

# TP/PA 复合微胶囊对美国红鱼鱼片的保鲜性能研究

王明<sup>1,2</sup>, 张璇<sup>1,2</sup>, 李秋莹<sup>1,2</sup>, 李颖畅<sup>1,2</sup>, 孙彤<sup>1,2</sup>, 谢晶<sup>3</sup>, 励建荣<sup>1,2</sup>

(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. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306)

**摘要:** **目的** 为了获得具有高效缓释和协同增效性能的水产品保鲜剂。**方法** 采用喷雾干燥法分别制备茶多酚(TP)微胶囊、植酸(PA)微胶囊和TP/PA复合微胶囊,以美国红鱼为保鲜对象,测定其在温度4℃条件下的保鲜性能。**结果** 保鲜剂处理可有效抑制鱼片中菌落总数(TVC)的生长,延缓pH值、硫代巴比妥酸(TBA)含量、挥发性盐基氮含量(TVB-N)的升高,有效地抑制鱼体感官评分和其硬度、弹性、咀嚼度、回复性等质构指标的下降,延长产品货架期。与未包埋保鲜剂处理的鱼片相比,在贮藏后期,经含有保鲜剂的微胶囊处理后,美国红鱼鱼片的保鲜效果更优,延长货架期3d以上,即微胶囊中的保鲜剂在贮藏过程中缓慢释放,并作用于美国红鱼鱼片表面。TP/PA复合保鲜剂和复合微胶囊的保鲜性能均优于单一保鲜剂,说明复合保鲜剂具有协同增效作用。**结论** 具有协同增效和缓释性能的TP/PA复合微胶囊能够显著延长美国红鱼鱼片的货架期3d以上,可为微胶囊保鲜技术的深入研究和应用推广提供技术支持。

**关键词:** 美国红鱼; TP/PA 微胶囊; 制备; 保鲜

中图分类号: TS254.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)23-0015-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.23.003

## Preservation Properties of TP/PA Composite Microcapsules on *Sciaenops Ocellatus* Fillet

WANG Ming<sup>1,2</sup>, ZHANG Xuan<sup>1,2</sup>, LI Qiu-ying<sup>1,2</sup>, LI Ying-chang<sup>1,2</sup>, SUN Tong<sup>1,2</sup>, XIE Jing<sup>3</sup>, LI Jian-rong<sup>1,2</sup>

(1. National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China; 2. Key Lab for Food Safety of Liaoning Province, School of Food Science and Engineering, Bohai University, Jinzhou 121013, China; 3. School of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**ABSTRACT:** The work aims to obtain aquatic product preservative with high efficiency sustained release and synergistic effect. TP microcapsules, PA microcapsules and TP/PA composite microcapsules were prepared by spray drying method. The preservative indexes of above microcapsules on *Sciaenops Ocellatus* fillets at 4℃ were measured. The preservative could effectively inhibit the growth of total bacterial colony (TVC) in fish fillets, delay the increase of pH, TBA and TVB-N, effectively inhibit the decline of sensory score, hardness, elasticity, chewiness and resilience of *Sciaenops Ocellatus* fillets, and extend their shelf life. Compared with fish fillets without preservative treatment, *Sciaenops Ocellatus* fillets treated by microcapsules containing preservative had better preservative properties at the later storage stage, and extended

收稿日期: 2019-07-02

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: 王明(1993—), 男, 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。

the shelf life more than 3 days. The preservative in the microcapsule was slowly released and acted on the surface of the *Sciaenops Ocellatus* fillets during storage. The fresh keeping properties of TP/PA composite preservative and composite microcapsules were better than that of single preservative, indicating that the composite preservative had synergistic effect. The TP/PA composite microcapsules with synergistic effect and slow release performance can significantly extend the shelf life of *Sciaenops Ocellatus* fillets for more 3 d, and provide technical support for the in-depth research and wide application of microcapsule preservative technology.

**KEY WORDS:** *Sciaenops Ocellatus*; TP/PA microcapsules; preparation; preservation

美国红鱼 (*Sciaenops ocellatus*), 属鲈形目, 石首鱼科, 属广温广盐溯河性鱼类, 洄游习性明显<sup>[1]</sup>, 是我国重要的海水养殖鱼类之一, 1991 年起被广泛养殖<sup>[2-3]</sup>。美国红鱼具有生长较快、肉质鲜美、营养丰富等优点, 黄文博等<sup>[4]</sup>研究表明, 其鱼体肌肉中的粗脂类的质量分数仅为 0.58%, 粗蛋白的质量分数为 19.46%, 属高蛋白、少脂肪、低比能值的鱼类, 在当今注重合理营养和搭配饮食的背景下, 具有广阔的市场前景。美国红鱼除以鲜活产品销售外, 常常被制成冻品或鱼片。美国红鱼在加工储运过程中容易受到外界微生物的侵袭, 造成蛋白质快速降解, 脂肪氧化变质, 产生不良气味和滋味, 进而导致鱼肉品质变差、营养价值降低, 影响产品质量和销量, 造成经济损失<sup>[5]</sup>。

