

组合保鲜方式应用于水产品保鲜的研究进展

Progress on application of combination preservation methods for preservation of aquatic products

李娜^{1,2,3} 谢晶^{1,2,3}

LI Na^{1,2,3} XIE Jing^{1,2,3}

(1. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306; 2. 上海冷链装备性能与
节能评价专业技术服务平台, 上海 201306; 3. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

(1. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing & Preservation, Shanghai 201306, China;
2. Shanghai Cold Chain Equipment Performance and Energy Saving Evaluation Professional Technology Service Platform,
Shanghai 201306, China; 3. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

摘要:水产品蛋白质价值高,富含多不饱和脂肪酸、必需氨基酸等多种营养物质,易受微生物污染而导致腐败变质。文章在分析现代水产品保鲜技术的基础上,综合理化指标、微生物指标等鲜度评价指标,从物理、化学、生物保鲜技术的不同组合角度详细综述了应用于水产品保鲜中的不同组合保鲜方式,总结并提出在未来水产品保鲜技术发展中复合生物保鲜剂与物理、化学保鲜技术的结合将具有广阔的应用前景。

关键词:水产品;复合保鲜;生物保鲜;协同作用

Abstract: Aquatic products are of high protein value, which are rich in polyunsaturated fatty acids, essential amino acids and other nutrients, and the aquatic products are extremely susceptible to microbial contamination. In the paper, based on the analysis of modern aquatic product preservation technology, combined with physical, chemical and microbiological indicators, the different preservation methods of aquatic products were reviewed in detail in the view of combination of physics, chemistry and biological preservation technology. At the same time, preservation technology of aquatic products are also proposed, the keeping fresh method tends to develop the combination of compound biological preservative, physical and chemical preservation technology in the future.

Keywords: aquatic products; compound preservation; biological preservation; synergistic effect

基金项目:农业部海水鱼产业体系(编号:CARS-47);2016年上海市科技兴农重点攻关项目[编号:沪农科攻字(2016)第1-1号];上海市科委平台能力建设项目(编号:16DZ2280300);上海市科委公共服务平台建设项目(编号:17DZ2293400)

作者简介:李娜,女,上海海洋大学在读硕士研究生。

通信作者:谢晶(1968—),女,上海海洋大学教授,博士。

E-mail: jxie@shou.edu.cn

收稿日期:2017-09-28

水产品营养价值高,含有的多不饱和脂肪酸、必需氨基酸、微量元素等营养物质是其他食品所不能媲美的,是解决全球粮食短缺的潜在理想来源^[1]。正因其营养丰富,水产品易在微生物代谢活动和本身酶的共同作用下发生一系列生物化学反应,导致腐败变质。据报道^[2],全球每年因贮藏、运输等因素导致腐败变质的水产品占到30%。因此行业迫切需要研发有效的保鲜方法。

通常,水产品以低温贮藏、气调包装、化学保鲜剂、生物保鲜剂等形式进行保鲜,各种保鲜方法均有其独特优势以及使用局限性。低温贮藏应用最广泛,通过降低温度可以极好地降低蛋白质水解酶等酶活性,长时间保持水产品良好品质;但在水产品流通中,温度波动、解冻过程会引起水产品营养物质流失、组织结构改变^[3]。化学保鲜剂具有强抗氧化、抑菌特性,保鲜效果良好,但其在水产品中的残留可能对人体健康构成威胁。生物保鲜剂凭借其自然、无毒的优势,近年来受到密切关注,特别是复合生物保鲜剂具有广阔的应用前景^[4-5]。同时,复合保鲜技术可充分发挥每种保鲜方法的优势,相较于单一保鲜技术,保鲜效果更佳^{[6]46-53},对不同组合保鲜方式用于水产品保鲜的相关研究也在逐渐深入^[7]。

本文在分析现代水产品保鲜技术的基础上,综合理化指标、微生物指标等鲜度评价指标,从物理、化学、生物保鲜技术不同组合的角度详细综述了应用于水产品保鲜中的复合保鲜工艺,并展望未来水产品保鲜技术的发展趋势。

