剂。吴湛霞等^[20]发现壳聚糖混合液结合臭氧水处理能有效地抑制细菌生长繁殖,保持罗非鱼片的色泽品质,延长

货架期,且操作方便,具有良好的发展前景。

1.1.3 液熏罗非鱼片 为了丰富罗非鱼片的加工品种,满足不同地区人群的需求,特别是俄罗斯、欧洲各国对烟熏制品的需求,其工艺流程^[21]:冻罗非鱼片→解冻→清洗→腌渍→烟熏→干燥→冷却→包装→冷、冻藏。传统烟熏是通过熏材缓慢燃烧产生烟气,在一定的温度下,肉类边干燥边吸收烟气成分,直至使其水分减少至所需含量,但传统烟熏耗时,熏烟中含有较多的多环芳烃,如3,4-苯并芘等有害物质。现新开发出一种液熏的方法,先使木材发烟再冷凝成粗制的烟熏液,经精制除掉粗制烟熏液中3,4-苯并芘等致癌物。包宇婷等^[22]研究开发了用不同熏液来液熏罗非鱼片的工艺条件并评价其品质,确定出最佳液熏工艺:烟熏液添加量为6%、液熏时间为66 min、干燥时间为68 min,所得产品不仅各项指标均符合卫生标准,而且加工时间短。

1.2 干罗非鱼片

干制保藏是发展中国家进行鱼类保藏较常用的手段,是很多食品加工过程中不可缺少的环节。干罗非鱼片工艺流程^[23]:新鲜罗非鱼→预处理→取鱼片→(根据产品需要决定是否调味)→沥水→摆网→干制→成品及包装。为了保持鱼肉的营养和品质,干罗非鱼片加工过程的关键技术就是干制。Guan^[24]等研究发现热风干燥罗非鱼片,虽然操作简便,干燥速度快但在干燥过程中,易造成罗非鱼片脂肪氧化变色、硬度增强、成品复水率低。真空冷冻干燥和超临界CO₂干燥罗非鱼片能很好保持鱼肉的营养成分且复水性好,但设备能耗高、投资大,连续化生产能力差^[25]。

联合干燥能够利用不同干燥方式的优点,关志强等^[26]采用热泵-微波联合干燥罗非鱼片得到了同样的效果,热泵干燥阶段采用低温干燥方式,微波干燥阶段采用间歇干燥方式,确定了热泵-微波联合干燥最佳参数,实现热泵干燥和微波干燥的优势互补,提高了产品品质和干燥效率,为相关研究提供参考。

1.3 罗非鱼腊制品

腊鱼加工是我国内陆地区常用的鱼类加工方式,是一种典型的微生物发酵食品,风味独特,其腌制的工艺^[27]:鲜活罗非鱼→清洗→前处理→沥水→调味腌制→发酵→烘干→真空包装→成品。罗非鱼腊制过程的关键技术是发酵菌种的选择和发酵条件的控制。Stéphanie等^[28]发现大量的微球菌、乳酸菌、葡萄球菌可以分泌硝酸盐还原酶、脂肪酶、蛋白酶、氨基酸脱羧酶、氨基酸脱氨酶等,对腌制品的风味、色泽、质地等起到关键作用。传统的腊制品腌制周期长,梁慧^[29]从腊鱼中分离筛选出J11和H9两株产香酵母,分别初步认定为近平滑假丝酵母(*Candida parapsilosis*)和季也蒙毕赤酵母(*Pichia guilliermondii*)并建立了以戊糖乳杆菌(L3)、木糖葡萄球菌(S12)和近平滑假丝酵母(Y11)作为发酵菌株的腊罗非鱼快速发酵生产工艺技术,促进了腊鱼风味的形成且缩短了腌制时间,从而改善腊鱼品质。