为了满足消费者对食品安全的需求, 天然生物保鲜剂已成为食品保鲜领域的研究热点<sup>[6-7]</sup>。茶多酚 (tea polyphenol, 简称 TP) 和植酸 (phytic acid, 简称 PA) 都是天然生物保鲜剂, 具有高效、无毒、无异味等特点, 不仅可通过抑制食物体内酶活性防止脂肪的氧化, 也具有一定的抑菌性能<sup>[8-10]</sup>。黎柳等<sup>[11]</sup>研究发现, 经 TP 或 PA 处理过的鲳鱼, 货架期能分别延长 1~3 d 和 6~11 d, 说明 TP 和 PA 对鲳鱼的保鲜效果好。由于 TP 和 PA 在潮湿、光照、高温等条件下不稳定, 在食物保鲜过程中作用时间短, 其保鲜性能有待改善<sup>[12-13]</sup>。微胶囊可将不稳定的生物保鲜剂包覆其中, 减缓其在食品表面的释放速度, 有望弥补 TP 和 PA 的缺点, 使其能够在食品保鲜领域发挥更大的作用<sup>[14]</sup>。魏蒙月等<sup>[15]</sup>以  $\beta$ -环糊精为壁材, 采用包埋法制备了肉桂精油、丁香精油和肉桂/丁香复合等 3 种不同芯材的精油微胶囊, 结果表明肉桂精油微胶囊的抑菌和保鲜效果最好。孙林皓等<sup>[16]</sup>研究发现, 应用于鸡肉保鲜的肉桂醛羧甲基多聚糖微胶囊的保鲜性能显著优于未包覆的肉桂醛, 且能显著延长鸡肉的货架期。乙基纤维素 (ethylcellulose, 简称 EC) 是一种安全无毒、成本低、易降解的生物材料, 具有良好的化学稳定性和热稳定性<sup>[17-18]</sup>。同时, 由于 EC 具有良好的成膜性<sup>[19]</sup>, 可作为制备微胶囊的首选壳层材料。

为了获得高效长效食品保鲜剂, 文中选用 EC 为

壳材, TP 和 PA 为芯材, 采用喷雾干燥法制备 TP/PA 复合微胶囊。以美国红鱼为保鲜对象, 研究其保鲜性能。旨在探究复合微胶囊的长效保鲜性能, 为微胶囊保鲜技术的深入研究奠定基础。

## 1 实验

### 1.1 原料与试剂

原料为鲜活美国红鱼, 购自辽宁省锦州市水产市场, 鱼的质量为  $(600 \pm 13)$  g。主要试剂: 茶多酚 (纯度 > 98%, 食品级), 安徽红星药业有限公司; 植酸 (分析纯), 上海麦克林生化科技有限公司; 乙基纤维素 M9 (分析纯), 国药集团化学试剂有限公司; 平板计数琼脂培养基, 北京奥博星生物试剂有限公司。其他试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

主要仪器与设备: T25 型数显型均质机, 上海珂淮仪器有限公司; SP-1500 型喷雾干燥机, 上海顺仪实验设备有限公司; MLS-3030CH 型立式高压蒸汽灭菌锅, 日本三洋电机有限公司; Bagmixer 400W 型拍击式均质机, 上海智理科仪有限公司; LRH-150 型生化培养箱, 上海一恒科技有限公司; Keltex 8400 型全自动凯氏定氮仪, 丹麦 FOSS 公司; UV-2550 型紫外-可见分光光度计, 尤尼柯仪器有限公司; TA-XT-PLUS 型质构仪, Stable Micro Systems 公司等。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 微胶囊的制备及保鲜剂溶液的配制

制备 TP, PA 和 TP/PA 复合微胶囊, 首先将 18 g EC 溶于 500 mL 无水乙醇中, 在 50 °C 磁力搅拌条件下使其充分溶解, 滴加体积分数为 1% 的聚乙二醇 400。搅拌均匀后, 加入 3 g TP 和 3 g PA, 并继续搅拌 30 min 至全部溶解。混合溶液于 3000 r/min 条件下均质 5 min, 在进风温度为 120 °C, 出风温度为 70 °C, 进料速度为 100 mL/h 条件下进行喷雾干燥, 得 TP/PA 复合微胶囊。将芯材分别更换成 6 g TP 和 6 g PA, 采用上述方法分别制备 TP 微胶囊和 PA 微胶囊。

配制 TP, PA 和 TP/PA 复合保鲜剂溶液, 分别称取 TP 和 PA 各 2.5 g, 将其共同溶于 1 L 去离子水中, 搅拌混匀, 即得 TP 和 PA 浓度均为 2.5 g/L 的 TP/PA 复合保鲜溶液。将溶质分别更换为 5 g 的 TP 或 PA, 采用上述方法分别制备浓度为 5 g/L TP 和 5 g/L PA 的保鲜溶液。

