

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240711003

三文鱼生物保鲜技术应用研究进展

蔡路昀^{1,2}, 赵敏^{1,3}, 沈俊⁴, 刘鹰², 林邦楚⁴, 李钰金⁵,
李剑⁶, 朱盈盈^{1,3}, 徐冉^{1,2*}

(1. 浙江大学宁波科创中心, 宁波 315100; 2. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058;
3. 浙江万里学院生物与环境学院, 宁波 315100; 4. 宁波路林水产冷链发展有限公司, 宁波 315100;
5. 中国海洋大学食品科学与工程学院, 青岛 266003; 6. 宁波路鸣生物科技有限公司, 宁波 315100)

摘要: 三文鱼是一种口感好、营养价值高且备受消费者喜爱的水产品。然而, 在贮藏、加工和运输过程中, 三文鱼易受到微生物、内源酶及自身氧化作用的影响, 导致品质降低甚至引发安全问题, 严重影响了产品的市场流通和经济价值。因此, 如何保持其品质成为当前亟需解决的问题。与传统保鲜剂相比, 生物保鲜剂因其安全、绿色、无毒无害、易降解等优点, 已成为水产品保鲜领域研究的热点。本文从绿色安全的角度综述了不同来源的生物保鲜剂在三文鱼保鲜中的应用研究进展, 提出其存在问题及解决方案。从保鲜剂的施加形式入手, 展示了多方式联用技术在三文鱼中的应用, 并基于生物保鲜技术的研究状况, 展示了多方式联用技术在三文鱼中的应用。同时全方位多角度展望三文鱼生物保鲜技术的未来发展前景, 以期为三文鱼等水产品产业链发展提供理论参考。

关键词: 三文鱼; 生物保鲜技术; 保鲜剂

Research progress in application of bio-preservation technology for *Salmo salar*

CAI Lu-Yun^{1,2}, ZHAO Min^{1,3}, SHEN Jun⁴, LIU Ying², LIN Bang-Chu⁴,
LI Yu-Jin⁵, LI Jian⁶, ZHU Ying-Ying^{1,3}, XU Ran^{1,2*}

(1. Ningbo Innovation Center, Zhejiang University, Ningbo 315100, China; 2. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 3. College of Biological and Environmental Sciences, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China; 4. Ningbo Lulin Aquatic Cold Chain Development Co., Ltd., Ningbo 315100, China; 5. College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;
6. Ningbo Luming Biotech Co., Ltd., Ningbo 311000, China)

ABSTRACT: *Salmo salar* is a kind of aquatic product with good taste, high nutritional value and popular among consumers. However, during storage, processing and sale, *Salmo salar* is susceptible to the effects of microorganisms, endogenous enzymes and auto-oxidation, resulting in quality degradation and even safety issues. This significantly

基金项目: 鄞州区科技计划项目(2024AS013)、宁波市公益项目(2023S235、2022S148)、宁波市重点研发计划项目(2024Z277)、温州市重大科技项目(ZN2021002)、宁波市 3315 计划项目(2020B-34-G)

Fund: Supported by the Yinzhou Science & Technology Project (2024AS013), the Ningbo Public Welfare Project (2023S235, 2022S148), the Ningbo Key Research and Development Programme (2024Z277), the Wenzhou Major Science and Technology Project (ZN2021002), and the Ningbo 3315 Program Project (2020B-34-G)

*通信作者: 徐冉, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为海洋资源开发与高价值利用。E-mail: xuran@zju.edu.cn

*Corresponding author: XU Ran, Ph.D, Assistant Professor, Ningbo Science and Innovation Center of Zhejiang University, No.5, Xuefu Road, Higher Education Park, Yinzhou District, Ningbo 315100, China. E-mail: xuran@zju.edu.cn

affects the market circulation of the product and reduces its economic value. Therefore, how to maintain the quality of *Salmo salar* has become an urgent issue that needs to be addressed. Compared with traditional preservatives, biological preservatives have become a hotspot in the research field of aquatic product preservation due to their advantages of safety, greenness, non-toxicity, and biodegradability. This paper reviewed the application research progress of different sources of biological preservatives in *Salmo salar* preservation from the perspective of green safety, identified existing problems and solutions, and demonstrated the application of multi-modal combined technologies in *Salmo salar* based on the application forms of preservatives. Additionally, it comprehensively and multi-dimensionally looked forward to the future development prospects of biological preservation technology for *Salmo salar*, aiming to provide theoretical references for the development of the *Salmo salar* industry chain and other aquatic products.

KEY WORDS: *Salmo salar*; bio-preservation techniques; preservative

0 引言

三文鱼, 别名鲑鱼、大马哈鱼, 为硬骨鱼纲鲑形目水产品, 其肌肉坚实而富有弹性白色纹理清晰, 新鲜鱼体鲜亮完整、肉色为红色或鲜橘红色, 口感嫩滑, 营养价值很高, 广受消费者喜爱^[1]。根据中研普华产业研究院发布的报告显示, 2023 年上半年, 挪威海产对中国市场的出口量近 7 万 t, 出口额达 43 亿挪威克朗(约合人民币 30 亿元), 从出口量来看, 中国在所有挪威海产出口市场中排名第 4^[2]。研究数据显示, 养殖三文鱼和挪威三文鱼肌肉中水分、灰分、粗蛋白质、粗脂肪的质量分数分别为 62.10%、1.92%、21.01%、14.94%和 69.01%、1.88%、21.66%、7.37%。在两种三文鱼肌肉样本中, 都包含 18 种不同的氨基酸, 其中总氨基酸的含量达到了 32.22%, 而必需氨基酸(essential amino acid, EAA)含量则是 13.90%, 还含有对人体生理功能起重要作用的矿物质和微量元素, 如钙、磷、铁、锰、锌、镁、铜等^[3-4]。三文鱼富含 omega-3 高不饱和脂肪酸, 这种成分具备有效预防心脑血管疾病的潜力, 并对脑组织的健康有积极的影响^[5]。因此, 常食用三文鱼可降低心脑血管疾病的发病率。

