

茶多酚/ ϵ -聚赖氨酸盐酸盐复合微胶囊 对美国红鱼鱼片的保鲜作用

杨华^{1,2}, 杨丽丽^{1,2}, 王明^{1,2}, 魏旭青^{1,2}, 孙彤^{1,2}, 周斌³, 励建荣^{1,2}

(1. 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)

(2. 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)

(3. 浙江新银象生物工程有限公司, 浙江台州 318000)

摘要: 本研究以聚乳酸(PLA)和乙基纤维素(EC)为壁材, 茶多酚(TP)、 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐(ϵ -PL)和TP/ ϵ -PL混合物为芯材使用喷雾干燥法制备了具有缓释性能的微胶囊。以美国红鱼鱼片为保鲜对象, 研究了保鲜剂及其微胶囊的保鲜性能。结果显示, 经保鲜剂及其微胶囊处理后, 鱼片中微生物的生长受到抑制, pH的变化速度减缓, 脂肪的氧化和蛋白质的分解速度降低, 鱼片感官评分和质构指标下降速度减慢。至第11d起, 经包埋保鲜剂微胶囊处理后, 鱼片的菌落总数低于同期未包埋保鲜剂处理样品0.20~0.37 lg(cfu/g)。TP/ ϵ -PL复合保鲜剂及其微胶囊处理鱼片的菌落总数低于同期单一保鲜剂及其微胶囊处理样品0.17~1.09 lg(cfu/g)。因此, 保鲜剂微胶囊化具有长效抑菌性, TP和 ϵ -PL复合具有协同增效作用, 保鲜性能更优, 可延长鱼片的货架期3~5d。

关键词: 复合微胶囊; 美国红鱼; 保鲜; 茶多酚(TP); ϵ -聚赖氨酸盐酸盐(ϵ -PL)

文章编号: 1673-9078(2020)01-98-105

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.1.014

The Preservative Effect of Tea Polyphenols/ ϵ -Polylysine Hydrochloride Composite Microcapsules on *Sciaenops ocellatus* Fillets

YANG Hua^{1,2}, YANG Li-li^{1,2}, WANG Ming^{1,2}, WEI Xu-qing^{1,2}, SUN Tong^{1,2}, ZHOU Bin³, LI Jian-rong^{1,2}

(1. National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China)

(2. College of Food Science and Engineering, Bohai University, Food Safety Key Lab of Liaoning Province, Jinzhou 121013, China) (3. Zhejiang Silver-Elephant Bioengineering Co. Ltd., Taizhou 318000, China)

Abstract: In this study, microcapsules with sustained release properties were prepared by spray drying using polylactic acid (PLA) and ethyl cellulose (EC) as the wall materials, and tea polyphenols (TP), ϵ -polylysine hydrochloride (ϵ -PL) or TP/ ϵ -PL mixture as the core substance(s). Using *Sciaenops ocellatus* fillets as the preservation objects, the preservation performance of the preservatives and their derived microcapsules were studied. The results showed that after the treatment with the preservatives and microcapsules, the growth of microorganisms in the fish fillets was inhibited, with the changing rate of pH being slowed down, the rates of fat oxidation and protein decomposition decreasing, and the decreasing rates of sensory score and texture index ranking for the fish fillets being reduced. From the 11th day, the total number of colonies of the fish fillets treated with microencapsulated preservatives was lower than that for those treated with unencapsulated preservatives in the same period (by 0.20 to 0.37 lg(cfu/g)). The treatment with the TP/ ϵ -PL composite preservative and its derived microcapsules led to a decrease of 0.17~1.09 lg(cfu/g) in the total number of colonies of the fish fillets, compared with the treatment with a single preservative and its derived microcapsules in the same period. Therefore, the microencapsulation of preservatives had a long-lasting antibacterial activity, and the combination of TP and ϵ -PL exhibited a synergistic effect and led to a greater preservative effect (which extended the shelf life of fish fillets by 3~5 days).

收稿日期: 2019-07-07

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

作者简介: 杨华(1995-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 水产品贮藏加工及质量安全控制

通讯作者: 孙彤(1966-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 水产品贮藏加工及质量安全控制; 共同通讯作者: 励建荣(1964-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 水产品贮藏加工及质量安全控制

Key words: composite microcapsule; *Sciaenops ocellatus*; preservation; tea polyphenols (TP); ϵ -polylysine hydrochloride (ϵ -PL)

美国红鱼 (*Sciaenops ocellatus*), 又名眼斑拟石首鱼, 是鲈形目, 石首鱼科, 拟石首鱼属, 因其生长迅速, 抗病毒和细菌能力强, 适合大规模养殖^[1]。1991年, 美国红鱼首先在我国海南和福建沿海地区养殖, 随后向北扩展到浙江、山东和辽宁等区域, 其以近海网箱养殖为主, 现已成为我国最重要的海水养殖鱼类之一^[2,3]。随着经济水平日益提高, 人们对健康越来越重视。因此, 高蛋白、低脂肪的美国红鱼的市场潜力越来越大。但由于其具有高水分、高蛋白的特性, 在鱼体表面和肠道存在大量微生物, 使美国红鱼在捕捞、加工、贮藏和销售过程中易腐败变质, 造成巨大的经济损失^[4]。因此, 其保鲜技术的研究和应用显得尤为重要。