### 1.3.2 美国红鱼样品处理

将美国红鱼冰温猝死, 清洗干净后去头、去皮、去内脏, 取鱼骨两侧鱼片, 用无菌水洗净, 沥干体表面积, 每片鱼的质量为  $(150 \pm 10)$  g。将鱼片分别浸渍于保鲜剂溶液中, 在 20 min 后取出, 晾干, 作为保鲜剂处理样品; 将 10 g 微胶囊均匀涂抹于鱼片表面, 作为微胶囊处理样品。以不作任何处理的鱼片为对照样品。样品装于已灭菌的蒸煮袋内密封, 在 4 °C 下冷藏保鲜, 分别于贮藏一定时间后测定鱼片的鲜度指标。

### 1.3.3 美国红鱼鲜度指标测定

将美国红鱼鱼片置于超净工作台上, 称取 10 g 鱼脊背肉置于已灭菌的蒸煮袋中, 加入 90 mL 无菌生理盐水, 拍打均质 1 min, 静置, 取上清液, 参照 GB 4789.2—2016 方法<sup>[20]</sup>稀释, 倒板, 培养, 计算鱼片菌落总数 (TVC) 值。

参考岑剑伟等<sup>[21]</sup>的方法并作适当修改测定鱼片 pH 值。取 5 g 绞碎鱼肉, 加入新鲜煮沸后冷却的去离子水 45 mL, 均质 3 min, 静置 30 min 后离心, 过滤, 测定其上清液 pH 值。参考唐智鹏<sup>[22]</sup>的方法并作适当修改来测定鱼片的挥发性盐基氮 (TVB-N) 值, 用 Keltec 8400 型全自动凯氏定氮仪测定样品的 TVB-N 含量。参考徐永霞等<sup>[23]</sup>的方法并作适当修改测定鱼片的硫代巴比妥酸 (TBA) 值, 称取 10 g 绞碎鱼肉, 加入 25 mL 蒸馏水, 均质 3 min 后加入 25 mL 体积分数为 5% 的三氯乙酸, 充分搅拌后静置 30 min。过滤, 取 5 mL 上清液与 5 mL 0.02 mol/L 的硫代巴比妥酸混匀, 混合液在 80 °C 恒温水浴中加热 40 min 显色, 冷却至室温, 在 532 nm 波长下测定其吸光度, 计算鱼片的 TBA 值。参考雷志方等<sup>[24]</sup>的方法, 由 10 名水产专业同学组成感官评定小组, 从外观、气味和肌肉色泽等方面对美国红鱼鱼片进行感官评分。

将调理鱼片样品切成 1.5 cm × 1.5 cm × 1.5 cm 的正方体, 并将其在室温下放置 30 min, 以消除低温及外力影响, 使样品充分恢复。每个样品进行 2 次轴向压缩, 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 次测定的间隔时间为 5 s, 测定模式和选项: T.P.A。

### 1.3.4 数据统计分析

以上实验均做 3 次平行实验, 用 IBM SPSS Statistics 20 处理数据, 结果以“平均值 ± 标准偏差”表

示, 并用 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菌落总数(TVC)的影响

微生物的繁殖和代谢是在贮藏过程中引起鱼肉腐败的主要因素, 因此 TVC 的变化可作为判断水产品鲜度变化的重要指标之一。图 1 描述了美国红鱼鱼片在贮藏期间 TVC 的变化, 鱼肉的初始 TVC 为 2.95 lg(CFU/g), 属于一级鲜度。随着贮藏时间的延长, 鱼片 TVC 呈上升趋势。在贮藏前期, TVC 增长较为缓慢, 在贮藏后期增长较快。经保鲜剂及其微胶囊处理后, 鱼片的 TVC 显著低于同期未处理样品。未处理组鱼片的 TVC 在第 8 天就超过了新鲜鱼的标准限值 (7 lg(CFU/g))<sup>[25]</sup>, 而经保鲜剂处理后的鱼片在第 9 天后才达到限量标准, 经含有保鲜剂的微胶囊处理后的鱼片在第 11 天后达到此限量标准。在贮藏前期, 经保鲜剂及其微胶囊处理后, 鱼片的 TVC 基本相同, 从贮藏第 9 天开始, 采用含保鲜剂的微胶囊处理后的鱼片 TVC 明显低于未包埋保鲜剂处理的样品。说明微胶囊中的芯材缓慢释放, 在贮藏后期仍可有效抑制鱼片中微生物的生长繁殖, 达到了长效缓释的效果。由图 1 可见, TP/PA 复合保鲜剂的抑菌性能优于单一 TP 和 PA, TP/PA 复合微胶囊的抑菌性能优于单一芯材的微胶囊。这是由于 TP 和 PA 保鲜剂复合后, 拓宽了抗菌谱, 具有协同增效的抑菌作用。

