

茶多酚抑菌机理及在水产品保鲜中的应用进展

蓝蔚青^{1,2}, 杜金涛¹, 梅俊¹, 谢晶^{1,2}

(1.上海海洋大学 食品学院, 上海 201306; 2.上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心 食品科学与工程国家级实验教学示范中心(上海海洋大学), 上海 201306)

摘要: 目的 随着人们对食品安全问题的重视, 探究茶多酚的作用机制并将其用于水产品保鲜现已成为研究热点之一。**方法** 在介绍茶多酚的化学组成和主要作用机制的基础上, 阐述茶多酚在水产品保鲜中的应用研究进展, 提出存在的问题和解决方法, 展望茶多酚在水产品保鲜领域的发展前景。**结果** 茶多酚具有良好的抗氧化性和抑菌活性, 作为一种来源广泛、天然安全的生物保鲜剂, 相较于化学合成的保鲜剂, 更能满足人们追求绿色健康食品理念的要求。**结论** 只有充分挖掘茶多酚的优势, 结合新型保鲜剂或处理方式, 才能更好地发挥茶多酚在水产品保鲜方面的作用, 使其发展前景更加广阔。

关键词: 茶多酚; 作用机理; 水产品; 保鲜; 研究进展

中图分类号: S983 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2021)05-0073-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.05.009

Research Progress on Antibacterial Mechanism of Tea Polyphenol and Its Application in Preservation of Aquatic Products

LAN Wei-qing^{1,2}, DU Jin-tao¹, MEI Jun¹, XIE Jing^{1,2}

(1.School of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2.Shanghai Aquatic Products Processing and Storage Engineering Technology Research Center,
National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering
(Shanghai Ocean University), Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: With people's attention to food safety, the investigation on the mechanism of tea polyphenol (TP) and its application in the preservation of aquatic products becomes one of the research hotspots. Based on the introduction to the chemical composition and main action mechanism of TP, the research progress on application of TP in the preservation of aquatic products was reviewed. The existing problems and solutions were put forward. The development of TP in the field of aquatic products preservation was also prospected. As a natural and safe biological preservative, TP had good antioxidant and antibacterial activities. Compared with chemical synthetic preservatives, TP could meet the requirements of people's pursuit of green and healthy food. Only by fully exploiting the advantages of TP and combining it with new anti-staling agents or treatment methods, can TP play a better role in the preservation of aquatic products and make its development prospects broader.

KEY WORDS: tea polyphenol; action mechanism; aquatic product; preservation; research progress

收稿日期: 2020-08-15

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-47-G26); “十三五”国家重点研发计划重点专项(2019YFD0901602); 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心能力提升项目(19DZ2284000)

作者简介: 蓝蔚青(1977—), 博士, 上海海洋大学高级工程师, 主要研究方向为水产品保鲜技术。

通信作者: 谢晶(1968—), 博士, 上海海洋大学教授, 主要研究方向为水产品保鲜技术。

我国是世界渔业生产、水产养殖和贸易大国，水产品在国民经济中占有重要比例。据《2020 中国渔业统计年鉴》显示，我国 2019 年水产品总产量为 6480.36 万 t，比上年增长 0.35%^[1]。水产品因其口感独特，蛋白质含量高，富含多不饱和脂肪酸和必需氨基酸等，深受消费者喜爱。水产品死后，在酶和微生物的作用下，易使蛋白质和氨基酸等分解，并发生一系列的变化，导致其腐败变质^[2]。在保证安全卫生的前提下，可采用适当的保鲜方式，延缓水产品品质劣变，延长货架期。水产品常用的保鲜方式有物理保鲜法、化学保鲜法和生物保鲜法等。近年来，生物保鲜法因使用的生物保鲜剂具有来源广泛、绿色安全等特点，因此受到研究人员的重视，并逐渐用于水产品保鲜中^[3]。生物保鲜剂是指从动植物、微生物中提取或应用生物工程技术获得的具有保鲜效果的一类保鲜剂^[4]。生物保鲜剂按来源可分为植物源、动物源、微生物源和酶类保鲜剂等 4 种^[5]。茶多酚（Tea Polyphenols, TP）为植物源生物保鲜剂中的一种，是从茶叶中提取出的天然多酚类物质，由于其具有安全性高，抗氧化能力强，无毒副作用和可防腐保鲜等特点，因此作为一种良好的天然食品抗氧化剂和抑菌剂加以应用。