水产品的保鲜方法通常分为物理、化学和生物法。化学保鲜剂被证实对人体健康有危害, 而生物保鲜剂由于其来源广、价格低、安全性高等优点, 已成为现阶段的研究热点^[5,6]。茶多酚 (Tea Polyphenols, TP) 是从茶叶中提取的一类多酚的总称, 含有很多活性酚羟基, 其羟取代基能够提供质子, 有很强的抗氧化性能, 并能够有效地抑制微生物的生长繁殖^[7]。但是, 它的化学性质不稳定, 易受温度、光、湿度和 pH 等因素的影响^[8]。 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐 (ϵ -poly-L-lysine hydrochloride, ϵ -PL) 是从链霉菌属生产菌发酵代谢产物中, 经分离提取而获得的产品^[9], 具有广谱抑菌性, 对革兰氏阴性菌、革兰氏阳性菌、丝状真菌和病毒等均具有良好的抑菌性能^[3]。由于其具有安全性高、水溶性好、热稳定性优及化学稳定性高等特点, 被广泛用于米饭、沙拉、鱼和奶酪等食品的保鲜^[10,11]。

由于单一保鲜剂具有抑菌谱窄等特点, 将两种或两种以上的保鲜剂按照一定比例复配不仅能拓宽抑菌谱、改善保鲜效果, 还可降低每种保鲜剂的用量, 进而降低成本。Yang 等^[12]的研究表明, 将 TP 和乳酸链球菌素 (Nisin) 复配处理乌龟肉, 可延缓脂质氧化、抑制微生物生长, 使货架期延长 3~6 d。Abdollahzadeh 等^[13]发现, 百里香精油和 Nisin 同时处理熟鱼肉, 可显著抑制单增李斯特菌的生长, 从而延长熟鱼肉的保质期。但由于生物保鲜剂多具有挥发性, 导致其作用时间短、易失活。因此延长生物保鲜剂的作用时间, 提高保鲜性能是目前的研究热点之一。

微胶囊化是以天然或人工合成高分子物质为成膜材料, 将活性成分包裹其中, 制备具有半透性或密封胶囊微粒的技术手段^[14]。微胶囊可使被包裹的芯材避免外界空气、光照、温度、pH 等因素的影响, 提高

其稳定性, 扩大应用领域, 并可根据需要在特定的条件下控制芯材的释放等^[15]。微胶囊技术已广泛应用于医药、食品、生物、农药、感光材料、纺织、香精香料等领域。Rocha 等^[16]采用微胶囊包裹番茄红素, 与未包埋样品相比, 微胶囊化后的番茄红素的稳定性提高。由于聚乳酸 (polylactic acid, PLA) 和乙基纤维素 (ethyl cellulose, EC) 都是安全无毒, 成本较低的高分子成膜材料^[17,18], 本文选用 PLA 和 EC 为壁材, 对天然生物保鲜剂进行微胶囊化处理。

为获得长效高效的食品保鲜剂, 本文以 PLA、EC 为壁材, TP、 ϵ -PL 及其复合物为芯材, 采用喷雾干燥法制备微胶囊。以美国红鱼鱼片的菌落总数 (Total viable counts, TVC)、挥发性盐基氮 (Total volatile base nitrogen, TVB-N)、硫代巴比妥酸 (Thiobarbituric acid, TBA)、pH 和质构等作为评价指标, 研究其保鲜性能, 为保鲜剂微胶囊在食品保鲜领域的应用提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

美国红鱼, 活体, 600±20 g/条, 共 20 条, 购于辽宁省锦州市水产批发市场, 早晨取样, 活体运回; TP, 纯度>98%, 安徽红星药业股份有限公司; ϵ -PL, 食品级, 浙江新银象生物工程有限公司; PLA, 食品级, 兴旺塑胶原料有限公司; EC, 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。其它试剂均为分析纯, 去离子水自制。

1.2 主要仪器设备

SP-1500 实验型喷雾干燥机, 上海顺仪实验设备有限公司; LRH-150 生化培养箱, 上海一恒科技有限公司; MS-105DU 电子分析天平, 瑞士梅特勒托利多仪器有限公司; FE20 pH 计, 瑞士 METTLER TOLEDO 公司; LQ-C5001 电子天平, 上海瑶新电子科技有限公司; TA-XT-PLUS 质构仪, 英国 Stable Micro System 公司; T25 数显型均质机, 上海珂淮仪器有限公司; BagMixer 400 W 拍击式均质机, 上海智理科仪有限公司; Kjeltec-8400 全自动凯氏定氮仪, 丹麦 FOSS 公司; MLS-3030CH 立式高压灭菌锅, 三洋电机(广州)有限公司; SW-CJ-2FD 超净工作台, 苏景集团苏州安泰技术有限公司; UV-2250 紫外-可见光光度计, 尤尼柯仪器(上海)有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 保鲜剂微胶囊的制备及保鲜剂溶液的配制

称取 3.30 g PLA 和 6.70 g EC, 充分溶解于 500.0 mL 二氯甲烷中, 加入 1% (V/V) 司盘 80 (Span 80), 继续搅拌 5 min, 作为有机相。前期实验表明, TP 和 ϵ -PL 的质量比为 5:1 时, 其抗菌性能较好。称取 4.20 g TP 和 0.80 g ϵ -PL, 共同溶解于 50.0 mL 去离子水中, 作为水相。将有机相置于数显均质机作用下, 在均质过程中逐滴加入水相溶液, 滴加结束后, 继续均质 10 min, 形成 W/O 型乳液。将上述乳液进行喷雾干燥处理, 工艺条件为: 喷嘴口径 0.7 mm, 进风温度 45 °C, 物料流速 180.0 mL/h。在旋风分离器中收集样品, 得 TP/ ϵ -PL 复合微胶囊, 装袋密封后置于 4 °C 保存备用。将芯材分别换成 5.00 g TP 或 5.00 g ϵ -PL, 采用上述方法分别制备 TP 微胶囊和 ϵ -PL 微胶囊。