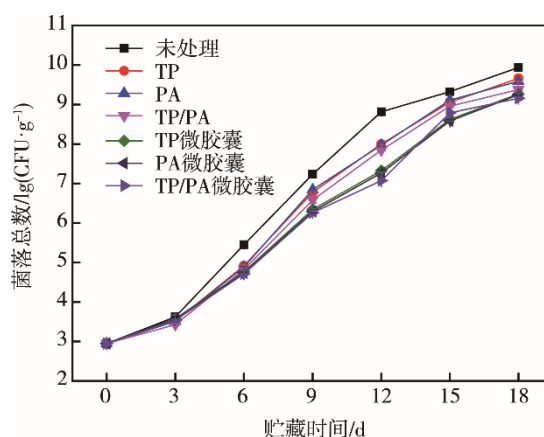


图 1 保鲜剂及其微胶囊处理后美国红鱼鱼片在贮藏过程中的 TVC 变化

Fig.1 TVC changes of *Sciaenops Ocellatus* fillets treated by different preservatives and microcapsules during storage

### 2.2 保鲜剂及其微胶囊对美国红鱼鲜度指标的影响

在通常情况下, 鱼死后, 其体内糖原经无氧降解, 生成乳酸等物质, 导致 pH 值下降<sup>[26]</sup>。随着贮藏时间

的延长,鱼体内的蛋白质、氨基酸等含氮物质被降解,产生碱性氮类和胺类物质,使其 pH 值上升<sup>[27]</sup>。由图 2a 可知,在贮藏期间,鱼片的 pH 值呈先下降后上升的趋势。经含保鲜剂的微胶囊处理和经未包埋 TP/PA 复合保鲜剂处理后,鱼片的 pH 值分别在第 3 天和第 9 天达到最小值,而未处理鱼片和经未包埋 TP、PA 处理后鱼片的 pH 值在第 6 天达到最小值。美国红鱼鱼片的初始 pH 值为 6.87,在贮藏前期,未处理鱼片、经含有保鲜剂微胶囊处理后鱼片、经未包埋保鲜剂处理鱼片和经未包埋 TP/PA 复合保鲜剂处理后鱼片 pH 的下降速度依次减缓。此外,经保鲜剂及其微胶囊处理后鱼片的最低 pH 值远高于未处理鱼片,说明保鲜剂可有效抑制鱼体内糖原的降解,抑制了乳酸等物质的生成。分析认为,在贮藏前期,微胶囊内的保鲜剂并没有完全释放,鱼片表面保鲜剂含量较低,未取得优良的保鲜效果,此时未包埋保鲜剂的保鲜效果更优。随着贮藏时间的延长,未处理鱼片的 pH 值上升得较快,显著高于经保鲜剂及其微胶囊处理后的样品。在贮藏后期,经含有保鲜剂微胶囊处理后鱼片的 pH 值低于未包埋保鲜剂处理的鱼片。结合 TVC 研究

结果分析认为,保鲜剂在一定程度上有效抑制了鱼片中微生物的繁殖,从而减缓了鱼体内含氮物质的分解。由于微胶囊中的保鲜剂在贮藏后期仍持续释放,并有效抑制了鱼片中微生物的生长繁殖,进而延缓了蛋白、氨基酸等含氮物质的分解,从而表现出更优的保鲜性能,有效延长了鱼片的货架期。

在水产品贮藏过程中,由于鱼肉中微生物和内源性酶的作用,使蛋白质被分解形成小分子氨和胺类化合物物质,TVB-N 作为世界上大多数国家认定的水产品腐败程度表征指标之一,可以反映水产品的新鲜程度。根据 GB 5009.228—2016,海水鱼的 TVB-N 限量为 0.3 mg/g,一级鲜度为不超过 0.15 mg/g<sup>[28]</sup>。TBA 是指不饱和脂肪酸经过氧化得到的降解产物丙二醛,它可与硫代巴比妥酸成色反应,在检测波长 532 nm 处测定吸光度值,计算丙二醛含量,以此反映水产品中脂肪的氧化酸败程度<sup>[29]</sup>。美国红鱼鱼片在贮藏期间 TVB-N 和 TBA 的变化情况分别见图 2b—c。随着贮藏时间的延长,鱼片的 TVB-N 和 TBA 均呈上升趋势,其中未处理鱼片的增加速度最快。在贮藏前期,TVB-N 增长得较慢,可能是由于鱼肉处于低温状态,