1.4 罗非鱼罐头

罐头产品营养美味,携带方便,货架期长,是重

要的贸易水产制品。其加工工艺流程^[30]:原料处理→腌渍→清洗→调味料→装袋→真空封袋→杀菌→冷却→保温实验→成品。罗非鱼罐头制作的关键技术是杀菌工艺和配方的选择。周爱梅等^[31]开发的半干蒸煮罗非鱼软罐头工艺中蒸煮和杀菌的最佳条件为:蒸煮时间8 min,调味料与罗非鱼块的比例1:8,采用微波杀菌(480 W下处理3 min),产品在常温可存放90 d。周婉君等^[32]研究了腊香味、五香味、豉汁味三种口味的罗非鱼罐头最佳工艺条件:食盐8%,腌渍时间为15 min,热风干燥(125℃)2 h,经过125℃、15 min的高压杀菌,产品在常温下的保质期为90 d,肉质致密,骨酥软,特色风味突出。

1.5 罗非鱼鱼糜制品

鱼糜是精深加工水产制品,包括鱼丸、鱼香肠、鱼糕等,由于其具有方便食用、低脂肪、高蛋白等特点,符合现代消费者的习惯,是一种有发展前途的水产制品。其加工工艺^[33]:冷冻鱼片→绞碎→漂洗→精滤→空擂→盐擂→灌装成型→凝胶化→冷水冷却→分装保存(4℃)。与海水鱼相比,罗非鱼鱼糜的凝胶强度较低、难凝胶化,因此,在罗非鱼鱼糜加工过程需要解决原料的凝胶强度和品质问题。黄金发^[34]研究了罗非鱼鱼糜质构特性,结果发现在罗非鱼鱼糜用0.25%氯化钠和0.1%氯化钙盐溶液的漂洗之后,添加8.0%玉米淀粉,0.3% TGase 酶制剂,0.075%卡拉胶,可明显降低产品的失水率,提高白度、凝胶强度和TPA各指标参数。刘军^[35]在罗非鱼中添加10%的沙丁鱼鱼糜制备复合鱼糜,使其咀嚼性、内聚性、弹性明显提高。彭瑶^[36]探讨了漂洗、擂溃、加热和配辅料的添加对罗非鱼糕品质的影响,建立了罗非鱼鱼糕加工技术。为了不断地丰富罗非鱼鱼糜制品,罗非鱼鱼糜制品的研究仍然是当下的热点。

2 罗非鱼加工下脚料的高值化加工利用现状

我国罗非鱼加工过程中产生大量的废弃物,废弃物主要包括鱼头、鱼排、鱼皮、鱼鳞、鱼内脏等,质量约占整条鱼的57%,小部分用于制作饲料、鱼粉等,大部分都丢弃^[37]。如果将这些下脚料精深加工,实现物尽其用,不仅可以减少浪费和污染,也能提高其附加值,促进罗非鱼产业发展。

2.1 罗非鱼下脚料鱼头、鱼排制备水产品调味料

水产品调味料独特的风味逐渐受到消费者的青睐,水产品调味料的研究、开发及市场有了更广阔的前景。吴燕燕等^[38]以菠萝酶和风味酶混合水解,将酶解液30%与淀粉6.5%、黄原胶0.2%、老抽酱油8%等辅料混合,制成风味独特、高附加值的新型营养高档调味料。张桢^[39]利用罗非鱼鱼头、鱼排,经过酶解和微生物发酵结合、美拉德赋香反应、喷雾干燥等技术开发出水产品调味基料,解决了传统单一酶解法生产调味基料中存在的生产成本过高和风味不足的问题,为工厂生产高品质的水产品调味基料提供参考依据。