中国市场 85%的进口三文鱼以冰鲜为主, 90%以上的进口产品形态以初级加工原料整鱼为主^[2]。中国渔业迅速发展的同时, 三文鱼等水产品的加工率却并不高, 其原因是三文鱼中的脂肪易被氧化, 同时, 高蛋白和高水分含量可能导致微生物增长, 这些特性使三文鱼在加工、储存和销售过程中易发生腐败变质^[6]。保鲜是三文鱼等水产品加工、储存、销售过程中必需的处理过程, 保鲜方式不合理将导致肉的风味和色泽发生变化, 严重影响三文鱼产品的品质和食用价值, 甚至引发公共卫生问题。因此, 极有必要采取适当的保鲜处理措施, 延缓三文鱼品质劣变, 延长其货架期。基于此, 本文将围绕生物保鲜技术在三文鱼保鲜中的应用研究进展进行论述, 以期对三文鱼保鲜技术优

化提供理论参考。

1 常用保鲜技术

三文鱼在加工、储存和销售阶段为延缓腐败、确保其新鲜度并维持较高品质, 需要采用多种不同的保鲜策略和手段。目前最常见的保鲜技术有物理保鲜、化学保鲜、生物保鲜。传统的保鲜方法在三文鱼保鲜发展进程中起到了重要作用, 且近些年对传统保鲜方法研究更加深入, 但其依旧存在不可忽略的局限性(表 1)。

随着国内生食水产品消费需求的不断提升, 产品的感官质量与食用安全性将受到越来越多的重视。三文鱼作为生食水产品的典范, 食用品质与保鲜方式关系密切, 物理保鲜法能够满足商业化大规模保鲜的要求, 但在实际储运过程中, 必须全面考虑复杂的温度变化及各种环境因素对保鲜效果的影响。随着化学保鲜技术的进一步发展以及国际上对食品安全的严格要求, 对人体健康存在一定安全隐患的化学防腐剂逐渐被取代。相比而言, 生物保鲜技术能有效减少三文鱼的腐败和品质损失, 确保三文鱼的新鲜度、口感和营养成分, 并且减少对环境的不良影响。此外, 所使用的保鲜剂在健康方面是安全的, 进入人体消化道后它们会分解成常规食物成分, 不会产生任何有毒物质^[29]。因此, 生物保鲜技术已成为近年来食品保鲜技术领域的研究热点。

2 生物保鲜剂在三文鱼中的应用现状

生物保鲜技术即利用微生物菌群和(或)它们产生的抗菌物质来提高食品安全性和延长货架期的新型保鲜技术。这些活性物质通常是动物、植物和微生物的次级代谢产物, 在经过生物技术改良后, 以溶液的形式浸泡、涂膜或喷洒于食物表面, 或置于食品包装材料中, 以实现食品保鲜的效果^[30]。它也被认为是目前最健康、环保和安全的食品保鲜技术^[29,31]。

表 1 不同保鲜技术应用于三文鱼保鲜的优缺点
Table 1 Advantages and disadvantages of different preservation techniques applied to *Salmo salar* preservation

保鲜技术	应用	优点	局限性	参考文献	
物理保鲜	低温保鲜	将三文鱼置于微冻、冷藏和冻藏条件下贮藏	有效抑制微生物的生长繁殖	长时间储存会导致三文鱼的氧化, 影响其风味和品质	[7-11]
	气调包装	改变三文鱼贮藏环境中气体类型和配比	降低食品添加剂用量	需要专门设备和技术, 会增加食品保鲜过程的成本	[12-13]
	辐照保鲜	用电子束辐照处理三文鱼	彻底杀死三文鱼表面及内部的有害微生物, 有效避免二次污染	消费者存在负面感知, 对市场销售产生一定的影响	[14]
	低温等离子体活化水	将三文鱼浸没在含有低温等离子体活化水的无菌袋中	具有灵活、安全等优点, 能对产品表面均匀杀菌处理	高强度的低温等离子体活化水会引起产品安全和品质隐患	[15-16]
化学保鲜	氯化钠	利用化学试剂杀菌防腐, 保持三文鱼鲜度	有较强的抗氧化能力和抑菌能力	使用不当可能会影响人体健康	[17-20]
	乙酸钠				
生物保鲜	其他	将天然物质配制成一定浓度的溶液, 涂膜、浸泡或喷洒于三文鱼中	具有天然、安全、简便等优点	提取物的结构和成分复杂多样, 且纯度较低	[21-28]
	壳聚糖				
	茶多酚				
	乳酸菌				
	其他				

2.1 动物源生物保鲜剂

动物源保鲜剂是指从动物本身或其分泌物中提取出来的天然物质, 如壳聚糖、鱼鳞胶等, 具有高效、安全健康、无毒副作用的特点, 但提取工艺复杂, 在一定程度上限制了推广应用。

壳聚糖是一种多糖类化合物, 它是由 N-乙酰葡萄糖胺单元组成的高分子化合物, 类似于纤维素和淀粉^[16,32]。由于壳聚糖具备优良的生物相容性、在生物环境中的可再生性和可持续性^[33], 使其在医药、食品、化妆品、农业和环境领域被广泛应用^[34-37]。壳聚糖具有良好的抗氧化和抗菌性能, 能通过干扰细胞正常的生理活动或将自身携带的正电荷(NH³⁺)吸附到带负电荷的细胞壁上, 形成一层高分子膜的同时改变细胞膜选择透性, 壳聚糖可被看作一种表面活性剂, 能够破坏正常的膜质代谢从而杀死细胞, 许多研究者利用壳聚糖良好的成膜性和抑菌性将其做为保鲜剂对三文鱼进行保鲜^[6,38]。SOARES 等^[21]发现 1.5%壳聚糖涂层在保持鲑鱼颜色和抑制微生物活性方面具有有效的保护作用。SOUZA 等^[22]在研究壳聚糖涂层对延长三文鱼鱼片保质期的影响时指出, 用壳聚糖包被的鱼类样品在储存 6 d 后的 pH、K 值以及储存 9 d 后的总活菌数(total viable count, TVC)、三甲胺(trimethylamine, TMA)和硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)值显著降低, 能有效地将三文鱼的保质期再延长 3 d。

鱼鳞胶是一种从鱼类鳞片中提取的胶原蛋白^[23-24]。由于具有天然、可再生和可降解的特性, 鱼鳞胶被广泛应用于食品工业、医药保健、化妆品和包装材料等领域^[25-26]。