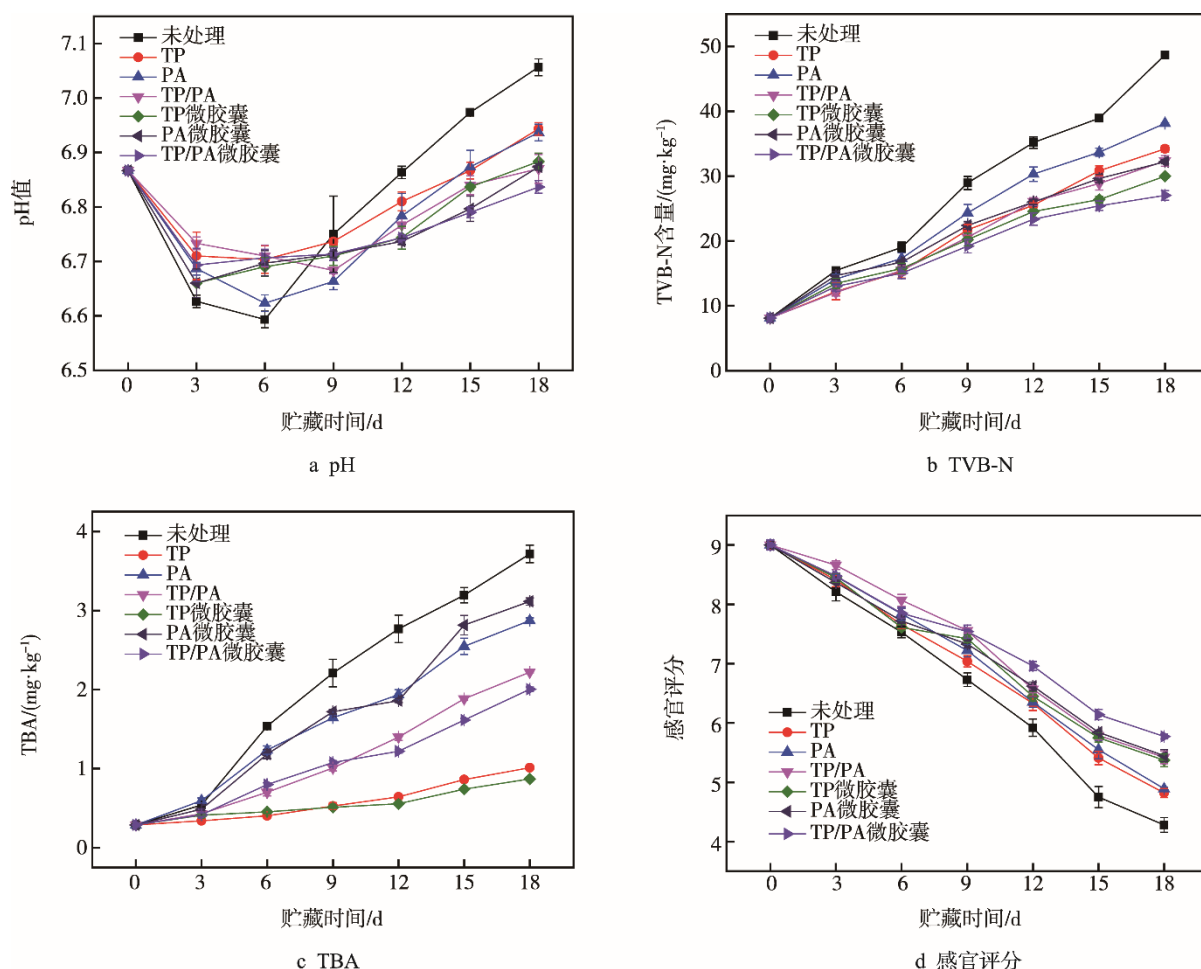


图2 保鲜剂及其微胶囊处理后美国红鱼鱼片在贮藏过程中的鲜度指标变化  
Fig.2 Preservative index changes of *Sciaenops Ocellatus* fillets treated by different preservatives and microcapsules during storage

