

食品流通与包装

TP-Lips/LZM-CS 复合缓释涂膜对美国红鱼鱼片
贮藏品质的影响张冉^{1,2}, 杨丽丽^{1,2}, 李秋莹^{1,2}, 李颖畅^{1,2}, 孙彤^{1,2}, 励建荣^{1,2}

(1.渤海大学 食品科学与工程学院 辽宁省食品安全重点实验室, 辽宁 锦州 121013;

2.生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 辽宁 锦州 121013)

摘要:目的 提高复合缓释涂膜对美国红鱼鱼片的保鲜性能, 获得具有长效作用的高效保鲜材料。方法 将具有缓释作用的茶多酚脂质体 (TP-Lips) 与溶菌酶 (LZM) 复合后加入至壳聚糖 (CS) 涂膜液中, 采用流延法制备 TP-Lips/LZM-CS 复合缓释涂膜。以美国红鱼鱼片的新鲜度为指针, 评价复合涂膜的保鲜性能。结果 TP-Lips/LZM-CS 复合缓释涂膜可有效抑制鱼肉中微生物的生长, 延缓鱼片 pH、硫代巴比妥酸 (TBA) 值的升高和鱼肉质构指标的变化。结论 TP, LZM 和 CS 的复合使用有效地拓宽了抗菌谱, 同时, 脂质体和涂膜共同组成的缓释体系, 使 TP 和 LZM 的作用时间更长, TP-Lips/LZM-CS 复合涂膜的保鲜性能最优, 并能够将 4 °C 下冷藏美国红鱼鱼片的货架期延长至 15 d 以上。

关键词: 茶多酚; 脂质体; 溶菌酶; 壳聚糖; 涂膜; 缓释; 美国红鱼

中图分类号: TS254.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)01-0044-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.01.007

Effects of TP-Lips/LZM-CS Sustained-release Composite Coating on the
Storage Quality of *Sciaenops ocellatus* FilletsZHANG Ran^{1,2}, YANG Li-li^{1,2}, LI Qiu-ying^{1,2}, LI Ying-chang^{1,2}, SUN Tong^{1,2}, LI Jian-rong^{1,2}

(1.Key Food Safety Laboratory of Liaoning Province, School of Food Science and Engineering, Bohai University, Jinzhou 121013, China; 2.National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the preservation properties of composite sustained released coatings on the storage quality of *Sciaenops ocellatus* fillets, and acquire efficient preserving material with long-acting effects. The tea polyphenol liposomes (TP-Lips) with sustained-release property and lysozyme (LZM) were mixed into chitosan (CS) solution to prepare TP-Lips/LZM-CS sustained released composite coating by tape casting method. The preservation properties of composite coatings were evaluated according to the freshness of fish fillets. TP-Lips/LZM-CS composite coating could inhibit the the microbial growth effectively, and delay the increase of pH and TBA value in the fish fillets, as well as the changes of texture. The antibacterial spectrum is broadened efficiently due to the combined use of TP, LZM and CS. Meanwhile, the slow-release system composed of liposomes and coating film makes the action time of TP and LZM longer, so the preservation properties of TP-Lips/LZM-CS composite coating is the optimal, and the shelf life of *Sciaenops ocellatus* fillets is extended to 15 days when they are refrigerated at 4 °C.

收稿日期: 2019-07-06

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0400805); 国家自然科学基金 (31371858)

作者简介: 张冉 (1994—), 女, 渤海大学硕士生, 主攻水产品贮藏加工及质量安全控制。

通信作者: 孙彤 (1966—), 女, 博士, 渤海大学教授、博导, 主要研究方向为水产品贮藏加工及质量安全控制。

KEY WORDS: tea polyphenol; liposomes; lysozyme; chitosan; coating; sustained-release; *Sciaenops ocellatus*

美国红鱼 (*Sciaenops ocellatus*), 又名拟红石首鱼、斑尾鱼等。其维生素、无机盐和微量元素含量丰富, 具有极高的营养价值和一定的保健功能^[1]。同时, 由于其脂肪含量低, 蛋白质含量高, 呈味氨基酸的含量与其他鱼类相比也较高, 已成为世界上养殖范围最为广泛的鱼种之一^[2]。然而, 由于具有高蛋白、高水分等水产品的普遍特性, 使其极易受到内源酶及微生物的影响而发生腐败, 进而导致商品价值降低^[3]。目前, 随着市场对美国红鱼需求量的不断增高以及传统保鲜技术弊端的暴露, 新型保鲜技术的研究和开发受到了人们的广泛关注^[4]。