2.2 罗非鱼鱼皮、鱼鳞制备胶原蛋白和明胶

罗非鱼的鱼皮和鱼鳞富含胶原蛋白,胶原蛋白具有独特的物理化学性能,在食品、化妆品、工业助

剂、组织工程、医药等方面有广泛的用途。杨贤庆等^[40]优化了酸处理和热水结合提取罗非鱼鱼皮胶原蛋白工艺:4℃条件下用盐酸浸泡鱼皮21 min,42℃水浴提取12.6 h,胶原蛋白含量达293.018 mg/g,其中脯氨酸、羟脯氨酸和甘氨酸含量丰富。SDS-PAGE实验发现胶原蛋白中含有 α_1 、 α_2 和 β 链,是典型的I型胶原蛋白。曾少葵等^[41]研究了从罗非鱼鳞中提取酸溶胶原蛋白和酶促酸溶胶原蛋白,得率分别为3.52%和14.88%;酶促酸溶胶原蛋白氨基酸组成中,每1000个氨基酸残基包括甘氨酸为351个,亚氨基酸——脯氨酸和羟脯氨酸为180个,其性质与I型胶原蛋白一致,抗氧化效果略优于等量的V_C。利用罗非鱼鱼皮、鱼鳞生产胶原蛋白的技术已很成熟,目前广东、广西、海南、福建等地均有生产罗非鱼鱼皮鱼鳞胶原蛋白的企业,如海南肽美生物科技有限公司、广东百维生物科技有限公司等,这些胶原蛋白已被作为保健食品、美容产品基料,是当前比较流行的产品。

明胶具有良好成膜性,在国际上作为蛋白可食用膜得到了广泛的关注。Sockalingam^[42]、Jamilah^[43]等分别用一定浓度的酸、碱对鱼皮进行预处理后提取明胶。Zeng等^[44]建立了酸、碱结合的方法从罗非鱼皮中提取明胶的工艺:先用3.2% NaOH溶液处理2.3 h,再用0.7% HCl处理84 min,明胶的产率为19.3%;罗非鱼皮明胶的粗蛋白含量为88.5%,明胶中亚氨基酸(包括脯氨酸和羟脯氨酸)的含量为每1000个氨基酸残基含脯氨酸和羟脯氨酸185个,凝胶强度260 g,凝胶化点和熔点分别为18.0℃和22.4℃。但是酸处理对明胶物化特性影响的研究较少,Bai等^[45]研究不同种类和浓度的酸提取罗非鱼鱼皮明胶的物理化学和流变性能;为了改良鱼明胶膜,Tongnuanchan等^[46]优化了提取工艺并采用其他生物材料与明胶共聚。

2.3 罗非鱼内脏制备鱼油

鱼油富含不饱和脂肪酸,特别是二十二碳六烯酸(DHA)和二十碳五烯酸(EPA),其对人体各种疾病有很好的保健功效,深受大众喜欢。罗非鱼内脏等加工下脚料中富含鱼油,开发罗非鱼鱼油可提高产品附加值。王倩倩^[47]等研究了从罗非鱼内脏提取鱼油的工艺技术。Rubio-Rodríguez等^[48]采用超临界流体萃取法提取鱼油,发现与其他方法对比,其提取率较高,能够有效防止脂肪的氧化。黄卉等^[49]发现将鱼油制成微胶囊,采用壁材包裹鱼油,使鱼油与空气隔绝,能够有效防止鱼油氧化变质,且可以掩盖其腥味成分。

2.4 其他

罗非鱼血液中含有多种有效活性成分,如超氧化物歧化酶(SOD)、血红素、凝血酶、免疫球蛋白等,这些成分具有重要的生理功能,可以广泛应用于医药、功能性食品、化妆品等领域^[50],李来好等^[51]通过离子交换法提取罗非鱼血中超氧化物歧化酶并优化了纯化条件。岑剑伟等^[52]通过酶解法优化了从罗非鱼血中提取血红素的条件。

罗非鱼鱼眼的玻璃体中含有大量透明质酸,陈

胜军等^[53]采用超声波辅助酶解法从罗非鱼眼玻璃体中提取透明质酸,并通过季铵盐络合法、离子交换层析法纯化透明质酸粗品。

罗非鱼内脏富含酶源,是研制新型酶制剂的合适原料,且获得的酶制剂更适用于水产品,Unajak等^[54]从罗非鱼的内脏中提取出丝氨酸蛋白酶,吴燕燕等^[55-56]从罗非鱼内脏中提取出超氧化物歧化酶(SOD)、鱼肠蛋白酶。

王妍等^[57]从罗非鱼鼻骨中提取硫酸软骨素,建立了超声波辅助-酶解-稀碱法提取技术:料液比1:5(m/V),40℃超声时间20 min,然后以碱性蛋白酶进行酶解,pH为11.0,酶加量2.0%,酶解温度55℃,酶解时间3 h,最后用1%氢氧化钠,提取时间1 h,硫酸软骨素的得率为0.922%,纯度为90.1%。Duan等^[58]用高效液相色谱法,红外光谱和核磁共振对从罗非鱼下脚料提取到的硫酸软骨素的分子量、纯度、结构等进行分析 and 鉴定。