鱼鳞胶具有保湿性能, 有助于保持三文鱼肉的湿润度和质地, 还具有固定化酶的功能和抗氧化性, 可用于肉制品中, 提高肉制品的新鲜度, 改善其口感品质并延长其保鲜期^[27]。鱼鳞胶中的活性成分具备抑菌特性, 能够抑制三文鱼常见腐败菌和病原菌的繁殖。有学者利用酸法从罗非鱼鱼鳞中提取的胶原蛋白作基质, 在制备过程中分别添加牛至精油、溶菌酶和茶多酚 3 种天然抑菌剂。结果显示, 添加牛至精油的鱼鳞胶原蛋白基抗菌凝胶相比其他两种天然抑菌剂表现出更强的抑菌效果, 可使三文鱼的货架期延长 2 d^[28]。然而, 鱼鳞胶本身的保鲜效果相对较弱, 为了增强保鲜效果, 可以通过与其他天然植物提取物进行复合保鲜, 展现出更优越的保鲜效果。王珠珠等^[39]将鱼鳞胶原蛋白、壳聚糖和丁香酚复配制备成抗菌海绵衬垫, 与纯胶原海绵相比, 这种胶原复合抗菌海绵在机械性能和抗水性等方面都表现出显著的改善, 并且具备良好的抗菌性能。

2.2 植物源生物保鲜剂

植物源生物保鲜剂是指从植物的花朵、叶子、茎、根、果实或种子等部位提取的浓郁芳香的挥发性化合物, 主要成分包括芳香族化合物、醛类、酸类和醇类等物质, 具有抑制或杀死寄生在植物体上的病原微生物的能力^[40]。根据成分性质的不同, 植物源生物保鲜剂可分为中草药类、植物精油类等。

2.2.1 中草药类

我国对中草药的研究已有几千年的历史, 其成分非常复杂, 包括挥发性化合物、酚类、生物碱、多糖、黄酮类物质等。草药中的活性成分可以抑制或杀灭假单胞菌与

希瓦氏菌等水产品优势腐败菌, 从而延缓三文鱼腐败过程。此外, 一些化合物还具有抗氧化性质, 可以减缓三文鱼中脂肪氧化的速度^[41]。刘亮军等^[42]研究指出丁香酚能长期抑制三文鱼片内微生物的生长, 并防止蛋白质和脂肪的氧化过程。且在磷酸盐缓冲液体系中, 丁香酚在薄膜中具有最高的总释放率和最佳的缓释性能, 相比未改性的硅藻土薄膜, 经丁香酚改性后的薄膜表现出更好的抗菌性能, 显著提高了薄膜的保鲜性能。YU 等^[43]通过低场核磁共振发现姜黄素与胡椒碱能够在一定程度上维持三文鱼样品的新鲜度, 且两种保鲜剂构成的复合保鲜剂在贮藏过程中还能有效抑制质构的下降和持水力的减少, 同时还能够抑制微生物在样品中的生长和扩散。这些天然保鲜剂具有来源广泛、对环境无污染或污染程度低的优点, 但同时也存在生物利用率较低等问题, 可以通过制剂学手段来提高它的生物利用度。郭雅娟等^[44]也发现以葡萄籽提取物为活性物质、利用壳聚糖与 γ -聚谷氨酸之间的静电引力制备的葡萄籽提取物纳米粒子可有效延长三文鱼鱼片货架期 5~7 d。

2.2.2 植物精油类

植物精油可抑制鱼类致病菌的细胞质膜或改变细胞形态和超微结构, 造成细胞生理功能紊乱从而导致细胞死亡, 具有良好的抗细菌感染作用^[45]。杨胜平等^[46]研究表明, 在贮藏末期(12 d)中, 经过牛至精油处理的组与对照组相比, TVC、总挥发性盐基氮含量(total volatile base nitrogen content, TVB-N)、腐胺含量以及尸胺含量均显著降低。此外牛至精油还显示出抑制水从不易流动状态向自由水状态的转变效果, 并对抑制假单胞菌的生长以及维持三文鱼品质方面产生了良好的影响。CUI 等^[47]研究开发了一种新型的黄原胶基可食性涂层, 其中嵌入了纳米胶囊山苍子精油, 包衣处理后能够延缓鲑鱼的氧化过程, 并控制副溶血性弧菌的生长。梅佳林等^[48]研究了芳樟醇对三文鱼的优势腐败菌—莓实假单胞菌 MS 02 (*Pseudomonas fragi* MS 02)的抑菌性能及其抑菌机制, 研究结果显示, 芳樟醇具有破坏莓实假单胞菌细胞膜和细胞壁的通透性和完整性的能力, 从而影响细菌细胞的正常能量代谢, 最终导致菌体死亡。以上研究结果为利用植物精油类保鲜剂提高三文鱼保鲜性能提供了有力的支持。这类提取物具备抑制微生物生长、减少腐败产物生成以及延长三文鱼保鲜期限的潜力, 但生物活性物质结构复杂多样, 其提取和加工过程相对复杂, 可能增加生产成本和操作复杂性。因此, 在今后研究中还需对提取工艺、提取技术以及分离纯化方法进行优化。

2.3 微生物源生物保鲜剂

微生物源保鲜剂是指利用微生物菌体、微生物代谢产物和微生物发酵液等为主要成分制成的生物保鲜剂^[49]。常用于三文鱼保鲜的微生物源保鲜剂主要包括乳酸菌、溶菌酶、蜡样芽孢杆菌等。

乳酸菌是一类具有发酵能力的细菌, 它们能够利用可发酵碳水化合物产生酸性代谢物, 如乳酸、乙酸等, 降低三文鱼肌肉组织的 pH, 抑制病原菌和腐败菌的生长, 从而延长三文鱼的保鲜期^[50]。吕欣然等^[51]以三文鱼为载体, 通过测量细菌持水力、TVC、TBA 和 TVB-N 等新的评价指标, 评估乳酸菌对温和气单胞菌致腐能力的抑制效果。研究结果显示, 乳酸菌展现出有效的细菌菌落总数抑制作用, 同时提高了样品的持水能力, 并且显著降低了 TBA 和 TVB-N, 表明其对温和气单胞菌的致腐能力具有良好的抑制作用。TOMÉ 等^[52]通过对真空包装冷熏制三文鱼进行分析, 成功分离出 9 种产生细菌素的乳酸菌。通过表型和基因型鉴定, 所有细菌素都表现出狭窄的活性谱和较高的抗菌活性。这些分离得到的产细菌素的乳酸菌可以成功用于三文鱼的生物防腐, 并且还开发出对单核细胞增多症具有活性的三文鱼生物防腐剂。人们利用乳酸菌发酵可大量制备生产细菌素, 可采用肉类提取物、酵母提取物(demann-rogosa-sharpe 培养基)以及生物蛋白胨等不同底物作为发酵生产细菌素的基质^[53-54]。细菌素具备抑制多种鱼类腐败细菌和食源性病原体生长的能力, 包括金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、腐败希瓦氏菌、荧光假单胞菌和单核细胞增多李斯特菌。MEI 等^[55]研究指出 0.64 $\mu\text{g/mL}$ 细菌素处理的鲜三文鱼片在 8 d 的贮藏过程中, 可显著降低 TVC、TVB-N 和 K 值, 并保持鲜鱼片品质。MONTIEL 等^[56]研究指出添加纯化的路氏菌素可能被用作一种障碍技术, 以提高安全性并延长冷藏烟熏三文鱼等轻度保存的海鲜产品的保质期。