保鲜剂复合溶液的配制: 称取 4.20 g TP 和 0.80 g ϵ -PL, 共同溶于 1000.0 mL 去离子水中, 搅拌均匀, 制得 TP/ ϵ -PL 复合保鲜剂溶液。将溶质分别换成 5.00 g TP 和 1.00 g ϵ -PL, 采用上述方法分别配制浓度为 0.50% (W/V) 的 TP 和 0.10% (W/V) 的 ϵ -PL 溶液。

1.3.2 美国红鱼保鲜及其鲜度指标的测定

将鲜活的美红鱼用碎冰猝死, 去头, 去内脏, 去皮后, 取鱼刺边的两片鱼肉, 每片 150 ± 5 g。将鱼片分别浸渍于上述 TP 溶液、 ϵ -PL 溶液和 TP/ ϵ -PL 的复合溶液中, 20 min 后取出, 沥干表面水分。另外, 分别将 10.00 g TP 微胶囊、2.00 g ϵ -PL 微胶囊和 10.00 g TP/ ϵ -PL 微胶囊均匀涂抹于一片美国红鱼鱼片表面。上述处理后的鱼片用灭菌后的蒸煮袋包装、密封后置于 4 °C 恒温冰箱中, 分别在贮藏不同时期 (每隔 3 d, 取样至 18 d) 测定美国红鱼鱼片的鲜度指标。

随机选择水产研究团队的 10 名同学, 按照姜文进等^[19]的方法从色泽、气味、组织形态和弹性等方面对美国红鱼鱼片进行感官评分, 5 分为最好, 3 分为可接受下限。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》中的稀释平板计数法, 测定样品中的菌落总数^[20]。参考 Sun 等^[21]的方法, 稍作修改, 称取 10.00 g 鱼肉, 向其中加入 90.0 mL 蒸馏水, 采用均质机均质, 静置 30 min 后过滤, 测定滤液的 pH 即为样品的 pH。参照 GB 5009.181-2016《食品安全国家标准食品中丙二醛的测定》中的分光光度法^[22], 测定样品的 TBA 值。参考 FOSS 法^[23], 准确称取 10.00 g 鱼肉于到蒸馏管中, 加入 1.00 g 氧化镁粉末, 用全自动凯氏定氮仪测定鱼片的 TVB-N, 单位用 mg

N/100 g 表示。取 $1.5 \times 1.5 \times 1.5$ cm³ 的正方体鱼块, 在质构仪上测定其质构指标。测定条件为: 每个样品进行轴向压缩两次, 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。

1.4 数据分析及处理

每个实验做 3 次平行, 结果以“平均值±标准偏差”表示, 使用 Origin 8.5 软件绘图。

2 结果与讨论

2.1 保鲜剂及其微胶囊对美国红鱼鱼片感官

评分的影响

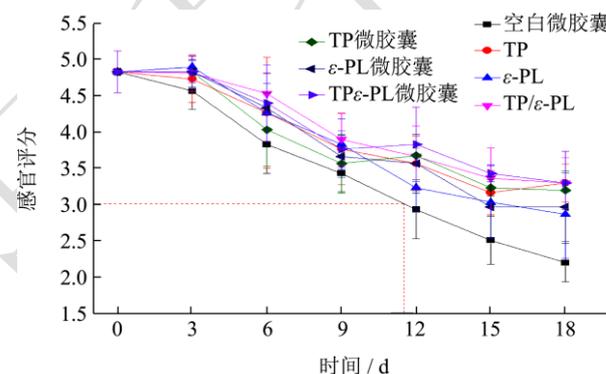


图1 保鲜剂及其微胶囊对美国红鱼在贮藏过程中感官评分的影响

Fig.1 Effect of the preservatives and its microcapsules on sensory score of *Sciaenops ocellatus* during storage

感官评分可以直观地反映水产品贮藏过程中品质的变化。如图 1 所示, 在贮藏期间, 美国红鱼的感官评分逐渐降低。至第 12 d, 未处理鱼片的感官评分降至 2.93 ± 0.40 分, 鱼片品质迅速下降, 有腐败的氨臭味、色泽暗淡、肌肉组织松散、几乎无弹性。经保鲜剂及其微胶囊处理后, 鱼片的感官评分下降速度较慢, 在贮藏终点时, 鱼片的感官评分仍在 3 分以上, 始终高于同期未处理样品。在贮藏前期, 经包埋保鲜剂微胶囊处理的鱼片感官评分低于未包埋保鲜剂处理样品。反之, 至第 11 d 起, 经含有保鲜剂的微胶囊处理的鱼片感官评分高于未包埋保鲜剂处理样品。分析认为, 由于保鲜剂从微胶囊中缓慢释放, 在贮藏后期鱼片表面的保鲜剂仍维持较高浓度, 能够更好地延缓鱼片品质的下降。经 TP 处理鱼片的感官评分高于同期 ϵ -PL 处理样品, 这可能是因 TP 具有良好的抗氧化特性, 能够有效抑制鱼肉脂肪氧化, 而 TP/ ϵ -PL 复合