3 展望

目前,我国的罗非鱼产业仍是以国际市场为主导,加工出口产品还是初级产品冻罗非鱼、冻罗非鱼片、鲜罗非鱼片为主,出口价格低廉,虽然近几年罗非鱼精深加工产品也逐步发展起来,但产品相对较少。因此,我国应以大型加工出口贸易企业为核心,通过罗非鱼产业联盟,建立区域性合作和标准化生产,共同开发国内外市场;同时引导加工企业的视野逐渐从国际市场转向国内市场。罗非鱼国内市场消费潜力很大,开发国内消费者喜爱的新型罗非鱼加工产品,如罗非鱼方便菜肴,低盐罗非鱼产品,满足不同年龄人群需求的罗非鱼产品,尽量使罗非鱼加工产品多元化。同时注重罗非鱼品牌建设和第三方认证。

我国的罗非鱼产业当前正处于转型升级阶段,要加快对已有的罗非鱼加工技术成果的转化,特别是罗非鱼大量的加工下脚料的高值化产品开发生产;同时要运用现代化水产品加工新技术,积极开发和引进先进的保鲜、加工、包装技术和设备,实现罗非鱼加工产品、下脚料制品工业化连续生产,提高产品附加值和质量档次,促进我国罗非鱼产业的发展。

参考文献

- [1]袁永明,袁媛,代云云,等.2013年罗非鱼产业生产现状与发展趋势分析[J].中国渔业经济,2014,32(1):149-156.
- [2]农业部渔业渔政管理局.渔业统计年鉴(2004~2016年)[M].北京:中国农业出版社,2004-2016.
- [3]刁石强,李来好,杨贤庆,等.冻罗非鱼片加工技术工艺研究[J].制冷,2005,24(3):6-10.
- [4]Ishiwata H,Takeda Y,Kawasaki Y,et al. Concentration of carbon monoxide in commercial fish flesh and in fish flesh exposed to carbon monoxide gas for color fixing[J].J Food Hygienic Soc Japan,1996,37(2):83-90.
- [5]Li L H,Hao S X,Diao S Q,et al. Proposed new color retention method for tilapia(O. niloticus ♀ [female symbol] × O. aureus ♂ [male symbol]) fillets by euthanizing with reduced carbon monoxide[J].Journal of Food Processing & Preservation,2008,32(5):729-739.