在一定程度上抑制了酶活性,同时也抑制了鱼肉中微生物的生长繁殖,进而使蛋白质分解速度降低<sup>[30]</sup>。在贮藏后期,TVB-N 值增长加快,可能是由于此时微生物的生长繁殖进入快速增长期所致,这与 TVC 研究结果一致。与未处理鱼片相比,经保鲜剂及其微胶囊处理后,鱼片的 TVB-N 始终保持较低水平。采用未包埋 TP 和含 TP 微胶囊处理后,鱼片 TVB-N 显著低于对应的未包埋 PA 和含 PA 微胶囊处理后的鱼片,分析认为,TP 有效抑制了微生物的生长,和机体内的酶活性,因而降低了其对蛋白质的分解能力,使胺类物质的产生得到控制<sup>[31]</sup>。经未包埋 TP/PA 复合保鲜剂和含 TP/PA 复合保鲜剂微胶囊处理后,鱼片的 TVB-N 低于单一未包埋保鲜剂和含单一保鲜剂微胶囊处理的样品。这是由于复配的 2 种生物保鲜剂具有协同增效作用,从而有效抑制了鱼体内微生物增长,进而降低了蛋白质分解速度,使其 TVB-N 增长缓慢,这与 TVC、pH 值研究结果相一致。就 TBA 变化趋势而言,经未包埋 TP 或含 TP 微胶囊处理后,鱼片的 TBA 值最低,其次是经未包埋 TP/PA 复合保鲜剂和含 TP/PA 复合微胶囊处理后的鱼片。分析认为,TP 中的主要成分为多种儿茶素,具有良好的抗氧化性和清除自由基的能力,对脂肪氧化的抑制能力更强<sup>[32]</sup>。此外,由于 TP 的氧化还原电位较低,可优先与脂肪酸自由基结合,减少自由基的连锁反应,从而达到抑制脂肪氧化的效果<sup>[11]</sup>,所以经未包埋 TP 与含 TP 微胶囊处理后鱼片的 TBA 值最低。PA 本身的抗氧化性较差,抑制鱼肉脂肪氧化效果不明显,因其具有一定的抗菌特性,可在一定程度上抑制微生物生长,因而经 PA 处理后鱼片的 TBA 低于同期未处理鱼片。又由于未包埋 TP/PA 复合保鲜剂和含 TP/PA 复合微胶囊中存在 TP,所以鱼片的 TBA 显著低于经未包埋 PA 保鲜剂和含 PA 微胶囊处理的鱼片。由于其中的 TP 含量低于单一 TP 和 TP 微胶囊,故其抑制鱼体内脂肪氧化的能力低于后者,说明 TP 抑制脂肪氧化的能力与其含量正相关。经微胶囊处理后鱼片的 TVB-N 均低于经同种未包埋保鲜剂处理的鱼片,且在 18 d 后仍小于 0.3 mg/g,而在贮藏后期,经微胶囊处理后鱼片的 TBA 显著低于经未包埋保鲜剂处理的鱼片。这是由于微胶囊中的生物保鲜剂缓慢释放,延长了保鲜剂的抗菌作用时间,进而有效抑制了胺类化合物的生成和鱼肉脂肪的氧化,从而延长了美国红鱼鱼片的货架期。

感官评定指通过视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉等 5 个方面对食品的各项指标及可接受程度进行评价,在食品评定中占有重要地位,是直接反映食品质量的重要手段之一。9 分表示极度新鲜,6 分表示可接受限值,0 分表示极度腐败。文中从外观、肌肉和气味等 3 个方面对冷藏美国红鱼鱼片进行感官评价。

由图 2d 可知,随着贮藏时间的延长,美国红鱼的感官评分逐渐下降。未处理鱼片在第 12 天达到可接受限值,鱼体肌肉变软无光泽,弹性差,并产生腐败性气味。与未处理鱼片相比,经保鲜剂及其微胶囊处理鱼片的感官评分下降得相对缓慢,经未包埋 TP 或 PA 处理的鱼片在第 14 天达到可接受限值,经未包埋 TP/PA 复合保鲜剂、含 TP 微胶囊和含 PA 微胶囊处理后鱼片在 15 d 达到可接受限值,而经含 TP/PA 复合保鲜剂微胶囊处理的鱼片,在第 18 天才达到可接受限值。分析认为,TP 和 PA 可有效抑制鱼体表面微生物的生长繁殖及蛋白质、脂肪的氧化,从而有效延缓鱼肉的腐败变质,减少腐败气味的产生<sup>[33]</sup>。PA 本身有护色的作用,可抑制鱼肉褐变,而 TP 本身为淡黄色粉末,对鱼片的色泽有一定的影响,故经未包埋 PA 处理的鱼片的感官评分略优于经未包埋的 TP 处理的鱼片。由于 TP 与 PA 复合后有更好的抗氧化和抗菌作用,故复合保鲜剂的保鲜效果更优。又由于微胶囊中生物保鲜剂的缓慢释放,采用含保鲜剂的微胶囊处理后,在贮藏后期鱼片中仍可维持较高的保鲜剂浓度,更好地保护鱼肉的品质,故采用含 TP/PA 复合保鲜剂的微胶囊处理后,鱼片的感官评分最高。