生物保鲜剂是从生命体中提取, 或者利用生物工程技术改造获得的一种生物物质, 具有来源广泛、安全无毒等特点, 根据其来源可以分为植物类、动物类以及微生物类^[5]。茶多酚 (Tea Polyphenol, TP) 是从茶叶中提取的一种生物保鲜剂, 含有儿茶素、黄酮、花青素和酚酸等多种成分, 具有良好的抑菌防腐、抗氧化性能^[6-7]。田光娟等^[8]研究了不同浓度的 TP 溶液对鲫鱼鱼片品质的影响, 发现经 TP 处理后, 鱼片的贮藏期虽可延长到 18 d, 但光、热、氧气易使 TP 遭到破坏而丧失保鲜性能^[9]。脂质体 (Liposomes, Lips) 具有磷脂双层结构, 是一种新型的、广泛使用的抗菌剂载体。由于具备生物降解性、靶向性、生物相容性、持续释放性以及无毒等特性, 被用于提高被包埋物质的利用率和稳定性^[10-12]。Zou 等^[13]制备了纳米脂质体包埋茶多酚, 并对其进行了稳定性和生理活性方面的研究, 发现 TP 纳米脂质体具有较好的缓释性能, 同时使 TP 在碱性条件下的稳定性显著提高。

溶菌酶 (Lysozyme, LZM) 和壳聚糖 (Chitosan, CS) 也是常见的生物保鲜剂。其中, 虽然 LZM 抗菌效果好且化学性质稳定, 但对革兰氏阴性菌的作用效果不明显, 应用于食品保鲜具有一定局限性^[14]。CS 虽然能够抑制真菌、细菌等多种腐败微生物, 但抗菌谱较窄, 不具有抗氧化性等缺点, 限制了其在食品领域的应用范围^[15]。复合生物保鲜剂可以较好地改善此类问题, 有研究表明, 生物保鲜剂的复配使用不仅可以发挥其协同增效效应, 拓宽抗菌谱, 且能够降低单一保鲜剂的使用量, 在节约成本的同时提高食物品质^[16]。将脂质体包埋的 TP 与 LZM, CS 涂膜复合, 不仅有效地拓宽了抗菌谱, 赋予涂膜良好的抗氧化性能, 而且提高了 TP 的稳定性, 使其发挥长效抑菌作用。徐楚等^[17]探讨了 TP, CS, LZM 最佳复配浓度对高白鲑鱼片品质变化的影响, 发现经复合保鲜剂处理后, 可以有效地抑制微生物的生长, 延缓鱼片的腐败变质。

文中以脂质体为缓释载体包埋 TP, 以 CS 为涂膜基质承载茶多酚脂质体 (TP-Lips) 和 LZM, 制备 TP-Lips/LZM-CS 缓释涂膜。以美国红鱼鱼片为保鲜对象, 测定贮藏过程中鱼片的菌落总数、pH、硫代巴比妥酸 (Thiobarbituric Acid, TBA) 值及质构等指标, 并对其进行了感官评价, 以此为指针, 研究了涂膜的保鲜性能。为拓展具有缓释性能的复合保鲜涂膜在水产品领域的应用提供技术和理论支持。

1 实验

1.1 材料与试剂

材料与试剂: 鲜活美国红鱼, 每条质量为 (600±20)g, 锦州市水产批发市场; 茶多酚 (纯度>98%), 安徽红星药业股份有限公司; 溶菌酶, 美国 Sigma 公司; 壳聚糖 (脱乙酰度>95%, 食品级), 上海晶纯试剂有限公司; 其余试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

仪器与设备: T25 数显均质机, 上海珂淮仪器有限公司; RE52CS 旋转蒸发器, 上海亚荣生化仪器厂; MLS-3030CH 立式高压蒸汽灭菌锅, 日本三洋有限公司; LRH-150 生化培养箱, 上海一恒科技有限公司; THZ-D 台式恒温振荡箱, 太仓市实验设备厂; MS-105DU 电子分析天平, 瑞士梅特勒托利多仪器有限公司; DF-101S 集热式磁力搅拌器, 金坛市科析仪器有限公司; SCIENTIA-IID 超声波细胞粉碎器, 宁波新芝生物科技股份有限公司; FE20 pH 计, METTLER TOLEDO 公司; BagMixer 400W 拍击式均质机, 上海智理科仪有限公司; TA-XT-PLUS 质构仪, Stable Micro System 公司; UV-2550 紫外-可见分光光度计, 尤尼柯仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 茶多酚脂质体 (TP-Lips) 悬浊液的制备

称取 1.20 g 大豆卵磷脂和 0.18 g 胆固醇, 溶解于 30.0 mL 的二氯甲烷中, 加入体积分数为 1% 的 Tween-80, 充分溶解, 作为有机相。称取 1.2 g TP, 溶解于 30.0 mL PBS (pH 为 6.5, 浓度为 0.01 mol/L) 中, 作为水相。于 40 °C 水浴搅拌条件下, 将有机相和水相一同滴入 30.0 mL PBS (pH 为 6.5, 浓度为 0.01 mol/L) 中。滴加结束后, 继续搅拌 15 min。采用数显均质机均质 25 次 (2 s 开, 2 s 停) 后, 转移至旋蒸瓶中, 于 35 °C 下旋蒸 15 min, 制得 TP-Lips 悬浊液, 置于 4 °C 备用。

