

DOI: 10.12131/20220190

文章编号: 2095-0780-(2022)06-0152-09

• 综述 •

水产品预制菜加工与质量安全控制技术研究进展

黄 卉¹, 陈胜军^{1,2}, 赵永强^{1,2}, 岑剑伟¹, 杨少玲¹, 王悦齐^{1,2}, 相 欢¹, 李来好¹,
杨贤庆¹, 吴燕燕¹

1. 中国水产科学研究院南海水产研究所/国家水产品加工技术研发中心/农业农村部水产品加工重点实验室, 广东 广州 510300

2. 三亚热带水产研究院/海南省深远海渔业资源高效利用与加工重点实验室, 海南 三亚 572018

摘要: 随着消费者对方便、快捷加工食品需求的不断增长, 以及新冠疫情引起生活方式的改变, 水产品预制菜越来越广受喜爱。水产原料独有的营养功能特性和加工适性使其可以广泛用于即食、即热、即烹、即配等预制菜的开发, 但其特有的腥味、质构及易腐败特性, 要求在加工和贮藏过程中采用适当的预处理技术、风味和品质改良与保持技术以及贮藏技术来提升预制菜产品的品质。影响水产品预制菜质量安全的主要因素包括生物性危害、化学性危害和物理性危害, 因此在原料采收阶段、加工过程、冷链运输过程的质量控制技术及管理控制体系是保障产品质量安全的重要手段。未来可通过营养保持与品质控制等加工技术的提升使水产品预制菜更趋向于营养化、优质化和多元化。

关键词: 水产品预制菜; 原料特性; 加工技术; 质量安全

中图分类号: S 986.1

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research advances on processing and quality safety control technology of aquatic pre-made products

HUANG Hui¹, CHEN Shengjun^{1,2}, ZHAO Yongqiang^{1,2}, CEN Jianwei¹, YANG Shaoling¹, WANG Yueqi^{1,2},
XIANG Huan¹, LI Laihao¹, YANG Xianqing¹, WU Yanyan¹

1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/National Research and Development Center for Aquatic Product Processing/Key Laboratory of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510300, China

2. Sanya Tropical Fisheries Research Institute/Key Laboratory of Efficient Utilization and Processing of Marine Fishery Resources of Hainan Province, Sanya 572018, China

Abstract: Due to the growing demand for instant food and lifestyle change after the COVID-19, aquatic pre-made products become popular. The unique nutritional and functional characteristics and processing suitability of aquatic products make them suitable for the development of ready-to-eat, instant heat, instant cooked and ready-to-use pre-made products. However, due to their unique fishy taste, texture and perishable characteristics, appropriate pretreatment technology, flavor and quality improvement and maintenance technology as well as storage technology in the processing and storage process need to be adopted so as to improve the quality of pre-made products. The main factors affecting the quality and safety of aquatic product

收稿日期: 2022-07-06; 修回日期: 2022-09-02

基金项目: 中国水产科学研究院基本科研业务费专项资金(2020TD69, 2020TD73); 国家现代农业产业技术体系资助(CARS-46, CARS-47, CARS-50); 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设专项资金(2022KJ151)

作者简介: 黄 卉(1980—), 女, 副研究员, 博士, 研究方向为水产品加工与质量安全。E-mail: huanghuigd@aliyun.com

通信作者: 陈胜军(1973—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为水产品加工与质量安全。E-mail: chenshengjun@scsfri.ac.cn

pre-made products include biological hazards, chemical hazards and physical hazards. Therefore, quality control technologies of aquatic pre-made products including the raw material collection, processing process and the cold chain transportation process are necessary. In the future, aquatic pre-made products should be more nutritious, high-quality and diversified because of the improvement of nutrition and quality control technology.

Keywords: Aquatic pre-made products; Material characteristics; Processing technology; Quality control technology

近年来,随着我国水产品出口受阻及国内经济的稳步发展,国内大型水产加工企业积极开拓国内市场,加上新冠疫情引起的消费场所关闭、生活小区管控等内外因素的促动,使得水产品预制菜成为了广受消费者喜爱的食品。相关数据显示,2012年我国涉及预制菜肴加工的企业仅1400家,而2021年已达7.19万家,预制菜总消耗量达 174.72×10^4 t^[1-2]。预计未来我国预制菜市场依然会保持增长。

水产品预制菜肴是以水产品为主要原料,采用现代标准化中央厨房集中生产的方式,经原料预处理、预加工、熟制或非熟制、包装等环节后制成,经简单烹饪后即可食用的成品或半成品菜肴。依据消费形式和加工程度划分为即食食品、即热食品、即烹食品和即配食品4类。水产品预制菜凭借其方便快捷、营养丰富等特点得到了市场的认可和接受^[3-4]。

水产品开发制成预制菜产品不仅可以免去消费者在清洗、去杂、切片等繁琐的前处理过程中产生的不适感,还可以通过调理、减菌、复合保鲜、糜制、发酵、干制、腌制、熏制等多种精深加工技术,开发出高质化、多元化的产品,满足消费者因生活节奏加快、生活水平提高、疫情等产生的越来越多样化的消费需求。此外,预制菜的规模化生产有利于水产品加工副产物的收集与再加工,实现水产品高附加值综合利用。

本文综述了水产品预制菜的原料特性、加工关键技术及质量控制技术,以水产品原料的营养特点和加工适性为基础,着眼于水产品预制菜加工的前处理、品质保持、贮藏等关键技术,总结了原料采收、加工过程及冷链运输中的质量控制技术,同时分析了水产品预制菜的发展趋势,旨在为推进我国水产品预制菜产业的健康可持续发展提供参考。

1 水产品预制菜的原料特性

1.1 水产品原料的营养特点和功能特性

水产品预制菜原料包括可食用的动物性水产品 and 以藻类为主的植物性水产品。与陆生食材相比,水产品作为预制菜原料具有其独特的营养优势。鱼、虾、贝等动物性水产品肉质细嫩多汁,不仅具有高蛋白、低脂肪、低热量的

突出营养特征,且蛋白质的氨基酸结构合理,接近人体所需,在体内的利用率高,为优质蛋白质食源,此外还富含多不饱和脂肪酸、维生素、微量元素和其他一些独特的生物活性成分,与猪、牛、羊等陆生动物性食品的营养与品质有着显著区别,具有益智健脑、预防心脑血管疾病、抗癌防癌等多重保健功效^[5-6]。大多数藻类植物的脂质含量非常低,但富含碳水化合物(占藻细胞干质量30%~60%)、蛋白质(10%~48%)和膳食纤维,此外还含有种类繁多的矿物质、维生素等营养成分以及藻多糖、藻胆蛋白等藻类特有的生物活性物质,具有改善消化系统、抗病毒、抗肿瘤、调节免疫功能等多种生物活性^[7-8]。