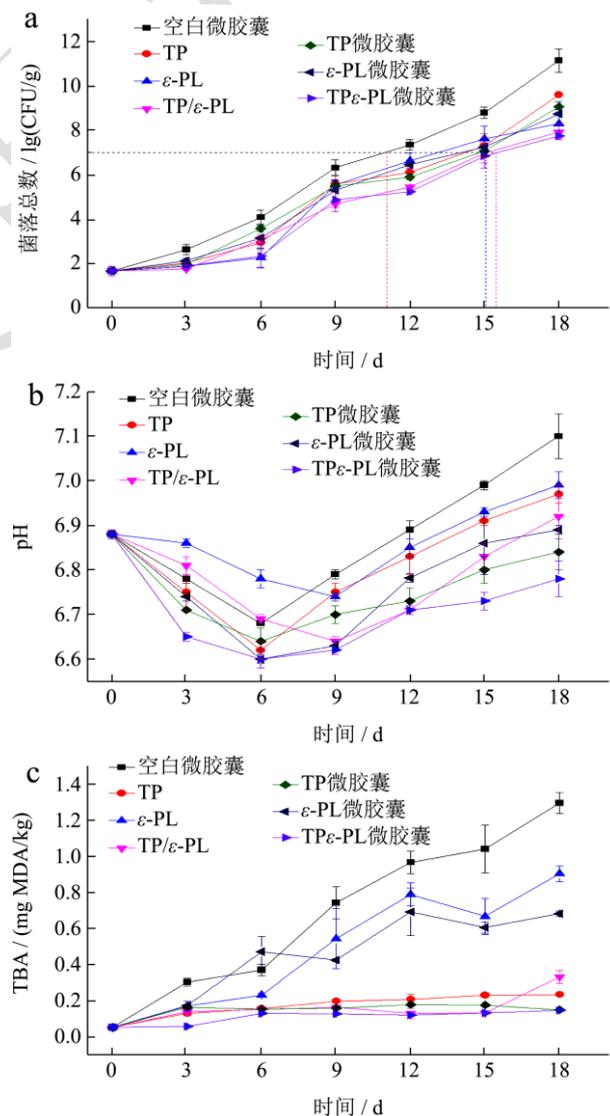
保鲜剂处理鱼片的感官评分结果更优,微胶囊包埋保鲜剂处理后的鱼片感官评分变化也存在这个规律。这是由于复合保鲜剂具有协同增效作用,其抗氧化和抑菌性能更优,从而有效延缓了鱼片品质的变化。

2.2 保鲜剂及其微胶囊对美国红鱼鱼片鲜度指标的影响

微生物和酶引起的生化反应是导致水产品腐败变质的主要因素^[10]。由图 2a 可见,在贮藏过程中,鱼片的菌落总数逐渐增加,贮藏初期增长缓慢,随着时间的延长,微生物生长速率增大。经未包埋保鲜剂及含有保鲜剂微胶囊处理后,鱼片的菌落总数始终低于同期未处理样品。未经处理鱼片的菌落总数在 11 d 已超过 7.00 lg(cfu/g),达到可接受度的上限^[24]。经保鲜剂及其微胶囊处理后,鱼片在第 15 d 才陆续达到这一限度,说明保鲜剂及其微胶囊能够显著抑制微生物的生长,从而延缓鱼片的腐败变质。美国红鱼菌落总数的初始值是 1.66 ± 0.21 lg(cfu/g),处于一级鲜度。在 0~6 d 期间,菌落总数增长缓慢,经未包埋保鲜剂处理的鱼片菌落总数更少,说明其抑菌性能更优。这是由于未包埋保鲜剂直接作用在鱼片表面,抑菌作用充分发挥,微生物生长较慢。而在贮藏后期,经包埋保鲜剂的微胶囊处理后,鱼片的菌落总数低于同期未包埋保鲜剂处理样品 0.20~0.37 lg(cfu/g),这是由于微胶囊中的保鲜剂缓慢释放,在贮藏后期还在逐渐释放,至第 16 d,经 TP/ ϵ -PL 复合保鲜剂微胶囊处理鱼片的菌落总数才超过 7.00 lg(cfu/g),起到了抑制细菌生长的作用,故其长效性更显著。吴秋敏^[25]以包埋黄酮的微胶囊处理冷鲜肉,前期抑菌性能较好,在 5~8 d 期间,冷鲜肉中菌落总数迅速增加至 6.00 lg(cfu/g),这可能是微胶囊以酵母细胞为壁材,芯材释放过快,导致长效性较差。经 TP/ ϵ -PL 复合保鲜剂处理后,鱼片的菌落总数始终低于同期单一保鲜剂处理样品 0.17~1.09 lg(cfu/g),且 TP/ ϵ -PL 复合保鲜剂微胶囊抗菌性能最优。说明 TP 和 ϵ -PL 有协同增效作用,共同使用时拓宽了抑菌谱,表现出更优的抗菌性能。付丽等^[26]以茶多酚、壳聚糖和 Nisin 的复合物处理牛肉,至第 14 d,样品的菌落总数达到 7.00 lg(cfu/g)。

如图 2b 所示,在贮藏过程中,鱼片的 pH 先下降后上升,至第 6 d 时, pH 下降至最低点。这是由于鱼死后,其肌肉糖原进行无氧呼吸,生成了大量乳酸及其他酸性物质。第 6 d 后,鱼片中的内源蛋白酶使蛋白质分解为小分子多肽和氨基酸,碱性基团暴露,且微生物代谢产物增多, pH 逐渐上升^[27]。在贮藏前期,