1.3.2 TP-Lips/LZM-CS 缓释涂膜液的制备

称取 2 g/L 的 CS 溶于体积分数为 1.0% 的冰乙酸和 0.3% 的丙三醇混合溶液中, 在磁力搅拌器上于 40 °C 恒温搅拌至完全溶解, 制得 CS 涂膜液。称取 0.50 g TP 和 0.30 g LZM, 溶解于 CS 涂膜液中, 于 30 °C 超声脱气 15 min 后, 制得 TP/LZM-CS 缓释涂膜液。同时, 采用该方法, 不添加 LZM 制得 TP/CS 缓释涂膜液。称取 0.30 g LZM, 量取 30 mL TP-Lips 悬液, 溶解于 CS 涂膜液中, 于 30 °C 超声脱气 15 min 后, 制得 TP-Lips/LZM-CS 缓释涂膜液。同时, 采用该方法, 不添加 LZM 制得 TP-Lips/CS 缓释涂膜液。

1.3.3 美国红鱼鱼片保鲜及鲜度指标测定

碎冰猝死鲜活的美国红鱼, 依次去头、内脏和鱼皮, 取鱼脊骨处的 2 片鱼肉后, 用无菌去离子水洗净, 每片鱼片质量为 (150 ± 5) g。之后, 分别将鱼片浸于上述涂膜液中, 5 min 后取出沥干, 置于已灭菌的蒸煮袋中, 封口, 置于 4 °C 恒温冰箱中冷藏, 分别于贮藏期不同阶段测定鱼片的鲜度指标。以未经涂膜处理的鱼片为对照样品, 直接装袋, 封口, 置于 4 °C 恒温冰箱中冷藏并测定鲜度指标。

在超净工作台上取 10.00 g 鱼肉, 置于已灭菌的蒸煮袋中, 加入 90.0 mL 无菌生理盐水, 用拍击式均质机拍打 1 min, 静置。取上清液进行 10 倍梯度稀释, 选择适当浓度, 参照 GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》^[18]进行微生物培养, 并采用稀释平板计数法, 计算鱼体中菌落总数。

参考 GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》^[19], 取 10.00 g 绞碎的鱼肉, 加入 90.0 mL 蒸馏水后均质, 静置 30 min, 过滤, 测定滤液的 pH, 即为鱼片的 pH。

参考张涵等^[20]的方法稍作修改, 取 10.00 g 绞碎的鱼肉, 加入 25.0 mL 蒸馏水后均质, 再加入 25.0 mL 体积分数为 10% 的三氯乙酸, 用玻璃棒搅拌均匀, 并静置 30 min。取 5.0 mL 上清液与 5.0 mL 浓度为 0.02 mol/L 硫代巴比妥酸溶液混合, 在 80 °C 下恒温水浴, 40 min 后取出, 冷却至室温, 测定 532 nm 处的吸光度, 计算硫代巴比妥酸 (TBA) 值。

随机选取 10 名同学, 按照姜文进等^[21]的方法对鱼片的色泽、气味、组织形态以及肌肉弹性进行感官评价, 5.0 分为最优, 4.0 分为最低可接受度。

按照郑玉秀等^[16]的方法, 采用质构仪测定鱼片的质构指标。测定条件: 每个样品进行轴向压缩 2 次, 压缩百分比为 50%; 测试探头类型为 P/50R; 测前速率为 1 mm/s, 测试速率为 1 mm/s, 测后速率为 1 mm/s; 探头 2 次测定间隔时间为 5 s, 测定模式和选项为 T.P.A。

1.3.4 数据分析

每个试验重复 3 次, 数据用平均值 $\pm$ 标准偏差表示, 采用 Origin 8.5 绘图。

2 结果与讨论

2.1 TP-Lips/LZM-CS 缓释涂膜对美国红鱼鱼片菌落总数的影响

微生物是导致水产品腐败的重要因素之一^[22], 美国红鱼鱼片在贮藏过程中菌落总数的变化见图 1。由图 1 可见, 随着贮藏时间的延长, 鱼片中的菌落总数逐渐增大, 未经涂膜处理的鱼片菌落总数增长最快, 经复合涂膜处理后, 鱼片的菌落总数增长速度减慢。在贮藏初期, 经复合涂膜处理的美国红鱼鱼片中菌落总数增长缓慢; 随着贮藏时间延长, 微生物生长速度加快。新鲜美国红鱼鱼片的菌落总数为 3 lg CFU/g, 处于 1 级鲜度。在贮藏期间, 未处理鱼片的菌落总数增长迅速, 第 9 天时已超过 7 lg CFU/g, 达到不可接受的程度^[23]。经 CS 涂膜处理后, 在贮藏至 12 d 时, 鱼片的菌落总数才达到最大可接受值, 表明 CS 涂膜具有抗菌性能, 且涂膜处理能提供一定的微气调环境, 平衡 O₂ 和 CO₂ 的透过性, 抑制鱼肉中微生物的生长。经 TP/CS 涂膜处理美国红鱼鱼片的菌落总数在第 15 天时达到不可接受程度, 表明 TP 的加入增强了 CS 涂膜的抗菌性能。TP/LZM-CS 涂膜的抑菌性能优于 TP/CS 涂膜, 说明 LZM 增强了涂膜的抗菌性能。与 TP/CS 涂膜相比, 经 TP-Lips/CS 涂膜处理的美国红鱼鱼片的菌落总数增加较慢, 说明 TP 经脂质体包裹后, 在 CS 涂膜中缓慢释放, 在贮藏后期仍可在鱼片上保持一定的浓度, 起到抗菌作用。同理, 与 TP/LZM-CS 涂膜相比, TP-Lips/LZM-CS 涂膜处理后, 鱼片的菌落总数增长缓慢, 说明脂质体对 TP 的缓释及涂膜对 TP 和 LZM 的缓释作用使涂膜对鱼片中微

