

研究进展

生物保鲜技术在海产品中的应用及展望

王硕^{1,2}, 谢晶^{1,2}, 刘爱芳^{1,2}

(1.上海海洋大学, 上海 201306; 2.上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要: **目的** 总结生物保鲜技术在海产品中的研究现状和未来的发展方向, 为海产品保鲜研究的应用提供相关参考。**方法** 首先分类概述生物保鲜剂, 然后分别介绍茶多酚、乳酸链球菌素、壳聚糖、溶菌酶等不同来源的生物保鲜剂及复合生物保鲜剂在海产品及其制品保鲜中的应用现状及进展, 以及生物保鲜剂与冰温保鲜、气调保鲜等其他保鲜手段结合的协同保鲜效果。指出目前国内海产品保鲜上存在的一些问题及今后的发展方向。**结果** 生物保鲜技术通过应用天然物质固有的抗菌化合物来延长保鲜期。生物保鲜剂的研究成果推动了海产品市场的发展, 提高了海产品的经济价值。**结论** 生物保鲜剂, 尤其是复合保鲜剂结合其他保鲜方法能有效地保障海产品品质, 延长货架期。

关键词: 海产品; 生物保鲜剂; 研究现状

中图分类号: TS205 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)01-0137-06

Application of Bio-preservation Technology in Marine Products and the Prospects

WANG Shuo^{1,2}, XIE Jing^{1,2}, LIU Ai-fang^{1,2}

(1.Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2.Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product and Preservation, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: The work aims to summarize the research status and future development direction of bio-preservation technology on seafood, and provide references for the application of seafood preservation research. Classification of bio-preservative was introduced first. Then the status and progress of the bio-preservatives from tea polyphenols, nisin, chitosan, lysozyme and other bio-preservatives, and the composite bio-preservatives applied in seafood and marine products were respectively introduced. In addition, the synergetic preservation effects generated in combination with bio-preservative, ice-temperature fresh-keeping, controlled atmosphere fresh-keeping and other preservation means were also introduced. Some problems existing in the preservation of current domestic marine products and the future development direction were pointed out. Bio-preservation technology was used to extend shelf life through the inherent antibacterial compounds of natural substances. The research achievements of bio-preservative promoted the development of the seafood market and improved the economic value of marine products. In conclusion, bio-preservatives, especially the compound preservatives, combined with other preservation techniques can effectively improve the seafood quality and extend the shelf life.

KEY WORDS: seafood; bio-preservative; research status

近年来全球海鲜市场活跃, 产销量呈现增长趋势。2007年全球海鲜产量为1.007亿t, 2014年增长至1.098亿t, 消费量从2007年的9260万t增长至2014年的1.014亿t^[1]。随着海产品产销量的增长,

其贮运过程中的保鲜技术对其经济价值及食用价值的影响逐渐增大, 而海产品品质下降的一个主要原因是内源性蛋白水解酶和细菌的频繁活动, 因此找到有效的方法抑制其腐败并延长货架期是十分有意义的^[2]。

收稿日期: 2016-05-24

基金项目: 2014年度国家星火计划(2014GA680003); 2016年上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科攻字(2016)第1-1号); 上海市科委平台能力提升项目(16DZ2280300)

作者简介: 王硕(1994—), 男, 上海海洋大学硕士生, 主攻海产品加工及贮藏。

通讯作者: 谢晶(1968—), 女, 博士, 上海海洋大学教授, 主要研究方向为食品保鲜。

化学保鲜方法是最传统的保鲜方法之一,它利用化学试剂作为防腐剂。虽然化学保鲜能够控制酶的活性并在一定程度上抑制微生物繁殖,但是它可能会在食品中引入一些未知的化学污染物^[3]。随着化学保鲜引发的安全问题越来越严重,生物保鲜技术逐渐引起人们的关注^[4]。生物保鲜剂是指从动植物和微生物中提取或利用生物工程技术改造而获得的对人体安全具有保鲜作用的天然物质^[5]。生物保鲜技术因其具有天然、安全和方便等优点,逐渐成为海产品保鲜技术的研究重点。文中首先分类概述生物保鲜剂,然后详细阐述其在海产品中的应用及展望。