2022年4月26日发布的最新版《中国居民膳食指南(2022)》中,首次提出以东南沿海一带膳食模式代表我国“东方健康膳食模式”,提倡常吃鱼虾等水产品、大豆制品和奶类,且每周至少食用鱼虾等水产品2次或300~500 g^[9],推荐摄入量比2016版《中国居民膳食指南》^[10]中水产品的推荐日摄入量(40~75 g)有所提高,说明水产品在膳食营养均衡中的作用和地位逐渐受到重视。

1.2 水产品原料的加工适性

水产品种类繁多,国内大量养殖的或捕捞产量较高的海水、淡水产品均适合用于预制菜的生产,如鱼类、虾类、蟹类、贝类、头足类、藻类,以及部分其他类别的水生动植物。原料不同,适合的加工方式也不同。鱼类由于外界环境、脂肪氧化等作用易产生腥味物质,腥味较重的淡水鱼适合做成烤鱼、红烧鱼等采用调味料遮掩腥味的预制菜。腥味较重的海水鱼可制成腌干鱼类等可通过生物法去腥的预制菜。从肌肉组织特性看,结缔组织含量少的鱼类肉质相对柔软,适合清蒸类及热煮类预制菜的加工,如酸菜鱼、水煮鱼类预制菜,现在普遍以肉质柔韧鲜美的乌鳢(*Channa argus*)和罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)为原料。从肌肉蛋白构成特性来说,大部分海水鱼相对于淡水鱼盐溶蛋白含量高,可制备凝胶特性好的鱼糜制品,但淡水鱼也可以通过添加适当的添加剂增强凝胶特性。刘芳芳^[11]与韩迎雪^[12]对75种海、淡水鱼的鱼糜凝胶特性研究结果显示,灰胡椒鲷(*Plectorhinchus schotaf*)、黄鳍鲷(*Acanthopagrus latus*)、真鲷(*Pagrus major*)、高体鲷(*Seriola dumerili*)、匀斑裸胸鲷(*Gymnothorax reevesii*)和无齿鲷

(*Gnathanodon speciosus*) 等海水鱼, 以及草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*)、鳙 (*Aristichthys nobilis*)、罗非鱼、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 和鲮 (*Cirrhinus molitorella*) 等淡水鱼, 其鱼糜凝胶强度、硬度、咀嚼性等均较大, 白度和持水性较好, 适合作为鱼糜类预制菜的生产原料; 藻类含有丰富的膳食纤维, 多数加工成凉拌菜或作为粥、汤等预制菜的配料; 虾、蟹类蛋白质的凝胶作用较好, 肉质持水性高, 适合即热、即食类预制菜加工; 贝类如鲍鱼等含有丰富的氨基酸, 经过加热后其呈味核苷酸能更好地与鲜味氨基酸结合呈现更佳的鲜味, 适合热加工类预制菜佛跳墙 (鲍鱼)、面包蚝 (油炸裹粉牡蛎) 等。

2 水产品预制菜加工关键技术

水产品预制菜的加工过程主要涉及原料的预处理、加工工艺、品质控制和加工后贮藏等。

2.1 原料预处理技术

2.1.1 脱腥技术

水产品原料中水分含量高, 组织酶活跃, 易产生不利于感官接受的腥味, 严重制约了其鲜销和加工的发展。研

究表明, 醇类物质是水产品中类似金属或泥土味的主要来源; 酮类和烯类物质易产生协同作用增加腥味; 萜烯衍生物土臭素、二甲基异冰片等具有土腥味。水产品的腥味形成途径主要有 2 种: 一是外界环境中次生代谢产物的残留, 二是在运输或贮藏过程中氧化三甲胺的分解及脂质的自动氧化^[13]。

腥味脱除的手段通常包括物理法 (掩盖法、吸附法、包埋法和辐照法)、化学法 (有机溶剂萃取法、酸碱盐法、抗氧化剂法、臭氧法)、生物法和复合法等^[14]。物理法中利用天然植物的香味来掩盖水产品的腥味是较有效的途径之一。化学法中以抗氧化剂如多酚类、黄酮类、萜烯类和儿茶素类化合物等处理原料较为常用。茶多酚是天然抗氧化剂, 可去除异味, 在金枪鱼^[15]、鲢^[16]等原料的脱腥上均取得了较好的效果。儿茶素类物质可以去除甲基硫醇化合物^[17], 黄酮类和萜烯类物质也有吸附异味和除臭的效果。臭氧 (O₃) 则是利用本身带有的负电荷与带正电荷的腥味物质结合使其结构发生改变, 转化为其他物质, 从而使腥味减弱^[18]。为达到更好的脱腥效果, 采用复合法进行脱腥是较好的手段之一。常用的水产品脱腥技术见表 1。

表1 水产品脱腥技术
Table 1 Deodorization technology of aquatic products

脱腥方法 Deodorization method	水产品 Aquatic products	作用方式 Interaction mode	效果 Effect
物理法 Physical method	牡蛎 ^[19]	真空烫漂	腥味物质总数由脱腥前的 12 种降至 10 种, 相对含量由 19.18% 降至 15.19%, 腥味脱除率达 20.8%
	脆肉鲩鱼片 ^[20]	紫苏叶水提物浸泡	脱腥效果明显, 并具有抗菌和抗氧化作用
	鲢鱼肉糜 ^[21]	1.5% 的活性炭吸附	能够有效去除腥味, 但处理后对鱼糜的色泽有影响
	莱茵衣藻 ^[22]	β-环糊精包埋	无明显腥味且未产生其他不良风味
化学法 Chemical method	鲢鱼鱼糜 ^[18]	O ₃ 气体漂浮法	腥味物质减少了 21 种, 并有 16 种含量降低 50% 以上
生物法 Biological method	牡蛎 ^[23]	酵母发酵	基本无腥味且无异味
复合法 Comprehensive method	海参 ^[24]	减压结合茶及氯化钙溶液浸泡, 再经乳酸菌发酵	腥味物质中的 (E)-2-癸烯、1-丁醇、(E)-2-戊烯-1-醇、苯甲醛、苯酚、苯甲醇及 2-辛酮等 9 种物质的相对含量明显减少
	银鳕 (<i>Anoplopoma fimbria</i>) ^[25]	氯化钙和绿茶浸泡	可有效降低鳕鱼腥味特征成分三甲胺的含量
	红毛藻 ^[26]	加热结合 3% 醋酸溶液浸泡	显著降低腥味, 挥发性成分由 46 种降至 26 种, 腥味成分除壬醛由 44.40 μg·g ⁻¹ 降为 37.89 μg·g ⁻¹ 外, 其他均降为 0