与未处理鱼片相比,经未包埋 ϵ -PL 和 TP/ ϵ -PL 处理后,鱼片的 pH 下降缓慢,而经未包埋 TP 处理后,鱼片的 pH 下降更快。这可能是由于 ϵ -PL 抑制了糖降解过程中酶的合成,使肌肉糖原进行无氧呼吸反应的速度减慢,而 TP 促进了该反应的进行。经包埋保鲜剂的微胶囊处理后,鱼片的 pH 下降更快,这可能是由于微胶囊中的芯材存在竞争释放关系,TP 优先释放造成的。在贮藏后期,鱼片的 pH 上升。与未处理鱼片相比,经保鲜剂及其微胶囊处理后,鱼片的 pH 上升缓慢。这是由于保鲜剂抑制了鱼片中微生物的生长繁殖,鱼片中的含氮物质被微生物分解成碱性物质的量减少,故 pH 上升缓慢。包埋保鲜剂的微胶囊处理鱼片的 pH 显著低于未包埋保鲜剂处理样品,这是由于在贮藏后期,保鲜剂从微胶囊中缓慢释放,其长效抑菌性能更强。经 TP/ ϵ -PL 复合保鲜剂及其微胶囊处理后,鱼片的 pH 低于同期单一保鲜剂及其微胶囊处理鱼片,说明两者有协同增效作用,这与 TVC 实验结果一致。



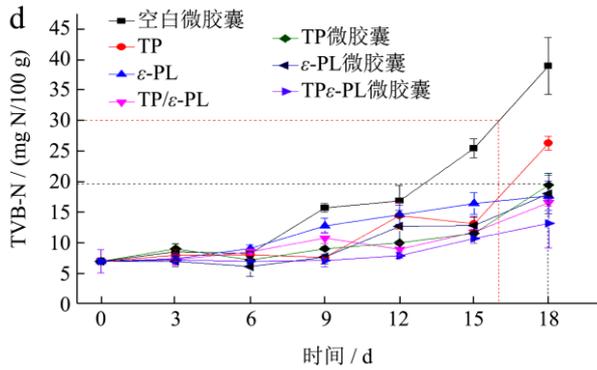


图2 保鲜剂及其微胶囊对美国红鱼在贮藏过程中鲜度指标的影响

Fig.2 Effects of the preservatives and its microcapsules on freshness index of *Sciaenops ocellatus* during storage

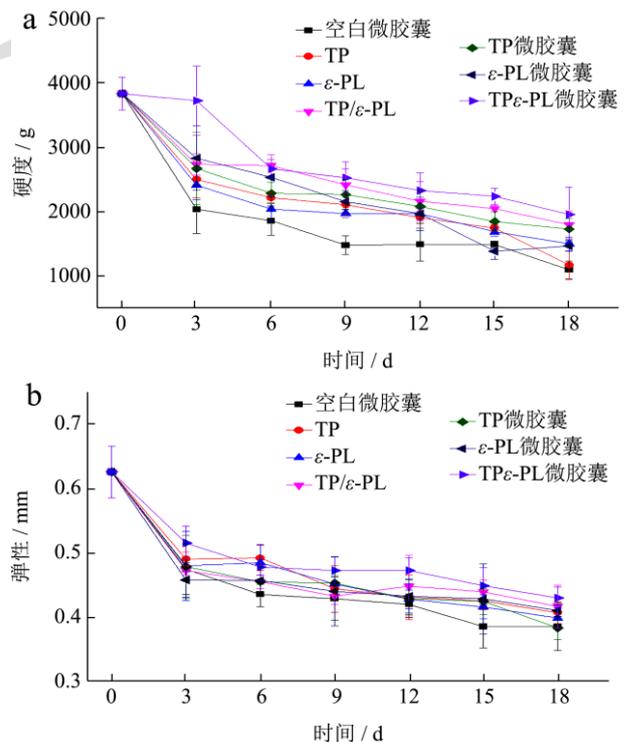
注: a: 菌落总数; b: pH; c: TBA; d: TVB-N.

不饱和脂肪酸氧化产物中的丙二醛可以和硫代巴比妥酸反应生成有色化合物,通过测定其在 532nm 处的吸光度可以确定脂肪氧化的程度^[28]。王煜坤^[29]认为鱼片中 TBA 达 1 MDA/kg 时为可接受上限。由图 2c 可见,随着贮藏时间的延长,鱼片的 TBA 逐渐增大,至第 15 d,鱼片中 TBA 为 1.04±0.13 MDA/kg。与未经处理的鱼片相比,经保鲜剂及其微胶囊处理后,鱼片的 TBA 增长速度降低,在贮藏终点,鱼片中 TBA 仍低于 1 MDA/kg,说明保鲜剂有效延缓了鱼片中脂肪的氧化。经 ε-PL 及其微胶囊处理后,鱼片的 TBA 较低,经 TP 及其微胶囊处理后,样品的 TBA 更低,经 TP/ε-PL 及其微胶囊处理后,鱼片的 TBA 最低。以上结果说明,TP 对脂肪氧化的抑制性能优于 ε-PL,二者复合后,抑制脂肪氧化的性能增强,这与 Li 等^[30]的研究结果相似。分析认为,ε-PL 具有抗菌性能,在一定程度上降低了微生物对脂肪的利用率,使脂肪氧化速度降低。而 TP 中的多酚物质含有很多活性酚羟基,其羟取代基能够提供质子,具有较强的清除自由基的能力,故有效地降低了鱼片脂肪氧化分解速率,表现为样品的 TBA 更低,这也是 TP 处理鱼片的感官评分高于 ε-PL 处理样品的原因之一。而将 TP 和 ε-PL 共同使用,其抗脂肪氧化能力增强,说明两者有协同增效作用。在贮藏前期,未包埋保鲜剂处理的鱼片 TBA 较低,而在贮藏后期,包埋保鲜剂的微胶囊处理鱼片的 TBA 更低,这是保鲜剂从微胶囊中缓慢释放的结果。