1 生物保鲜剂的分类

根据来源和性质的不同,生物保鲜剂可分为植物源性、动物源性、微生物源性和酶类生物保鲜剂以及复合生物保鲜剂。植物源性生物保鲜剂大部分是次级代谢物,其本质是酚类及其取代氧的衍生物,这些次级代谢物具有抑制致病菌和腐败菌等多种益处^[6]。壳聚糖及蜂胶是主要的动物源性保鲜剂,壳聚糖通过成膜作用起到抑菌、杀菌的效果,而蜂胶则因其含有多酚、萜类等抗菌物质从而保鲜食品。微生物的生长代谢能够产生有机酸、细菌素、抗生素等多种抗菌活性化合物,其中细菌素被证明可抑制其他菌种生长繁殖^[7]。海产品中常用的微生物保鲜剂主要有乳酸链球菌素(Nisin)、双歧杆菌及乳酸菌等。酶类保鲜剂溶菌酶凭借其自身的溶菌性而广泛应用于肉、鱼、牛奶、水果和蔬菜等的保鲜^[8]。

2 生物保鲜剂国内外研究现状

2.1 植物源性生物保鲜剂

植物源性生物保鲜剂种类繁多,来源广泛,其中茶多酚有良好的抑菌效果。茶多酚(Tea Polyphenols)是由茶叶为主要成分组成的化学混合物,包括儿茶素、倍儿茶素、表没食子儿茶素和表儿茶素等,这些多酚类物质具有强抗氧化和抑菌作用,可减少微生物对海产品造成的破坏。

张旭光等^[8]研究茶多酚浸泡处理对养殖大黄鱼的品质变化影响,实验结果显示,在4℃冷藏条件下,经茶多酚处理的养殖大黄鱼感官变化延缓7d,可延长货架期7~8d,表明茶多酚在冷藏条件下能有效地发挥抑菌和抗氧化作用。Fan等^[9]发现在-3℃的碎冰中,白鲢鱼喷淋质量分数为0.2%的茶多酚能有效抑制鱼肉内源酶的活性以及腐败菌的生长、繁殖,明显降低鱼肉的pH值和挥发性盐基氮(TVB-N),比对照组的货架期延长了7d。作为一种植物源性生物保鲜剂,茶多酚以其安全无毒的特性在海产品保鲜中具有

较高的实际应用价值。

植物源性生物保鲜剂在海产品保鲜的众多研究中均显示出较好的保鲜作用^[10-11],且由于其在防腐和抗氧化方面有很大的优势,因而受到消费者的欢迎。

2.2 动物源性生物保鲜剂

动物源性生物保鲜剂品种较多,目前研究较多的有壳聚糖和蜂胶等。各种动物源性保鲜剂因其化学成分不同,保鲜机理也各有差异,但基本上都是通过抑菌、抗氧化和成膜性这3个方面起到防腐作用的。

2.2.1 壳聚糖

壳聚糖(Chitosan)是由甲壳素脱乙酰作用得到的一种多糖。作为一种具有半透性膜的天然多糖,壳聚糖有许多独特的功能,如减弱呼吸速率、控制水分损失以及抑制微生物等^[12-13]。壳聚糖通过清除机体自由基等作用隔离食品与空气的接触,抑制好氧性细菌生长的同时达到抗氧化效果^[14]。与其他聚合物相比,壳聚糖因其生物相容性、生物降解性和无毒安全等特性,备受众多研究者关注,一些研究也已经证明壳聚糖在食品保鲜领域具有较高的应用价值^[15]。Mohan等^[16]评估了壳聚糖涂层对冷藏印度小沙丁鱼的保鲜作用,结果发现:质量分数为1%的壳聚糖涂层实验组在对照组感官终点时,TVB-N和三甲胺氮(TMA-N)的质量分数分别减少了14.9%和26.1%,和对照组相比,壳聚糖涂膜处理组的持水能力、滴水损失和质地特征都有所改善,相对延长货架期3~5d。李仁伟等^[17]在-18℃冻藏条件下研究壳聚糖保鲜液对金枪鱼的保鲜作用,发现在相同的贮藏期内,经壳聚糖保鲜液处理后,可使金枪鱼鱼肉的TVB-N值、pH值和高铁肌红蛋白(MetMb)含量维持在相对较低的水平,其中15g/L壳聚糖保鲜液浸渍处理后的金枪鱼肉保鲜效果最好。壳聚糖可较长时间地保持海产品的品质,且所需剂量小,因此在海产品的防腐和延长货架期方面发挥重要作用。然而壳聚糖自身的透水汽能力限制了其作为独立包装材料的应用,提升壳聚糖的保鲜效果将成为进一步研究的主题。