1 茶多酚的理化性质和抑菌机制

茶多酚又名茶鞣质或茶单宁，是茶叶的主要成分，也是茶叶中多酚类物质的总称，主要包括儿茶素、黄酮、花青素和酚酸等 4 类化合物。儿茶素占茶多酚总量的 65%~80%，为活性多羟基结构，是茶多酚具有良好抗氧化性的基础^[6]。儿茶素类化合物主要包括儿茶素（Catechin, C）、表儿茶素（Epicatechin, EC）、

没食子儿茶素（Gallocatechin, GC）、表没食子儿茶素（Epigallocatechin, EGC）、表儿茶没食子酸酯（Epicatechingallate, ECG）和表没食子儿茶素没食子酸酯（Epigallocatechin gallate, EGCG）等 6 种^[7-8]。纯茶多酚为白色不定性结晶或粉末，虽然有一定的热、酸稳定性，但在 pH 值大于 8 或光照条件下易发生氧化褐变^[9]。茶多酚有茶香味和涩味，略有吸潮性，在潮湿空气中易氧化成淡黄至褐色，易溶于水、甲醇、乙醇、乙酸乙酯和丙酮等有机溶剂，微溶于油脂，不溶于氯仿^[10]。

相关文献显示，茶多酚主要通过破坏菌体细胞膜结构，改变其正常形态，干扰菌体 DNA 的正常功能，阻碍菌体蛋白质的合成和表达等从而实现抑菌的作用^[11]。其中，董璐等^[12]研究发现，茶多酚对大肠杆菌的最小抑菌质量浓度为 40 μg/mL，通过影响菌体细胞膜的通透性，作用于细胞中的遗传物质，达到抑菌目的；Yi 等^[13]研究得出，铜绿假单胞菌经茶多酚处理后，其细胞膜的通透性发生改变，细胞壁完整性缺失，菌体代谢紊乱，导致其死亡。茶多酚作为多酚类物质，其对微生物的作用机制^[14]见图 1。

茶多酚中的酚羟基是儿茶素类化合物用来清除自由基和实现抗氧化作用的主要活性基团，其直接作用于自由基和酶，并通过诱导氧化的过渡金属离子络合，再生体内高效抗氧化剂等方式，实现抗氧化作用^[15]。

随着对食品安全问题的重视，茶多酚作为一种天然的食品保鲜剂，在诸多领域得到应用^[16]。文中拟在介绍茶多酚的化学组成和作用机制的基础上，阐述茶多酚在水产品保鲜中的应用和研究进展，提出存在的问题和解决方法，展望茶多酚在水产品保鲜方面的发展前景，以期为拓展茶多酚的应用提供理论参考。

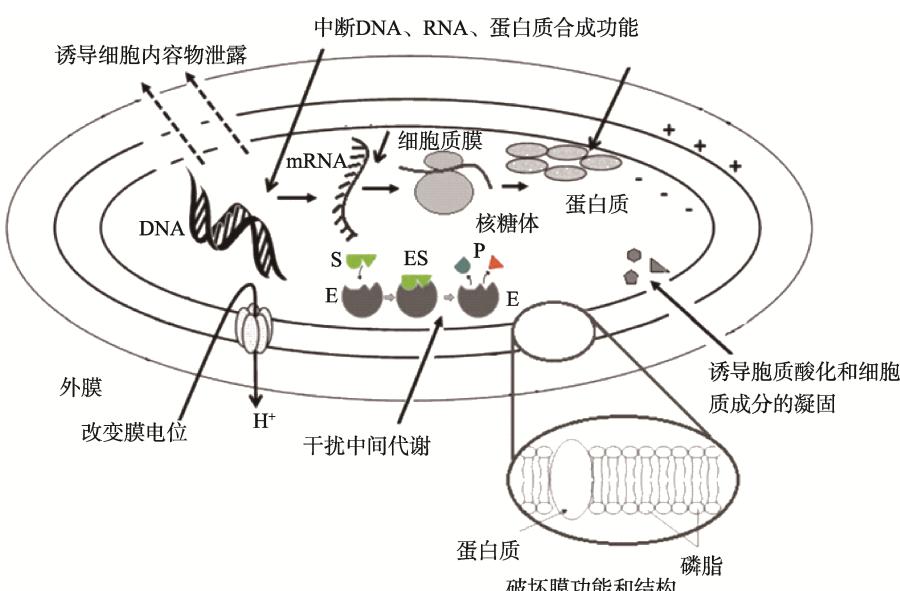


图 1 茶多酚等多酚类物质对微生物的作用机制
Fig.1 Action mechanism of polyphenols such as tea polyphenols on microorganisms