在酶和微生物的生化反应作用下,水产品中蛋白质和非蛋白氮分解为氨类及小分子氨类等物质^[31],氨和胺类及其他挥发性物质不断积累,从而影响鱼片的

品质^[32]。TVB-N 反映了贮藏期间挥发性碱性含氮化合物的含量,是指示水产品鲜度的重要指标之一^[33]。GB/T 18108-2008《鲜海水鱼》^[34]中规定,海水鱼一级鲜度为 TVB-N≤15 mg/100 g,二级鲜度为 TVB-N≤20 mg/100 g,三级鲜度为 TVB-N≤30 mg/100 g。由图 2d 可知,美国红鱼鱼片的 TVB-N 随贮藏时间的延长而增大,与未处理样品相比,经保鲜剂及其微胶囊处理后,鱼片的 TVB-N 增长速度减慢。未处理鱼片在第 16 d TVB-N 为 30 mg/100 g,经保鲜剂及其微胶囊处理后,除 TP 处理样品外,鱼片在第 18 d 时仍 TVB-N 小于 20 mg/100 g,说明保鲜剂及其微胶囊有效地抑制了鱼片内微生物对蛋白质的分解。在贮藏后期,经包埋保鲜剂的微胶囊处理后,鱼片的 TVB-N 低于未包埋保鲜剂处理样品,这是由于保鲜剂从微胶囊中缓慢释放,起到长效抑菌的作用,降低了微生物对蛋白质的分解。经 TP/ε-PL 复合保鲜剂及其微胶囊处理后,鱼片的 TVB-N 低于同期单一保鲜剂及其微胶囊处理样品,说明 TP 和 ε-PL 有协同增效作用,共同使用时拓宽了抑菌谱,抑菌性能增强,这与 TVC 的实验结果一致。

2.3 保鲜剂及其微胶囊对美国红鱼鱼片质构指标的影响



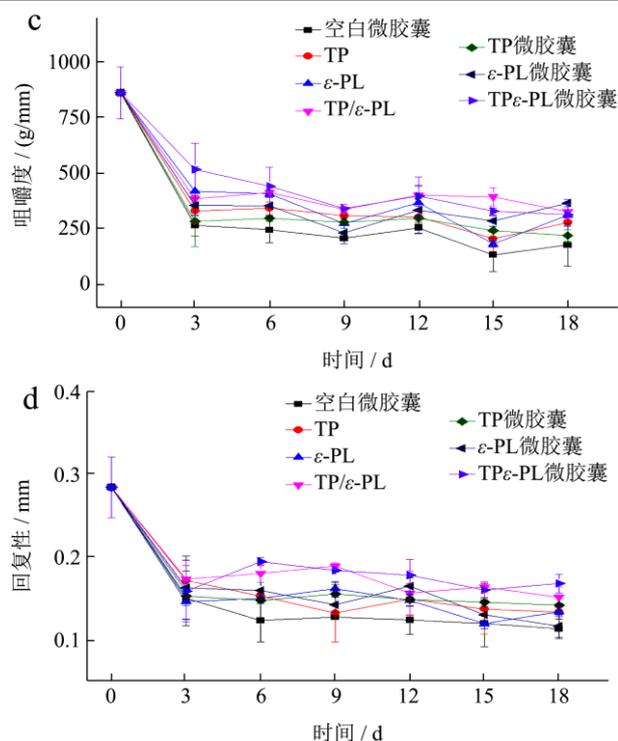


图3 保鲜剂及其微胶囊处理对美国红鱼在贮藏过程中质构的影响

Fig.3 Effect of the preservatives and its microencapsulation on texture of *Sciaenops ocellatus* during storage

注: a: 硬度; b: 弹性; c: 咀嚼度; d: 回复性。

如图3显示, 保鲜剂及其微胶囊对美国红鱼鱼片硬度、弹性、咀嚼度和回复性的影响, 随着贮藏时间的延长, 鱼片质构指标均逐渐降低。硬度可以反映鱼片维持原有形状的内在结合力^[35], 由图3a可知, 与未处理样品相比, 经保鲜剂及其微胶囊处理后, 鱼片的硬度下降缓慢。这是由于鱼片中蛋白质被微生物分解的量减少, 蛋白质空间结构的被破坏程度降低。在整个贮藏期间, 与未包埋保鲜剂处理鱼片相比, 经包埋保鲜剂的微胶囊处理后, 鱼片的硬度下降缓慢。这是由于微胶囊中的保鲜剂缓慢释放, 具有长效抑菌作用, 鱼片的组织结构较为完整。经TP/ε-PL复合保鲜剂及其微胶囊处理后, 鱼片的硬度较同期单一保鲜剂及其微胶囊处理样品更高, 说明TP和ε-PL有协同增效作用, 抑菌性能更优。鱼片的抗变形能力可以用弹性来衡量, 通常认为它是咀嚼度和回复性的综合表现^[36]。由图3b可知, 随着贮藏时间的延长, 弹性逐渐下降。与未处理鱼片相比, 经保鲜剂及其微胶囊处理后, 样品的弹性下降减缓。其一, 保鲜剂有效地抑制了微生物的生长繁殖, 使其对蛋白质空间结构的破坏减小; 其二, 肌球蛋白分解量的减少使其与水结合能力升高^[37], 导致鱼片的弹性下降缓慢。在贮藏后期, 经包埋保鲜剂的微胶囊处理后, 鱼片的弹性显著高于