1 水产品品质评价指标

水产品腐败变质主要表现为由蛋白质变性、油脂氧化和微生物共同作用引起的感官、物化、微生物特性改变。

感官评定通常以评分制的方式进行,也可以通过电子鼻、模型数学综合评价法^[8]、质量指数法^[9]等进行分析。赵

梦醒等^[10]研究发现电子鼻传感器的响应强度随着冷藏鲈鱼贮藏时间的延长而增强,鱼肉气味也改变,表明利用电子鼻可有效表征其新鲜度。胡庆兰等^[8]基于模糊数学法对超高压处理后鲑鱼的色泽、组织、口感和滋味品质综合评价,优选出最佳的超高压处理条件,且与理化指标结果一致,说明模型数学综合评价法在鲑鱼感官评价中具有较好的可行性及准确性。Santos等^[11]利用质量指数法综合评价冰藏石首鱼品质,结果表明石首鱼货架期可达到9 d,质量指数法评价与色差值、菌落数结果一致,可有效预测石首鱼货架期。相较于评分制,通过电子鼻、模糊数学综合评价法、质量指数法在预测水产品货架期方面具有更高的准确度。

理化指标在衡量水产品品质特性方面具有客观性,是构成鲜度评价的重要组成部分。滴水/蒸煮损失率、持水力可表征水产品保水性能,许雯雯^[12]研究发现,相比较于市售磷酸盐和水,复配磷酸盐作为保水剂处理鲈鱼可降低其蒸煮损失,−18℃冻藏1个月仍能保持良好品质。TVB-N值、K值、电导率可表征水产品鲜度状况,黎柳等^[13]将含不同浓度的茶多酚、植酸生物保鲜剂冰处理鲳鱼并贮藏于1℃,发现1%茶多酚组贮藏24 d后TVB-N值才为21.37 mg/100 g, K值为51.48%,植酸组和茶多酚组货架期较自来水冰组分别延长1~3,6~11 d。盐溶性蛋白、巯基、羰基、氨基酸等含量变化及Ca²⁺-ATPase活性可反映水产品的蛋白质变性程度,苏赵等^[14]研究了海藻糖对草鱼鱼糜冻藏品质的影响,结果表明,6%海藻糖处理的草鱼在贮藏12周后盐溶性蛋白含量下降(16.64±4.06)%,总巯基含量为(74.94±0.51) μmol/g, Ca²⁺-ATPase活性为(0.21±0.006 2) μmol P/(mg Pro·min),蛋白羰基含量上升(224.77±9.51)%,可最大程度地抑制蛋白质的变性。另外,pH、TBA、电导率、生物胺种类变化等也是水产品品质评价的常用指标^[15]。

微生物特性可反映水产品被微生物污染程度,通常菌落总数、特定腐败菌、产H₂S细菌数量的测定可用来评价水产品品质状况^[16]。Beaufort等^[17]对8,4,−2℃贮藏环境中冷熏三文鱼中单增李斯特菌数量进行了研究,结果表明,2℃贮藏28 d后单增李斯特菌数已超过了欧洲立法规定的微生物标准,但相比较于8℃和4℃2个贮藏温度,2℃贮藏可明显延长货架期。吴凯强等^[18]制备微纳米紫贻贝壳粉水产保鲜剂并应用于带鱼保鲜,结果表明,微纳米紫贻贝壳粉保鲜组的带鱼贮藏12 d后乳酸菌、假单胞菌、肠杆菌数分别为4.48,4.15,4.48 lg CFU/g,且各菌落数上升速率明显低于空白组和海藻酸钠保鲜剂组,充分说明微纳米紫贻贝壳粉水产保鲜剂对带鱼在贮藏过程中微生物的生长有较好的抑制作用。

另外,利用肌肉组织石蜡切片可进行微观组织结构分析^[19]、利用核磁共振中横向弛豫时间分析水分迁移情况及核磁共振成像^[20]在一定程度上也可以进行水产品品质的评价。