2.1.2 脱酸和嫩化技术

对于部分糖原含量高的水产品, 其体内含有乳酸等多种酸性物质会影响加工产品的品质, 需对其进行脱酸处理。李桂芬等^[27]采用复合脱酸剂 (0.8 g·mL⁻¹ 碳酸钠、1 g·mL⁻¹ 碳酸氢钠、0.6 g·mL⁻¹ 柠檬酸钠、1 g·mL⁻¹ 三聚磷酸钠) 对秘鲁鲉鱼 (*Dosidicus gigas*) 进行脱酸处理, 感官评分

最高。王婷^[28]采用钠盐复配脱酸剂 (0.7% 六偏磷酸钠、0.7% 磷酸氢二钠、1.0% 三聚磷酸钠) 对鲢鱼 (*Katsuwonus pelamis*) 进行脱酸处理, 鱼块的 pH 为 6.93, 感官评分值为 4.94, 近乎无酸味。李淑芳^[29]采用碳酸氢钠、多聚磷酸盐浓度均为 2% 的溶液对金枪鱼进行脱酸, 处理后鱼块 pH 为 7.3, 基本无酸味。

对于部分肉质较硬的水产品,在进行加工前需对其进行嫩化处理。黄卉等^[30]针对鳶乌贼(*Symplectoteuthis oualaniensis*)肌内肉质硬和酸度高的问题,采用嫩化剂、酸碱调节剂、水分活度降低剂三步综合处理能有效降低肌肉的酸性,并起到较好的嫩化作用。魏婉莹^[31]发现使用菠萝蛋白酶处理秘鲁鱿鱼后肌肉间隙变大,对肌肉的嫩化作用明显。秦红利^[32]在开发即食调味虾仁时对虾仁进行了嫩化处理,采用0.2%木瓜蛋白酶和0.4%复合磷酸盐处理后,凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)虾仁剪切力降低了24.64%。对于贝类即食鱼糜肉质硬的问题,吕学娇等^[33]采用木瓜蛋白酶嫩化杂色蛤(*Ruditapes philippinarum*)蛤肉效果较好,研制得到了新型肉糜即食产品。

2.1.3 减菌技术

水产品由于肌肉组织细嫩,酶活性高,体表带有多种微生物,同时加工过程中的二次污染也会导致产品的初始微生物数量偏高。鱼类等动物性水产品在捕获后,微生物在体内大量繁殖,不仅会改变原料的感官性质,破坏其营养价值,还会形成病原体和毒素,对人体健康产生危害。因此在水产品预制菜加工前对原料进行减菌化处理具有重要意义。减菌处理可以分为化学法和物理法。化学减菌包括臭氧水、二氧化碳(CO₂)、有机酸等;物理减菌包括紫外照射、辐照和微波处理等^[34]。其中,臭氧水减菌化处理效果较好、应用较广,在脆肉鲩鱼片^[35]、草鱼^[36]、阿根廷滑柔鱼(*Illex argentinus*)^[37]、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[38]、罗非鱼^[39]中均有应用。杨梅^[40]采用3%柠檬酸水处理10 min的斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)鱼块减菌效果最佳,菌落总数、挥发性盐基氮相对较低,从而开发出不同口味的即食斑点叉尾鲷鱼块。邹礼根等^[41]利用60 mg·mL⁻¹的稳态二氧化氯(ClO₂)溶液对虾皮加工原料进行减菌化处理,菌落总数降低97.45%,减菌效果非常显著。季晓彤^[42]采用30 mg·mL⁻¹ClO₂和pH为2的盐酸水溶液对卵形鲳鲅(*Trachinotus ovatus*)鱼块进行减菌前处理,可使其微冻贮藏的货架期分别延长7和4 d。龚恒^[43]发现电解水处理及ε-聚赖氨酸处理能够有效降低鲟(*Acipenser sturio* Linnaeus)的初始菌落总数和优势腐败菌数。微酸性电解水对罗非鱼减菌化处理的效果也较好^[44]。钟志豪^[45]研究发现,在草鱼片减菌化处理中物理方式(紫外和微波)减菌效果比化学方式(ClO₂和O₃)更好,微波组减菌率最高(80.06%),ClO₂组减菌率最低(61.67%)。

2.2 风味与品质改良技术

2.2.1 风味改良与保持技术

预制菜加工过程中,适合的加工工艺对产品的风味产生正向影响。凡纳滨对虾经过真空油炸后,挥发性成分种

类和含量均显著增加,含氮类化合物、酯类和醛类构成了主要的风味组分,具有果香、脂香及淡焦香;与真空油炸相比,经过常压油炸后,凡纳滨对虾的主要风味组分为含氮类化合物,具有浓郁的焦香味^[46]。此外,可通过外源添加鲜味基料增强加工后产品的风味,郑志颖等^[47]通过外源添加菌种和赖氨酸提高斑点叉尾鲷碎鱼肉发酵制成的鱼酱风味和营养价值,且该产品具有明显的鲜味和发酵风味。赵笑颖^[48]研究腌制、干燥等工艺对炸制罗非鱼风味的影响,发现腌制后的肉香味和脂肪味明显增强,土腥味减弱,干燥处理能明显增强油炸罗非鱼的烘烤味和肉香味,其中热风干燥作用最为显著。林瑞榕等^[49]研究得到传统的明火、微火熬制工艺比采用电加热或夹层锅加热的现代熬制工艺更能保持“佛跳墙”产品的营养成分和风味物质。

风味保持主要采用涂膜技术。张振^[50]采用壳聚糖-ε-聚赖氨酸-卡拉胶复合涂膜对冷藏中国对虾(*Penaeus chinensis*)风味保持作用显著,样品风味感官评分下降最慢。陈胜军等^[51]研究比较了液熏罗非鱼片与传统烟熏罗非鱼片风味成分的种类和含量,结果表明两者的风味成分相近,但前者可以有效控制传统熏制品中苯并(a)芘等超标的问题,因此液熏法为水产品熏制预制菜的加工提供了易于工业化、规模化生产的方法。

2.2.2 品质改良与保持技术

在水产品预制菜加工过程中,原料中的脂质易发生氧化而影响产品的风味、质地和色泽。目前,已有通过使用抗氧化剂、优化加工工艺、覆膜包装等实现品质改良的研究。Li等^[52]研究显示大黄鱼(*Larimichthys crocea*)鱼片冷藏过程中,添加茶多酚与迷迭香可以延缓脂质的氧化,延长鱼片的保质期。Cyprian等^[53]研究发现热烫处理能减缓干燥沙丁鱼(*Sardine* spp.)在贮藏过程中游离脂肪酸的降解。覆膜技术是有效控制水产品脂质氧化的手段。用含有生育酚的薄膜包装蓝鳍金枪鱼(*Thunnus thynnus*)鱼片能有效抑制脂肪氧化^[54]。齐慧林^[55]研究对比了5种护色剂对杀菌过程中调味鳀(*Engraulis japonicas*)鱼肉色泽产生的影响,结果表明添加茶多酚、抗坏血酸、柠檬酸、维生素B₁、L-半胱氨酸等护色剂可提升杀菌后的鱼肉色泽。

