

水产品生物保鲜技术研究进展

刘尊英, 曾名湧*

(中国海洋大学食品科学与工程学院, 青岛 266003)

摘要: 食品的保鲜与防腐一直是人们普遍关注的问题。传统的化学防腐剂如苯甲酸钠、亚硝酸钠等具有一定的毒性。因此, 寻找安全无毒的生物保鲜剂取代化学防腐剂已成为人们关注的热点。生物保鲜剂来源于生物体自身组成成分或其代谢产物, 安全无毒、可被生物降解、不会造成二次污染。本文综述了常见生物保鲜剂壳聚糖、有机酸、茶多酚、乳酸链球菌素、生物酶等生物保鲜剂单独或联合使用时对水产品生理生化特性、细菌总数及货架期的影响, 比较分析了上述生物保鲜剂在不同水产品应用过程中所呈现的保鲜效果的差异, 阐述了生物保鲜剂在水产品保鲜过程中的可能机制, 提出了我国水产品生物保鲜剂依然存在提取分离困难、纯化工艺复杂、生物保鲜技术成本高、应用范围窄等问题。针对我国生物保鲜技术存在的主要问题, 提出了一些对策。

关键词: 水产品; 生物保鲜剂; 防腐机制

Review of biological preservation technology in aquatic product

LIU Zun-Ying, ZENG Ming-Yong

(College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

ABSTRACT: Food storage and preservation has been the focus of attention of the people. The traditional chemical preservatives such as sodium benzoate and sodium nitrite have certain toxicity. Therefore, researches for safe non-toxic bio-preservative to replace chemical preservative had become the focus of attention. Biological preservative compositions derived from organism itself or its metabolites, which possesses characteristic of tasteless, non-toxic, safe, biodegradable and no secondary pollution, is causing widespread concern. In this paper, effects of chitosan, organic acids, polyphenols, nisin, and biological enzymes on physiological and biochemical characteristics, the total number of bacteria and shelf of aquatic products were reviewed. A comparative analysis of the difference in the biological preservative fresh-keeping effect of application in different aquatic product process was presented. The main problems including separation and purification of biological preservatives, high cost and limited application of biological preservation technology still existed. Some suggestion was provided to the main problems in the preservation of biological technology in China.

KEY WORDS: aquatic product; biological preservative; anti-rotten mechanism

1 引言

化学防腐剂对人体的毒副作用、致癌作用已日益被人

们所熟知, 物理防腐技术因其技术性强、设备维修难、成本比较高不能被广泛应用, 而安全性高、无毒副作用的生物保鲜技术日渐引起人们的重视^[1]。本文综述了目前国内

基金项目: “十二五”科技支撑计划项目(2012BAD28B05)

Fund: Supported by the National Key Technology R&D Program (2012BAD28B05)

*通讯作者: 曾名湧, 教授, 主要研究方向为水产品高值化利用技术。E-mail: mingyz@ouc.edu.cn

*Corresponding author: ZENG Ming-Yong, Professor, College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, 5 Yushan Road, Qingdao 266003, China. E-mail: mingyz@ouc.edu.cn

外水产品生物保鲜技术的研究进展, 以期为我国水产品生物保鲜技术的发展提供参考和依据。

2 生物保鲜剂概述

生物保鲜剂是近年来发现的一类新型的、具有安全性和高效性的天然保鲜剂。它来源于生物体自身组成成分或其代谢产物, 包括植物源生物保鲜剂、动物源生物保鲜剂和微生物源生物保鲜剂^[2]。伴随着生物保鲜剂在食品工业中的广泛应用, 水产品生物保鲜技术也逐渐兴起。目前, 应用于水产品的生物保鲜剂主要有壳聚糖、有机酸、茶多酚、乳酸链球菌素、生物酶及拮抗菌等。