未包埋保鲜剂处理样品。这是由于保鲜剂从微胶囊中缓慢释放, 使其在贮藏后期也有较好的抑菌性能, 微生物对蛋白质的结构破坏减少。经TP/ε-PL复合保鲜剂及其微胶囊处理后, 鱼片的弹性高于同期单一保鲜剂及其微胶囊处理样品, 说明两者具有协同增效作用, 这与TVC和TVB-N的实验结果一致。如图3c、3d所示, 在整个贮藏过程中, 与未处理鱼片相比, 经保鲜剂及其微胶囊处理后, 鱼片的咀嚼度和回复性下降缓慢, 这是由于鱼片整体品质下降导致的。

3 结论

相较于未处理的鱼片, 经保鲜剂及其微胶囊处理后, 鱼片的TVC、pH、TBA和TVB-N鲜度指标值的增长缓慢, 而感官评分和硬度、弹性、咀嚼度和回复性等质构指标的下降减缓, 说明保鲜剂有效地抑制了微生物的生长繁殖, 延缓了脂肪氧化和蛋白质分解, 其中, TP的抗脂肪氧化性能显著优于ε-PL。在贮藏后期, 经包埋保鲜剂的微胶囊处理后, 鱼片的各项鲜度指标优于未包埋保鲜剂处理样品, 说明保鲜剂从微胶囊中缓慢释放, 具有长效高效性。经TP/ε-PL复合保鲜剂及其微胶囊处理后, 鱼片的各项鲜度指标优于同期单一保鲜剂及其微胶囊处理样品, 说明TP和ε-PL有协同增效作用, 其抗菌性能更优, 更有效地延缓了脂肪氧化和蛋白质分解, 提高了美国红鱼鱼片的贮藏品质。

参考文献

- [1] 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 Chemistry, 2013, 138(2-3): 821-826
- [2] 杨静. 美国红鱼的养殖与危害[J]. 大自然, 2014, 5: 32-33
YANG Jing. Aquaculture and harm of *Sciaenops ocellatus* [J]. China Nature, 2014, 5: 32-33
- [3] Hu Y H, Zheng W J, Sun L. Identification and molecular analysis of a ferritin subunit from red drum (*Sciaenops ocellatus*) [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2010, 28(4): 678-686
- [4] Maqsood S, Benjakul S. Synergistic effect of tannic acid and modified atmospheric packaging on the prevention of lipid oxidation and quality losses of refrigerated striped catfish slices [J]. Food Chemistry, 2010, 121(1): 29-38
- [5] 余翔, 冯艳丽, 石鹤, 等. 冷鲜肉天然保鲜剂研究进展[J]. 食品工业, 2015, 10: 238-241
YU Xiang, FENG Yan-li, SHI He, et al. Research progress on

- the natural preservatives for chilled meat [J]. Food Industry, 2015, 10: 238-241
- [6] 单珂,郭全友,姜朝军,等.生物保鲜剂在水产品保鲜中的应用[J].食品与发酵科技,2018,3:4-8
- SHAN Ke, GUO Quan-you, JIANG Chao-jun, et al. Application of biological preservative in aquatic products preservation [J]. Food and Fermentation Technology, 2018, 3: 4-8
- [7] 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
- [8] Liang J, Yan H, Puligundla P, et al. Applications of chitosan nanoparticles to enhance absorption and bioavailability of tea polyphenols: A review [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 69: 286-292
- [9] 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].现代食品科技,2019,35(6):1-9
- ZHENG Yu-xiu, ZHOU Bin, WANG Ming, et al. Effects of composite preservatives on storage quality of conditioned fish fillets of *Sciaenops ocellatus* [J]. Modern Food Science & Technology, 2019, 35(6): 1-9
- [10] 于雪骊,刘长江,杨玉红,等.天然食品防腐剂 ϵ -多聚赖氨酸的研究现状及应用前景[J].食品工业科技,2007,4:226-227
- YU Xue-li, LIU Chang-jiang, YANG Yu-hong, et al. Research status and application prospect of natural food preservative ϵ -polylysine [J]. Science and Technology of Food Industry, 2007, 4: 226-227
- [11] 杨云霞,裘曦. ϵ -聚赖氨酸复配制剂防腐效果研究[J].现代食品,2016,5:37-39
- YANG Yun-xia, QIU Xi. Study on antiseptic effect of composite preparation of ϵ -polylysine [J]. Modern Food, 2016, 5: 37-39
- [12] Yang A, Cheng F, Tong P, et al. Effect of tea polyphenol and nisin on the quality of tortoise (*Trachemys scripta elegans*) meat during chilled storage [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(6): 1-8
- [13] 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
- [14] 张凤.相反转法制备聚乳酸载青藤碱微胶囊及其性能研究[D].天津:天津工业大学,2016
- ZHANG Feng. Preparation of sinomenine-loaded polylactic acid microcapsules by phase-inversion method and their properties [D]. Tianjin: Tianjin Polytechnic University, 2016
- [15] 马立然.橡实多酚的提取、微胶囊化及其性能的研究[D].长沙:中南林业科技大学,2012
- MA Li-ran. Extraction, microencapsulation and properties of acorn polyphenols [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2012
- [16] Rocha G A, Fávaro-Trindade, Carmen Sílvia, Grosso C R F. Microencapsulation of lycopene by spray drying: Characterization, stability and application of microcapsules [J]. Food & Bioproducts Processing: Transactions of the Institution O, 2012, 90(1): 37-42
- [17] Raval J P, Naik D R, Patel P S. Spray-dried cefixime encapsulated poly (lactide-co-glycolide) microparticles: Characterization and evaluation of *in vitro* release kinetics with antibacterial activity [J]. Drying Technology, 2012, 30(8): 865-872
- [18] Lidija B, Petrovic, Verica J, et al. Influence of polymer-surfactant interactions on O/W emulsion properties and microcapsule formation [J]. Journal of Colloid And Interface Science, 2009, 342(2): 333-339
- [19] 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. Effects of bamboo extracts on edible quality and storage characteristics of cultured *Pseudosciaena crocea* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013
- [20] 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 Colony Number Determination [S]
- [21] Tong S, Chaoling W, Han H, et al. Preparation and preservation properties of the chitosan coatings modified with the in situ synthesized nano SiO_x [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 54: 130-138
- [22] GB 5009.181-2016.食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定[S]
- GB 5009.181-2016. National Food Safety Standard Determination of Malondialdehyde in Food [S]
- [23] Foss 公司. ASN 3140 鲜鱼和冻鱼中挥发性盐基氮(TVB-N)的测定[N]. FOSS 应用子报, 2002-08-12
- Foss Corporation. ASN 3140 Determination of volatile salt-based nitrogen (TVB-N) in fresh and frozen fish [N]. FOSS Application Subreport, 2002-08-12
- [24] 国际食品微生物规格委员会(ICMSF).微生物检验与食品安全控制[M].北京:中国轻工业出版社,2012:110-122