在水产品预制菜加工过程中,为了长期储存和保持风味,常添加较多的盐、酱油等调味料,而食盐摄入过量会引起诸多的健康风险,因此需要进行适当的减盐处理。目前,已报道的肉类食品减盐方法主要包括使用钠(Na)的替代物和风味增强剂、调控盐的物理形态、调控食品基质结构和新型加工方式调控蛋白质微结构等。汪雪娇^[56]研究表明,相较于水浴两段式[2%氯化钠(NaCl)]以及水浴-微波

两段式 (1.7% NaCl) 处理, 赖氨酸与水浴-微波加热协同处理不仅能显著提升减盐鱼糜凝胶 (1.7% NaCl) 的质构特性, 并使其咸度感知与两段式加热的未减盐鱼糜凝胶无显著差异, 从而达到兼具增咸及提质的双重效应。此外, 可通过添加酵母抽提物、咸味增强肽等方式减少水产品预制菜加工过程中食盐的添加量。

适合的包装方式是品质保持的重要手段。目前市场上预制菜产品主要有普通包装、真空包装和气调包装 3 种包装方式。一般而言, 真空包装由于隔绝了空气, 对产品品质的保持优于普通包装, 而充有混合气体的气调包装对产

品品质的保持最好^[57]。Siriskar 等^[58]用不同的包装方式将凤尾鱼 (*Stolephorus* spp.) 预制菜进行包装, 在 30~35 ℃ 条件下采用真空包装的保质期可达数月, 而普通包装的保质期仅 5 周。吴燕燕等^[59]采用气调包装、-3 ℃ 贮藏低盐腌制罗非鱼片、复合低盐腌制罗非鱼片较普通包装和真空包装更能保持产品的品质和延长货架期。童光森等^[60]研究表明高氧气调包装冷藏能有效地保持乌鳢鱼片冷藏期品质。

2.3 贮藏技术

水产品预制菜贮藏技术主要包括冰温气调贮藏、微冻贮藏、冷藏/冷冻贮藏及新型低温贮藏技术 (表 2)。

表2 预制菜贮藏技术
Table 2 Storage technology of aquatic pre-made products

贮藏技术 Storage technology	水产品预制菜 Aquatic pre-made product	效果 Effect
冰温气调 Freezing modified atmosphere	生鲜鲢鱼片 ^[61]	鲢鱼片的贮藏期可达16 d以上, 比冰温贮藏延长4 d
	鱼糜制品 ^[62]	冰温气调贮藏鱼糜制品的保质期是冷藏贮藏的10倍, 解决了鱼糜制品鲜度下降快、贮藏期短、物流半径小等技术难题
	鱼丸 ^[63]	冰温气调贮藏能较好地保持鱼丸的感官和质构等品质
	凡纳滨对虾 ^[64]	冰温气调贮藏可较好地保持虾的品质
微冻 Partial freezing	大菱鲆 (<i>Scophthalmus maximus</i>) 鱼糜 ^[65]	微冻贮藏 (-3 ℃) 在抑制鱼糜核苷酸的降解上效果比冷藏 (4 ℃) 好
	凡纳滨对虾虾仁 ^[66]	微冻能够明显抑制虾仁在贮藏中的品质劣变, 保质期可延长至24 d
	卵形鲳鲹鱼块 ^[42]	微冻能降低金鲳鱼块在冷冻等其他贮藏方式下引起的汁液流失等问题
	罗非鱼片 ^[67]	速冻后达微冻状态进行贮藏的方式可减缓罗非鱼片的腐败进程, 保鲜期可达20 d, 并能保持较好的品质
	鲫 (<i>Carassius auratus</i>) 鱼片 ^[68]	微冻贮藏对鲫鱼鱼片的质构、菌落总数等品质的保持作用比冰温、冷藏好
冷藏 Cold storage	草鱼片 ^[69]	微冻贮藏草鱼片在品质保持上较0 ℃贮藏具有优势
	克氏原螯虾 (<i>Procambarus clarkia</i>) ^[70]	即食克氏原螯虾冷藏贮藏的保质期较常温延长了29 d
冷冻 Frozen	克氏原螯虾 ^[71]	熟制克氏原螯虾分别进行-20 ℃、-30 ℃速冻处理后, 于-18 ℃下贮藏6个月, 虾肉的品质仍保持较好
	扇贝 ^[72]	-25 ℃、-35 ℃、-80 ℃冷冻都能较好地保持扇贝闭壳肌的氨基酸组成
	牡蛎 ^[73]	冻藏牡蛎肉色泽、挥发性盐基氮等品质指标的变化趋势较冷藏更缓慢
新型低温贮藏 New low-temperature storage	罗非鱼片 ^[74]	高压静电场结合冰温气调技术能减少罗非鱼片贮藏过程中肉汁渗出率, 降低脂肪氧化等, 保鲜效果较好
	凡纳滨对虾 ^[75]	低压静电场结合冰温处理凡纳滨对虾可较好地抑制多酚氧化酶活性, 产品感官色泽等指标明显优于冰温样品
	鲈 ^[76]	超声辅助冷冻鲈鱼能够有效地降低肌原纤维蛋白的氧化程度, 同时提升鱼肉的蛋白质热稳定性以及更好地维持海鲈鱼蛋白的结构
	草鱼鱼糜 ^[77]	超声辅助冷冻技术用于草鱼鱼糜可提高冻结速率并有利于品质保持

冰温气调贮藏是指将产品密封于含有一定气体的包装中并在 0 ℃ 以下、冰点以上的温度区域进行贮存的技术, 可以减缓产品的氧化速度, 抑制微生物生长和酶促反应, 延长产品货架期。常用的气体包括 CO₂、氮气 (N₂) 等, 适宜的气体比例是延缓产品品质劣化速度、延长保质期的关键。在罗非鱼、草鱼、军曹鱼、黄鳝 (*Monopterus albus*)

等鱼片的贮藏中发现, 冰温气调贮藏的品质保持作用优于冰温或冷藏贮藏^[78-81]。

微冻贮藏是一种将水产品保存于冰点或冰点下 1~2 ℃ 的贮藏技术^[82]。水产品在贮藏过程中一部分水转化成冰晶, 可以降低内源酶活性, 抑制蛋白质和脂肪的降解及微生物的生长, 可使产品的保质期相对于冷藏贮藏更长^[83]。