2 茶多酚在水产品保鲜中的应用

2.1 茶多酚单独用于水产品保鲜

茶多酚用于水产品保鲜, 能有效抑制鱼肉脂质氧化、总挥发性盐基氮 (Total Volatile Basic Nitrogen, TVB-N) 值和菌落总数的升高, 延缓其腐败变质^[17~18]。目前已有相关研究学者开展了茶多酚单独用于水产品保鲜的研究。其中, 田光娟^[19]研究得出, 25 g/L 茶多酚能有效抑制鲫鱼鱼片的脂肪氧化, 使鲫鱼鱼片的冷藏货架期达 18 d; 蓝蔚青等^[20]实验发现, 6.0 g/L 茶多酚保鲜液浸渍处理带鱼, 能使其冷藏期间的二级鲜度货架期至少延长 3 d; Jia 等^[21]研究结果显示, 5 g/L 茶多酚处理可延长鲢鱼鱼片冷藏货架期 4 d; 鞠健等^[22]研究得出, 2 g/L 茶多酚处理可明显抑制鲈鱼冷藏期间 K 值、TVB-N 值和表面疏水性的升高, 较好地保持其鲜度, 抑制肌原纤维蛋白氧化; 程荻等^[23]研究显示, 1 g/L 茶多酚处理能较好地改善鲤鱼鱼糜制品冷藏期间的综合品质; Xu 等^[24]研究表明, 儿茶素作为茶多酚的主要成分, 20 g/L 儿茶素处理在超冷和冷藏条件下均能有效地延缓草鱼鱼片的软化, 且处理后的鱼片硬度值比对照组分别提高了 72.6% 和 75.8%。茶多酚处理不仅在冷藏条件下可表现出良好的保鲜效果, 同时在冻藏条件下也可发挥其作用。徐倩等^[25]研究表明, 2 g/L 茶多酚处理能明显延缓鲻鱼在微冻贮藏期间的 TVB-N 值和硫代巴比妥酸 (Thiobarbituric acid, TBA) 值的升高, 延缓品质劣变; Luan 等^[26]研究表明, 6.0 g/L 茶多酚结合超冷 (-3°C) 处理可抑制带鱼在冻藏期间的脂质氧化和微生物的生长, 延缓其腐败进程; 吴圣彬等^[27]研究显示, 带鱼经 6.0 g/L 茶多酚浸渍处理后, 其在 -18°C 冻藏期间的各项指标均优于空白对照组。

2.2 与其他生物保鲜剂复合用于水产品保鲜

复合生物保鲜剂是指多种生物保鲜剂按比例混合配制成的复合物, 其能在减少保鲜剂用量的同时, 发挥其协同抑菌作用, 提升综合保鲜效果, 此法是未来水产品保鲜的重要方向^[15]。将茶多酚与其他生物保鲜剂复合使用, 其作用效果也十分显著。其中, 余小亮等^[28]研究发现, 按体积比为 1:1 配制的茶多酚-肉桂精油复合保鲜剂具有很强的抗氧化活性, 对金黄色葡萄球菌的抑制效果好; Li 等^[29]研究得出, 2 g/L 茶多酚、2 g/L 迷迭香提取物与 15 g/L 壳聚糖复配处理, 能明显延长大黄鱼的冷藏货架期 8~10 d; 刘开华等^[30]研究表明, 10 g/L 壳聚糖与 3 g/L 茶多酚复配可明显抑制鳙鱼鱼肉贮藏期间各项指标的上升, 延长其冷藏货架期 10 d 以上; 徐楚等^[31]研究得出, 在 0 °C 冰藏条件下, 0.1 g/kg 茶多酚、4.0 g/kg 壳聚糖与 0.5 g/kg 溶菌酶复配处理可有效延长高白鲑在冰藏期

间的一级鲜度至 4 d; 倪佳丹等^[32]实验表明, 3.0 g/L 茶多酚与 10.0 g/L 壳聚糖复配, 可使鮰鱼在 25 °C 和 4 °C 下的货架期分别延至 30~36 h 和 12~15 d; 刘均等^[33]研究得出, 20 g/L 壳聚糖结合 6 g/L 茶多酚可延长三文鱼块冷藏货架期 3 d 以上; Ju 等^[34]研究表明, 3.0 g/kg 茶多酚结合 5.0 g/kg Nisin 处理, 可较好地维持鲈鱼鱼片的感官品质, 与对照组相比, 在鲜冻和冷藏状态下能有效地抑制脂质的氧化、蛋白质的分解和微生物的生长; Nie 等^[35]采用 5 g/L 茶多酚与 15 g/L 海藻酸钠相结合, 能使处理后的鲈鱼鱼片冷藏货架期至少延长 5 d。综上所述, 茶多酚结合其他生物保鲜剂复配, 能发挥其栅栏效应, 提升保鲜效果, 延长水产品的贮藏货架期。