溶菌酶又称为胞壁酸酶, 溶菌酶主要通过破坏细胞壁肽聚糖中的 β -1,4 糖苷键, 使细胞壁不溶性黏多糖分解为可溶性糖肽, 促使细胞裂解; 还可以通过非酶机制诱导细菌产生自溶酶, 细胞因自溶而亡。然而, 当单独使用时, 溶菌酶表现出功能限制。一方面, 复杂食物环境的存在大大削弱了其抗菌功效; 另一方面, 某些革兰氏阴性细菌具有外膜层防御机制, 阻碍溶菌酶进入目标肽聚糖层, 从而限制其抗菌活性, 因此在水产品保鲜中溶菌酶常与其他保鲜剂结合使用^[57]。WANG 等^[58]采用胶原蛋白-溶菌酶食用涂层对新鲜鲑鱼片进行保鲜效果的评估, 并在储存期间进行了物理、化学、微生物和感官方面的分析。结果显示, 在配比为 0.7%溶菌酶和 4%胶原蛋白的条件下, 能够显著降低 TVB-N, 并有效抑制细菌的生长, 从而实现新鲜鲑鱼片的有效保鲜。DATTA 等^[59]研究指出, 在冷藏温度下, 含有溶菌酶和乳酸链球菌肽的藻酸钙涂层或不含溶菌酶的藻酸钙涂层, 可用于减少即食烟熏三文鱼表面上单核细胞增多李斯特菌和锐钛矿乳杆菌的生长。

芽孢杆菌(*Bacillus*)是一类圆杆状, 可形成芽孢的革兰氏阳性菌, 一般对哺乳动物无害, 可作为人和动物的益生菌。王扬蕊等^[60]利用经荧光假单胞菌单菌感染以及与嗜

水气单胞菌混合菌感染的三文鱼块作为实验载体,探究蜡样芽孢杆菌 YF-2 在水产品保鲜中的作用。结果表明,经蜡样芽孢杆菌 YF-2 处理的三文鱼,在 pH、TBA、TVB-N 以及 TVC 方面的上升速度减缓,同时持水力下降速度减小。这表明蜡样芽孢杆菌 YF-2 的处理能够抑制荧光假单胞菌及其与嗜水气单胞菌混合菌的致腐能力,从而在一定程度上延缓三文鱼的腐败,延长其货架期。

总体来说,微生物源生物保鲜剂具有天然、环保的优点,并通过不同的作用机制来抑制三文鱼的腐败和病原菌生长,从而延长其保鲜期,但目前对于此类研究大多仅限于实验室层面,未来要实现大规模生产和应用,还需要进一步的技术支持。

2.4 三文鱼生物保鲜技术与其他保鲜技术结合

三文鱼为远洋运输渔业产品,其腐败变质通常是多种因素共同作用的结果,单一保鲜方式虽具有一定的保鲜效果,但其各有利弊,因此可以将保鲜剂与其他保鲜技术结合,更加有效地抑制产品中微生物的生长和繁殖,保持产品品质,延长货架期。目前,在三文鱼保鲜中大多采用生物保鲜剂和低温保鲜相结合的方式。低温可以有效降低三文鱼在贮藏过程中的生物化学变化反应速度、抑制微生物的生长发育^[61],但低温贮藏过程中肉质易老化,同时低温还会造成蛋白质结构的变性,影响产品的风味^[62]。生物保鲜剂与低温结合可以使产品的蛋白质结构更加稳定,从而有效地抑制脂肪氧化,延长产品的货架期^[63]。此外,生物保鲜剂与气调保鲜、纳米包装以及辐照保鲜相结合的技术在其他水产品保鲜中应用较多,这将为三文鱼产品的保鲜领域提供参考。

3 生物保鲜剂的应用方式

在对三文鱼进行生物保鲜时,保鲜剂不能发挥长效的抗菌、抗氧化性能,可以将其负载于保鲜膜及保鲜衬垫中,赋予其优异的长效缓释性能及高效协调增效的抗菌抗氧化性能。可以采用多种方式施加生物保鲜剂以达到不同的保鲜效果,其中包括直接施加型和与包装基材混用型。

3.1 直接施加型

直接施加型是指将保鲜剂通过喷涂、涂抹、浸渍等方式直接涂布于三文鱼表面,形成一层无色透明的保护膜,即涂膜保鲜^[64-65]。这种方法能有效减少病原菌的侵染,避免腐烂的发生。杨华等^[66]将壳聚糖、丁香酚、亚麻籽胶和月桂精油复配,对三文鱼鱼片进行涂膜处理,呈现出协同增效的效果,此外,采用多层涂膜构建的缓释体系具有有效延长生物保鲜剂作用时间的特性,从而使丁香酚和月桂精油对鱼片的保鲜效果更好。SATHIVEL^[67]的研究表明,壳聚糖和大豆浓缩蛋白复合的可食用涂层可以显著改善去

皮粉红鲑鱼片的质量。该涂层能有效减少水分损失,并延缓脂质氧化的过程,对于保持鱼片的良好质量和延长其货架寿命具有重要意义。刘均等^[68]研究指出用茶多酚和壳聚糖进行复合涂膜有效抑制了三文鱼块的脂质氧化,延长货架期 3 d 以上。以上研究结果表明,涂膜保鲜技术在改善三文鱼的保鲜性能方面具有显著效果。此方法不仅能有效隔离空气,还限制三文鱼与外界气体的交换,从而降低三文鱼的呼吸作用并减少营养物质的消耗,还能改善三文鱼的硬度和新鲜程度。此外,将多种保鲜剂复合进行涂膜处理能够进一步提高保鲜效果。