微冻技术原在水产原料保鲜上应用较广,如对鲈(*Lateolabrax japonicus*)、乌鳢、罗非鱼、凡纳滨对虾、大西洋鲑(*Salmo salar*)、卵形鲳鲹等均有较好的效果^[84-85]。近年来逐渐应用于鱼糜、鱼片、虾仁等水产品预制菜的贮藏中。

冷藏贮藏技术是将产品在 0~4 ℃ 条件下保存的方法,能抑制一部分微生物的生长,延缓品质的劣变。一般用于即食产品的贮藏。冷冻贮藏是指将产品中心温度降至-18 ℃ 发生冻结,并保持该温度的一种保存方式,可抑制酶活性,降低产品腐败速率,抑制微生物生长,达到长期保存的目的。目前大部分水产品预制菜采用的是冷冻贮藏,如酸菜鱼、鱼糜制品、面包虾、裹浆鱼块等。

近年来,电场辅助低温保藏、超声波辅助冷冻、高压冷冻等新型低温保藏技术逐步应用于预制菜产品贮藏中并取得了较好的效果,对预制菜品质的保持具有较好的改善作用。

3 水产品预制菜质量控制技术

水产品预制菜加工过程中影响其质量安全的主要因素有生物性危害、化学性危害和物理性危害。生物性危害主要包括致病菌、病毒及寄生虫等;化学性危害主要包括水产品原料中存在的内源性有害物质、加工及贮运过程添加的化学物质、外来污染的化学物质及过敏原 4 类;物理性危害主要包括水产品中发现的金属、碎骨、毛发等潜在有害的外来物质^[86]。水产品预制菜质量安全控制技术主要包括针对上述危害因素进行的原料减菌化、内源性与外源性危害物控制、包装技术、栅栏技术及冷链流通技术等;目前最常用的有良好操作规范(Good manufacturing practice, GMP)、危害分析与关键点控制(Hazard analysis critical control point, HACCP)、卫生标准操作规范(Sanitation standard operating procedure, SSOP)、质量安全可追溯及质量安全风险分析等技术体系与认证体系(ISO 22000、ISO 9000、GAP)^[87]。此外,建立水产品预制菜生产与销售全链条标准化技术体系与可追溯技术体系也是保障其质量安全的重要手段。

3.1 原料采收阶段的质量控制技术

用于加工水产品预制菜的原料来源于养殖或捕捞,原料的品质与安全性是影响水产品预制菜质量安全的主要因素。目前,大量研究主要集中于水产品原料中质量安全危害因子的残留规律及消减技术,如贝类毒素等污染物的代谢特征和毒性变化,重金属的赋存形态、毒性差异及蓄积规律,食源性致病微生物[诺如病毒(Norwalk Viruses)、副溶血性弧菌(*Vibrio parahaemolyticus*)]流行病学特征及危害,过敏原检测分析与脱除等方面^[88-90]。

我国已建立了完善的水产品内外源性危害因子的检测

技术体系,除常规的化学分析、仪器分析方法外,针对生物毒素、投入品及微生物的免疫学检测方法,针对寄生虫的机器视觉系统以及针对微生物的核酸检测方法等新的检测技术也逐渐建立并被应用^[91]。此外,在水产品预制菜加工原料品质与质量安全保障方面,如等离子体杀菌、臭氧减菌化处理、超高压处理、高能电子束等冷杀菌技术开始逐渐被应用^[92];在水产品过敏原方面,应用超声波、超高压、辐照等现代食品加工技术,建立了水产品过敏原的消减技术^[93];在原料品质鉴定方面,建立了基于组学技术与关键代谢物指纹图谱技术的水产品原料品质评价与产地鉴别技术^[94-96],为提升水产品预制菜加工原料品质、保障原料质量安全提供了技术保障。

3.2 加工过程的质量控制技术

预制菜加工过程中不同加工方式下羰基化合物、油脂过氧化物、生物胺、糖基化终末产物(Advanced glycation end-products, AGEs)、亚硝酸盐、苯并(a)芘等内源性危害物的产生会对其产品安全性造成影响^[97-100]。在水产预制菜品质方面,不同热加工方式对其滋味物质的影响不同, Li 等^[101-102]以汽蒸、水煮、空气炸等 3 种热加工方式处理的罗非鱼片为研究对象,借助代谢组学方法来识别和筛选差异代谢物,发现氨基酸类、核苷酸类可作为判定汽蒸、水煮和空气炸处理罗非鱼片特征风味和营养特性的重要指标;在此基础上,分析了加工后罗非鱼片中游离氨基酸和核苷酸的组成,从而获取不同加工方式对罗非鱼片整体滋味的影响。Wang 等^[103]研究了不同发酵方式对以鳊(*Siniperca chuatsi*)为原料加工的臭鳊鱼风味的影响,分析了发酵体系中微生物菌群与主要代谢物的差异,阐述了臭鳊鱼风味形成机制。吴燕燕等^[104]系统研究了不同腌制方式对以海水鱼为原料生产的腌制类水产品预制菜中生物胺与亚硝酸盐含量的影响,建立了低盐快速生物法腌制技术与内源性危害物控制关键技术体系,为提升与保障腌制类水产品预制菜品质与质量安全提供了技术支撑。在鱼糜类水产品预制菜加工过程中,鱼糜凝胶化温度与鱼糜制品复热方式会对其凝胶强度与风味产生显著影响,因此合理控制鱼糜凝胶化温度,可避免鱼糜制品加工过程内源性危害物的产生,采用分段式凝胶化方法可提升其凝胶强度,而在鱼糜类水产品预制菜复热时,也要注意采用合理的复热温度与时间,避免“过熟味”的产生^[105-107]。

3.3 冷链运输过程的质量控制技术

水产品预制菜加工与流通过程的运输环节主要是原料运输与成品出厂后销售环节的运输。目前水产品保鲜保活运输技术体系已构建,如国家标准 GB/T 36192—2018《活水产品运输技术规范》、GB/T 24861—2010《水产品流通

管理技术规范》分别对水产品原料载水及无水保活运输,水产品流通过程中采购、运输、贮存、批发、销售等环节的技术要点及对相关从业人员做出了要求,对保障水产品预制菜加工原料与产品在运输环节的品质与质量安全具有指导意义。近年来,我国仓储保鲜冷链物流发展环境和条件不断改善,贮藏保鲜能力不断提升。近 5 年,我国冷库建设以高于 10% 的增速发展,截至 2020 年底,全国公共型食品冷库容量达 $1.77 \times 10^8 \text{ m}^3$,折合 $7.08 \times 10^7 \text{ t}$; 2020 年新增库容 $2.568 \times 10^7 \text{ m}^3$,同比增长 16.98%^[108]。水产品预制菜多以冷冻包装形式进入流通领域,冷链物流基础设施的发展将有力保障水产品预制菜运输环节的产品品质与质量安全。