3 生物保鲜剂保鲜机制

生物保鲜可能包含以下几方面的机制: (1)因含有抗菌物质, 可抑制或杀死水产品中的腐败菌, 减缓挥发性盐基氮(TVB-N)的上升, 保持水产品鲜度, 如壳聚糖、有机酸、Nisin等; (2)抗氧化作用, 防止水产品中不饱和脂肪酸等氧化造成品质劣变, 如茶多酚等; (3)抑制酶的活性, 防止水产品的变色; (4)形成一层保护膜, 防止腐败菌污染, 减少水产品水分损失, 保持水产品品质, 如壳聚糖等。

4 常见生物保鲜剂在水产品保鲜中的应用研究

4.1 壳聚糖

壳聚糖是由甲壳素通过脱乙酰制得的 α -氨基-D-葡胺糖通过 β -1,4 糖苷键连结成的直链大分子多糖, 具有高效抑菌能力和良好的成膜性, 因此, 在食品中常作为抑菌保鲜剂^[3]。壳聚糖的抑菌机制可能包括以下几个方面: (1)小分子的壳聚糖(分子量小于 5000 kDa)直接进入细胞, 与带负电荷的蛋白质和核酸相结合, 干扰 DNA 的复制与蛋白质的合成, 造成细菌生理失调而使细菌死亡; (2)分子量较大的壳聚糖吸附在细菌细胞表面, 形成一层高分子膜, 阻止营养物质向细胞内运输而起到抑菌作用; (3)作为螯合剂螯合对细菌生长起关键作用的金属离子, 从而抑制细菌的生长; (4)壳聚糖的正电荷与细菌细胞膜表面的负电荷之间相互作用, 改变细菌细胞膜的通透性而导致细菌细胞死亡; (5)激活细菌本身的几丁质酶活性, 几丁质酶被过分表达, 导致细胞壁几丁质降解, 损伤细胞壁。

壳聚糖可直接应用于水产品保鲜, 抑制细菌生长, 延长保藏期。仪淑敏等^[4]研究表明, 添加 0.5% 以上壳聚糖可显著抑制鱼丸优势腐败菌肠杆菌、假单胞菌及微球菌的生长, 并能降低鱼丸挥发性盐基氮(TVB-N)含量, 但壳聚糖浓度低于 0.5% 时无效。施海峰等^[3]研究表明, 添加 2.0% 的壳聚糖能延缓鱼糜 TVB-N 和硫代巴比妥酸值(TBA)的上升, 并能将鱼糜制品的冷藏保鲜期从 9 d 延长至 13~14 d。Zhou 和 Xu 等^[5,6]将壳聚糖与电解水联合处理冷藏河豚和美洲鲟,

发现处理后的河豚和美洲鲟肌原纤维降解缓慢, 微生物增殖下降, 保鲜期及货架期均显著延长。

壳聚糖除了作为保鲜剂直接用于水产品保鲜外, 还经常联合其他天然物质制成涂膜而用于水产品的保鲜。试验表明, 经 2% 壳聚糖涂膜处理的鲢鱼再进行冷藏保鲜, 鲢鱼的感官评分值较高, 鱼体的细菌总数、pH 值、TVB-N 值和 TBA 值明显低于对照^[7]。将壳聚糖涂膜用于鳕鱼的保鲜, 4 °C 条件下, 可使鳕鱼的保鲜期延长 7~9 d^[8]。将壳聚糖涂膜用于三文鱼的微冻保鲜, -5 °C 条件下, 其保鲜期达到了 14 周, 其细菌总数小于 5×10^5 CFU/g^[9]。将壳聚糖联合茶多酚涂膜用于红鱼的保鲜, 1.5% 壳聚糖结合 0.2% 茶多酚涂膜可使红鱼保鲜期延长 6~8 d^[10]。将 1.0% 壳聚糖结合 0.4% 茶多酚涂膜用于带鱼的保鲜, 在 4 °C 条件下, 可使带鱼的保鲜期从 4~5 d 延长到 12~13 d^[11]。鲈鱼经壳聚糖、柠檬酸或甘草提取物复合涂膜后, 其脂质氧化和腐败菌增殖均受到抑制, 保鲜期显著延长^[12]。虹鳟经壳聚糖-明胶复合涂膜或壳聚糖-肉桂油复合涂膜后, 其保鲜期在 4 °C 条件下延长到了 16 d^[13]。Lingcod 经 3% 壳聚糖、20% 磷虾油复合涂膜后气调贮藏, 其保质期延长到了 21 d, 鱼的脂质氧化水平显著降低, 细菌总数减少了 2.22~4.25 个对数值。并且涂膜保鲜不影响产品的色泽和口感, 不影响消费者的可接受性^[14]。此外, Saloka 等^[15]还采用壳聚糖与麦芽糊精将液体烟熏剂包埋成微胶囊用于金枪鱼的保鲜。1.5% 的壳聚糖与 8.5% 的麦芽糊精与液体烟熏剂形成的胶囊微粒最小, 室温条件下, 金枪鱼的鲜度可保持 48 h。