2.2.2 蜂胶

蜂胶(Propolis)是各种植物和树的胶状物质经蜜蜂采集加工产生的一种天然、安全的胶状固体物质^[18]。蜂胶含有许多具有抑菌和抗氧化功能的化学物质,包括多酚、萜类、甾类和氨基酸等,因此常用作食物的保鲜剂^[19-20]。Duman等^[21]研究在2℃贮藏温度下不同浓度的蜂胶水提取物对真空包装的涩谷鱼的保鲜效果,其中蜂胶水提取物体积分数分别为0.1%,0.3%,0.5%,以及将未添加蜂胶水提取物的作为对照组,经过24d的冷藏贮藏后,试验结果表明蜂胶水

提取物能较好地保鲜涩谷鱼。目前蜂胶多用于水果蔬菜的保鲜^[22-23]，国内外使用蜂胶对海产品保鲜的研究还很少。作为一种天然安全的保鲜剂，蜂胶在食品保鲜方面具有广阔的应用前景。

2.3 微生物源性生物保鲜剂

在衡量海产品的可食性时，新鲜度是一个重要的标准。衡量海产品新鲜度的常规方法是通过一些指标，包括颜色、光泽、气味和质地等。新鲜度也可以通过化学和微生物分析判断^[24]。对微生物源性生物保鲜剂的研究逐渐成为重点，目前应用最多的是乳酸链球菌素、双歧杆菌和乳酸菌等。

2.3.1 乳酸链球菌素

乳酸链球菌素是从链球菌属的乳酸链球菌发酵产物中提取制备的一种多肽化合物，是唯一一种天然抗菌肽作为食品防腐剂且被美国食品药品监督管理局和世界卫生组织批准使用的。它可通过与细胞膜上磷脂的交互作用，破坏细胞膜功能，抑制细胞萌发的膨胀过程和革兰氏阳性菌的活性，因此 Nisin 经常被用来抑制香肠、牛肉和家禽等的微生物增长^[25]。祝银等^[26]研究了不同浓度 Nisin 保鲜液对金枪鱼的保鲜效果。金枪鱼用 Nisin 保鲜液浸渍处理后，在-18℃下冻藏，TVB-N 值的上升得到有效抑制，保鲜液浸渍处理 30 d 仍能保持一级鲜度，即使贮藏 150 d 仍保持二级鲜度，而金枪鱼在感官上并没有受到影响。大量的研究表明，Nisin 对革兰氏阳性菌具有很好的抑制作用，而对革兰氏阴性菌的抑制效果比较弱^[27]。最近有研究者发现，Nisin 与其他抗菌物质如 ϵ -多聚赖氨酸或乙二胺四乙酸(EDTA)联用可以抑制革兰氏阴性菌，提升保鲜效果，因此在这方面的研究还有很大的空间^[28-29]。

2.3.2 乳酸菌

乳酸菌(LAB)能产生各种具有抗致病菌特性的初级和次级代谢物，包括有机酸、双乙酸、CO₂和细菌素等，通过调节贮藏环境的气体组成及相对湿度，营造对腐败菌生长不利的环境，有效地对海产品进行保鲜^[30]；乳酸菌产生的抗菌多肽易被蛋白酶消化分解，它们不会造成肠道紊乱，因此 LAB 具有安全性、稳定性、兼容性和抗菌的高效性及广谱性，可广泛应用于海产品保鲜。唐文静^[31]等以冷藏海鲈鱼块为研究对象，筛选出具有显著抑制优势的腐败菌的一组乳酸菌，通过接种处理后在 4℃下贮藏，结果发现复合乳酸菌能使冷藏海鲈鱼 TVB-N 值的升高延缓 2 d，延缓 6 d 发生感官变化。复合乳酸菌可显著抑制优势腐败菌的生长，能较好地保持冷藏海鲈鱼的鲜度，有效地延长货架期。作为一种新型微生物源生物保鲜剂，乳酸菌的安全、无残留等优势逐渐展现，已成为研究和