4 展望

在水产品预制菜进入快车道后,限制产业发展的瓶颈问题逐渐引起关注:一是原料质量不稳定,预制菜的品质、风味存在波动情况;二是品类相对单一,产品口感的还原度存在一定缺陷,影响了消费端对水产品预制菜的认可度和接受度;三是加工技术以传统加工为主,缺乏加工过程的质量控制;四是冷链体系不够健全,产品在流通过程中由于温度发生波动而导致品质下降;五是标准化体系不完善,生产、监管等缺乏规范的指导。市场的发展对预制菜产品的营养、品质、食用安全等提出了更高的要求,需要从原料品质控制、加工技术提升等方面进行研究与开发,创新水产品预制菜系列产品。

超高压灭菌技术、栅栏技术等品质控制技术的应用将提升水产预制菜的品质,延长其保质期;营养保持与控制技术的发展将使预制菜富含功能性油脂、多糖、维生素与矿物质等健康营养功能因子,满足不同特殊膳食人群的需求;微波加热、真空油炸等新型复热技术的出现,将提升水产品预制菜产品的口感还原度,使产品趋向优质化和多元化。加工技术的发展将使新型水产预制菜加工产品不断涌现,高新加工技术的集成及规模化生产,将使水产预制菜向标准化、方便化、安全化、营养化的方向发展。

参考文献:

- [1] 王纪川,任国峰,侯震,等.预制菜企业微生物污染状况及影响因素分析[J].中国食品卫生杂志,2020,32(6):664-669.
- [2] 揭书宜.预制菜再成资本市场新宠 三千亿市场谁是赢家[N].第一财经日报,2022-01-21(A08).
- [3] 陈辰.预制菜开辟餐饮消费新赛道[J].中国商界,2022(Z1):44-46.
- [4] 赵靛琳.预制菜行业现状及问题研究[J].现代营销(经营版),2021(9):146-147.
- [5] 赵勇,刘静,吴倩,等.“水陆互补”理念下的水产品营养健康功效[J].水产学报,2021,45(7):1235-1247.
- [6] 王小虎,赵明军,王宇光,等.基于营养当量的水产品营养价值评价研究[J].水产学杂志,2022,35(3):80-85.
- [7] 李丹,朱璐璐,钱爽,等.海藻的开发现状和应用前景[J].广州化工,2016,44(21):13-16,25.
- [8] 丛大鹏,咸洪泉.我国海藻的开发利用价值及产业化生产[J].中国渔业经济,2009,27(1):93-97.
- [9] 中国营养学会.中国居民膳食指南(2022)[M].北京:人民卫生出版社,2022:75-76.
- [10] 中国营养学会.中国居民膳食指南(2016)[M].北京:人民卫生出版社,2016:87-88.
- [11] 刘芳芳.海水鱼鱼糜加工及凝胶过程中蛋白质变化规律的研究[D].上海:上海海洋大学,2020:23.
- [12] 韩迎雪.我国主要淡水鱼品种脂质特征分析及其鱼肉凝胶性能研究[D].上海:上海海洋大学,2019:46.
- [13] 董婧琪,王圆圆,闫保国,等.水产品腥味物质形成机理与脱腥技术研究进展[J].食品研究与开发,2022,43(5):189-194.
- [14] 朱小静.鲈鱼调理食品加工关键技术研究[D].上海:上海海洋大学,2017:8-10.
- [15] 陈漪,庄晶晶,尚艳丽,等.金枪鱼鱼肉茶水脱腥条件的比较研究[J].粮油食品科技,2012,20(6):76-79.
- [16] 张朝敏,徐永霞,姜程程,等.茶多酚-海藻糖脱腥液对白鲢鱼贮藏品质的影响[J].食品工业科技,2015,36(24):321-324,337.
- [17] 黄路镰,黄克,肖如武.水产品腥味物质形成机理的研究进展[J].广东化工,2009,36(9):146,161.
- [18] 杜国伟,夏文水.鲢鱼糜脱腥前后及贮藏过程中挥发性成分的变化[J].食品工业科技,2007,28(9):76-80.
- [19] 李龙飞,秦小明,周翠平,等.真空烫漂处理对牡蛎肉腥味成分的影响[J].食品工业科技,2015,36(13):103-107,112.
- [20] 丁莫.脆肉鲩鱼片加工工艺及贮藏过程品质变化研究[D].上海:上海海洋大学,2018:27.
- [21] 杨玉平.鲢体内土腥味物质鉴定及分析方法与脱除技术的研究[D].武汉:华中农业大学,2010:66.
- [22] 赵金瑶,陈宇坤,胡国华,等.莱茵衣藻脱腥及其在酸奶中的应用研究[J].中国食品添加剂,2021,32(9):44-50.
- [23] 米顺利,高程海,姜舒,等.榄钱牡蛎软罐头的工艺研究[J].现代食品科技,2018,34(1):203-208.
- [24] 石友盛,谢文强,陈贤功,等.3种海参脱腥方法的效果比较研究[J].食品研究与开发,2021,42(20):79-85.
- [25] 张森,杨凯,张佳敏,等.响应面法优化银鲳鱼脱腥工艺[J].食品研究与开发,2019,40(12):178-184.
- [26] 徐玉雪,陈艳红,陈昭华,等.红毛藻复合脱腥工艺的优化及其挥发性成分 GC-MS 分析[J].食品研究与开发,2021,42(16):99-106.
- [27] 李桂芬,何定芬,李海波,等.响应面法优化复合脱酸剂对秘鲁鲑鱼脱酸效果[J].浙江海洋大学学报(自然科学版),2020,39(2):123-128.
- [28] 王婷.鲰鱼软罐头食品的加工技术研究[D].舟山:浙江海洋大学,2016:28-29.