虽然壳聚糖在一定条件下可延缓水产品的腐败变质, 但壳聚糖作为一种天然大分子物质, 其抑菌机制复杂, 使用效果受壳聚糖分子量大小、脱乙酰度、浓度、pH 值、菌类、晶体形状等多种因素影响, 详细情况请参照文献综述^[16]。

4.2 有机酸

有机酸是指一些具有酸性的有机化合物。有机酸的抑菌机制主要包括: (1)引起细菌细胞膜电荷的变化, 影响细菌对营养物质的吸收; (2)影响细菌代谢过程中酶的活性, 阻碍三羧酸循环中 α -酮戊二酸和琥珀酸脱氢酶的作用, 抑制能量代谢中磷酸化酶的功能, 与各种含硫基酶结合使其失去活性, 从而抑制细菌的生长; (3)有机酸作为解偶联剂解除了电子传递和 ATP 生成的偶联作用, 降低细菌产能效率, 从而抑制细菌正常生长; (4)有机酸具不同程度的脂溶性, 可与细胞膜中磷脂分子和脂多糖等成分作用, 破坏膜的稳定性; (5)有机酸根离子在胞内富集改变了胞质微环境, 可抑制 DNA 复制与合成, 抑制细菌生长。

用于水产品保鲜的有机酸主要有柠檬酸和乳酸。Rey 等^[17]利用柠檬酸、乳酸结合冰鲜技术保鲜鳕鱼、鲱鱼及鲑鱼。结果发现, 800 mg/kg 的有机酸处理可显著延长三种鱼的保鲜期, 抑制腐败菌生长, 降低 pH 值, 保持产品的新鲜品质。García-Soto 等^[18]利用柠檬酸、乳酸结合冰鲜技术

保鲜鳕鱼片, 0.175%的柠檬酸联合 0.05%的乳酸可显著抑制鳕鱼片细菌总数的上升, 降低三甲胺氮含量, 保持良好的感官品质。在车载冷藏系统中采用柠檬酸、乳酸保鲜鳕鱼也得到了理想的效果^[19]。Qiu 等^[12]采用柠檬酸与壳聚糖复合涂膜保鲜鲈鱼生鱼片, 4 °C 条件下贮藏 12 d, 其 TVB-N 值、细菌总数均显著降低, 脂肪氧化受到显著抑制。Maqsood 等^[20]将 0.04%的单宁酸添加到鱼香肠中, 发现添加单宁酸可抑制鱼香肠脂肪氧化水平, 改善鱼香肠品质, 质地致密无孔洞, 并增强其硬度、咀嚼性。