3 存在的问题与解决办法

茶多酚作为一种天然、安全的食品抗氧化剂, 在食品保鲜中已得到较好的应用, 但存在油溶性差、自身易氧化和作用机制尚不明确等问题。可通过酯化或甲基化将茶多酚修饰, 在不影响其抗氧化性的前提下增加脂溶效果。同时, 开展对茶多酚最终产物与食品营养成分间作用关系的研究, 探求茶多酚抗氧化与自身氧化间的平衡问题。在实际生活方面, 茶多酚除可单独使用或与其他保鲜剂复配外, 还可将其与其他保鲜技术相结合, 或对茶多酚进行改性, 在减少其用量的同时, 发挥协同效应, 实现预期的目的^[9,15]。

3.1 与其他保鲜技术相结合

为提升茶多酚的作用效果, 可将其与气调保藏、辐照保藏、镀冰衣等相结合, 发挥其协同增效作用。其中, Feng 等^[36]研究发现, 2 g/L 茶多酚结合 1.0 mg/mL 臭氧水处理能有效地延缓黑鲷鱼在冷藏期间的各项指标的上升, 延长其货架期 6 d; 茶多酚与涂膜结合也可以起到一定的保鲜作用, Cao 等^[37]将茶多酚结合明胶涂膜处理, 结果表明, EGCG 明胶生物膜处理可降低罗非鱼鱼片的微生物数量和相对丰度, 提升其品质, 延长鱼片冷藏货架期 6 d; 武娇等^[38]研究发现, 在原位合成纳米 SiO_x 壳聚糖涂膜时, 向配制溶液中加入 0.15 g 溶菌酶和 0.25 g 茶多酚, 可使海鲈鱼的冷藏货架期延长 9~10 d。还有相关文献指出, 2 g/L 茶多酚结合真空包装, 能抑制样品在冷藏期间的理化指标升高, 在 0 °C 和 4 °C 条件下可分别延长其货架期 4~6 d 和 3~4 d^[39]; 0.3 g/kg 茶多酚结合 4 kGy 辐照处理, 能有效地延缓鲈鱼冷藏过程中的品质劣变^[40]; 采用 8.0 g/L 的茶多酚液镀冰衣能改善南美白对虾虾体色泽, 保持其良好品质, 减缓其在 -18 °C 冻藏期间的脂质氧化^[41]。综上, 茶多酚与其他保鲜技术结合具有协同增效作用, 可适当抑制水产品在贮藏期间微生物的生长, 提升其品质, 延长货架期。

3.2 茶多酚改性

采用茶多酚改性法, 可增加茶多酚在油脂中的溶解度和在油脂类食品中的抗氧化性。常用的改性方法主要有包埋法、乳化法、化学修饰和酶法修饰等^[42]。其中, 于林等^[43]研究表明, 斜带石斑鱼经茶多酚改性胶原蛋白-壳聚糖复合膜处理后, 在冷藏期间鱼肉的肌动球蛋白变性速率和巯基含量降低缓慢, 能抑制TVB-N值和细菌总数的上升; 朱媛等^[44]研究发现, 用乙酸酐对茶多酚进行改性, 以改性产物对大肠杆菌的抑制能力为参数, 改性后的产物对大肠杆菌的抑菌圈直径比茶多酚处理组增加了1.35倍; 包埋法是将茶多酚包覆在高分子材料中, 通过喷雾干燥形成微型胶囊^[42]; 微胶囊化能增强食品的抗氧化活性, 通过防止氧化来延长产品的货架期, 并能掩盖茶多酚引起不必要的苦涩味^[45]; Zhang等^[46]采用流延法制备茶多酚微胶囊/LZM-PVA复合缓释涂料, 研究其抗菌性能, 结果表明, 该复合涂料对水产品中的主要腐败菌荧光假单胞菌和腐败链球菌都表现出较强的抗菌活性, 能有效地抑制菌体的生长, 破坏其细胞膜和细胞壁; 张家涛等^[47]研究得出, 茶多酚微胶囊/溶菌酶-聚乙烯醇复合涂膜可有效地抑制美国红鱼鱼片菌落总数的升高, 延缓脂肪氧化和蛋白质降解, 参考菌落总数标准限值, 该处理可延长冷藏货架期4~5d。