应用的热点。然而乳酸菌保鲜技术对海产品的制造加工和运输渠道的要求较高，这对于市场推广来说是急需攻克的障碍^[30]。

2.4 酶类生物保鲜剂

酶类生物保鲜剂以其低成本、保鲜效果好而受到人们的喜爱，其中以溶菌酶为代表，但酶类本身的不稳定性还需进一步研究解决。

溶菌酶(Lysozyme)是一种具有抗菌活性的天然蛋白质，能水解存在于细胞壁上的肽聚糖，破坏细胞壁中肽聚糖内 N-乙酰胞壁酸和 N-乙酰氨基葡萄糖胺之间的 β -1,4 糖苷键^[32]，从而在细胞内压的作用下使细胞壁破裂，细菌裂解，延长货架期。由于溶菌酶本身无毒副作用，FDA 批准溶菌酶为公认安全的食品成分 GRAS^[33]。Shi 等^[34]研究不同浓度的溶菌酶对鲷鱼贮藏过程中品质变化的影响，结果表明，经溶菌酶处理的实验组通过抑制革兰氏阳性菌的增长，显著降低 TVB-N，TMA 和 K 值等的含量($P<0.05$)，相对延长货架期 1~2 d。虽然溶菌酶专一性好，针对特定的微生物发挥抑菌效果，但海产品一般在低温下储藏，低温会限制溶菌酶的使用效果，且其对阴性菌的抑制能力差，限制了其市场应用^[35]。研究发现某些物质，比如 EDTA 和天然抗菌剂可以增加溶菌酶的抗菌谱，可增加溶菌酶的抗菌效果^[36]。

2.5 复合生物保鲜剂

单独使用一种保鲜剂常会因自身特性而受限，有时无法达到预期效果，因此产生了复合生物保鲜剂。它是将不同功能的生物保鲜剂按照一定的比例混合，使多种保鲜剂形成协同效应，提升海产品的抗菌和抗氧化特性，从而表现出更好的保鲜效果。复合型保鲜剂因其更高效、经济而受到研究者和企业的青睐。

2.5.1 壳聚糖及其复合生物保鲜剂

一些研究人员尝试把壳聚糖作为海产品的保鲜材料，但是壳聚糖本身水溶性和成膜性不足的特性增加了该研究继续进行的难度^[37]。有研究发现，明胶和脂类物质可以增强壳聚糖的成膜性，而且柠檬酸、甘草提取物等天然抗菌剂与壳聚糖混合使用能显著提高海产品的抗菌能力^[38]。Xiao 等^[39]在 4℃下将明胶添加到壳聚糖膜中对金鲷鱼片进行涂膜处理，与单独使用壳聚糖的对照组相比，复合保鲜剂不仅能有效减缓金鲷鱼各鲜度指标(pH 值，TVB-N 值，TVC 等)的上升，而且表现出较低的质量损失和较长的肌原纤维，其中壳聚糖和明胶的质量分数为 0.4%和 7.2%时，复合保鲜的效果最好，能够延长金鲷鱼片的货架期到 17 d。说明壳聚糖复合保鲜剂的确有着明显的保鲜效果。

2.5.2 溶菌酶及其复合生物保鲜剂

溶菌酶对细菌细胞壁的特异性及其 GRAS 性质

使其纳入食品保鲜剂。虽然溶菌酶能很好地抑制革兰氏阳性菌的活性,但其对阴性菌的抑制效果较差,限制了其在食品保鲜中的应用^[34]。为了弥补溶菌酶自身的缺点,扩大溶菌酶的抗菌谱,研究者们进行了大量尝试。张璟晶等^[40]将 Nisin、溶菌酶和壳聚糖混合,通过正交试验结果显示最佳复合保鲜剂的配比是溶菌酶、壳聚糖和 Nisin 的质量浓度为 0.4, 5 和 0.4 g/L, 实验结果表明,在最佳配比的复合保鲜剂中浸泡 30 s 的银鲳鱼,在冷藏保鲜中感官劣变相对对照组较延缓,其 TVB-N 值, TVC 值, TBA 值均低于对照组,溶菌酶复合保鲜剂能相对延长银鲳鱼 2~3 d 的一级鲜度、6~7 d 的二级鲜度。刘金昉等^[41]选取纳米 TiO₂/壳聚糖、溶菌酶和蜂胶这 3 种保鲜剂,采用正交试验确定最优复合配比是质量分数为 0.05% 的纳米 TiO₂/壳聚糖、质量分数为 0.065% 的溶菌酶、质量分数为 0.7% 的蜂胶,使用复合配比的保鲜剂浸泡处理 10 min,使对虾的感官劣变延长 4 d,能有效减缓南美白对虾各鲜度指标(pH 值、TVB-N 值、TVC 值)的上升,延长南美白对虾货架期至 8~9 d。