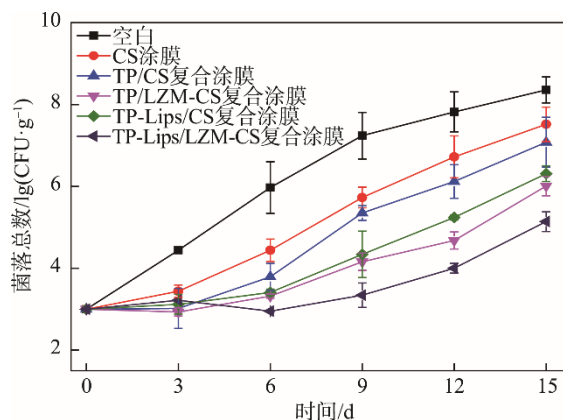


图 1 复合涂膜对贮藏过程中美国红鱼菌落总数的影响
Fig.1 Effect of composite coatings on total viable count of *Sciaenops ocellatus* during storage

生物的生长有长效抑制作用。有研究表明,鱼类的优势腐败菌主要有假单胞菌 (*Pseudomonas spp.*)、腐败希瓦氏菌 (*Shewanella putrefaciens*)、乳酸菌 (*Lactobacillus*) 及酵母菌 (*Saccharomycetes*) 等^[4,24]。LZM 对革兰氏阳性菌具有明显的裂解作用;CS 对真菌、细菌等微生物都有一定的抑制作用;TP 具有广谱抑菌性,既可抑制革兰氏阳性菌,也可抑制革兰氏阴性菌,且具有良好的抗氧化特性^[25—26]。三者复合后,能够起到协同保鲜作用。

2.2 TP-Lips/LZM-CS 缓释涂膜对美国红鱼鱼片鲜度指标的影响

复合涂膜处理后美国红鱼在贮藏过程中 pH、TBA 等鲜度指标的变化见图 2。由图 2a 可见,在贮藏过程中,鱼肉的 pH 先下降后上升。在贮藏初期,鱼肉中的糖原降解,产生酸性物质,故 pH 下降。经涂膜处理后,鱼片的 pH 低于未处理的鱼片,这可能是由 CS 涂膜中的酸性物质进入测定体系造成的。随后,由于鱼体内含氮物质的分解,鱼片的 pH 缓慢上升,且经涂膜处理后鱼片的 pH 上升缓慢。这是由于鱼片表面的 CS 复合涂膜有效隔绝了鱼肉与空气的接触,抑制了微生物和酶解的作用,减少了鱼体内含氮物质的分解。第 3 天时,未处理鱼片和经 CS 涂膜、TP/CS 涂膜和 TP/LZM-CS 涂膜处理的鱼片 pH 达到最低值,而经 TP-Lips/CS 涂膜和 TP-Lips/LZM-CS 涂膜处理的鱼片 pH 在贮藏至第 6 天时才达到最低值。这是由于 TP 在脂质体中持续缓慢释放,有效抑制了鱼体内含氮物质的分解。与 TP/CS 涂膜和 TP-Lips/CS 涂膜相比,经 TP/LZM-CS 涂膜和 TP-Lips/LZM-CS 涂膜处理的鱼片 pH 上升速度减慢,说明涂膜内引入 LZM 后,其抑菌性能增强,并有效抑制了鱼体内含氮物质的分解,使涂膜的保鲜性能更优。

TBA 是评价水产品新鲜度的重要指标,主要反映脂肪的氧化程度。通常,鱼肉中 TBA 值达到每千克 1 mg MDA,便产生难以接受的气味^[27—28]。由图

2b 可知,随着贮藏时间的延长,美国红鱼鱼片的 TBA 值逐渐增大。其中,未处理鱼片的脂肪氧化速度最快,经 CS 涂膜处理后,鱼片的脂肪氧化速度有一定程度降低。说明 CS 涂膜能有效隔绝美国红鱼鱼片与氧气的接触,同时抑制微生物的生长繁殖,从而阻止了鱼肉中脂肪的氧化,使鱼片 TBA 值增长缓慢。CS 涂膜中加入 TP, LZM 后,样品 TBA 值的增长速度明显减慢,说明 CS、TP 和 LZM 复合能够增强涂膜的抗菌性能。与 TP/CS 涂膜相比,经 TP-Lips/CS 涂膜处理的鱼片 TBA 值增长速度较缓,说明脂质体包埋 TP 后,可以使其缓慢释放,长效发挥抗氧化和抑菌作用,从而降低脂肪氧化和鱼肉腐败的速度。TP/LZM-CS 涂膜和 TP-Lips/LZM-CS 涂膜的抗氧化和抑菌性能优于 TP/CS 涂膜和 TP-Lips/CS 涂膜,说明 LZM 的加入增强了涂膜的保鲜性能。