4 结语

茶多酚具有良好的抗氧化和抑菌活性, 作为一种来源广泛、天然安全的生物保鲜剂, 相较于化学合成的保鲜剂, 更能满足人们追求绿色健康食品理念的要求, 受到广大消费者的青睐, 在水产品加工保鲜方面应用广泛。单独使用茶多酚已不能满足如今消费市场的需求, 这使茶多酚结合壳聚糖、溶菌酶、Nisin等生物保鲜剂的复合保鲜方式应运而生。不仅如此, 茶多酚与气调、辐照、臭氧水等处理技术相结合, 能减少生物保鲜剂的使用量, 增强其抑菌效果和处理稳定性, 成为水产品保鲜加工的热点。茶多酚的脂溶性并不理想, 在易溶解条件下抗氧化性会有所降低, 这在一定程度上限制了茶多酚价值的发挥。采用微胶囊、乳化与化学修饰等技术, 能提高其脂溶性和抗氧化性。只有充分挖掘茶多酚的优势, 结合新型保鲜剂或处理方式, 才能使茶多酚更好地发挥其作用, 应用于水产品保鲜, 使其发展前景更加广阔。

参考文献:

- [1] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020: 39.
- [2] 蓝蔚青, 冯豪杰, 刘大勇, 等. 微生物源生物保鲜剂对水产品腐败菌作用机制研究进展[J]. 包装工程, 2020, 41(5): 31—38.
- [3] LAN Wei-qing, FENG Hao-jie, LIU Da-yong, et al. Research Progress on Mechanism of Microbial Source Bio-preservatives on Spoilage Bacteria of Aquatic Products[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(5): 31—38.
- [4] 李娜, 谢晶. 组合保鲜方式应用于水产品保鲜的研究进展[J]. 食品与机械, 2017, 33(11): 204—207.
- [5] LI Na, XIE Jing. Progress on Application of Combination Preservation Methods for Preservation of Aquatic Products [J]. Food and Machinery, 2017, 33(11): 204—207.
- [6] 刘寒, 钱磊, 张志军, 等. 生物保鲜剂应用于水产品保鲜的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(18): 208—212.
- [7] LIU Han, QIAN Lei, ZHANG Zhi-jun, et al. Research Progress on Application of Biological Preservatives in Aquatic Products [J]. Food Research and Development, 2019, 40(18): 208—212.
- [8] 蓝蔚青, 陈梦玲, 王蒙, 等. 植物源生物保鲜剂对水产品微生物抑菌机制研究进展[J]. 食品与机械, 2018, 34(10): 191—195.
- [9] LAN Wei-qing, CHEN Meng-ling, WANG Meng, et al. Research Progress on Bacteriostasis Mechanism of Plant-source Bio-preservatives to Aquatic Products[J]. Food and Machinery, 2018, 34(10): 191—195.
- [10] ZHANG Chuang, CLAIRE L S, YANG Chao, et al. Antioxidant Capacity and Major Polyphenol Composition of Teas as Affected by Geographical Location, Plantation Elevation and Leaf Grade[J]. Food Chemistry, 2018, 244: 109—119.
- [11] 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.
- [12] WANG Yu-ting, SHAO Xiu-zhi, JI Guo-qi. Research Progress on Application of Tea Polyphenol in Preservation of Aquatic Products[J]. Storage and Process, 2010, 10(6): 42—45.
- [13] YAN Zhao-ming, ZHONG Yin-zhao, DUAN Ye-hui, et al. Antioxidant Mechanism of Tea Polyphenols and Its Impact on Health Benefits[J]. Animal Nutrition, 2020, 6(2): 115—123.
- [14] 李颖畅, 张笑, 仪淑敏, 等. 茶多酚对水产品的保鲜机理及其应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(8): 365—368.
- [15] LI Ying-chang, ZHANG Xiao, YI Shu-min, et al. Research Progress in Preservative Mechanism and Appli-