2.6 生物保鲜剂与其他技术结合

2.6.1 生物保鲜剂结合冰温保藏

在各种冷冻冷藏保鲜中,冰温保鲜是一种通过部分冰结晶来保障食品品质的技术^[42],是保持食品品质最有效的方法之一。冰温过程中的温度降低到不超过食品的初始冰点以下 1~2 °C,处于冷藏和冻结的分界线。在冰温保藏的温度区间内,大多数微生物活性被抑制而无法生长,从而可有效保持食品鲜度。冰温保藏食品的保质期远远低于冻结食物的货架期,无法满足市场的需求^[43];大多生物保鲜剂可与冰温保鲜技术形成协同保鲜效果,因而生物保鲜剂结合冰温保藏逐渐成为海产品保鲜的研究热点。吴雪丽^[44]等通过冰温技术结合复合保鲜剂研究扇贝的货架期,研究发现,经过质量分数为 0.2% 的茶多酚,0.3% 的蜂胶溶液,1.5% 的羧甲基壳聚糖制成的复合保鲜剂处理后,贮藏在(-1.2±0.1)°C 下的扇贝肉,菌落总数、pH 值、TVB-N 和 TBA 的上升得到延缓,与单一的冰藏保鲜和生物保鲜剂结合冷藏处理的样品相比,冰温结合生物保鲜剂能延长扇贝的货架期至 13 d。通过冰温结合生物保鲜剂的使用有效地延长了海产品的货架期,且其安全、经济的特点决定了该技术具有广阔的应用前景。

2.6.2 生物保鲜剂结合气调包装

气调包装(MAP)一般被用作海产品保鲜的应激因素,国内外有很多 MAP 联合冷藏保鲜海产品的研究,均有效地延长了海产品的货架期^[45]。复合保鲜剂能有效地抑制海产品中腐败菌的生长繁殖,因此研究复合保鲜剂结合 MAP 对冷藏海产品的保鲜效果引起

了人们的关注。Nirmal 等^[46]研究气调包装结合绿茶提取物(1 g/L)和抗坏血酸(0.05 g/L)对南美白对虾品质变化的影响,相比单独使用气调包装,南美白对虾经气调包装结合绿茶提取物和抗坏血酸处理后的微生物增长、品质变化以及结肠黑变病发生的概率大大降低,最大程度地保持食品品质。将生物保鲜剂结合气调包装技术应用于海产品冷藏保鲜不仅保鲜效果显著,而且成本低廉,可操作性强,具有实际应用价值。

3 结语

随着我国海产品消费市场的扩大、生活水平的提高和健康意识的增强,人们对海产品的安全日益重视。目前最广泛应用于海产品保鲜的是物理方法——低温保鲜技术,但单一低温保鲜技术存在保鲜期短、能耗高等问题,无法满足市场需要。生物保鲜技术以其天然、无毒、安全的特点备受人们喜爱,对海产品的生物保鲜研究更趋向于专业化、多样化和高效化。复合使用生物保鲜剂可不同程度地扩大抑菌谱和保鲜功效,将其经济价值提升到最大。另外,在复合生物保鲜剂的基础上,还可以结合传统的保鲜技术,如冰温保鲜和气调保鲜等,可更大程度地提高海产品保鲜效果。

虽然生物保鲜技术较传统的物理和化学保鲜方法有其自身独特的优势,但由于国内外的研究普遍较晚,双歧杆菌等生物保鲜剂的研究还处于起步阶段,在食品上使用生物保鲜剂产生的不良风味和香气等副作用限制了生物保鲜技术的市场应用;我国海产品保鲜标准适用性差,水平较国外偏低,覆盖面较窄,缺乏基础性研究^[47];虽然我国在海产品冷藏链的设备上取得了很大进步,但冷藏链水平仍然低于发达国家^[48]。需要进一步研究生物保鲜剂,使它达到不过度影响感官特性且可安全使用的最佳水平;海产品保鲜标准应与海产品的生产销售紧密结合,因此需完善海产品保鲜技术标准体系,借鉴国际上最新的相关规范和研究进展,加强对保鲜机理的研究,为推进海产品发展提供有力的技术支撑和保障;加快海产品冷藏链的设施建设,实现规范管理。超高压、流化冰、臭氧杀菌等保鲜新技术将为保障海产品安全和延长货架期提供技术支持,通过与经典的保鲜方法结合使用,这些新技术在探索和设计高效的生物保鲜技术方面具有巨大的潜力,从而可以开发更安全的传统技术和更实用的保鲜方法。