3.2 与包装基材混用型

3.2.1 直接混合型

直接混合型是将保鲜剂与包装基材直接混合,通过抗氧化、抗菌、抑制酶活性和增强包装膜阻隔性能等作用机理,达到延长食品保鲜期的目的^[69]。这种方法不仅避免了保鲜剂与三文鱼的直接接触,还可以更好地发挥其抗菌活性。有研究人员将海藻酸钠、壳聚糖和盐酸小檗碱复合制成抑菌包装膜,并探究了该复合包装膜对三文鱼中单核细胞增生李斯特菌的生长抑制效果以及对三文鱼的储藏保鲜效果。研究中通过分析各项理化指标以评估该复合膜对三文鱼的贮藏保鲜效果。盐酸小檗碱/海藻酸钠/壳聚糖复合抑菌包装膜结合 LED 光照处理在抑制单核细胞增生李斯特菌生长、延缓蛋白质降解、防止脂质氧化和维持正常 pH 方面表现出良好的效果,对三文鱼的保鲜效果具有积极作用,保持了其良好的感官品质^[70]。此外,还有研究发现添加丁香酚能使薄膜的保鲜性显著提高,有效抑制鱼片内微生物的生长,并防止蛋白质和脂肪的氧化,而且表面结合的丁香酚增强了薄膜的抑菌性能,使其在鱼片贮藏过程中表现出最佳的保鲜效果^[71]。通过将保鲜剂与包装材料混合,可以确保保鲜剂在整个包装中均匀分布,从而提供更为均衡的保鲜效果,简化了保鲜过程,提高了生产效率。

3.2.2 吸附型

吸附型是指将生物保鲜剂吸附或嵌入载体材料中,以创建小型的抗菌衬垫。该方法在保持肉品质量和提升产品市场竞争力方面发挥了显著的促进作用,契合了活性包装的发展趋势^[72-73]。王珠珠等^[74]将壳聚糖溶液与胶原蛋白溶液按一定的比例混合并加入丁香油乳液和甘油配制抗菌海绵衬垫,研究其对冷藏三文鱼的保鲜效果,结果显示,相比于对照组,使用抗菌海绵衬垫组包装的三文鱼在感官评定、pH、色差值、质构值以及菌落总数等各项评价指标上表现出了更好的效果,只有失重率方面没有明显差异。因此,抗菌海绵衬垫不仅具备吸收肉品滴出汁液、保持销售包装外观整洁的功能,还能释放出抗菌剂,起到防腐保鲜的作用,以延长冷藏三文鱼肉的货架期。

4 结束语

生物保鲜技术在保持食物鲜度和延长保鲜期方面取得了显著进展。与传统的物理保鲜技术相比,生物保鲜剂的抗菌和抗氧化性能为食品行业带来了新的研究方向。相对于果蔬制品,我国关于三文鱼等水产品生物保鲜技术的研究起步较晚,目前以微生物提取物做为三文鱼保鲜剂的应用尚处于实验室阶段,未来要实现大规模生产和应用,还需要进一步的技术支持。另外,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,特别是针对一些新型生物保鲜剂(如植物提取液)。因此,在今后的研究中,需要进一步提高天然保鲜剂的提取率以降低成本。此外,还需进一步开发栅栏技术以综合多种保鲜方法,例如将生物保鲜剂与辐照、纳米包装、气调保鲜技术相结合等,充分发挥不同保鲜技术的特点,优势互补。这些努力将为三文鱼生物保鲜技术的发展提供更多潜力和机遇。