- cation of Tea Polyphenols in Aquatic Products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(8): 365—368.
- [10] 王帅, 任丹丹, 吴哲, 等. 多酚类化合物及其在水产品保鲜中的应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(21): 7200—7206.
WANG Shuai, REN Dan-dan, WU Zhe, et al. Research Progress on Polyphenols and Its Application in Aquatic Products Preservation[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2019, 10(21): 7200—7206.
- [11] 蔡静, 叶润, 贾凯, 等. 茶多酚的提取及抑菌活性研究综述[J]. 化学试剂, 2020, 42(2): 105—114.
CAI Jing, YE Run, JIA Kai, et al. Review on Extraction and Antibacterial Activity of Tea Polyphenols[J]. Chemical Reagents, 2020, 42(2): 105—114.
- [12] 董璐, 代增英, 韩晴, 等. 茶多酚对大肠杆菌抑菌机理的研究[J]. 生物学杂志, 2015, 32(1): 72—75.
DONG Lu, DAI Zeng-ying, HAN Qing, et al. Research on the Antibacterial Mechanism of Tea Polyphenols on *Escherichia Coli*[J]. Journal of Biology, 2015, 32(1): 72—75.
- [13] YI Shu-min, ZHU Jun-li, FU Ling-lin, et al. Tea Polyphenols Inhibit *Pseudomonas Aeruginosa* Through Damage to the Cell Membrane[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 144(1): 111—117.
- [14] LYNDA B C, PASCAL D, HICHAM F, et al. Plant Antimicrobial Polyphenols as Potential Natural Food Preservatives[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(4): 1457—1474.
- [15] 陈文慧, 徐莉, 褚开智. 茶多酚在水产品保鲜中的应用研究[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(4): 12—15.
CHEN Wen-hui, XU Li, XUAN Kai-zhi. Application of Tea Polyphenols in Aquatic Products[J]. Cereals and Oils, 2012, 31(4): 12—15.
- [16] 王玥, 王建川, 朱贵萍, 等. 茶多酚可降解复合膜在食品保鲜中的应用研究进展[J]. 包装工程, 2019, 40(13): 97—103.
WANG Yue, WANG Jian-chuan, ZHU Gui-ping, et al. Research Progress of Application of Tea Polyphenols Degradable Composite Films in Food Preservation[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(13): 97—103.
- [17] 潘俊娴, 刘均, 吕杨俊, 等. 茶多酚对水产品保鲜作用的研究进展[J]. 中国茶叶加工, 2018(3): 10—14.
PAN Jun-xian, LIU Jun, LYU Yang-jun, et al. Preservation Effect of Tea Polyphenols on Aquatic Products[J]. China Tea Processing, 2018(3): 10—14.
- [18] 张冉, 杨丽丽, 李秋莹, 等. TP-Lips/LZM-CS 复合缓释涂膜对美国红鱼片贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2020, 41(1): 44—50.
ZHANG Ran, YANG Li-li, LI Qiu-ying, et al. Effects of TP-Lips/LZM-CS Sustained-release Composite Coating on the Storage Quality of *Sciaenops Ocellatus* Fillets[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(1): 44—50.
- [19] 田光娟. 鲫鱼鱼片绿色保鲜剂研制与配套保鲜技术研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2018: 21.
TIAN Guang-juan. The Effect of Tea Polyphenols on the Quality of Crucian Carp Fillet Storing at Refrigeration[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2018: 21.
- [20] 蓝蔚青, 谢晶, 赵海鹏, 等. 茶多酚对冷藏带鱼保鲜效果的比较研究[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(1): 159—161.
LAN Wei-qing, XIE Jing, ZHAO Hai-peng, et al. Comparison Research on the Fresh-keeping Effect of Tea Polyphenols on *Trichiurus Huamela* Under the Cold Storage[J]. Hubei Agricultural Science, 2010, 49(1): 159—161.
- [21] JIA Shi-liang, HUANG Zhan, LEI Yu-tian, et al. Application of Illumina-MiSeq High Throughput Sequencing and Culture-dependent Techniques for the Identification of Microbiota of Silver Carp (*Hypophthalmichthys Molitrix*) Treated by Tea Polyphenols[J]. Food microbiology, 2018, 76: 52—61.
- [22] 鞠健, 乔宇, 李冬生, 等. 茶多酚对冷藏鲈鱼鲜度变化及肌原纤维蛋白氧化的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(2): 290—294.
JU Jian, QIAO Yu, LI Dong-sheng, et al. Effect of Tea Polyphenols on the Freshness and the Oxidation of Myofibrillar Protein of Weever During Cold Storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(2): 290—294.
- [23] 程荻, 李维, 杨宏. 3 种植物多酚对鱼糜制品储藏品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2019, 38(1): 119—124.
CHENG Di, LI Wei, YANG Hong. Effects of Three Plant Polyphenols on Preservation Quality of Surimi Products[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2019, 38(1): 119—124.
- [24] XU Yan-shun, JIANG Xiao-qing, GE Li-hong, et al. Inhibitory Effect of Edible Additives on Collagenase Activity and Softening of Chilled Grass Carp Fillets[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(2): e12836.
- [25] 徐倩, 刘晓攀, 赵永慧, 等. 正交试验优化鳊鱼微冻复合保鲜剂配方研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(4): 77—82.
XU Qian, LIU Xiao-pan, ZHAO Yong-hui, et al. Study on Optimization of Compound Preservative Formula of Partially Frozen Foe *Platycephalus Indicus* by Orthogonal Experiment[J]. Food Research and Development,