参考文献:

- [1] 智研咨询集团. 2015—2020 年中国海鲜市场运行态

- 势与投资前景评估报告[EB/OL]. (2015-10-11) [2016-03-09]. [http:// www.chyxx.com/industey.com/201511/363320.html](http://www.chyxx.com/industey.com/201511/363320.html).
- Wisdom Consulting Corporation. Running Situation and Investment Prospects Assessment Report of Chinese Seafood Market in 2015—2020[EB/OL]. (2015-10-11) [2016-03-09]. [http:// www.chyxx.com/industey.com/201511/363320.html](http://www.chyxx.com/industey.com/201511/363320.html).
- [2] HULTMANN L, RUSTAD T. Effects of Temperature Abuse on Textural Properties and Proteolytic Activities during Post Mortem Iced Storage of Farmed Atlantic Cod[J]. *Food Chemistry*, 2007, 104(4): 1687—1697.
- [3] BONO G, BADALUCCO C V, CUSUMANO S, et al. Toward Shrimp without Chemical Additives: A Combined Freezing-MAP Approach[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2012, 46(1): 274—279.
- [4] 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(5): 265—269.
- SU Hui, XIE Jing. Application on Biopreservative for Aquatic Products[J]. *Food and Machinery*, 2013(5): 265—269.
- [5] LUCA S, CORSETTI A. Application of Bacteriocins in Vegetable Food Biopreservation[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2008, 121(2): 123—138.
- [6] GYAWALI R, IBRAHIM S A. Natural Products as Antimicrobial Agents[J]. *Food Control*, 2014(6): 412—429.
- [7] HUGO C J, HUGO A. Current Trends in Natural Preservatives for Fresh Sausage Products[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2015, 45(1): 12—23.
- [8] 张旭光, 李婷婷, 朱军莉, 等. 茶多酚处理对冷藏养殖大黄鱼品质的影响[J]. *茶叶科学*, 2011, 31(2): 105—111.
- ZHANG Xu-guang, LI Ting-ting, ZHU Jun-li, et al. The Influence on Quality of *Pseudosciaena Crocea* Dip by Tea Polyphenol during Cold Storage[J]. *Journal of Tea Science*, 2011, 31(2): 105—111.
- [9] FAN W J, CHI Y L, ZHANG S. The Use of a Tea Polyphenol Dip to Extend the Shelf Life of Silver Carp during Storage in Ice[J]. *Food Chemistry*, 2008, 108(1): 148—153.
- [10] OZYURT G. Effects of Rosemary Extract Addition on Oxidative Stability of Fried Sea Bream during Chill Storage (4 °C)[J]. *Journal of Food Processing & Preservation*, 2013, 37(6): 1039—1042.
- [11] OZLEM E C, OZPOLAT E. The Effects of Different Concentrations of Rosemary Extract on the Shelf Life of Hot-smoked and Vacuum-packed *Luciobarbus Esocinus* Fillets[J]. *Journal of Food Processing & Preservation*, 2013, 37(3): 269—274.
- [12] ARNON H, ZAITSEV Y, PORAT R, et al. Effects of Carboxymethyl Cellulose and chitosan bilayer edible coating on Postharvest Quality of Citrus Fruit[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2014, 87(1): 21—26.