- [6] 郝淑贤, 林婉玲, 李来好, 等. CO 发色对罗非鱼片贮藏过程质量影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(2): 286-290.
- [7] 成一伟, 林向东, 曹雪涛. 冻罗非鱼片的复配冰衣护色效果研究[J]. 渔业现代化, 2016, 43(2): 50-55, 75.
- [8] Manthey M, Karnop G, Rehbein H. Quality changes of European catfish (*Silurus glanis*) from warm-water aquaculture during storage on ice[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2007, 23(1): 1-9.
- [9] Ryder J M, Fletcher G C, Stec M G, et al. Sensory, microbiological and chemical changes in hoki stored in ice[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2007, 28(2): 169-180.
- [10] 冯慧, 薛长湖, 高瑞昌, 等. 多聚磷酸盐在冷冻罗非鱼肉中的降解及其对鱼肉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2008, 29(9): 239-241, 265.
- [11] 唐艳茹. 英科学家称食用太多含磷酸盐的食品容易变老[J]. 江苏调味副食品, 2010(2): 17.
- [12] 张雪莹, 申铨日, 朱念, 等. 罗非鱼片无磷保水剂的工艺配方优化[J]. 食品科技, 2015, 40(6): 163-168.
- [13] 李杉, 岑剑伟, 李来好, 等. 充气比率对罗非鱼片冰温气调贮藏期间品质的影响[J]. 南方水产科学, 2010, 6(1): 42-48.
- [14] 马海霞, 李来好, 杨贤庆, 等. 不同 CO₂ 比例气调包装对冰温贮藏罗非鱼片品质的影响[J]. 食品工业科技, 2010, 31(1): 323-327.
- [15] 李来好, 杨贤庆, 马海霞, 等. 一种鲜罗非鱼片的气调冰温保鲜方法[P]. 中国专利: CN101690510A, 2010.4.7.
- [16] Hsieh C, Lai C, Lee C, et al. Effects of High-Voltage Electrostatic Fields on the Quality of Tilapia Meat during Refrigeration[J]. Journal of Food Science, 2011, 76(6): 312-317.
- [17] Ko W C, Hsu K C. Changes in K value and microorganisms of tilapia fillet during storage at high-pressure, normal temperature[J]. Journal of Food Protection, 2001, 64(1): 94-98.
- [18] 赵良, 岑剑伟, 李来好, 等. 高压静电场结合冰温气调保鲜技术对罗非鱼片品质的影响[J]. 南方水产科学, 2016, 12(3): 91-97.
- [19] Cao R, Liu Q, Yin B, et al. Chitosan extends the shelf-life of filleted tilapia (*Oreochromis niloticus*) during refrigerated storage[J]. Journal of Ocean University of China, 2012, 11(3): 408-412.
- [20] 吴湛霞, 潘江球, 杨子明, 等. 混合分子质量壳聚糖结合臭氧杀菌处理对罗非鱼片的冷藏保鲜作用[J]. 广东海洋大学学报, 2016, 36(3): 71-75.
- [21] 陈胜军, 李来好, 薛长湖, 等. 液熏罗非鱼片的加工工艺[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(5): 64-67.
- [22] 包宇婷, 王维民, 湛素华, 等. 响应面法优化液熏罗非鱼的加工工艺[J]. 食品工业科技, 2015, 36(14): 275-281, 286.
- [23] 刘兰, 关志强, 李敏. 罗非鱼片热泵干燥时间及品质影响因素的初步研究[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 307-310.
- [24] Guan Z, Wang X, Li M, et al. Mathematical Modeling on Hot Air Drying of Thin Layer Fresh Tilapia Fillets[J]. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 2013, 63(1): 25-34.
- [25] 刘书成, 张常松, 吉宏武, 等. 不同干燥方法对罗非鱼片品质和微观结构的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 221-227.
- [26] 关志强, 郑立静, 李敏, 等. 热泵-微波联合干燥罗非鱼片工艺研究[J]. 食品科学, 2012, 33(22): 58-62.
- [27] 周婉君, 吴燕燕, 李来好, 等. 利用复合乳酸菌发酵罗非鱼的工艺研究[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 242-245.
- [28] Stéphanie C M, Sabine L, Réginev T. Staphylococcal community of a small unit manufacturing traditional dry fermented sausages[J]. International Journal of Food Microbiology, 2006, 108(2): 210-217.
- [29] 梁慧. 腊鱼优势发酵菌株的筛选及应用研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- [30] 郝淑贤, 石红, 李来好, 等. 茄汁罗非鱼软包装罐头加工技术研究[J]. 南方水产, 2006, 2(6): 49-54.
- [31] 周爱梅, 龚翠, 李来好, 等. 半干蒸煮罗非鱼软罐头加工技术研究[J]. 现代食品科技, 2010, 26(2): 161-164.
- [32] 周婉君, 杨贤庆, 吴燕燕, 等. 特色罗非鱼罐头加工技术研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(23): 211-213.
- [33] 张晓栋, 江虹锐, 刘小玲. 影响罗非鱼鱼糜凝胶性的工艺条件研究[J]. 食品科技, 2016, 41(8): 114-120.
- [34] 黄金发. 罗非鱼鱼糜质构特性及综合加工利用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [35] 刘军. 罗非鱼鱼糜及其复合鱼糜加工工艺的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2013.
- [36] 彭瑶. 罗非鱼糕调理食品关键技术的研究[D]. 海口: 海南大学, 2016.
- [37] 苑德顺, 彭英海, 黄海, 等. 罗非鱼鱼骨胶原提取工艺研究[J]. 齐鲁渔业, 2010, 27(6): 14-16.
- [38] 吴燕燕, 李来好, 岑剑伟, 等. 酶法由罗非鱼加工废弃物制取调味料的研究[J]. 南方水产, 2006, 2(1): 49-53.
- [39] 张桢. 罗非鱼加工副产物制备水产品调味基料的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [40] 杨贤庆, 张帅, 郝淑贤, 等. 罗非鱼皮胶原蛋白的提取条件优化及性质[J]. 食品科学, 2009, 30(16): 106-110.
- [41] 曾少葵, 蓝海明, 章超桦, 等. 罗非鱼鳞胶原蛋白的提取及其酶解产物的抗氧化性[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(5): 599-603.
- [42] Sockalingam K, Idris M I, Abdullah H Z. Effects of Pre-Treatment Conditions on Black Tilapia Fish Scales for Gelatin Extraction[J]. Advanced Materials Research, 2015, 1125: 276-280.
- [43] Jamilah B, Tan K W, Umi Hartina M R, et al. Gelatins from three cultured freshwater fish skins obtained by liming process[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 1256-1260.
- [44] Zeng S K, Yan X Y, Cao W H, et al. Original article: Optimisation of extraction conditions and characteristics of skin gelatin from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 45(9): 1807-1813.
- [45] Bai Y, Peng S, Huang Y Q, et al. Physicochemical and Rheological Properties of Gelatin Extracted from Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Skin and Concentration Effect[J].