- 2020, 41(4): 77—82.
- [26] LUAN Lan-lan, YUAN Chun-hong, CHEN Shi-gou, et al. Combined Effect of Superchilling and Tea Polyphenols on the Preservation Quality of Hairtail (*Trichiurus Haumela*)[J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(s1): s992—s1001.
- [27] 吴圣彬, 谢晶, 苏辉, 等. 茶多酚对冻藏带鱼品质变化的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(23): 315—318.
WU Sheng-bin, XIE Jing, SU Hui, et al. Effect of Tea Polyphenols on *Trichiurus Haumela* during Frozen Storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(23): 315—318.
- [28] 余小亮, 陈舜胜, 负三月, 等. 茶多酚-肉桂精油复合保鲜剂抗氧化活性及抑菌作用[J]. 食品工业科技, 2017, 38(22): 226—230.
YU Xiao-liang, CHEN Shun-sheng, YUN San-yue, et al. Antioxidant Activity and Antibacterial Effect of Tea Polyphenol-cinnamon Essential Oil Compound Preservatives[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(22): 226—230.
- [29] LI Ting-ting, HU Wen-zhong, LI Jian-rong, 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.
- [30] 刘开华, 张宇航, 邢淑婕. 壳聚糖联合茶多酚对南湾鳊鱼肉的保鲜效果[J]. 中国食品添加剂, 2012(2): 103—106.
LIU Kai-hua, ZHANG Yu-hang, XING Shu-jie. Effect of Tea Polyphenols and Chitosan Mixture on Fresh Preservation of Nan-Wan Bighead Carp[J]. China Food Additives, 2012(2): 103—106.
- [31] 徐楚, 王锡昌, 马壮, 等. 茶多酚、壳聚糖、溶菌酶复合保鲜剂对高白鲑鱼片保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(8): 261—266.
XU Chu, WANG Xi-chang, MA Zhuang, et al. Effects of Tea Polyphenols, Chitosan and Lysozyme Compound Preservative for the Preservation of *Coregonus Peled* Fillets[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(8): 261—266.
- [32] 倪佳丹, 潘诗哲, 但凡, 等. 茶多酚-壳聚糖复合液对鮰鱼在贮藏中品质指标变化的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2018, 44(5): 594—600.
NI Jia-dan, PAN Shi-zhe, DAN Fan, et al. Effects of Tea Polyphenols-chitosan Complex Solution on Changes of Quality Indicators Under Storage in *Miichthys Miiuy*[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2018, 44(5): 594—600.
- [33] 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 Jun, LYU Yang-jun, PAN Jun-xian, et al. Effects of Tea Polyphenols Appended with Chitosan on Shelf Life of Salmon[J]. China Tea Processing, 2019(4): 66—71.
- [34] JU Jian, WANG Chao, QIAO Yu, et al. Effects of Tea Polyphenol Combined with Nisin on the Quality of Weever (*Lateolabrax Japonicus*) in the Initial Stage of Fresh-frozen or Chilled Storage State[J]. Taylor & Francis, 2017, 26(5): 543—552.
- [35] NIE Xiao-bao, WANG Li-hong, WANG Qi, et al. Effect of A Sodium Alginate Coating Infused with Tea Polyphenols on the Quality of Fresh Japanese Sea Bass (*Lateolabrax Japonicas*) Fillets[J]. Journal of Food Science, 2018, 83(6): 1695—1700.
- [36] FENG Li-fang, JIANG Tian-jia, WANG Yan-bo, et al. Effects of Tea Polyphenol Coating Combined with Ozone Water Washing on the Storage Quality of Black Sea Bream (*Sparus Macrocephalus*)[J]. Food Chemistry, 2012, 135(4): 2915—2921.
- [37] CAO Jun, WANG Qi, MA Ting-ting, et al. Effect of EGCG-gelatin Biofilm on the Quality and Microbial Composition of Tilapia Fillets during Chilled Storage, 2020, 2(305): 125454.
- [38] 武娇, 杨华, 张家涛, 等. 原位合成纳米 SiO_x/LZM/TP/CS 复合保鲜涂膜对海鲈鱼鱼片的保鲜性能[C]. 中国食品科学技术学会第十六届年会暨第十届中美食品业高层论坛会议论文集, 2019: 571—572.
WU Jiao, YANG Hua, ZHANG Jia-tao, et al. Preservation Properties of In-situ Synthetic Nano-SiO_x/LZM/TP/CS Composite Coatings on Sea Bass Fillets[C]. Proceedings of the 16th Annual Meeting of Chinese Society of Food Science and Technology and the 10th China Food Industry High Level Forum, Wuhan, Hubei, 2019: 571—572.
- [39] JU Jian, LIAO Li, QIAO Yu, et al. The Effects of Vacuum Package Combined with Tea Polyphenols (V+TP) Treatment on Quality Enhancement of Weever (*Micropterus Salmoides*) Stored at 0 °C and 4 °C[J]. LWT-Food Science and Technology. 2018, 91: 484—490.
- [40] 范凯, 廖李, 程薇, 等. 茶多酚结合辐照对鲈鱼冷藏品质的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(9): 1780—1785.
FAN Kai, LIAO Li, CHENG Wei, et al. Effects of Tea Polyphenols Combined with Irradiation on Quality of Weever during Cold Storage[J]. Journal of Nuclear Agriculture Sciences, 2016, 30(9): 1780—1785.
- [41] 雷雨田, 石径, 桂萍, 等. 冰衣结合茶多酚对南美白对虾冻藏中品质变化的影响[J]. 中国农业大学学报,