- [13] ELSABEE M Z, ABDU E S. Chitosan Based Edible Films and Coatings: A Review[J]. *Materials Science & Engineering C Materials for Biological Applications*, 2013, 33(4): 1819—1841.
- [14] 肖素荣, 李京东. 天然食品防腐剂及其发展前景[J]. *中国食物与营养*, 2007(6): 30—33.
- XIAO Su-rong, LI Jing-dong. Natural Food Preservative and Its Prospects[J]. *China Food and Nutrition*, 2007(6): 30—33.
- [15] SUSANA P M. Chitosan in the Preservation of Agricultural Commodities[M]. Amsterdam: Elsevier Inc, 2016.
- [16] MOHAN C O, RAVISHANKAR C N, LALITHA K V, et al. Effect of Chitosan Edible Coating on the Quality of Double Filleted Indian Oil Sardine during Chilled Storage[J]. *Food Hydrocolloids*, 2012, 26(1): 167—174.
- [17] 李仁伟, 李双双, 夏松养. 壳聚糖对冻藏金枪鱼肉的保鲜效果研究[J]. *浙江海洋学院学报*, 2013, 32(3): 233—237.
- LI Ren-wei, LI Shuang-shuang, XIA Song-yang. On Research of Water-soluble Chitosan Effect for Preserving Frozen Tuna[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University*, 2013, 32(3): 233—237.
- [18] CHAILLOU L L, NAZARENO M A. Bioactivity of Propolis from Santiago del Estero, Argentina, Related to Their Chemical Composition[J]. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie*, 2009, 42(8): 1422—1427.
- [19] KALOGEROPOULOS N, KONTELES S J, TROULLIDOU E, et al. Chemical Composition, Antioxidant Activity and Antimicrobial Properties of Propolis Extracts from Greece and Cyprus[J]. *Food Chemistry*, 2009, 116(2): 452—461.
- [20] VIUDA-MARTOS M, RUIZ-NAVAJAS Y, FERNANDEZ-LOPEZ J, et al. Functional Properties of Honey, Propolis, and Royal Jelly[J]. *Journal of Food Science*, 2008, 73(9): 117—124.
- [21] DUMAN M, OZPOLAT E. Effects of Water Extract of Propolis on Fresh *Shibuta* Fillets during Chilled Storage[J]. *Food Chemistry*, 2015(9): 80—85.
- [22] LUIS-VILLAROYA A, ESPINA L, GARCIA GONZALO D, et al. Bioactive Properties of a Propolis-based Dietary Supplement and Its Use in Combination with Mild Heat for Apple Juice Preservation[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2015(5): 90—97.
- [23] ZAHID N, ALI A, SIDDIQUI Y, et al. Efficacy of Ethanolic Extract of Propolis in Maintaining Postharvest Quality of Dragon Fruit during Storage[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2013, 79(1): 69—72.
- [24] GOMEZ-SALA B, HERRANZ C, DIAZ-FREITAS B, et al. Strategies to Increase the Hygienic and Economic Value of Fresh Fish: Biopreservation Using Lactic Acid Bacteria of Marine Origin[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2016, 223(2): 41—49.
- [25] MARCOS B, AYMERICH T, GARRIGA M, et al. Active Packaging Containing Nisin and High Pressure Processing as Post-processing Listericidal Treatments for Convenience Fermented Sausages[J]. *Food Control*, 2013, 30(1): 325—330.
- [26] 祝银, 刘琴, 严忠雍, 等. Nisin 生物保鲜剂对冻藏金枪鱼的影响[J]. *广州化工*, 2013(24): 41—43.