2 两种保鲜技术间的结合

将传统的水产品保鲜技术相结合,依据其各自在抗氧化、抑菌等方面的特性进行优势互补,可以充分发挥每一种

保鲜技术的优势,达到“1+1>2”的保鲜效果。在实际水产品贸易流通中,通过物理、化学、生物保鲜技术之间两两组合的保鲜效果明显优于单一保鲜技术。

2.1 物理与生物保鲜结合

水产品物理保鲜主要包括低温贮藏、气调包装及臭氧、辐照等冷杀菌技术,生物保鲜剂种类繁多,一般是从生物体内提取的具有抗氧化、抑菌等特性的活性物质,其中复合生物保鲜剂表现出明显的保鲜优势。

2.1.1 低温与生物保鲜结合 低温保鲜通过降低温度一方面可使微生物体内代谢酶活力下降和原生质体浓度增加,并且低温中产生的冰晶体会显著抑制微生物的生长繁殖;另一方面,低温可降低水产品中蛋白质分解、脂肪氧化等速率,从而长时间地保持水产品优良品质^[21]。通常,低温保鲜包括冷藏、冰温贮藏、微冻贮藏、冻结保藏,特别是冰温保鲜和微冻保鲜凭借其良好的保鲜效果、营养流失少等优势得到国内外的广泛研究^[22-23]。陈军等^[24]评价了冰温协同壳聚糖对草鱼片的保鲜效果,结果表明,相比较于单一使用冰温贮藏,1.5%的壳聚糖结合冰温贮藏可使草鱼片贮藏期由9 d增加为18 d。李静雪^[25]研究发现将壳聚糖、溶菌酶、V_C复配并贮藏于−1℃环境可使鲤鱼货架期上升为20~24 d。李辉等^[26]研究了复合保鲜剂协同冰温贮藏对牙鲆新鲜度及组织结构的影响,发现与单一冰温贮藏相比,冰温结合保鲜剂可使牙鲆贮藏期提高约10 d。Alparslan等^[27]将添加了橙皮精油的壳聚糖薄膜对深水粉红虾进行涂膜处理并贮藏于−18℃环境中,结果表明,含有橙皮精油的壳聚糖涂膜结合−18℃冻藏可使深水粉红虾货架期比仅在−18℃贮藏的延长了8 d,比用壳聚糖涂膜再结合−18℃贮藏的延长了5 d,这充分证明了低温与生物保鲜剂相结合的保鲜优势,且复合保鲜剂与低温贮藏的协同作用比单一保鲜剂更强。总而言之,在利用生物保鲜剂对水产品预处理的基础上,再贮藏于冰温、微冻、冷冻环境中为未来水产品保鲜的一个发展方向。

2.1.2 气调包装与生物保鲜结合 气调包装是一种通过调节气体组成及浓度比例减缓微生物新陈代谢速率及油脂氧化等生化反应的后处理方式,其保鲜效果直接受到贮藏环境、气体组成成分、包装材料等因素的影响^[28]。研究^[29-30]发现,气调包装与生物保鲜技术的协同作用可有效保持水产品富含的各种营养物质,延缓品质劣变进程。杨胜平等^[31]研究发现1.0%壳聚糖+0.4%茶多酚复配协同60% CO₂+10% O₂+30% N₂气调包装的带鱼贮藏20 d后仍处在二级鲜度之内,其货架期是对照组的5倍。鞠健等^[32]用0.2%的茶多酚溶液涂膜于鲈鱼,再用20% CO₂+80% N₂进行气调包装,并于4℃条件下贮藏,结果发现气调结合茶多酚组的TBA、TVB-N、K值明显低于茶多酚和气调组,茶多酚结合气调包装可以较好地保持鲈鱼在冷藏期间的品质。Nirmal等^[33]分析评估了绿茶提取物、V_C协同气调包装对南美白对虾的保鲜效果,结果显示,绿茶提取物、V_C协同气调包装可显著延缓对虾pH、TVB-N、TBAS值的上升,在抑制微生物繁殖、保持良好感官等方面均优于其他组,有效缓解了虾的腐败变质。

此外,随着国内外对活性包装及智能包装材料研究的不断深入,将具有抑菌、抗氧化、控湿、智能指示灯特性的新型食品包装运用于水产品保鲜中也是行业发展的一个热点^[34],加强新型包装材料结合生物保鲜剂用于水产品保鲜的研究也具有现实指导作用。