- 2018, 23(6): 92—99.
- LEI Yu-tian, SHI Jing, GUI Ping, et al. Effect of Glazing with Tea Polyphenols on the Quality Characteristics for Pacific White Shrimp (*Litopenaeus Vannamei*) during Frozen Storage[J]. Journal of China Agricultural University, 2012, 23(6): 92—99.
- [42] 唐家振, 孔俊豪, 左小博, 等. 茶多酚及其衍生物在食品保鲜中的研究进展[J]. 中国茶叶加工, 2018(3): 5—9.
- TANG Jia-zhen, KONG Jun-hao, ZUO Xiao-bo, et al. Research Progress of Tea Polyphenols and Its Derivatives in Food Preservation [J]. China Tea Processing, 2018(3): 5—9.
- [43] 于林, 陈舜胜, 王娟娟, 等. 茶多酚改性胶原蛋白-壳聚糖复合膜对冷藏斜带石斑鱼的保鲜效果[J]. 食品科学, 2017, 38(3): 220—226.
- YU Lin, CHEN Shun-sheng, WANG Juan-juan, et al. Preservation Effect of Collagen-chitosan Blend Film Modified by Tea Polyphenols on Grouper (*Epinephelus Coioides*) Fillets Stored at 4 °C[J]. Food Science, 2017, 38(3): 220—226.
- [44] 朱媛, 张雪松. 茶多酚乙酰化修饰及其抑菌活性[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(6): 288—291.
- ZHU Yuan, ZHANG Xue-song. Tea Polyphenols Acetylation Modification and Its Antibacterial Activity[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2015, 43(6): 288—291.
- [45] BORA A F M, MA Shao-jie, LI Xiao-dong, et al. Application of Microencapsulation for the Safe Delivery of Green Tea Polyphenols in Food Systems: Review and Recent Advances[J]. Food Research International, 2018, 105: 241—249.
- [46] ZHANG Jia-tao, LI Ying-chang, ZHANG Xuan, et al. Physicochemical Properties and Antibacterial Mechanism of TP Microcapsules/LZM-PVA Gradual Sustained-release Composite Coatings[J]. Progress in Organic Coatings, 2020, 146: 105740.
- [47] 张家涛, 张璇, 魏旭青, 等. 茶多酚微胶囊/溶菌酶-聚乙烯醇复合涂膜对美国红鱼鱼片的保鲜性能[J]. 食品工业科技, 2020, 41(8): 273—278.
- ZHANG Jia-tao, ZHANG Xuan, WEI Xu-qing, et al. Preservation Properties of TP Microcapsules/LZM-PVA Composite Coatings on *Sciaenops Ocellatus* Fillets[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(8): 273—278.