- [29] 李淑芳. 金枪鱼去酸脱腥技术研究及产品开发 [D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2012: 35.
- [30] 黄卉, 魏涯, 杨贤庆, 等. 肌肉改性处理对鳶乌贼品质的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(22): 42-47.
- [31] 魏婉莹. 蛋白酶嫩化工艺对秘鲁鱿鱼品质的影响研究 [D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019: 32.
- [32] 秦红利. 南美白对虾即食产品加工关键技术的研究与中试 [D]. 保定: 河北农业大学, 2014: 24-25.
- [33] 吕学姣, 李诗雅, 韩青, 等. 新型即食肉糜菲律宾蛤仔的研制 [J]. 农产品加工, 2018(6): 5-9.
- [34] 刘文, 岳琪琪, 李贝贝, 等. 基于初始微生物控制的冷鲜鲟鱼肉减菌工艺优化及品质控制 [J]. 食品科技, 2019, 44(7): 167-173.
- [35] 郭姗姗, 荣建华, 赵思明, 等. 臭氧水处理对冰温保鲜脆肉鲩鱼片品质的影响 [J]. 食品科学, 2009, 30(24): 469-473.
- [36] 顾卫瑞. 草鱼片的臭氧处理及贮藏特性研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2009: 22.
- [37] 孙继英, 吴燕燕, 杨贤庆, 等. 鲑鱼分割过程减菌化处理条件对产品质量的影响 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(14): 136-141.
- [38] 孙继英, 吴燕燕, 杨贤庆, 等. 臭氧水对军曹鱼片的减菌效果和品质的影响 [J]. 南方水产科学, 2013, 9(6): 66-71.
- [39] 张红杰. 臭氧减菌化处理罗非鱼片冰温贮藏过程中品质变化及蛋白质降解抑制研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2016: 28.
- [40] 杨梅. 开背调味鱼腌制工艺优化及品质特性研究 [D]. 天津: 天津农学院, 2019: 19.
- [41] 邹礼根, 李锋, 朱城冰, 等. 虾皮加工原料减菌处理工艺研究 [J]. 农产品加工, 2021(11): 38-40.
- [42] 季晓彤. 金鲳鱼块微冻贮藏过程品质变化及控制 [D]. 大连: 大连工业大学, 2018: 44-45.
- [43] 龚恒. 冷鲜鲟鱼贮藏过程中品质及风味物质的变化规律研究 [D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2018: 15.
- [44] 于福田. 微酸性电解水对罗非鱼片杀菌和保鲜效果的研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2019: 32.
- [45] 钟智豪. 减菌处理对草鱼片脂肪氧化及蛋白质氧化的影响和控制 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2015: 17.
- [46] 朱由珍. 真空油炸生产脆虾的技术研究 [D]. 湛江: 广东海洋大学, 2018: 46.
- [47] 郑志颖. 混合发酵剂和外源赖氨酸对发酵鲮鱼酱品质影响的研究 [D]. 镇江: 江苏大学, 2019: 53.
- [48] 赵笑颖. 前处理工艺对炸制罗非鱼风味前体物质与风味作用研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2021: 33-34, 55.
- [49] 林瑞榕, 袁红飞, 钟小清, 等. 不同熬制工艺对“佛跳墙”营养成分及风味物质的影响 [J/OL]. 食品科学: 1-12[2022-08-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20220613.1545.159.html>.
- [50] 张振. 壳聚糖-ε-聚赖氨酸-卡拉胶复合涂膜对冷藏中国对虾品质影响研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020: 65.
- [51] 陈胜军, 李来好, 黄靖芬, 等. 气相色谱-质谱分析熏制罗非鱼片的风味成分 [J]. 食品科学, 2009, 30(20): 3379-3382.
- [52] LI T T, HU W Z, LI J R, et al. Coating effects of tea polyphenol and rosemary extract combined with chitosan on the storage quality of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Food Control, 2012, 25(1): 101-106.
- [53] CYPRIANO O, NGUYEN M V, SBEINSDOTTI R K, et al. Influence of blanching treatment and drying methods on the drying characteristics and quality changes of dried sardine (*Sardinella gibbosa*) during storage [J]. Dry Technol, 2017, 35(4): 478-489.
- [54] ELENA T, PIER A C, SILVANA C, et al. Effect of modified atmosphere and active packaging on the shelf-life of fresh bluefin tuna fillets [J]. J Food Eng, 2011, 105(3): 429-435.
- [55] 齐慧林. 护色剂对调味鱼杀菌及储藏过程中颜色品质的影响研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2020: 18.
- [56] 汪雪娇. 微波处理对鱼肉制品咸度感知的增强作用与减盐鱼糜的加工适应性 [D]. 无锡: 江南大学, 2021: 106.
- [57] STAMATIS N, ARKOUELOS J. Quality assessment of *Scomber colias japonicus* under modified atmosphere and vacuum packaging [J]. Food Control, 2007, 18(4): 292-300.
- [58] SIRISKAR D A, KHEDKAR G D, LIOR D. Production of salted and pressed anchovies (*Stolephorus* sp.) and its quality evaluation during storage [J]. J Food Sci Tech, 2013, 50(6): 1172-1178.
- [59] 吴燕燕, 赵志霞, 李来好, 等. 不同包装与贮藏条件对两种低盐腌制罗非鱼片的品质影响 [J]. 食品科学, 2019, 40(9): 241-247.
- [60] 童光森, 严利强, 郭嘉吻, 等. 包装方式对乌鳢鱼片冷藏期品质变化及烹饪效果影响 [J]. 美食研究, 2021, 38(1): 88-92.
- [61] 吴习宇, 赵国华, 李建光, 等. 冰温气调贮藏生鲜鲢鱼片的保鲜效果 [J]. 包装工程, 2014, 35(13): 24-30.
- [62] 李红霞. 鱼糜制品冰温气调保鲜技术研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2003: 31.
- [63] 刘永吉, 励建荣, 郭红辉, 等. 冰温和冷藏对气调包装鱼糜制品品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(5): 321-324.
- [64] 王亮. 凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 冰温气调保鲜技术的研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010: 24-28.
- [65] DONG M, QIN L, MA L X, et al. Postmortem nucleotide degradation in turbot mince during chill and partial freezing storage [J]. Food Chem, 2020, 311(1): 1-10.
- [66] 杨帆, 万金庆, 厉建国. 微冻贮藏虾仁的水分迁移与品质变化 [J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(20): 68-74.
- [67] 奉琳娜. 基于微冻与气调结合的罗非鱼片保鲜技术研究 [D]. 海口: 海南大学, 2016: 27-33.
- [68] 田光娟, 李喜宏, 韩聪聪, 等. 不同贮藏温度下鲫鱼鱼片品质变化研究 [J]. 食品研究与开发, 2017, 38(10): 177-181.
- [69] LIU D, LIANG L, XIA W S, et al. Biochemical and physical changes of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillets stored at -3 and 0 °C [J]. Food Chem, 2013, 140(1): 105-114.
- [70] 周涛, 吴晓营, 罗海波, 等. 贮藏温度对即食小龙虾品质及微生物菌群多样性的影响 [J]. 食品与机械, 2019, 35(9): 141-146.
- [71] 赵立, 陈军, 邵兴锋, 等. 冷冻方式对熟制克氏原螯虾肉冷冻贮藏 (-18 °C) 条件下品质的影响 [J]. 江苏农业科学, 2012, 40(10): 232-234.
- [72] 崔瑞颖, 张志胜, 郑乾魏, 等. 不同冷冻方式及冻藏温度对海湾扇贝闭壳肌氨基酸组成的影响 [J]. 食品科技, 2014, 39(3): 97-100.