2.3 TP-Lips/LZM-CS 缓释涂膜对美国红鱼鱼片感官评分的影响

美国红鱼片在贮藏过程中感官评分的变化见图 3。由图 3 可知,随着贮藏时间的延长,美国红鱼的感官评分逐渐降低,这是由于鱼片的菌落总数、pH 和 TBA 值升高对美国红鱼的品质产生了不良影响。经涂膜处理后,鱼片的感官评分均高于同期未经涂膜处理的样品,表明涂膜处理在美国红鱼的表面形成了半封闭结构,降低了鱼肉与外界的气体交换能力,形成了有利于贮藏的微气调环境,在一定程度上抑制了微生物的生长及脂质、蛋白质的氧化。第 9 天时,未经处理鱼片的感官评分下降至 4.0,鱼片品质达到不可接受程度^[21],与该组同期的菌落总数实验结果相吻合。此时经涂膜处理鱼片的感官评分均在 4.2 以上,鱼肉色泽正常,肌肉切面有光泽,气味较清新,肌肉组织紧实有弹性,处于新鲜等级。此外,经 TP-Lips/CS 涂膜和 TP-Lips/LZM-CS 涂膜处理样品的评分分别高于经 TP/CS 涂膜和 TP/LZM-CS 涂膜处理的样品,说明脂质体对 TP 的保护和缓释作用可使 TP 避免外界

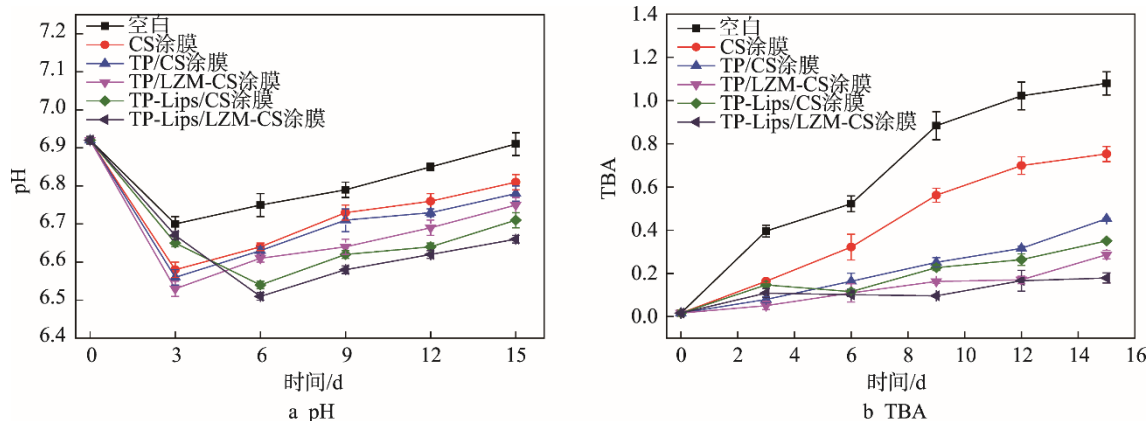


图 2 复合涂膜对贮藏过程中美国红鱼 pH 和 TBA 的影响

Fig.2 Effect of composite coatings on pH value and TBA of *Sciaenops ocellatus* during storage

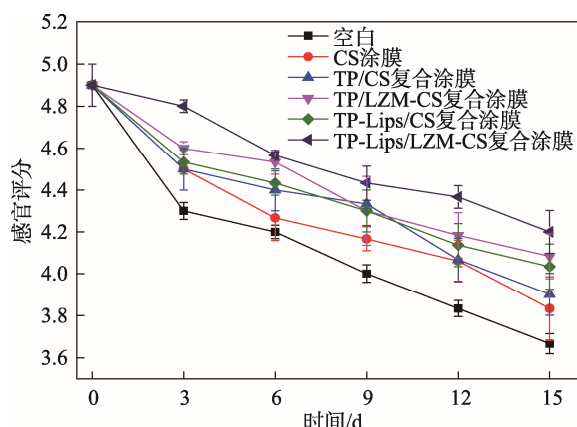


图3 复合涂膜处理对贮藏过程中美国红鱼感官评分的影响

Fig.3 Effect of composite coatings on sensory score of *Sciaenops ocellatus* during storage

环境因素的破坏,从而持续发挥抑菌和抗氧化作用,抑制微生物和酶解的作用,降低鱼片脂肪和蛋白质氧化的速度,更好地保持鱼片的品质。与 TP/CS 涂膜和 TP-Lips/CS 涂膜处理鱼片的感官评分相比,经 TP/LZM-CS 涂膜和 TP-Lips/LZM-CS 涂膜处理鱼片的评分更高,说明 LZM 的加入能够增强涂膜的抗氧化