2.1.3 臭氧与生物保鲜结合 臭氧主要通过破坏微生物细胞结构而抑制微生物生长繁殖,且其分解产生的新生氧具有强氧化性,也可抑制大多数微生物。臭氧具有广谱抑菌性、可自行分解特性,在水产品保鲜中发挥着越来越重要的作用^[35]。将臭氧水或臭氧冰与生物保鲜剂相结合,不仅具有强抑菌性,且具有安全无毒特性。宣伟^{[6]28-37}利用 1.0 mg/L 的臭氧水处理中国对虾后,并用壳聚糖植酸溶液进行涂膜保鲜,发现经过臭氧杀菌壳聚糖涂膜后,虾的 pH、TVB-N 值增加速率明显降低,红度 a 值降低,货架期延长了 10 d。钟智豪^[36]对先经臭氧杀菌再用茶多酚处理的草鱼片品质变化进行了分析,结果发现,鱼片白度、脂肪酸价和蛋白质羰基含量比仅经杀菌处理组在一定程度上都有降低,蛋白巯基含量增加,自由基含量减小,臭氧与茶多酚协同可进一步提高茶多酚的氧化抑制,有效保持草鱼片良好品质。然而在实际水产品保鲜中,因臭氧具有强氧化性,用于水产品保鲜后会使得有机化合物氧化,这些产物的安全性还有待进一步研究,并且臭氧与生物保鲜剂用于水产品保鲜的协同作用机理也需要进一步深入研究。

2.2 物理与化学保鲜结合

水产品化学保鲜技术研究相对成熟,在实际应用中添加少量即可达到很好的保鲜效果,且具有由单一保鲜剂到复配保鲜剂并与其他保鲜技术相结合的发展趋势。陈东清^[37]发现利用复合磷酸盐溶液对草鱼片进行调理处理可使草鱼片保持较佳的保水性、质构及感官品质,在此基础上,又将草鱼片贮藏于 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$,观察理化特性的变化情况。结果发现,经复合磷酸盐溶液处理的草鱼片在 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏期间 TVB-N、K 值、TBA 值变化速率都低于其他组,说明冰温贮藏、气调包装和调理处理的协同可显著延缓鱼片鲜度下降。刘妙等^[38]将海藻糖、乳酸钠、混合磷酸盐复配后处理鲑鱼并冻藏,发现鲑鱼在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏 60 d 后仍保持新鲜状态,保鲜效果显著。综上所述,水产品保鲜中,物理与化学保鲜结合的一般模式为:先利用化学保鲜剂对水产品进行前期处理,然后采用物理保鲜。这样利用两者的协同效应,可使水产品贮藏期间长时间保持品质稳定,延长货架期。

2.3 化学与生物保鲜结合

生物保鲜剂是在化学保鲜剂的基础上逐渐发展起来的一种天然保鲜技术,可克服化学保鲜剂残留带来的潜在安全威胁,也可根据各自特性针对性地进行组合,使保鲜效果达到最优^[39]。凌萍华^[40]分析比较了不同浓度配比的 4-己基间苯二酚与壳聚糖组合对南美白对虾黑变的抑制效果,结果显示 0.05% 4-己基间苯二酚+1%壳聚糖组合在抑制多酚氧化酶活性及黑变感官评分方面表现最佳,综合 TBC、TVB-N 变化得货架期可达到 8 d,比 4-己基间苯二酚+1%壳聚糖、0.01% 4-己基间苯二酚+1%壳聚糖组货架期延长了 2 d。

研究发现,明胶、柠檬酸等可增强壳聚糖的成膜性,克服单一壳聚糖成膜性不足的优点。Feng 等^[41]将添加了明胶的壳聚糖薄膜对金鲳鱼片进行涂膜处理,发现明胶与壳聚糖具有协同作用,0.4%壳聚糖和 7.2%明胶复合组处理的金鲳鱼 pH 值、TVB-N 值、TVC 变化速率明显减弱,质量损失低,具有较长的肌原纤维,可将金鲳鱼片贮藏期提高为 17 d。从实际出发,化学与生物保鲜剂组合应用于水产品保鲜中并不是很多,在开发更多种类天然生物保鲜剂的基础上,加强其保鲜机理研究,进而有针对性地与化学保鲜剂相结合,从而达到优势互补的目的,这也是以后水产品保鲜的一个发展方向。