- [73] 牛改改, 游刚, 张晨晓, 等. 真空包装牡蛎肉在冷藏和冻藏过程中的品质变化 [J]. 食品研究与开发, 2020, 41(18): 7-14.
- [74] 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鱼片品质的影响 [J]. 南方水产科学, 2016, 12(3): 91-97.
- [75] 段伟文. 应用低压静电场与气调包装进行凡纳滨对虾保鲜的研究 [D]. 湛江: 广东海洋大学, 2019: 21.
- [76] 刘宏影. 超声波辅助冷冻与低温速冻对海鲈鱼冰晶形成及品质特性的影响 [D]. 锦州: 渤海大学, 2020: 14-15.
- [77] 侯睿. 水溶性大豆多糖与超声波辅助冷冻协同改善草鱼鱼糜品质的研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2018: 30-31.
- [78] 彭城宇. 罗非鱼片冰温气调保鲜工艺及其货架期预测模型研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010: 43-44.
- [79] 龚婷. 生鲜草鱼片冰温气调保鲜的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2008: 39.
- [80] 吴燕燕, 孙继英, 杨贤庆, 等. 气调包装军曹鱼片在冰温保鲜期间的品质变化分析 [J]. 现代食品科技, 2014, 30(8): 117-124.
- [81] 吕凯波. 冰温气调保鲜对黄鳝片品质及其菌相的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2007: 40.
- [82] 马海霞, 李来好, 杨贤庆, 等. 水产品微冻保鲜技术的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2009, 30(4): 340-344.
- [83] SUN Q X, ZHAO X X, ZHANG C, et al. Ultrasound-assisted immersion freezing accelerates the freezing process and improves the quality of common carp (*Cyprinus carpio*) at different power levels[J]. LWT, 2019, 108: 106-112.
- [84] 高昕, 韩芳, 许加超, 等. 微冻贮藏条件下鲈鲜度和质构变化 [J]. 水产学报, 2010, 34(8): 1294-1302.
- [85] 阙婷婷, 郑家闻, 陈士国, 等. 微冻保鲜与冻藏保鲜对乌鳢品质的影响 [J]. 中国食品学报, 2015, 15(6): 136-147.
- [86] 金征宇, 彭池方. 食品加工安全控制 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2014: 160.
- [87] 师俊玲. 食品加工过程质量与安全控制 [M]. 北京: 科学出版社, 2012: 220.
- [88] 曹欢, 胡钰梅, 潘迎捷, 等. 水产品中重金属异质性导致的风险 [J]. 生态毒理学报, 2021, 16(6): 161-173.
- [89] JIANG Y H, YAO L, LI F L, et al. Characterization of antimicrobial resistance of *Vibrio parahaemolyticus* from cultured sea cucumbers (*Apostichopus japonicus*) [J]. Lett Appl Microbiol, 2014, 59: 147-154.
- [90] 李晓晨, 卢瑛, 李晓晖. 动物性水产品过敏原及其消减技术研究进展 [J]. 中国食品学报, 2021, 21(10): 325-333.
- [91] 应晓国, 袁宁, 邓尚贵, 等. 水产品质量安全检测技术研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(4): 1196-1202.
- [92] 赵永强, 张红杰, 李来好, 等. 水产品非热杀菌技术研究进展 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(11): 394-399.
- [93] 肖叶, 叶精勤, 阎俊, 等. 生物加工技术对水产品主要过敏原的致敏性消减作用研究进展 [J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(6): 274-279.
- [94] XIANG Y, SUNC F, ZHAO Y Q, et al. Label-free proteomic analysis reveals freshness-related proteins in sea bass (*Lateolabrax japonicus*) fillets stored on ice[J]. LWT, 2022, 155: 112885.
- [95] YANG M C, MA L Z, YANG X Q, et al. Photosynthetic protein-based edible quality formation in various *Porphyra dentata* harvests determined by label-free proteomics analysis[J]. Cells, 2022, 11(7): 1136.
- [96] 孙晓红, 刘建军, 蓝蔚青, 等. 气味指纹技术在水产品品质评价中的应用研究进展 [J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(5): 314-320.
- [97] 陈胜军, 王剑河, 李来好, 等. 液熏技术在水产品加工中的应用 [J]. 食品科学, 2007, 28(7): 569-571.
- [98] 尹一鸣, 徐永霞, 张朝敏, 等. 水产品贮藏期间风味劣变机理的研究进展 [J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(14): 269-274.
- [99] 邓建朝, 李少丽, 杨贤庆, 等. 金枪鱼中生物胺的防控技术与检测技术的研究发展 [J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(24): 262-268.
- [100] ZHANG N N, ZHOU Q, FAN D M, et al. Novel roles of hydrocolloids in foods: inhibition of toxic maillard reaction products formation and attenuation of their harmful effects[J]. Trends Food Sci Technol, 2021, 111: 706-715.
- [101] LI R, SUN Z L, ZHAO Y Q, et al. Effect of different thermal processing methods on water-soluble taste substances of tilapia fillets[J]. J Food Compos Anal, 2022, 106: 104298.
- [102] LI R, SUN Z L, ZHAO Y Q, et al. Application of UHPLC-Q-TOF-MS/MS metabolomics approach to investigate the taste and nutrition changes in tilapia fillets treated with different thermal processing methods[J]. Food Chem, 2021, 356(15): 129737.
- [103] WANG Y Q, SHEN Y Y, WU Y Y, et al. Comparison of the microbial community and flavor compounds in fermented mandarin fish (*Siniperca chuatsi*): three typical types of Chinese fermented mandarin fish products[J]. Food Res Int, 2021, 144(2): 110365.
- [104] 吴燕燕, 赵永强, 王悦齐. 鱼类生物法腌制加工技术 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2021: 3.
- [105] 杨皎, 安玥琦, 陈雨欣, 等. 鱼糜制品加热过程中过熟味的特征风味成分解析 [J]. 现代食品科技, 2020, 36(8): 265-280.
- [106] 吴晓丽, 朱玉安, 刘友明, 等. 升温速率对草鱼和鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响 [J]. 华中农业大学学报, 2015, 34(4): 114-119.
- [107] LUO X Y, XIAO S T, RUAN Q F, et al. Differences in flavor characteristics of frozen surimi products reheated by microwave, water boiling, steaming, and frying[J]. Food Chem, 2022, 372(15): 131260.
- [108] 秦玉鸣. 中国冷库市场是否将面临过剩风险? [J]. 物流技术与应用, 2021, 26(11): 60-61.