## 2.3 保鲜剂及其微胶囊对美国红鱼质构指标的影响

美国红鱼鱼片贮藏过程中质构指标的变化见图 3。随着贮藏时间的延长,包括硬度、弹性、咀嚼度和回复性在内的各项指标均呈下降的趋势,未经处理的空白样品的各项指标明显低于同期保鲜剂处理后的鱼片。这是由于生物保鲜剂有效抑制了微生物的生长繁殖,并抑制了酶的活性,进而降低了蛋白质、脂肪等物质氧化的速度,使保鲜剂处理后鱼片的质构指标保持良好,这与 TVC、pH 值、TVB-N 值和 TBA 值的研究结果一致。硬度是反映食品可保持原有形状的内结合力<sup>[34]</sup>。由图 3a 可知,随着贮藏时间的延长,鱼片的硬度持续下降,未处理鱼片始终低于经保鲜剂及其微胶囊处理后的鱼片。在贮藏前 6 d,经不同保鲜剂处理的鱼片之间并无显著性差异,而在贮藏 6 d 之后,经含保鲜剂微胶囊处理后鱼片的硬度显著高于经未包埋保鲜剂处理的鱼片。这是由于在贮藏过程中鱼体内微生物大量生长繁殖,鱼肉中的蛋白质和脂肪发生分解,使蛋白质空间结构遭到破坏,从而使鱼肉的硬度下降<sup>[34]</sup>。在贮藏后期,微胶囊中的保鲜剂缓慢释放,抗菌性能与抑制脂肪氧化的能力更强,故鱼片的硬度仍保持良好。弹性能反映食品在外力作用下变形及去应力后的恢复程度<sup>[35]</sup>,回复性、咀嚼性是弹性的综合表现。随着贮藏时间的延长,鱼片的弹性下降,这是由于微生物的代谢及 pH 值的变化使鱼肉蛋白质

空间结构遭到破坏,且微生物的繁殖使鱼片肌球蛋白含量降低,导致结合水的能力降低,弹性下降。未处理鱼片的弹性始终低于同期经保鲜剂及其微胶囊处理的鱼片,说明保鲜剂减弱了鱼肌球蛋白和肌动蛋白的结合,延缓了肌肉收缩,使肌肉间的结合力较大,进而维持了良好的弹性。咀嚼度表示咬劲,回复

性反映鱼肉在受压状态下快速恢复变形的能力<sup>[36]</sup>。随着贮藏时间的延长,鱼片咀嚼度和回复性均降低,未处理鱼片的值低于经保鲜剂及其微胶囊处理的鱼片,但经保鲜剂及其微胶囊处理后鱼片之间无显著性差异。这是由于鱼片硬度降低、弹性减小的综合作用造成的。