和抑菌性能,使微生物的生长速度降低,糖原、蛋白质降解以及脂肪氧化的程度减弱,从而延长了美国红鱼的货架期。

2.4 TP-Lips/LZM-CS 缓释涂膜对美国红鱼鱼片质构指标的影响

鱼类死后,在自身降解以及微生物的作用下发生腐败,导致质构特性发生变化,如弹性下降,肌肉变软等^[2]。美国红鱼鱼片在贮藏过程中质构指标的变化见图4,包括硬度、弹性、咀嚼度和回复性。其中,硬度和咀嚼度指标相一致^[29],由图4a—c可知,随着贮藏时间延长,未经涂膜处理鱼片的硬度和咀嚼度明显下降,经涂膜处理的鱼片硬度和咀嚼度均下降缓慢,表明涂膜处理能有效地抑制微生物的生长和繁殖,使鱼肉中蛋白质或氨基酸降解速率减缓,鱼肉僵硬期延长。与经 TP/LZM-CS 涂膜和 TP-Lips/LZM-CS 涂膜处理的样品相比,经 TP/CS 涂膜和 TP-Lips/CS 涂膜处理样品的硬度和咀嚼度下降较快,说明加入 LZM 能够增强涂膜的保鲜性能。此外,与单一 CS 涂膜处理的鱼片相比,经 TP/CS 涂膜处理鱼片的硬度和咀嚼度降低速度减慢,而经 TP-Lips/CS 涂膜处理后,

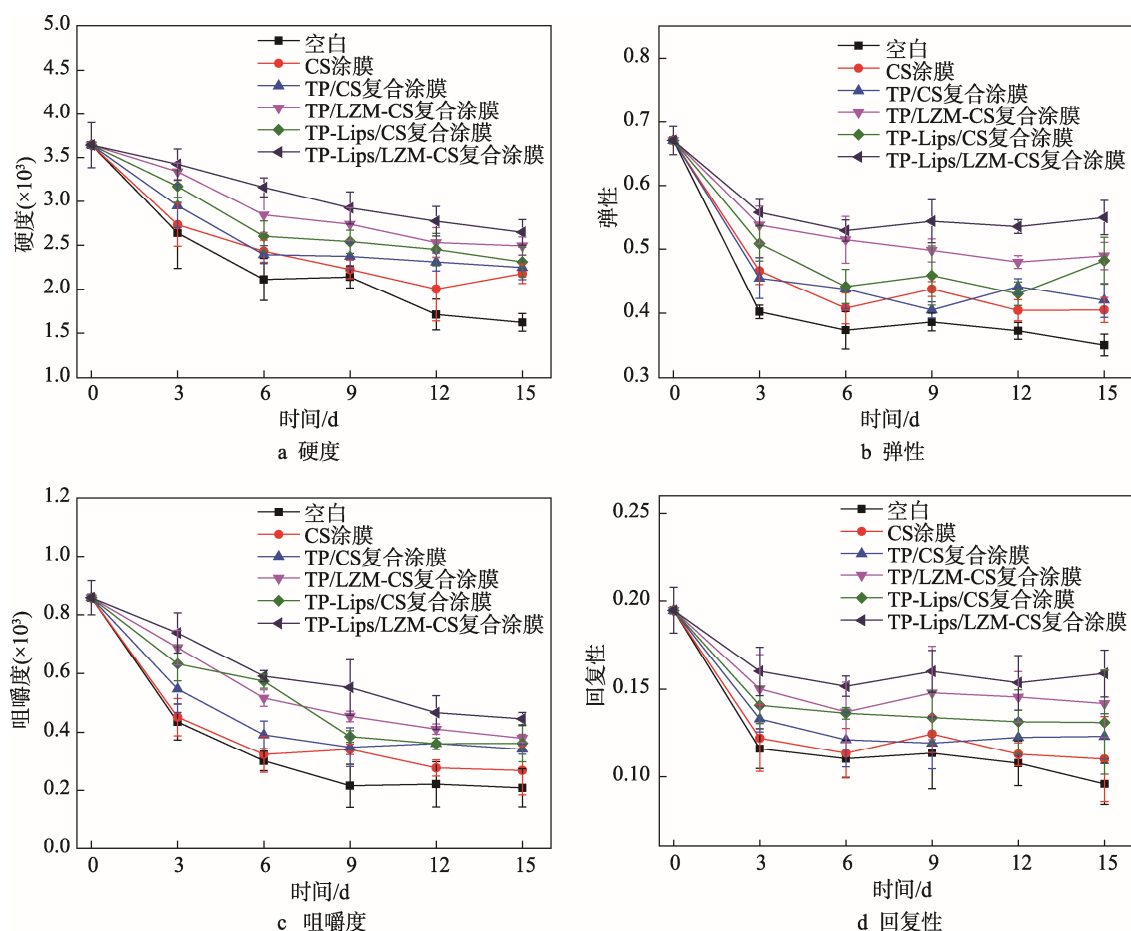


图4 复合涂膜处理对贮藏过程中美国红鱼质构指标的影响

Fig.4 Effect of composite coatings on texture of *Sciaenops ocellatus* during storage