参考文献

- [1] 张雯, 李炜. 冰鲜三文鱼品质的影响因素分析[J]. 现代食品, 2021(7): 1-4.
ZHANG W, LI W. Analysis of factors affecting the quality of chilled salmon [J]. Mod Food, 2021(7): 1-4.
- [2] 王芳. 2023—2028 年中国三文鱼行业竞争格局分析及发展前景预测报告[Z]. 2023.
WANG F. China salmon industry competitive landscape analysis and development prospect forecast report, 2023-2028 [Z]. 2023.
- [3] 江建军, 邓林, 李华. 人工养殖三文鱼营养成分的分析[J]. 食品与机械, 2011(6): 40-42, 46.
JIANG JJ, DENG L, LI H. Analysis of nutrient composition of artificially cultured salmon [J]. Food Mach, 2011(6): 40-42, 46.
- [4] 邓林, 李华, 江建军. 挪威三文鱼的营养评价[J]. 食品工业科技, 2012(8): 377-379.
DENG L, LI H, JIANG JJ. Nutritional evaluation of Norwegian salmon [J]. Food Ind Sci Technol, 2012(8): 377-379.
- [5] 吴翔, 张宝斌, 张健. 三文鱼工厂化养殖技术报告[J]. 黑龙江水产, 2005(3): 8-9.
WU X, ZHANG BB, ZHANG J. Technical report on factory farming of salmon [J]. Heilongjiang Aquacult, 2005(3): 8-9.
- [6] 王尊, 谢晶. 不同保鲜方法对三文鱼品质影响的研究进展[J]. 包装工程, 2016, 37(9): 80-85, 119.
WANG Z, XIE J. Research progress on the effect of different preservation methods on salmon quality [J]. Packag Eng, 2016, 37(9): 80-85, 119.
- [7] CUI H, KARIM N, JIANG F, et al. Assessment of quality deviation of pork and salmon due to temperature fluctuations during superchilling [J]. J Zhejiang Univ-Sci B, 2022, 23(7): 578-586.
- [8] 郝淑贤, 黄卉, 李来好, 等. 宰前预冷联合微冻对罗非鱼片品质的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2022, 42(6): 11-16.
HAO SX, HUANG H, LI LH, et al. Effect of pre-cooling and micro-freezing on the quality of tilapia fillets [J]. J Guangdong Ocean Univ, 2022, 42(6): 11-16.
- [9] 丁婷, 李婷婷, 邹朝阳, 等. 冷藏三文鱼片特定腐败菌致腐能力测定与分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(18): 315-319.
DING T, LI TT, ZOU CY, et al. Determination and analysis of spoilage-causing ability of specific spoilage bacteria in refrigerated salmon fillets [J]. Food Ind Sci Technol, 2015, 36(18): 315-319.
- [10] KAALE LD, EIKEVIK TM, RUSTAD T, et al. Changes in water holding capacity and drip loss of Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle during superchilled storage [J]. LWT-Food Sci Technol, 2014, 55(2): 528-535.
- [11] YE M, NEETOO H, CHEN H. Prior frozen storage enhances the effect of edible coatings against *Listeria monocytogenes* on cold-smoked salmon during subsequent refrigerated storage [J]. J Appl Microbiol, 2011, 111(4): 865-876.
- [12] LI WL, WU XY, WANG QH, et al. Effects of various packaging on the shelf-life of salmon slice during the cold storage [J]. J Xihua Univ (Nat Sci Ed), 2018, 37(2): 40-45.
- [13] FERNÁNDEZ K, ASPE E, ROECKEL M. Shelf-life extension on fillets of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) using natural additives, superchilling and modified atmosphere packaging [J]. Food Control, 2009, 20(11): 1036-1042.
- [14] 郭红霞, 冯涛, 戚文元, 等. 电子束辐照对储藏期间三文鱼鲜度的影响[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(6): 14-19, 24.
GUO HX, FENG T, QI WY, et al. Effects of electron beam irradiation on the freshness of salmon during storage [J]. Preserv Process, 2020, 20(6): 14-19, 24.
- [15] 朱文慧, 谭桂芝, 步营, 等. 低温等离子体耦合微酸性电解水对三文鱼的保鲜作用[J]. 中国食品学报, 2024, 24(2): 228-238.
ZHU WH, TAN GZ, BU Y, et al. Preservation of salmon by low-temperature plasma-coupled microacidic electrolyzed water [J]. Chin J Food Sci, 2024, 24(2): 228-238.
- [16] 钱婧, 仲安琪, 王露丹, 等. 等离子体活性水对生鲜黄鱼杀菌效果及品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(10): 277-283.
QIAN J, ZHONG ANQ, WANG LD, et al. Effects of plasma-activated water on the sterilization effect and quality of fresh yellow croaker [J]. Food Ind Sci Technol, 2020, 41(10): 277-283.
- [17] IBRAHIM SK. Chemical, sensory and shelf life evaluation of sliced salmon treated with salts of organic acids [J]. Food Chem, 2007, 101(2): 592-600.
- [18] 郭严军. 水产品化学保鲜技术 15 法[J]. 中国水产, 1989(6): 37.
GUO YJ. Chemical preservation of aquatic products by 15 methods [J]. Chin Fisher, 1989(6): 37.
- [19] 严凌苓, 陈婷, 龙映均, 等. 国内外水产品保鲜技术研究进展[J]. 江西水产科技, 2013(2): 38-41.
YAN LL, CHEN T, LONG YJ, et al. Progress of aquatic products preservation technology at home and abroad [J]. Jiangxi Aquat Sci Technol, 2013(2): 38-41.
- [20] YU D, YU Z, ZHAO W, et al. Advances in the application of chitosan as a sustainable bioactive material in food preservation [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2022, 62(14): 3782-3797.
- [21] SOARES NMF, OLIVEIRA MSG, VICENTE AA. Effects of glazing and chitosan-based coating application on frozen salmon preservation during six-month storage in industrial freezing chambers [J]. LWT-Food Sci Technol, 2015, 61(2): 524-531.
- [22] SOUZA BWS, CERQUEIRA MA, RUIZ HA, et al. Effect of chitosan-based coatings on the shelf life of salmon (*Salmo salar*) [J]. J Agric Food Chem, 2010, 58(21): 11456-11462.
- [23] YU XY, TANG CE, XIONG SB, et al. Modification of collagen for biomedical applications: a review of physical and chemical methods [J]. Currentorg Chem, 2015, 20(999): 1.
- [24] 胡杨, 杨莉莉, 熊善柏, 等. 水解进程对酶法制备的鱼鳞胶原蛋白肽性