3 多种保鲜技术间的组合

相比较两种保鲜技术结合应用于水产品保鲜,物理、化学、生物 3 种保鲜技术的复合应用可以更大程度地提高水产品保鲜效果。王庆丽等^[42]评价了生物保鲜剂壳聚糖(植酸溶解)和壳聚糖+Nisin+大蒜素结合气调包装(25% N_2 +75% CO_2)在 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏环境中对模拟蟹肉品质变化的影响,在贮藏过程中发现复合生物保鲜剂和气调包装结合能显著增加 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 模拟蟹肉的持水力和硬度,延缓感官品质的下降,可使货架期延长 50 d 以上。这也充分说明了复合生物保鲜剂、气调、低温的组合可很大程度上提高蟹肉的保鲜效果。朱迎春等^[43]将鲢鱼片先用 3 种天然保鲜液以及无菌蒸馏水(对照组)处理后,然后以 $\text{CO}_2:\text{N}_2=6:4$ 浓度比例进行气调包装并贮藏于 $-0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,观察其品质变化及蛋白氧化程度,结果表明,3 种天然保鲜液结合气调、冰温贮藏均不同程度延缓了鲢鱼肉肌原纤维蛋白的氧化,抑制了羰基含量的增加和总巯基含量的减少,肌原纤维蛋白发生交联聚合和小片化的程度降低,有效抑制了微生物生长、蛋白降解、脂肪和蛋白氧化,相比较无菌蒸馏水处理组 20 d 的货架期,天然保鲜液、气调、冰温保鲜协同应用于鲢鱼保鲜可延长 10~20 d。综上所述,物理、化学、生物 3 种保鲜技术具有极强协同增效作用,保鲜效果优良,在未来水产品保鲜中具有广阔的发展前景。

4 总结与展望

随着国民消费水平的提升,营养物质丰富的水产品在中国居民饮食结构中发挥着越来越重要的作用,相应地,消费者对水产品品质的要求更为严格,对其新鲜度更为关注。相较于单一保鲜方式,组合保鲜方式可明显延长水产品的货架期,2 种或 2 种以上保鲜技术的协同增效作用可最大化地保持水产品感官特性、理化特性及控制微生物的繁殖。此外,复合生物保鲜剂可将每一种保鲜剂具有的特性最大化,而针对性地弥补单一保鲜剂自身存在的缺陷,达到“1+1>2”的保鲜效果,其与物理、化学保鲜方法结合应用于延长水产品贮藏期具有潜在的应用价值。今后化学保鲜剂因潜在的安全问题必然会导致其在水产品保鲜中的应用不断减少,取而代之的是一些天然提取物、酶类等生物保鲜剂,如中草药成分、香辛料、茶叶等,这些物质既具有良好保鲜效果,又在一定程度上增加了水产品营养价值。但国内外对生物保鲜剂的研究起步晚,生物保鲜剂保鲜机理及其与其他保鲜技

术的协同增效机理需要进一步深入研究,同时添加生物保鲜剂可能引起的风味、滋味等的改变也有待解决。今后一方面可加强超高压灭菌、辐照杀菌等冷杀菌方式与化学、生物保鲜剂的协同增效作用研究,另一方面可加强对活性包装及智能包装的开发研究,综合优化水产品前处理、保鲜方式、贮藏环境、包装材料等工艺,以最大化地延缓水产品品质劣变进程。