鱼片硬度和咀嚼度的下降速度更慢,说明 TP 的抗氧化和抗菌作用有利于保持鱼片的质构品质。且脂质体包埋 TP 后,可以使其长效发挥抗氧化作用,更好地保持鱼肉的质构特性。由图 4b 可见,样品的弹性在贮藏过程中逐渐下降,经涂膜处理样品的弹性高于未经处理的样品,这可能与涂膜处理能够延缓鱼肉的腐败变质有关。由图 4d 可见,随着贮藏时间的延长,美国红鱼鱼片回复性逐渐降低,经复合涂膜处理鱼片的回复性高于单一 CS 涂膜处理的鱼片,且优于未经处理的鱼片。可见,复合涂膜有效减缓了贮藏期间美国红鱼质构的变化,这可能与有效抑制微生物的生长繁殖以及延缓蛋白质和脂质的氧化分解有关。

3 结语

研究表明,涂膜能够在鱼体表面形成较为致密的膜,有效阻隔外界环境与鱼片的接触。TP, LZM 和 CS 的复合使用有效地拓宽了抗菌谱,同时,脂质体和涂膜共同组成的缓释体系,使 TP 和 LZM 能够更加有效抑制鱼体的氧化以及微生物的生长繁殖,从而减缓贮藏过程中鱼肉糖原的降解、脂质的氧化和鱼肉蛋白质的分解等。综上所述,TP-Lips/LZM-CS 复合涂膜具有最优的保鲜性能,使得在 4 °C 下冷藏的美国红鱼保鲜期延长至 15 d 以上。

参考文献:

- [1] 黄文博, 谢晶. 美国红鱼保鲜技术的研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(5): 371—373.
HUANG Wen-bo, XIE Jing. Research Progress in the Preservation Technologies and Dominant Spoilage Bacteria of Red Drum (*Sciaenops ocellatus*)[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(5): 371—373.
- [2] 李婷婷, 励建荣, 赵巍. 壳聚糖涂膜对冷藏美国红鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(10): 299—303.
LI Ting-ting, LI Jian-rong, ZHAO Wei. Effect of Chitosan Coating on Quality of Refrigerated Red Drum Fillets[J]. Food Science, 2013, 34(10): 299—303.
- [3] 孟玉霞, 崔惠敬, 赵前程, 等. 植物精油在水产品保鲜中的研究进展[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 288—293.
MENG Yu-xia, CUI Hui-jing, ZHAO Qian-cheng, et al. A Review of Applications of Essential Oils in Preservation of Aquatic Products[J]. Food Science, 2017, 38(15): 288—293.
- [4] 励建荣. 海水鱼类腐败机制及其保鲜技术研究进展[J]. 中国食品学报, 2018, 18(5): 1—12.
LI Jian-rong. Research Progress on Spoilage Mechanism and Preservation Technology of Marine Fish[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(5): 1—12.
- [5] 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.
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.
- [6] 高乾坤, 杜贺超, 赵云飞, 等. 不同生物保鲜剂对带鱼冷藏保鲜效果的比较[J]. 食品工业科技, 2018, 39(22): 270—275.
GAO Qian-kun, DU He-chao, ZHAO Yun-fei, et al. Comparisons of Different Natural Preservatives on the Chilled Storage of Hairtail[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(22): 270—275.
- [7] WANG L Y, DONG Y, MEN H T, et al. Preparation and Characterization of Active Films Based on Chitosan Incorporated Tea Polyphenols[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 32(1): 35—41.
- [8] 田光娟, 李喜宏, 韩聪聪, 等. 茶多酚对冷藏鲫鱼鱼片品质的影响[J]. 中国食品添加剂, 2017(10): 112—116.
TIAN Guang-juan, LI Xi-hong, HAN Cong-cong, et al. The Effects of Tea Polyphenols on the Quality of Crucian Carp Fillet Storing at Refrigeration[J]. China Food Additives, 2017(10): 112—116.
- [9] TRUCILLO P, CAMPARDELLI R, ALIAKBARIAN B, et al. Supercritical Assisted Process for the Encapsulation of Olive Pomace Extract into Liposomes[J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2018, 135: 152—159.
- [10] LI T, LI J, HU W, et al. Shelf-life Extension of Crucian Carp (*Carassius Auratus*) Using Natural Preservatives during Chilled Storage[J]. Food Chemistry, 2012, 135(1): 140—145.
- [11] 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(1): 101—106.
- [12] LIU Y, WANG S, LAN W, et al. Development of Ultrasound Treated Polyvinyl Alcohol/Tea Polyphenol Composite Films and Their Physicochemical Properties[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2018, 51: 386—394.
- [13] ZOU L, LIU W, LIU W, et al. Characterization and Bioavailability of Tea Polyphenol Nanoliposome Prepared by Combining an Ethanol Injection Method with Dynamic High-Pressure Microfluidization[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 62(4): 934—941.
- [14] 陈文慧, 徐莉, 梁振纲. 生物保鲜剂在水产品保鲜中的应用研究[J]. 食品工业, 2017, 38(5): 52—57.
CHEN Wen-hui, XU Li, LIANG Zhen-gang. Application of Biopreservative on Aquatic Products[J]. Food