4.3 茶多酚

茶多酚是茶叶中酚类物质的总称, 具有良好的抗氧化、抑菌和保健功能^[21]。茶多酚的抑菌机制目前尚不完全清楚, 几种可能的机制主要有: 特异性地凝固细菌蛋白; 与细菌遗传物质结合; 破坏细菌细胞膜结构。茶多酚能够逐步破坏假单胞菌细胞壁的完整性, 使得碱性磷酸酶渗出, 继而破坏细胞膜, 并在细胞膜上形成孔道, 加速内容物的渗漏, 使细菌代谢发生紊乱, 起到抑菌作用^[22]。Fan 等^[23]在 -3 °C 碎冰贮藏条件下, 喷淋 0.2% 茶多酚对白鲢鱼进行保鲜。结果发现, 茶多酚能有效地抑制鱼肉组织内源酶的活性和腐败菌的生长繁殖, 明显降低鱼肉的 pH 和 TVB-N 值, 喷淋茶多酚的白鲢鱼货架期达到了 35 d, 比未喷淋的延长了 7 d。Li 等^[24]联合茶多酚与壳聚糖涂膜对大黄鱼进行保鲜, 可使大黄鱼的冷藏货架期延长 8~10 d。Zhao 等^[25]进一步研究表明, 0.2% 茶多酚可改善大黄鱼肌球蛋白特性, 提高 Ca^{2+} -ATP 酶活性与巯基总量, 抑制肌球蛋白降解。Feng 等^[26]采用 0.2% 茶多酚联合臭氧水杀菌对黑鲷进行保鲜。结果显示, 茶多酚与臭氧水处理可减少黑鲷核酸分解与脂肪氧化, 抑制细菌增殖, 并维持良好的色泽、质地与口感。

此外, 励建荣、曹荣、王朝瑾等^[27-29]分别将茶多酚用于梅鱼鱼丸、牡蛎和南美白对虾的保鲜, 均起到了抑菌保鲜的效果。

4.4 乳酸链球菌素

乳酸链球菌素(Nisin)是一种高效、无毒、安全、营养的天然食品保鲜剂。Nisin 能有效杀死或抑制引起食品腐败的革兰氏阳性菌, 如肉毒杆菌、李斯特菌等^[30], 对产生孢子的细菌, 如芽孢杆菌、梭状芽孢杆菌等也有很强的抑制作用。在食品中加入 Nisin 能降低灭菌温度, 缩短灭菌时间, 提高产品品质, 减少食品营养破坏, 延长食品保藏时间。在鱼类保鲜方面, 正因为其具有延迟熏制鱼中肉毒梭菌芽孢毒素形成的作用^[31], 因而被逐渐应用于水产品保鲜上。

蓝蔚青等^[32]采用 0.5 g/L 的 Nisin 对带鱼进行保鲜处理后, 在相同的贮藏期内, 其 pH 值、TVB-N 值及菌落总数明显低于冷藏对照, 感官值也显著优于未经处理的对照组。研究人员采用含有肉桂油和 Nisin 的海藻酸钠抗菌薄

膜保鲜黑鱼。结果显示, 在 4 °C 条件下, 肉桂油和 Nisin 抗菌膜处理可抑制鱼肉总嗜温菌、总嗜冷菌和假单胞菌的增殖, 并维持较低的 pH 值、挥发性盐基氮含量和脂肪氧化值^[33,34], 并保持鱼肉良好品质^[34]。

4.5 生物酶

酶是由生物体产生的催化剂, 具有特殊的催化特性。生物酶保鲜技术的原理就是将某些生物酶制剂用于食品保鲜, 以除去食品包装中的氧, 延缓氧化作用; 或生物酶本身具有良好的抑菌作用, 或使某些不良酶失去生物活性, 从而达到防腐保鲜的效果。常用的生物酶制剂有溶菌酶、葡萄糖氧化酶、异淀粉酶、纤维素酶等^[35]。