- The International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). Microbial Inspection and Food Safety Control [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2012: 110-122
- [25] 吴秋敏.黄秋葵总黄酮的微胶囊化及其应用在冷鲜肉保鲜上的研究[D].杭州:浙江大学,2015
WU Qiu-min. The Research of the microencapsulation of flavones of okra flowers and its application in preservation of chilled meat [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015
- [26] 付丽,胡晓波,吴丽,等.天然保鲜剂的配比优化及其对牛肉保鲜效果的影响[J].现代食品科技,2018,34(6):204-211
FU Li, HU Xiao-bo, WU Li, et al. Optimization of ratio of natural preservative agents and its effect on the beef preservation effect [J]. Modern Food Science & Technology, 2018, 34(6): 204-211
- [27] 颜明月.臭氧水处理对罗非鱼片蛋白质和脂质氧化及品质的影响[D].南宁:广西大学,2015
YAN Ming-yue. Effects of ozone water treatment on protein and lipid oxidation and quality of tilapia fillets [D]. Nanning: Guangxi University, 2015
- [28] 孙群.肉制品脂类氧化:硫代巴比妥酸试验测定醛类物质[J].食品科学,2002,23(8):331-334
SUN Qun. Lipid oxidation of meat products: determination of aldehydes by thiobarbituric acid test [J]. Food Science, 2002, 23(8): 331-334
- [29] 王煜坤.两种鱼的营养特征及鲈鱼贮藏期品质变化分析[D].广州:广东药科大学,2018
WANG Yu-kun. Analyses on nutritional characteristics of two fishes and changes in quality of frozen bass [D]. Guangzhou: Guangdong Pharmaceutical University, 2018
- [30] Li T T, Li J R, Hu W Z, et al. Shelf-life extension of crucian carp (*Carassius auratus*) using natural preservatives during chilled storage [J]. Food Chemistry, 2012, 135(1): 140-145
- [31] 苏红,申亮,毕诗杰,等.复合生物保鲜剂结合冰温贮藏对红鳍东方鲀的保鲜效果[J].水产学报,2019,43(3):688-696
SU Hong, SHEN Liang, BI Shi-jie, et al. Fresh-keeping effect of biological composite preservative combined with ice temperature storage on red-finned oriental medlar [J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(3): 688-696
- [32] 官爱艳,谭贝贝,卢佳芳,等.生物保鲜剂对海鲈鱼冰藏保鲜效果的影响[J].核农学报,2017,31(8):1528-1536
GUAN Ai-yan, TAN Bei-bei, LU Jia-fang, et al. Effects of biological preservatives on the ice preservation of *Perca fluviatilis* [J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2017, 31(8): 1528-1536
- [33] 徐晨,廖涛,陈文艳,等.鱼精蛋白结合壳聚糖对草鱼片的冷藏保鲜效果[J].食品工业科技,2018,39(5):296-300
XU Chen, LIAO Tao, CHEN Wen-yan, et al. Effect of protamine-bound chitosan on the refrigeration and preservation of grass carp fillets [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(5): 296-300
- [34] GB/T 18108-2008, 鲜海水鱼[S]
GB/T 18108-2008, Fresh Seawater Fish [S]
- [35] Siddaiah D, Sagar Reddy G V, Raju C V, et al. Changes in lipids, proteins and kamaboko forming ability of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) mince during frozen storage [J]. Food Research International, 2001, 34(1): 47-53
- [36] 叶红,龙玉平,黄琴,等.斑点叉尾鲷鱼丸弹性的研究[J].肉类工业,2012,1:36-39
YE Hong, LONG Yu-ping, HUANG Qin, et al. Study on elasticity of spotted catfish ball [J]. Meat Industry, 2012, 1: 36-39
- [37] Yi S, Li J, Zhu J, et al. Effect of tea polyphenols on microbiological and biochemical quality of collichthys fish ball [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2011, 91(9): 1591-1597

(上接第 197 页)

- [26] Sravan Lalam, Jaspreet S Sandhu, Pawan S, et al. Experimental study on transport mechanisms during deep fat frying of chicken nuggets [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(1): 110-119
- [27] M. Mariscal, P. Bouchon. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices [J]. Food Chemistry, 2008, 107(4): 1561-1569
- [28] M A García, C Ferrero, N Bértola, et al. Edible coatings from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2002, 3(4): 391-397
- [29] Giovanna R M, Prospero D P, Marilena E, et al. Application of transglutaminase-crosslinked whey protein/pectin films as water barrier coatings in fried and baked foods [J]. Food Bioprocess Technol, 2014, 7: 447-455