- Industry, 2017, 38(5): 52—57.
- [15] 刘嘉莉, 蓝蔚青, 刘大勇, 等. 壳聚糖在水产品保鲜中应用研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 231—236.
LIU Jia-li, LAN Wei-qing, LIU Da-yong, et al. Research Progress of Chitosan in Aquatic Products Preservation[J]. Food & Machinery, 2019, 35(3): 231—236.
- [16] 郑玉秀, 周斌, 王明, 等. 复合保鲜剂对美国红鱼调理鱼片贮藏品质的影响[J/OL]. 现代食品科技, 1—9 (2019-05-23) [2019-07-04]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1620.TS.20190522.1551.006.html>.
ZHENG Yu-xiu, ZHOU Bin, WANG Ming, et al. Effect of Composite Preservatives on the Storage Quality of *Sciaenops ocellatus* Conditioned Fillets[J/OL]. Modern Food Science and Technology, 1—9 (2019-05-23) [2019-07-04]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1620.TS.20190522.1551.006.html>.
- [17] 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.
- [18] GB 4789.2—2016, 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定[S].
GB 4789.2—2016, National Food Safety Standards Food Microbiology Testing Total Number of Colonies [S].
- [19] GB 5009.237—2016, 食品安全国家标准 食品 pH 值的测定[S].
GB 5009.237—2016, National Food Safety Standard Determination of pH of Food[S].
- [20] 张涵, 徐高原, 冯爱国, 等. 聚赖氨酸复合涂膜协同气调包装对金鲳鱼保鲜作用研究[J]. 食品科技, 2018, 43(11): 166—171.
ZHANG Han, XU Gao-yuan, FENG Ai-guo, et al. Combined Preservation Effects of Polylysine Composite Coating with Modified Atmospheric Packaging on *Trachinotus ovatus*[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(11): 166—171.
- [21] 姜文进. 竹取物对养殖大黄鱼食用品质和贮藏特性的影响研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
JIANG Wen-jin. Studies of Effects of Bamboo Extract on Quality Improvement and Preservation of Cultured Large Yellow Croaker[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [22] 汪兰, 曾俊杰, 吴文锦, 等. 不同冻藏温度对鲈鱼品质影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 287—292.
WANG Lan, ZENG Jun-jie, WU Wen-jin, et al. Effect of Different Frozen Storage Temperatures on Quality of Perch[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(21): 287—292.
- [23] 刘秀梅. 微生物检验与食品安全控制[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2012.
LIU Xiu-mei. Microbial Testing and Food Safety Control [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2012.
- [24] 曲敏, 赵举风, 孙怀军, 等. 鱼类特定腐败菌及其腐败能力研究概况[J]. 宁夏农林科技, 2013, 54(10): 58—59.
QU Min, ZHAO Ju-feng, SUN Huai-jun, et al. Overview of Research on Specific Spoilage Bacteria of Fish and Their Spoilage Ability[J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2013, 54(10): 58—59.
- [25] 胡杰, 汪乐川, 况海锐, 等. 3 种取代度的羧甲基纤维素对溶菌酶抑菌活性影响的研究[J]. 食品科技, 2019, 44(3): 267—272.
HU Jie, WANG Le-chuan, KUANG Hai-rui, et al. Effects of Three Degree of Substitution Carboxymethyl Cellulose on Bacteriostatic Activity of Lysozyme[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(3): 267—272.
- [26] 杨海伦, 刘小香, 朱军莉, 等. 茶多酚的抗菌特性研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(21): 385—389.
YANG Hai-lun, LIU Xiao-xiang, ZHU Jun-li, et al. Research Progress in Antibacterial Properties of Tea Polyphenols[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(21): 385—389.
- [27] 王者, 关荣发, 刘振峰, 等. 溶菌酶脂质体对冷藏金鲳鱼保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(11): 227—232.
WANG Zhe, GUAN Rong-fa, LIU Zhen-feng, et al. Effect of Lysozyme Liposomes on *Trachinotus ovatus* Preservation[J]. Food Science, 2018, 39(11): 227—232.
- [28] 李伟丽, 伍小宇, 王庆慧, 等. 不同包装处理对三文鱼冷藏货架寿命的影响[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2018, 37(2): 40—45.
LI Wei-li, WU Xiao-yu, WANG Qing-hui, et al. Effects of Various Packaging on the Shelf-life of Salmon Slice During the Cold Storage[J]. Journal of Xihua University(Natural Science Edition), 2018, 37(2): 40—45.
- [29] 郭恒, 钱怡, 李颖杰, 等. 解冻温度对冷冻鲱鱼品质、质构及超微结构的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 49—56.
GUO Heng, QIAN Yi, LI Ying-jie, et al. Effects of Defrosting Temperature on the Quality and Ultrastructure of Frozen Mackerel[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(12): 49—56.