- 能的影响[J]. 华中农业大学学报, 2017, 36(1): 103–109.
- HU Y, YANG LL, XIONG SB, *et al.* Effect of hydrolysis process on the properties of fish scale collagen peptides prepared enzymatically [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 2017, 36(1): 103–109.
- [25] SHALABY M, AGWA M, SAEED H, *et al.* Fish scale collagen preparation, characterization and its application in wound healing [J]. *J Polym Environ*, 2020, 28: 166–178.
- [26] SUBHAN F, HUSSAIN Z, TAUSEEF I, *et al.* A review on recent advances and applications of fish collagen [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2021, 61(6): 1027–1037.
- [27] CHEN YP, WU HT, WANG GH, *et al.* Improvement of skin condition on skin moisture and anti-melanogenesis by collagen peptides from milkfish (*Chanos chanos*) scales [C]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2018, 382(2): 022067.
- [28] 叶忱. 罗非鱼鳞胶原蛋白基抗菌凝胶的研究及在三文鱼保鲜中的应用[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- YE C. Research on tilapia scale collagen-based antimicrobial gel and its application in salmon preservation [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016.
- [29] 张亚美, 池帅, 李颖畅, 等. 生物保鲜剂在水产品保鲜中的应用及研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(11): 36–44.
- ZHANG YM, CHI S, LI YC, *et al.* Application and research progress of biological preservatives in aquatic products preservation [J]. *China Food Addit*, 2023, 34(11): 36–44.
- [30] 李丹丹, 郑丽, 刘雨晗, 等. 猪肉生物保鲜技术研究进展[J]. 肉类研究, 2020, 34(11): 98–105.
- LI DD, ZHENG L, LIU YH, *et al.* Research progress of pork biopreservation technology [J]. *Meat Res*, 2020, 34(11): 98–105.
- [31] GOKOGLU N. Novel natural food preservatives and applications in seafood preservation: A review [J]. *J Sci Food Agric*, 2019, 99(5): 2068–2077.
- [32] 郭雅娟, 范军刚, 李建珍. 葡萄籽提取物纳米粒子/普鲁兰多糖涂膜对三文鱼鱼片品质的影响[J]. 食品与机械, 2023, 39(8): 116–121, 191.
- GUO YJ, FAN JG, LI JZ. Effect of grape seed extract nanoparticles/purulan polysaccharide coating on the quality of salmon fillets [J]. *Food Mach*, 2023, 39(8): 116–121, 191.
- [33] TAN H, MA R, LIN C, *et al.* Quaternized chitosan as an antimicrobial agent: Antimicrobial activity, mechanism of action and biomedical applications in orthopedics [J]. *Int J Mol Sci*, 2013, 14(1): 1854–1869.
- [34] SHARIATINIA Z. Pharmaceutical applications of chitosan [J]. *Adv Colloid Interf Sci*, 2019, 263: 131–194.
- [35] AIDER M. Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2010, 43(6): 837–842.
- [36] LI Q, DUNN ET, GRANDMAISON EW, *et al.* Applications and properties of chitosan [M]. *Applications of Chitan and Chitosan*. CRC Press, 2020: 3–29.
- [37] MORIN-CRINI N, LICHTFOUSE E, TORRI G, *et al.* Applications of chitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetics, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry [J]. *Environ Chem Lett*, 2019, 17(4): 1667–1692.
- [38] ZHANG Q, ZHAO Y, YAO Y, *et al.* Characteristics of hen egg white lysozyme, strategies to break through antibacterial limitation, and its application in food preservation: A review [J]. *Food Res Int* 2024, 181: 114114.
- [39] 王珠珠, 王利强, 李保强, 等. 鱼鳞胶原基复合抗菌海绵制备工艺优化及性能研究[J]. 食品科技, 2019, 44(7): 75–81.
- WANG ZZ, WANG LQ, LI BQ, *et al.* Optimization of preparation process and performance study of fish scale collagen-based composite antimicrobial sponges [J]. *Food Sci Technol*, 2019, 44(7): 75–81.
- [40] 徐甜, 高成成, 汤晓智. 壳聚糖/植物精油可食性抗菌膜研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(18): 323–329, 335.
- XU T, GAO CC, TANG XZ. Research progress of edible antimicrobial film with chitosan/vegetable essential oil [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2018, 39(18): 323–329, 335.
- [41] RADULOVIC NS, BLAGOJEVIC PD, STOJANOVIC-RADIC ZZ, *et al.* Antimicrobial plant metabolites: Structural diversity and mechanism of action [J]. *Current Med Chem*, 2013, 20(7): 932–952.
- [42] 刘亮军, 张冉, 杨峻乙, 等. 丁香酚/硅藻土改性超双疏水性聚氨酯薄膜的制备及其对三文鱼鱼片的保鲜性能研究[C]. 中国食品科学技术学会, 2022.
- LIU LJ, ZHANG R, YANG JY, *et al.* Preparation of eugenol/diatomaceous earth-modified superdouble hydrophobic polyurethane film and its freshness preservation performance on salmon fillets [C]. *Chinese Society for Food Science and Technology*, 2022.
- [43] YU Y J, LIN T, YANG SP, *et al.* The effect of curcumin combined with piperine on quality of salmon (*Salmo salar*) in cold chain logistics [J]. *Food Ferment Ind*, 2021, 47: 152–160.
- [44] 郭雅娟, 范军刚, 李建珍. 葡萄籽提取物纳米粒子/普鲁兰多糖涂膜对三文鱼鱼片品质的影响[J]. 食品与机械, 2023, 39(8): 116–121, 191.
- GUO YJ, FAN JG, LI JZ. Effect of grape seed extract nanoparticles/purulan polysaccharide coating on the quality of salmon fillets [J]. *Food Mach*, 2023, 39(8): 116–121, 191.
- [45] 咎春兰, 汤海青, 欧昌荣, 等. 桉叶精油对水产品中 4 种微生物的抑菌效果及抑菌机理[J]. 食品工业科技, 2018, 39(19): 20–26.
- ZAN CL, TANG HQ, OU CR, *et al.* Inhibitory effect and inhibitory mechanism of eucalyptus essential oil on four microorganisms in aquatic products [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2018, 39(19): 20–26.
- [46] 杨胜平, 章缜, 程颖, 等. 牛至精油对荧光假单胞菌的抑制作用及其对冷藏三文鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(1): 215–222.
- YANG SP, ZHANG J, CHENG Y, *et al.* Inhibitory effect of oregano essential oil on *Pseudomonas fluorescens* and its effect on the quality of frozen salmon [J]. *Food Sci*, 2020, 41(1): 215–222.
- [47] CUI H, YANG M, SHI C, *et al.* Application of xanthan-gum-based edible coating incorporated with *Litsea cubeba* essential oil nanoliposomes in salmon preservation [J]. *Foods*, 2022, 11(11): 1535.
- [48] 梅佳林, 李婷婷, 张星晖, 等. 芳樟醇对三文鱼源莓实假单胞菌的抑菌机理[J]. 食品科学, 2022, 43(9): 199–206.
- MEI JL, LI TT, ZHANG XH, *et al.* Inhibitory mechanism of linalool against *Pseudomonas syringae* from salmon [J]. *Food Sci*, 2022, 43(9): 199–206.
- [49] 张桢. 水产品生物保鲜专利技术分析综述[J]. 食品安全导刊, 2020(24): 174.
- ZHANG Z. An analysis of aquatic products biopreservation patents [J]. *Food Saf J*, 2020(24): 174.
- [50] ZHANG J, TIAN ZG, WANG JH, *et al.* Advances in antimicrobial molecular mechanism of organic acids [J]. *Chin J Anim Veter Sci*, 2011, 42(3): 323–328.
- [51] 吕欣然, 高永悦, 杜宏, 等. 降解温和气单胞菌 AHLs 乳酸菌的筛选及在三文鱼保鲜中的应用[C]. 中国食品科学技术学会, 2022: 2.
- LV XR, GAO YY, DU H, *et al.* Screening of lactic acid bacteria degrading mild *Aeromonas aeruginosa* AHLs and their application in salmon preservation [C]. *Chin Soc Food Sci Technol*, 2022: 2.
- [52] TOMÉ E, TODOROV SD, GIBBS PA, *et al.* Partial characterization of nine bacteriocins produced by lactic acid bacteria isolated from cold-smoked salmon with activity against *Listeria monocytogenes* [J].