蓝蔚青等^[36]采用 0.5 g/L 的溶菌酶对带鱼进行保鲜。结果表明, 在 4 °C 条件下, 经溶菌酶保鲜液处理后的带鱼段感官品质优于未经处理的对照组, 细菌总数、pH 值、TVB-N 值与 TBA 值明显较对照组低, 其二级鲜度货架期较对照延长了 3~4 d。马青河等^[37]以葡萄糖氧化酶为主要成分, 与常用抗氧化剂和防腐剂进行保鲜性能对比试验, 以及在冷藏和冷冻条件下研究对虾类的防褐变保鲜效果。结果表明, 葡萄糖氧化酶具有良好的保鲜性能。保鲜剂浸渍处理后, 4 °C 贮藏条件下, 5 d 后能保持二级鲜度, -18 °C 冷冻条件下, 12 个月仍能保持二级鲜度。

4.6 拮抗菌

采用拮抗菌直接用于食品的保鲜, 最成功的案例是果蔬保鲜。由于不同拮抗菌的保鲜机制不尽相同, 因此, 关于拮抗菌保鲜的机制尚不统一。几种可能的机制有: 分泌抗菌物质; 拮抗菌以吸附生长、缠绕、消解等形式抑制病原菌的重寄生作用; 与腐败菌竞争营养与空间; 诱导果蔬抗病性等。用于食品保鲜的拮抗菌种类主要有假丝酵母、隐球酵母、膜醭毕赤酵母、芽孢杆菌、假单胞杆菌、乳酸菌、放线菌、木霉、青霉等^[38]。水产品保鲜中, 应用最广泛的是乳酸菌^[39]。

乳酸菌及其代谢产物在水产品中应用已由 Ghanbari 进行了详细综述^[40]。乳酸菌可抑制水产品中李斯特菌、鱼内源性肠道菌的增殖, 但其抑制效果受环境盐浓度、温度及细胞浓度的影响^[41,42]。NaCl 可增加李斯特菌对乳酸菌的抗性, 当环境中 NaCl 浓度超过 5% 时, 乳酸菌自身的生长受到抑制, 保鲜效果下降^[41]。

5 我国水产品生物保鲜技术存在的主要问题及对策

相对于果蔬制品的生物保鲜, 我国水产品生物保鲜技术的研究才刚刚起步, 大多还停留在实验室水平。文献报道较多的生物保鲜剂主要有壳聚糖、茶多酚及有机酸等, 但由于生物保鲜剂组成和结构的复杂性, 且部分生物保鲜剂在生物中的含量较低, 提取、分离、纯化等工艺较

为复杂,导致成本较高,一定程度上限制了生物保鲜剂的推广与使用。国外生物保鲜剂的商业化应用一般与低温冷藏、冷链流通及其良好的包装复合使用,而我国在这方面的基础还比较薄弱,冷链流通及其冷链管理均有待加强。

另外,生物保鲜剂的保鲜效果与生物保鲜剂的制备工艺、浓度、使用方法、环境温度和水产品特性等有着密切的关系。因此,在生物保鲜剂商业化过程中,一方面要继续加大生物保鲜剂对水产品保鲜效果的研究;另一方面,在保证食品食用安全的前提下,要大力加强生物保鲜剂的抑菌效果及机制研究,为水产品保鲜技术提供新的途径与手段,以保持水产品鲜度,延长货架期。再有,要加强新型生物保鲜剂的研发,如纳米生物保鲜剂,充分利用纳米的尺寸效应与表面积效应,提高其抑菌效果。

随着人们生活水平的提高,消费者对水产品鲜度及食用安全性的要求也越来越高。生物保鲜剂安全性高,专一性强,将来随着技术的进步和成本的进一步降低,生物保鲜剂必将具有更广阔的市场前景。