(下转第 373 页)

- [23] Karlstam B. Crossed immunoelectrophoretic analysis of proteins from Antarctic krill (*Euphausia superba*) with special reference to serine proteinases [J]. *Polar Biology*, 1991, 11(7): 489-493.
- [24] Sjö Dahl J, Emmer Å, Karlstam B, et al. Separation of proteolytic enzymes originating from Antarctic krill (*Euphausia superba*) by capillary electrophoresis [J]. *Journal of Chromatography B Biomedical Sciences & Applications*, 1998, 705(2): 231-241.
- [25] Price HJ, Boyd KR and Boyd CM. Omnivorous feeding behavior of the Antarctic krill *Euphausia superba* [J]. *Marine Biology*, 1988, 97(1): 67-77.
- [26] Lancraft TM, Hopkins TL, Torres JJ, et al. Oceanic micronektonic/macrozooplanktonic community structure and feeding in ice covered Antarctic waters during the winter (AMERIEZ 1988) [J]. *Polar Biology*, 1991, 11(3): 157-167.
- [27] 向宇. 南极大磷虾 (*Euphausia superba*) 胰蛋白酶样酶分离纯化、酶学性质探索及其生物学活性研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [28] Saborowski R, Buchholz F. A laboratory study on digestive processes in the Antarctic krill, *Euphausia superba*, with special regard to chitinolytic enzymes [J]. *Polar Biology*, 1999, 21(5): 295-304.
- [29] Spindler KD, Buchholz F. Partial characterization of chitin degrading enzymes from two euphausiids, *Euphausia superba* and *Meganyctiphanes norvegica* [J]. *Polar Biology*, 1988, 9(2): 115-122.
- [30] 徐丽. 南极磷虾硫氧还蛋白与组织蛋白酶基因的克隆及异源表达研究 [D]. 青岛: 青岛科技大学, 2015.
- [31] Bucht A, B Karlstam. Isolation and immunological characterization of three highly purified serine proteinases from Antarctic krill (*Euphausia superba*) [J]. *Polar Biology*, 1991, 11(7): 495-500.
- [32] Karlstam B, Johansson B, Brynø C. Identification of proteolytic isozymes from Antarctic krill (*Euphausia superba*) in an enzymatic debrider [J]. *Comparative Biochemistry & Physiology Part B Comparative Biochemistry*, 1991, 100(4): 817-820.
- [33] Gromek E, Turkiewicz M. An Antarctic marine bacterium *Pseudoalteromonas* spp., strain 93, as a source of cold-adapted alkalistable subtilisin-like serine protease [J]. *New Biotechnology*, 2009, 25(25): S93.
- [34] Turkiewicz M, Kalinowska H, Gromek E, et al. Biosynthesis and properties of an extracellular metalloprotease from the Antarctic marine bacterium *Sphingomonas paucimobilis* [J]. *Journal of Biotechnology*, 1999, 70(1-3): 53-60.
- [35] Hellgren L, Mohr V, Vincent J. Proteases of Antarctic krill—a new system for effective enzymatic debridement of necrotic ulcerations [J]. *Experientia*, 1986, 42(4): 403-404.
- [36] Chen CS, Gau SW. Polysaccharidase and glycosidase activities of Antarctic krill *Euphausia superba* I [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 1981, 5(1): 63-68.