参考文献

- [1] ALSAGGAF M S, MOUSSA S H, TAYEL A A. Application of fungal chitosan incorporated with pomegranate peel extract as edible coating for microbiological, chemical and sensorial quality enhancement of Nile tilapia fillets[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 99: 499-505.
- [2] GHALY A E, DAVE D, BUDGE S, et al. Fish spoilage mechanisms and preservation techniques: review[J]. *American Journal of Applied Sciences*, 2010, 7(7): 859-877.
- [3] 刘淑集, 吴成业, 刘智禹. 水产品生物保鲜技术的应用及展望[J]. *天津农业科学*, 2012, 18(5): 46-50.
- [4] 吕卫金. 溶菌酶结合 Nisin 处理对冷藏大黄鱼保鲜效果的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2013: 11-14.
- [5] EZQUERRABRAUER J M. Effect of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) skin extract on the microbial activity in chilled mackerel (*Scomber scombrus*)[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 72: 134-140.
- [6] 宣伟. 臭氧杀菌结合壳聚糖涂膜对中国对虾保鲜的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011.
- [7] HE Mu, GUO Quan-you, SONG Wei, et al. Inhibitory effects of chitosan combined with nisin on *Shewanella*, spp. isolated from *Pseudosciaena crocea* [J]. *Food Control*, 2017, 79: 349-355.
- [8] 胡庆兰, 余海霞, 杨水兵, 等. 基于模糊数学法评价超高压处理后鲑鱼的品质[J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2013(2): 133-140.
- [9] 李学鹏, 陈杨, 王金相, 等. 冷藏大菱鲆质量指数法的建立及其货架期[J]. *食品科学*, 2016, 37(14): 219-224.
- [10] 赵梦醒, 丁晓敏, 曹荣, 等. 基于电子鼻技术的鲑鱼新鲜度评价[J]. *食品科学*, 2013, 34(6): 143-147.
- [11] SANTOS A P B D, KUSHIDA M M, VIEGAS E M M, et al. Development of Quality Index Method (QIM) scheme for *Acoupa weakfish* (*Cynoscion acoupa*)[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 57(1): 267-275.
- [12] 许雯雯. 多聚磷酸盐对养殖鲑鱼品质影响的初步研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011: 20-22.
- [13] 黎柳, 谢晶, 苏辉, 等. 含茶多酚、植酸生物保鲜剂冰对鲱鱼保鲜效果的研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(1): 338-343.
- [14] 苏赵, 胡强, 李树红, 等. 海藻糖对草鱼鱼糜冻藏品质的影响[J]. *食品与机械*, 2017, 33(7): 139-144.
- [15] 王秀, 李宗权, 刘永乐, 等. 冷藏期间草鱼和鲢鱼鱼片特征生物胺变化差异[J]. *食品与机械*, 2017, 33(3): 103-109.
- [16] 李刚. 益生菌芽孢乳酸菌对养殖大黄鱼贮藏过程中品质的影响研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2013: 12-19.
- [17] BEAUFORT A, CARDINAL M, LE-BAIL A, et al. The effects of superchilled storage at $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ on the microbiological and organoleptic properties of cold-smoked salmon before retail display[J]. *International Journal of Refrigeration*, 2009, 32(7): 1 850-1 857.
- [18] 吴凯强. 基于微纳米紫贻贝壳粉水产保鲜剂的制备及其对带鱼保鲜效果的研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2016: 34-46.
- [19] 鲁珺, 余海霞, 杨水兵, 等. 液氮速冻对银鲱鱼品质及微观结构的影响[J]. *现代食品科技*, 2015(4): 210-216.
- [20] SÁNCHEZALONSO I, MORENO P, CARECHE M. Low field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) relaxometry in hake (*Merluccius merluccius*, L.) muscle after different freezing and storage conditions[J]. *Food Chemistry*, 2014, 153(12): 250-256.
- [21] 陈卫明, 赵奔双, 钟机, 等. 水产品物理保鲜技术与应用[J]. *科学养鱼*, 2016(3): 76-79.
- [22] WU Chun-hua, YUAN Chun-hong, YE Xing-qian, et al. A critical review on superchilling preservation technology in aquatic product[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13(12): 2 788-2 806.
- [23] 雷志方, 谢晶. 水产品冰温保鲜技术研究现状[J]. *广东农业科学*, 2014, 41(19): 112-117.
- [24] 陈军, 朱红波, 赵立. 冰温结合壳聚糖涂膜对草鱼片品质的影响[J]. *食品工业*, 2014(4): 23-27.
- [25] 李静雪. 天然保鲜剂对冰温鲤鱼鱼肉保鲜效果的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014: 30-37.
- [26] 李辉, 高昕, 刘莲凤, 等. 冰温结合保鲜剂贮藏对牙鲆鲜度和质构的影响[J]. *渔业现代化*, 2011, 38(2): 60-64.
- [27] ALPARSLAN Y, BAYGAR T. Effect of chitosan film coating combined with orange peel essential oil on the shelf life of deep-water pink shrimp[J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2017, 10(5): 842-853.
- [28] ARVANITOYANNIS I S, VASILIKI K, BOULETIS A D, et al. Study of changes in physicochemical and microbiological characteristics of shrimps (*Melicerterus kerathurus*) stored under modified atmosphere packaging[J]. *Anaerobe*, 2011, 17(6): 292-294.
- [29] 孙丽霞. 气调包装结合生物保鲜剂对冷藏大黄鱼品质及菌相的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2014: 22-32.
- [30] 张群利, 崔琳琳, 陈春晟, 等. 生物保鲜剂结合气调包装对冷藏蟹棒保鲜品质的影响[J]. *中国水产*, 2012(12): 73-75.
- [31] 杨胜平. 带鱼生物保鲜剂及气调包装保鲜技术的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2010: 19-23.
- [32] 鞠健, 乔宇, 汪兰, 等. 茶多酚结合气调包装对冷藏鲑鱼品质的研究[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(22): 173-178.
- [33] NIRMAL N P, BENJAKUL S. Retardation of quality changes of Pacific white shrimp by green tea extract treatment and modified atmosphere packaging during refrigerated storage[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2011, 149(3): 247-253.
- [34] REALINI C E, MARCOS B. Active and intelligent packaging systems for a modern society[J]. *Meat Science*, 2014, 98(3): 404-419.