参考文献

- [1] 熊涛, 乐易林. 生物保鲜技术的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(2): 111-114.
Xiong T, Le YL. The advance of biological technique of preserving fresh produce [J]. Food Ferm Ind, 2004, 30(2): 111-114.
- [2] 王玉婷. 复合生物保鲜剂在大黄鱼保鲜中的应用研究[D]. 济南: 山东轻工业学院, 2011.
Wang YT. The research and application of biological preservatives in *Pseudosciaena crocea* [D]. Jinan: Shandong Light Industries College, 2011.
- [3] 施海峰, 高键, 应杰, 等. 水溶性壳聚糖对鱼糜制品保鲜效果的影响[J]. 南方水产科学, 2011, 7(4): 49-54.
Shi HF, Gao J, Ying J, et al. Preservation effects of water-soluble chitosan on surimi product [J]. South China Fish Sci, 2011, 7(4): 49-54.
- [4] 仪淑敏, 朱军莉, 励建荣, 等. 壳聚糖对梅鱼鱼丸微生物菌群和品质的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(5): 128-131.
Yi SM, Zhu JL, Li JR, et al. Effect of chitosan on microbial community and quality of black-gill bighead *Croaker Meatballs* [J]. Food Sci, 2011, 32(5): 128-131.
- [5] Zhou R, Liu Y, Xie J, et al. Effects of combined treatment of electrolysed water and chitosan on the quality attributes and myofibril degradation in farmed obscure puffer fish (*Takifugu obscurus*) during refrigerated storage [J]. Food Chem, 2011, 129: 1660-1666.
- [6] Xu G, Tang X, Tang S, et al. Combined effect of electrolyzed oxidizing water and chitosan on the microbiological, physicochemical, and sensory attributes of American shad (*Alosa sapidissima*) during refrigerated storage [J]. Food Control, 2014, 46: 397-402.
- [7] 范文教, 孙俊秀, 陈云川, 等. 壳聚糖可食性涂膜冷藏保鲜鲢鱼的研究[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(4): 314-316.
Fan WJ, Sun JX, Chen YC, et al. Effects of chitosan edible film on the storage of fresh silver carp [J]. Jiangsu Agric Sci, 2011, 39(4): 314-316.
- [8] Fernández-Saiz P, Sánchez G, Soler C, et al. Chitosan films for the microbiological preservation of refrigerated sole and hake fillets [J]. Food Control, 2013, 34: 61-68.
- [9] Soares NM, Mendes TS, Vicente AA. Effect of chitosan-based solutions applied as edible coatings and water glazing on frozen salmon preservation - A pilot-scale study [J]. J Food Eng, 2013, 119: 316-323.
- [10] Li T, Li J, Hu W, et al. Quality enhancement in refrigerated red drum (*Sciaenops ocellatus*) fillets using chitosan coatings containing natural preservatives [J]. Food Chem, 2013, 138: 821-826.
- [11] 杨胜平, 谢晶, 佟懿, 等. 壳聚糖结合茶多酚涂膜保鲜带鱼的效果[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(4): 818-821.
Yang SP, Xie J, Tong Y, et al. Effects of chitosan combined with different concentrations of tea polyphenols on preservation of *Trichiurus haumela* [J]. Jiangsu J Agric Sci, 2010, 26(4): 818-821.