- [37] Buchholz F, Vetter RAH. Enzyme kinetics in cold water: characteristics of N-acetyl- β -D-glucosaminidase activity in the Antarctic krill, *Euphausia superba*, compared with other crustacean species [J]. *Journal of Comparative Physiology B*, 1993, 163(1): 28-37.
- [38] Vetter RAH, Saborowski R, Peters G, et al. Temperature adaptation and regulation of citrate synthase in the Antarctic krill compared with other crustaceans from different climatic zones [M]. In: Battaglia B, Valencia J, Walton DWH (eds) *Antarctic communities. Species structure and survival*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997: 294-299.
- [39] Benjamin DC. Increasing the thermal stability of euphausiase [J]. *European Journal of Biochemistry*, 2001, 268(1): 127-131.
- [40] Berg ICH, Kalfas S, Malmsten M, et al. Proteolytic degradation of oral biofilms *in vitro* and *in vivo*: potential of proteases originating from *Euphausia superba* for plaque control [J]. *European Journal of Oral Sciences*, 2001, 109(5): 316-324.
- (上接第367页)
- Advanced Materials Research 2014, 941-944: 1128-1132.
- [46] Tongnuanchan P, Benjakul S, Prodpran T. Physico-chemical properties, morphology and antioxidant activity of film from fish skin gelatin incorporated with root essential oils [J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 117(3): 350-360.
- [47] 王倩倩, 吕顺, 陆剑锋, 等. 酶法提取罗非鱼内脏鱼油及脂肪酸组成分析 [J]. *中国粮油学报*, 2015, 30(9): 72-78.
- [48] Rubio-Rodríguez N, de Diego S M, Beltrán S, et al. Supercritical fluid extraction of fish oil from fish by-products: A comparison with other extraction methods [J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 109(2): 238-248.
- [49] 黄卉, 李来好, 杨贤庆, 等. 喷雾干燥微胶囊化罗非鱼油的研究 [J]. *南方水产*, 2009, 5(5): 19-23.
- [50] 刘在军, 岑剑伟, 李来好, 等. 罗非鱼血液综合利用的研究思路及展望 [J]. *南方水产科学*, 2012, 8(2): 76-80.
- [51] 李来好, 刘在军, 岑剑伟, 等. 离子交换法纯化罗非鱼血超氧化物歧化酶的研究 [J]. *食品工业科技*, 2013, 34(1): 137-139, 144.
- [52] 岑剑伟, 李来好, 杨贤庆, 等. 酶解法提取罗非鱼血液中血红素的工艺条件优化 [J]. *食品科学*, 2014, 35(16): 29-33.
- [53] 陈胜军, 陈辉, 高瑞昌, 等. 超声波辅助酶解法提取罗非鱼眼透明质酸工艺条件 [J]. *核农学报*, 2014, 28(8): 1446-1452.
- [54] Unajak S, Meesawat P, Paemane A, et al. Characterisation of thermostable trypsin and determination of trypsin isozymes from intestine of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) [J]. *Food Chemistry*, 2012, 134(3): 1533-1541.
- [55] 吴燕燕, 李来好, 林洪, 等. 利用罗非鱼内脏提取 SOD 酶的方法 [P]. 中国专利: CN200610033928.5, 2006.8.23.
- [56] 吴燕燕, 李来好, 郝志明, 等. 罗非鱼肠蛋白酶的分离纯化及其性质 [J]. *水产学报*, 2010, 34(3): 357-366.
- [57] 王妍, 杨祺福, 李冬梅, 等. 罗非鱼鼻软骨中硫酸软骨素的提取工艺 [J]. *中国食品学报*, 2015, 15(9): 84-90.
- [58] Duan Z H, Cheng C Y, Hai Y, et al. Determination and Identification of Chondroitin Sulfate from Tilapia Byproducts [J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 690-693: 1318-1321.