- ZHU Ying, LIU Qin, YAN Zhong-yong, et al. Nisin Biological Preservative Texture of Frozen Tuna[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2013(24): 41—43.
- [27] SCHELEGUEDA L I, ZALAZAR A L, GLIEMMO M F, et al. Inhibitory Effect and Cell Damage on Bacterial Flora of Fish Caused by Chitosan, Nisin and Sodium Lactate[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015(3): 396—402.
- [28] LIU H, PEI H, HAN Z, et al. The Antimicrobial Effects and Synergistic Antibacterial Mechanism of the Combination of ϵ -Polylysine and Nisin against *Bacillus Subtilis*[J]. Food Control, 2015(7): 444—450.
- [29] KHAN A, VU K D, RIEDL B, et al. Optimization of the Antimicrobial Activity of Nisin, Na-EDTA and pH against Gram-negative and Gram-positive Bacteria[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 61(1): 124—129.
- [30] 赵海鹏, 谢晶. 生物保鲜剂在水产品保鲜中的应用[J]. 吉林农业科学, 2009, 34(4): 60—64.
- ZHAO Hai-peng, XIE Jing. Application of Bio-preservative on Preservation for Aquatic Products[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2009, 34(4): 60—64.
- [31] 唐文静, 宁喜斌, 王楚文, 等. 复合乳酸菌对冷藏海鲈鱼块的保鲜效果[J]. 微生物学通报, 2016, 43(3): 559—566.
- TANG Wen-jing, NING Xi-bin, WANG Chu-wen, et al. Effects of Lactic Acid Bacteria Consortium on Sea Bass Pieces in Cooling Storage[J]. Microbiology China, 2016, 43(3): 559—566.
- [32] JUNEJA V K, DWIVEDI H P, YAN X. Novel Natural Food Antimicrobials[J]. Annual Review of Food Science & Technology, 2012, 3(1): 381—403.
- [33] ITO Y, KWON O H, UEDA M, et al. Bactericidal Activity of Human Lysozymes Carrying Various Lengths of Polyproline Chain at the C-terminus[J]. Febs Letters, 1997(3): 285—288.
- [34] SHI J B, XIE J, GAO Z L, et al. Effects of Tea Polyphenols, Lysozyme and Chitosan on Improving Preservation Quality of Pomfret Fillet[J]. Advanced Materials Research, 2013(4): 1582—1588.
- [35] ABDOLLAHZADEH E, REZAEI M, HOSSEINI H. Antibacterial Activity of Plant Essential Oils and Extracts: The Role of Thyme Essential Oil, Nisin, and Their Combination to Control *Listeria Monocytogenes* Inoculated in Minced Fish Meat[J]. Food Control, 2014, 35(1): 177—183.
- [36] WANG C, SHELEF L A. Behavior of *Listeria Monocytogenes*, and the Spoilage Microflora in Fresh Cod Fish Treated with Lysozyme and EDTA[J]. Food Microbiology, 1992, 9(3): 207—213.
- [37] ABDOLLAHZADEH E, REZAEI M, HOSSEINI H. Antibacterial Activity of Plant Essential Oils and Extracts: The role of Thyme Essential Oil, Nisin, and Their Combination to Control *Listeria Monocytogenes* Inoculated in Minced Fish Meat[J]. Food Control, 2014, 35(1): 177—183.
- [38] HUI G H, LIU W, FENG H L, et al. Effects of Chitosan Combined with Nisin Treatment on Storage Quality of Large Yellow Croaker[J]. Food Chemistry, 2016(3): 276—282.
- [39] XIAO F, NIDHI B, HONG S Y. Fish Gelatin Combined with Chitosan Coating Inhibits Myofibril Degradation of Golden Pomfret Fillet during Cold Storage[J]. Food Chemistry, 2016(2): 283—292.
- [40] 张璟晶, 唐劲松, 王海波, 等. 溶菌酶、Nisin、壳聚糖复合保鲜剂对冰鲜银鲈保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技, 2014(4): 323—326.
- ZHANG Jing-jing, TANG Jin-song, WANG Hai-bo, et al. The Combined Use of Lysozyme, Nisin and Chitosan for the Preservation of Iced Pomfret[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014(4): 323—326.
- [41] 刘金昉, 刘红英, 李丽娜, 等. 复合生物保鲜剂对南美白对虾保鲜效果的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2014(2): 599—606.
- LIU Jin-fang, LIU Hong-ying, LI Li-na, et al. Preservation Effect of Complex Biological Preservative on *Pernaeanus Vannamei*[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2014(2): 599—606.
- [42] WU C H, YUAN C H, YE X Q, et al. A Critical Review on Superchilling Preservation Technology in Aquatic Product[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(12): 2788—2806.
- [43] KAALE L D, EIKEVIK T M, RUSTAD T, et al. Superchilling of Food: A Review[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 107(2): 141—146.
- [44] 吴雪丽, 刘红英, 韩冬娇. 冰温结合生物保鲜剂对扇贝的保鲜效果[J]. 食品科学, 2014, 35(10): 273—277.
- WU Xue-li, LIU Hong-ying, HAN Dong-jiao. Effect of controlled Freezing Point Storage Combined with Biological Preservative on Quality Maintenance of Scallops[J]. Food Science, 2014, 35(10): 273—277.
- [45] SCHELEGUEDA L I, DELCARLO S B, GLIEMMO M F, et al. Effect of Antimicrobial Mixtures and Modified Atmosphere Packaging on the Quality of Argentine Hake (*Merluccius Hubbsi*) Burgers[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015(8): 258—264.
- [46] 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.
- [47] 王玮, 王联珠, 沈建, 等. 水产品保鲜技术及其标准的现状与分析[J]. 渔业现代化, 2009, 36(6): 66—70.
- WANG Wei, WANG Lian-zhu, SHEN Jian, et al. Current Research Situation of Aquatic Products Preservation Standard[J]. Fishery Modernization, 2009, 36(6): 66—70.
- [48] 陈坚, 朱富强. 我国水产品冷藏链的现状与发展方向[J]. 制冷, 2001, 20(3): 27—30.
- CHEN Jian, ZHU Fu-qiang. Current Status and Developing Direction about Cold Chain of Aquatic Products in China[J]. Refrigeration, 2001, 20(3): 27—30.