- Analytical Methods, 2014, 7(9): 1 755-1 762.
- [23] GAO Ya-li, GU Yan-xiang, WEI Yun. Determination of polymer additives-Antioxidants and ultraviolet (UV) absorbers by high-performance liquid chromatography coupled with UV photodiode array detection in food simulants[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2011, 59(24): 12 982-12 989.
- [24] CHOI S S, JANG J H. Analysis of UV absorbers and stabilizers in polypropylene by liquid chromatography/atmospheric pressure chemical ionization-mass spectrometry[J]. Polymer Testing, 2011, 30(6): 673-677.
- [25] CHANG Lin, BI Peng-yu, LIU Ya-nan, et al. Simultaneous analysis of trace polymer additives in plastic beverage packaging by solvent sublation followed by high-performance liquid chromatography[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2013, 61(29): 7 165-7 171.
- [26] YAMANO T, SHIMIZU M, NODA T. Relative elicitation potencies of seven chemical allergens in the guinea pig maximization test[J]. Journal of Health Science, 2001, 47(2): 123-128.
- [27] OKEREKE C S, ABDEL-RAHMAN M S, FRIEDMAN M A. Disposition of benzophenone-3 after dermal administration in male rats[J]. Toxicological Letters, 1994, 73(2): 113-122.
- [28] KIM J, CHANG K, ISOBE T, et al. Acute toxicity of benzotriazole ultraviolet stabilizers on freshwater crustacean (*Daphnia pulex*) [J]. Journal of Toxicological Science, 2011, 36(2): 247-251.
- [29] SCHLUMPF M, COTTON B, CONSCIENCE M, et al. In vitro and vivo estrogenicity of UV screens[J]. Environmental Health Perspectives, 2001, 109(3): 329-244.
- [30] NAKAGAWA Y, SUZUKI T. Metabolism of 2-hydroxy-4-methoxybenzophenone in isolated rat hepatocytes and xenoestrogenic effects of its metabolites on MCF-7 human breast cancer cells[J]. Chemico-Biological Interactions, 2002, 139(2): 115-118.
- [31] SUZUKI T, KITAMURA S, KHOTA R, et al. Estrogenic and antiandrogenic activities of 17 benzophenone derivatives used as UV stabilizers and sunscreens[J]. Toxicology and Applied Pharmacology, 2005, 203(1): 9-17.
- [32] JEON H, SARMA S N, KIM Y, et al. Toxicokinetics and metabolism of benzophenone-type UV filters in rats[J]. Toxicology, 2008(2/3): 89-95.
- [33] KASICHAYANULA S, HOUSE J D, WANG Tao, et al. Simultaneous analysis of insect repellent DEET, sunscreen oxybenzone and five relevant metabolites by reversed-phase HPLC with UV detection: Application to an in vivo study in piglet model[J]. Journal of Chromatography B, 2005, 822(1/2): 271-277.
- [34] HIRATA-KOIZUMI M, MATSUYAMA T, IMAI T, et al. Gender-related difference in the toxicity of ultraviolet absorber 2-(3, 5-ditert-butyl-2-hydroxyphenyl)-5-chlorobenzotrazole in rats[J]. Drug and Chemical Toxicology, 2008, 31(3): 383-398.
- [35] WATANABE Y, KOJIMA H, TAKEUCHI S, et al. Metabolism of UV-filter benzophenone-3 by rat and human liver microsomes and its effect on endocrine-disrupting activity[J]. Toxicology and Applied Pharmacology, 2015, 282(2): 119-128.
- [36] RANI M, SHIM W J, HAN G M, et al. Benzotriazole-type ultraviolet stabilizers and antioxidants in plastic marine debris and their new products [J]. Science of the Total Environment, 2017, 579: 745-754.
- [37] CHUNG W H, TZING S H, DING W H. Optimization of dispersive micro solid-phase extraction for the rapid determination of benzophenone-type ultraviolet absorbers in aqueous samples [J]. Journal of Chromatography A, 2015, 1 411(1): 17-22.
- [38] ZHANG Zi-feng, REN Nan-qi, LI Yi-fen, et al. Determination of benzotriazole and benzophenone UV filters in sediment and sewage sludge [J]. Environmental Science and Technology, 2011, 45(9): 3 909-3 916.
- [39] WICK A, JACOBS B, KUNKEL U, et al. Benzotriazole UV stabilizers in sediments, suspended particulate matter and fish of German rivers; New insights into occurrence, time trends and persistency [J]. Environmental Pollution, 2016, 212: 401-412.
- [40] LU Zhe, DE SILVA A O, PEART T E, et al. Distribution, partitioning and bioaccumulation of substituted diphenylamine antioxidants and benzotriazole UV stabilizers in an urban creek in Canada[J]. Environmental Science and Technology, 2016, 50(17): 9 089-9 097.