- Food Biotechnol, 2009, 23(1): 50–73.
- [53] 陈晶晶, 吕敏, 阮志德, 等. 天然生物保鲜剂应用于海鲜保鲜的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(2): 9–14, 20.
CHEN JJ, LU M, RUAN ZD, *et al.* Research progress on the application of natural biofreshness preservatives for seafood preservation [J]. Anhui Agric Sci, 2023, 51(2): 9–14, 20.
- [54] CALO-MATA P, ARLINDO S, BOEHME K, *et al.* Current applications and future trends of lactic acid bacteria and their bacteriocins for the biopreservation of aquatic food products [J]. Food Bioprocess Technol, 2008, 1: 43–63.
- [55] MEI J, SHEN Y, LIU W, *et al.* Effectiveness of sodium alginate active coatings containing bacteriocin EFL4 for the quality improvement of ready-to-eat fresh salmon fillets during cold storage [J]. Coatings, 2020, 10(6): 506.
- [56] MONTIEL R, MARTÍN-CABREJAS I, LANGA S, *et al.* Antimicrobial activity of reuterin produced by *Lactobacillus reuteri* on *Listeria monocytogenes* in cold-smoked salmon [J]. Food Microbiol, 2014, 44: 1–5.
- [57] 周道志, 曾凤仙. 关于生物保鲜剂在水产品保鲜中的应用分析[J]. 江西水产科技, 2018(3): 47–49.
ZHOU DZ, ZENG FX. Analysis on the application of biological preservatives in aquatic products preservation [J]. Jiangxi Aquat Sci Technol, 2018(3): 47–49.
- [58] WANG Z, HU S, GAO Y, *et al.* Effect of collagen-lysozyme coating on fresh-salmon fillets preservation [J]. LWT, 2017, 75: 59–64.
- [59] DATTA S, JANES ME, XUE QG, *et al.* Control of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella anatum* on the surface of smoked salmon coated with calcium alginate coating containing oyster lysozyme and nisin [J]. J Food Sci, 2008, 73(2): M67–M71.
- [60] 王扬蕊, 白凤翎, 励建荣, 等. 具有群体淬灭活性物质的蜡样芽孢杆菌 YF-2 在三文鱼保鲜中的应用[C]. 中国食品科学技术学会, 2022: 2.
WANG YR, BAI FL, LI JR, *et al.* Application of *Bacillus cereus* YF-2 with population quenching activity in salmon preservation [C]. Chinese Society for Food Science and Technology, 2022: 2.
- [61] YE K, WANG K, LIU M, *et al.* Mathematical modelling of growth of *Listeria monocytogenes* in raw chilled pork [J]. Lett Appl Microbiol, 2017, 64(4): 309–316.
- [62] 简海云, 拉草吹批, 亚迪卡尔·亚生, 等. 三文鱼加工副产物酶解物对肌肉的冷冻保护作用研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(18): 84–93.
JIAN HY, LARONGCUIPI, YADIKAEER YS, *et al.* Study on the cryoprotective effects of enzymatic digests of *Salmo salar* processing by-products on muscles [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(18): 84–93.
- [63] 杨华. 亚麻籽胶/壳聚糖复合保鲜涂膜的制备及其对三文鱼鱼片冷藏品质的影响[D]. 沈阳: 渤海大学, 2021.
YANG H. Preparation of flaxseed gum/chitosan composite freshness coating film and its effect on the refrigerated quality of salmon fillets [D]. Shenyang: Bohai University, 2021.
- [64] 王雅妮. 三明治型 KGM/SA/KGM 复合涂膜对三文鱼鱼片的保鲜性能研究[D]. 沈阳: 渤海大学, 2021.
WANG YN. Research on the freshness preservation performance of sandwich type KGM/SA/KGM composite coated film on salmon fillets [D]. Shenyang: Bohai University, 2021.
- [65] HASSAN B, CHATHA SAS, HUSSAIN AI, *et al.* Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review [J]. Int J Biol Macromol, 2018, 109(2): 1095–1107.
- [66] 杨华, 王雅妮, 孙晓冬, 等. FG/CS 逐层复合保鲜涂膜对三文鱼鱼片品质的影响[J]. 包装工程, 2022, 43(1): 98–105.
YANG H, WANG YN, SUN XD, *et al.* Effect of FG/CS layer-by-layer composite freshness coating on the quality of salmon fillets [J]. Packag Eng, 2022, 43(1): 98–105.
- [67] SATHIVEL S. Chitosan and protein coatings affect yield, moisture loss, and lipid oxidation of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) fillets during frozen storage [J]. J Food Sci, 2005, 70(8): e455–e459.
- [68] 刘均, 吕杨俊, 潘俊娴, 等. 茶多酚复配壳聚糖对三文鱼货架期的影响[J]. 中国茶叶加工, 2019(4): 66–71.
LIU J, LU YJ, PAN JX, *et al.* Effects of tea polyphenols compounded with chitosan on the shelf-life of salmon [J]. China Tea Process, 2019(4): 66–71.
- [69] ZHONG C, HOU PF, LI YX, *et al.* Characterization, antioxidant and antibacterial activities of gelatin film incorporated with protocatechuic acid and its application on beef preservation [J]. LWT, 2021, 151: 112154.
- [70] 王百川. 低温预制食品中单核细胞增生李斯特菌生长模型的构建及光动力抑菌的应用[D]. 南昌: 南昌大学, 2022.
WANG BC. Construction of growth model of *Listeria monocytogenes* in low-temperature prepared food and application of photodynamic inhibition [D]. Nanchang: Nanchang University, 2022.
- [71] 张冉. 丁香酚/硅藻土改性超双疏聚氨基酯薄膜的制备及其对三文鱼鱼片的保鲜性能研究[D]. 沈阳: 渤海大学, 2021.
ZHANG R. Preparation of eugenol/diatomaceous earth modified superbiphobic polyurethane film and its freshness preservation performance on salmon fillets [D]. Shenyang: Bohai University, 2021.
- [72] 李念. 抗菌衬垫及包装材料对肉品保鲜效果影响的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2007.
LI N. Research on the effect of antimicrobial liner and packaging materials on meat preservation [D]. Chongqing: Southwest University, 2007.
- [73] CHI S, ZHANG YM, WANG LL, *et al.* Application and research progress of fresh film and liner for fresh aquatic products [J]. Packag Eng, 2023, 44(11): 1–9.
- [74] 王珠珠, 王利强, 方丹丹, 等. 胶原/壳聚糖抗菌海绵衬垫对三文鱼品质变化的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(7): 157–161.
WANG ZZ, WANG LQ, FANG DD, *et al.* Effect of collagen/chitosan antimicrobial sponge liners on quality changes of salmon [J]. Food Mach, 2019, 35(7): 157–161.

(责任编辑: 韩晓红 蔡世佳)

作者简介



蔡路昀, 博士, 教授, 主要研究方向为食品营养与健康。

E-mail: cailuyun@zju.edu.cn



徐冉, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为海洋资源开发与高价值利用。

E-mail: xuran@zju.edu.cn