- [12] Qiu X, Chen S, Liu G, et al. Quality enhancement in the Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) fillets stored at 4 °C by chitosan coating incorporated with citric acid or licorice extract [J]. Food Chem, 2014, 162: 156-160.
- [13] Nowzari F, Shábanpour B, Ojagh SM. Comparison of chitosan-gelatin composite and bilayer coating and film effect on the quality of refrigerated rainbow trout [J]. Food Chem, 2013, 141: 1667-1672.
- [14] Duan J, Jiang Y, Cherian G, et al. Effect of combined chitosan-krill oil coating and modified atmosphere packaging on the storability of cold-stored lingcod (*Ophiodon elongates*) fillets [J]. Food Chem, 2010, 122: 1035-1042.
- [15] Saloko S, Daemadji P, Setiaji B, et al. Antioxidative and antimicrobial activities of liquid smoke nanocapsules using chitosan and maltodextrin and its application on tuna fish preservation [J]. Food Biosci, 2014, 7: 71-79.
- [16] 冯小强, 李小芳, 杨声, 等. 壳聚糖抑菌性能的影响因素、机理及其应用研究进展[J]. 中国酿造, 2009, 1: 19-22.
Feng XQ, Li XF, Yang S, et al. Current research on anti-microbial mechanism, influence factor and application of chitosan [J]. China Brew, 2009, 1: 19-22.
- [17] Rey MS, García-Soto B, Fuertes-Gamundi JR, et al. Effect of a natural organic acid-icing system on the microbiological quality of commercially relevant chilled fish species [J]. LWT-Food Sci Technol, 2012, 46: 217-223.
- [18] García-Soto B, Aubourg SP, Calo-Mata P, et al. Extension of the shelf life of chilled hake (*Merluccius merluccius*) by a novel icing medium containing natural organic acids [J]. Food Control, 2013, 34: 356-363.
- [19] García-Soto B, Fernández-No IP, Barros-Velázquez J, et al. Use of citric and lactic acids in ice to enhance quality of two fish species during on-board chilled storage [J]. Int J Refrig, 2014, 40: 390-397.
- [20] Maqsood S, Benjakul S, Balange AK. Effect of tannic acid and kiam wood extract on lipid oxidation and textural properties of fish emulsion sausages during refrigerated storage [J]. Food Chem, 2012, 130: 408-416.
- [21] 王玉婷, 邵秀芝, 冀国强. 茶多酚在水产品保鲜中应用的研究进展[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(6): 42-45.
Wang YT, Shao XZ, Ji GQ. Research progress on application of tea polyphenol in preservation of aquatic product [J]. Storage Proc, 2010, 10(6): 42-45.
- [22] 孙京新, 王文娟. 茶多酚对假单胞菌抑菌机制研究[J]. 肉类工业, 2010, 1: 36-39.
Sun JX, Wang WJ. Effects of tea polyphenol on the *Pseudomonadaceae*