(上接第 207 页)

- [35] OKPALA C O R. Changes in some proximate, colour and textural characteristics of ozone-processed shrimp; Combined effects of increasing ozone discharge and iced storage[J]. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 2017, 16(2): 625-638.
- [36] 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: 17-27.
- [37] 陈东清. 草鱼片调理处理及其贮藏过程中的品质变化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015: 22-33.
- [38] 刘妙, 杨宪时, 李学英, 等. 复配保鲜剂对冻藏鲑鱼品质变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(11): 192-197.
- [39] 苏辉, 谢晶. 生物保鲜剂在水产品保鲜中的应用研究进展[J]. 食品与机械, 2013, 34(5): 60-64.
- [40] 凌萍华. 冰温、气调包装和保鲜剂在南美白对虾保鲜上的应用[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011: 48-54.
- [41] FENG Xiao, BANSAL N, YANG Hong-shun. Fish gelatin combined with chitosan coating inhibits myofibril degradation of golden pomfret (*Trachinotus blochii*) fillet during cold storage [J]. Food Chemistry, 2016, 200: 283-292.
- [42] 王庆丽, 项方守, 励建荣, 等. 壳聚糖复合生物保鲜剂结合气调包装对冷藏模拟蟹肉品质的影响[C]// 中国食品科学技术学会东西方食品业高层论坛. 上海: [出版者不详], 2011: 185-188.
- [43] 朱迎春, 马丽珍, 党晓燕, 等. 不同天然保鲜液对气调包装冰温贮藏鲑鱼片品质的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(1): 292-300.