- and its mechanism [J]. *Meat Ind*, 2010, 1: 36–39.
- [23] Fan WJ, CHI YL, Zhang S. The use of a tea polyphenol dip to extend the shelf life of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) during storage in ice [J]. *Food Chem*, 2008, 108: 148–153.
- [24] Li T, Hu W, Li J, *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: 101–106.
- [25] Zhao J, Lv W, Wang J, *et al.* Effects of tea polyphenols on the post-mortem integrity of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) fillet proteins [J]. *Food Chem*, 2013, 141: 2666–2674.
- [26] Feng L, Jiang T, Wang Y, *et al.* Effects of tea polyphenol coating combined with ozone water washing on the storage quality of black sea bream (*Sparus macrocephalus*) [J]. *Food Chem*, 2012, 135: 2915–2921.
- [27] 励建荣, 林毅, 朱军莉, 等. 茶多酚对梅鱼鱼丸保鲜效果的研究[J]. *中国食品学报*, 2009, 9(6): 128–132.
Li JR, Lin Y, Zhu JL, *et al.* Studies on the effects of tea polyphenols on the preservation of collichthys fish-ball [J]. *J Chin Inst Food Sci Tech*, 2009, 9(6): 128–132.
- [28] 曹荣, 薛长湖, 刘淇, 等. 一种复合型生物保鲜剂在牡蛎保鲜中的应用研究[J]. *食品科学*, 2008, 129(11): 653–655.
Cao R, Xue CH, Liu Q, *et al.* Application of a new compound biopreservative in storage of oyster [J]. *Food Sci*, 2008, 129(11): 653–655.
- [29] 王朝瑾, 马红青. 茶多酚对南美白对虾保鲜效果的应用研究[C]. 第七届全国天然有机化学学术研讨会论文集, 2008, 30–33.
Wang ZJ, Ma HQ. Effects of tea polyphenol on the storage of shrimp [C]. *The 7th Natural Organic Chem Symp Set*, 2008, 30–33.
- [30] Abdollahzadeh E, Rezaei M, Hosseini H, *et al.* 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: 177–183.
- [31] 刘国信. 天然食品防腐剂——乳酸链球菌素[J]. *山东食品发酵*, 2008, 4: 51–53.
Liu GX. Natural food preservatives ——Nisin[J]. *Shandong Food Ferm*, 2008, 4: 51–53.
- [32] 蓝蔚青, 谢晶, 杨胜平, 等. Nisin 生物保鲜剂对冷藏带鱼的保鲜效果研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2010, 22: 683–686.
Lan WQ, Xie J, Yang SP, *et al.* Research on the fresh-keeping effects of nisin on *Trichiurus haumela* under the cold storage [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2010, 22: 683–686.
- [33] 吕飞, 丁玉庭, 叶兴乾. 含肉桂油和 Nisin 的海藻酸钠薄膜保鲜黑鱼性能分析[J]. *农业机械学报*, 2011, 42(5): 146–150.
Lv F, Ding YT, Ye XQ. Effect of alginate film containing cinnamon and Nisin on the freshness of northern snakehead [J]. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 2011, 42(5): 146–150.
- [34] Lu F, Ding Y, Ye X, *et al.* Cinnamon and nisin in alginate-calcium coating maintain quality of fresh northern snakehead fish fillets [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2010, 43: 1331–1335.
- [35] 张泓泰. 生物酶技术在食品保鲜中的应用[J]. *保鲜与加工*, 2007, 5: 12–13.
Zhang HT. Application of biological enzyme technology in food fresh-keeping [J]. *Storage Proc*, 2007, 5: 12–13.
- [36] 蓝蔚青, 谢晶. 溶菌酶对带鱼冷藏保鲜效果的影响[J]. *湖南农业科学*, 2010, 17: 114–118.
Lan WQ, Xie J. The Fresh-keeping effect of lysozyme on *Trichiurus haumela* under cold storage [J]. *Hunan Agric Sci*, 2010, 17: 114–118.
- [37] 马清河, 胡常英, 刘丽娜, 等. 葡萄糖氧化酶用于对虾保鲜的实验研究[J]. *食品工业科技*, 2005, 26(6): 159–164.
Ma QH, Hu CY, Liu LN, *et al.* Effects of glucose oxidase on the freshness of prawn [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2005, 26(6): 159–164.
- [38] 裘纪莹, 王未名, 陈建爱, 等. 拮抗菌在果蔬保鲜中的应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(5): 334–336.
Qiu JY, Wang WM, Chen JA, *et al.* Research progress of antagonist application to the preservation of fruits and vegetables [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2009, 30(5): 334–336.
- [39] 张咏梅, 张家国. 乳酸菌在水产品保鲜的应用现状及发展趋势[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(8): 190–192.
Zhang YM, Zhang JG. Current applications and future trends of *Lactic Acid Bacteria* for the biopreservation of aquatic foods [J]. *Food Res Dev*, 2011, 32(8): 190–192.
- [40] Ghanbari M, Jami M, Domig KJ, *et al.* Seafood biopreservation by lactic acid bacteria-A review [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2013, 54: 315–324.
- [41] Himelbloom B, Nilsson L, Gram L. Factors affecting production of an antilisterial bacteriocin by *Carnobacterium piscicola* strain A9b in laboratory media and model fish systems [J]. *J Appl Microbiol*, 2001, 91(3): 506–513.
- [42] Brillet A, Pilet MF, Prevost H, *et al.* Effect of inoculation of *Carnobacterium divergens* V41, a biopreservative strain against *Listeria monocytogenes* risk, on the microbiological, chemical and sensory quality of cold-smoked salmon [J]. *Int J Food Microbiol*, 2005, 104(3): 309–324.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



刘尊英, 博士, 副教授, 主要研究方向为水产品高值化利用技术。

E-mail: liuzunying@ouc.edu.cn



曾名湧, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为水产品高值化利用技术。

E-mail: mingyz@ouc.edu.cn