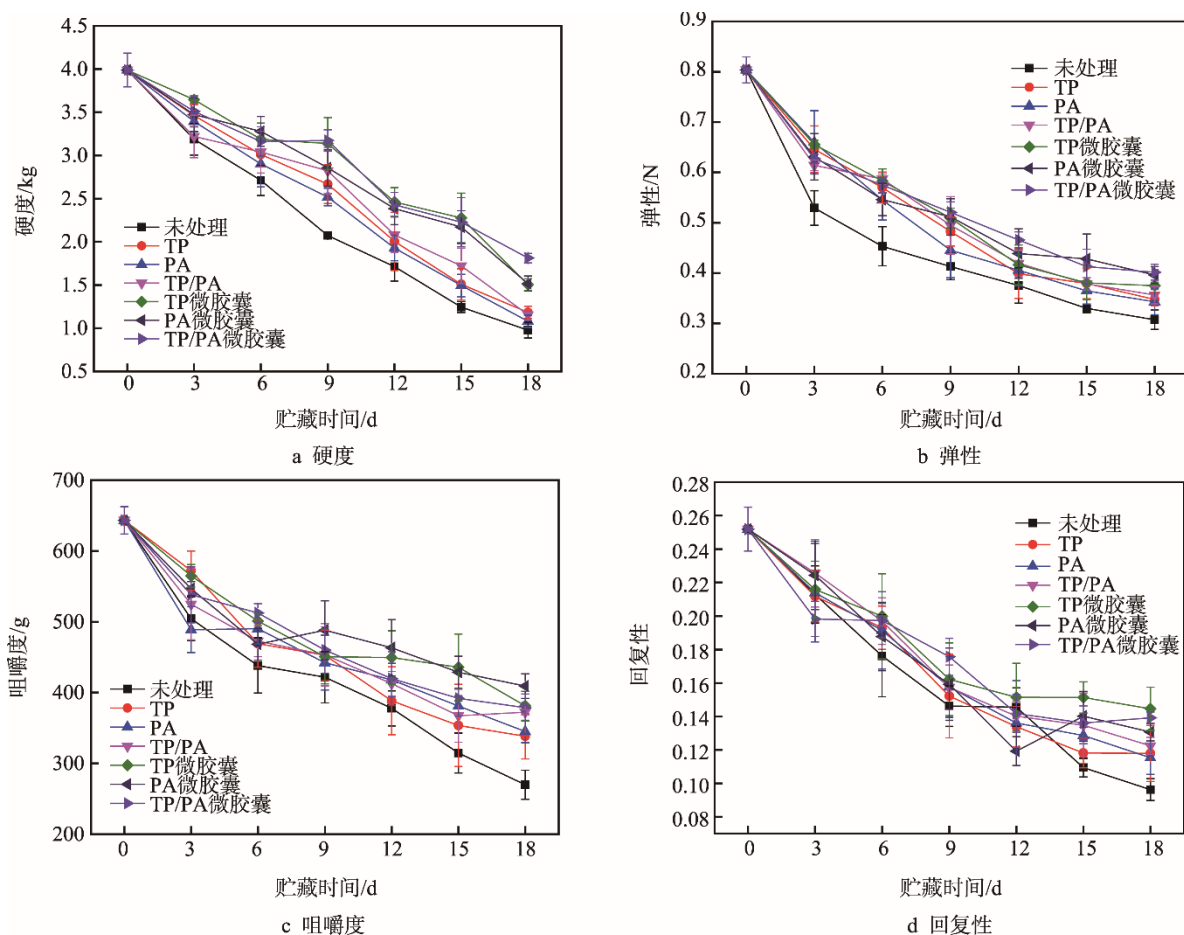


图3 保鲜剂及其微胶囊处理后美国红鱼鱼片在贮藏过程中的质构变化

Fig.3 Texture changes of *Sciaenops Ocellatus* fillets treated by different preservatives and microcapsules during storage

### 3 结语

TP、PA 及其复合保鲜剂处理可有效抑制美国红鱼鱼片的 TVC 生长,延缓 pH 值、TBA 值、TVB-N 值的升高,抑制鱼体感官评分和其硬度、弹性、咀嚼度及回复性等质构指标的下降,延长产品货架期。由于具有协同增效作用,TP 和 PA 复合保鲜剂的抗菌性能和保鲜性能优于单一保鲜剂。经微胶囊包埋后,保鲜剂从中缓慢释放到鱼体表面,在贮藏后期表现出更优的抗菌性能和保鲜性能。TP/PA 微胶囊对美国红鱼鱼片的保鲜性能最优。该研究可为微胶囊保鲜技术的深入研究奠定基础,为水产品保鲜行业发展提供技术支持。

### 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] 汤菊芬, 黄瑜, 蔡佳, 等. 盐酸氯苯胍在美国红鱼体内的药代动力学和残留消除规律研究[J]. 基因组学与应用生物学, 2017, 36(6): 273—278.  
TANG Ju-fen, HUANG Yu, CAI Jia, et al. Analysis of Pharmacokinetics and Residues Elimination Regularity of Robenidine Hydrochloride in *Sciaenops ocellatus*[J]. Genomics and Applied Biology, 2017, 36(6): 273—278.
- [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] 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]. Food Industry Science and Technology, 2016, 37(5): 371—373.
- [5] 孙彤, 郝晗, 郝文婷, 等. 甘油对原位合成纳米  $\text{SiO}_x$ -壳聚糖涂膜的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 36(9): 142—148.  
SUN Tong, HAO Han, HAO Wen-ting, et al. Effect of Glycerol on Nano  $\text{SiO}_x$ -chitosan Coating Synthesized in Situ [J]. Modern Food science and Technology, 2014, 36(9): 142—148.
- [6] THIELMANN J, KOHNEN S, HAUSER C. Antimicrobial Activity of Olea Europaea, Linné Extracts and Their Applicability as Natural Food Preservative Agents[J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 251: 48—66.
- [7] FAN X J, ZHANG B, YAN H, et al. Effect of Lotus Leaf Extract Incorporated Composite Coating on the Postharvest Quality of Fresh goji (*Lycium barbarum* L) Fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 148: 132—140.
- [8] SHAO P, NIU B, CHEN H, et al. Fabrication and Characterization of Tea Polyphenols Loaded Pullulan-CMC Electrospun Nanofiber for Fruit Preservation[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 107: 1908—1914.
- [9] MAHUNU G K, ZHANG H, YANG Q, et al. Improving the Biocontrol Efficacy of *Pichia Caribbica* with Phytic Acid Against Postharvest Blue Mold and Natural Decay in Apples[J]. Biological Control, 2016, 92: 172—180.
- [10] 苏红, 张晓梅, 郭芮, 等. 4 种生物保鲜剂结合冰温贮藏对红鳍东方鲀的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2018, 39(3): 276—280.  
SU Hong, ZHANG Xiao-mei, GUO Rui, et al. Preservation Effect of Four Kinds of Biological Preservatives Combined with Ice Temperature Storage on *Takifugu Rubripes*[J]. Food Industry Science and Technology, 2018, 39(3): 276—280.
- [11] 黎柳, 谢晶, 苏辉, 等. 含茶多酚、植酸生物保鲜剂冰对鲳鱼保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(1): 338—343.  
LI LIU, XIE Jing, SU Hui, et al. Fresh Keeping Effect of the Icing with Tea Polyphenols and Phytic Acid on Pomfret[J]. Food Industry Science and Technology, 2015, 36(1): 338—343.
- [12] WU H, Lei Y, ZHU R, et al. Preparation and Characterization of Bioactive Edible Packaging Films Based on Pomelo Peel Flours Incorporating Tea Polyphenol[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 90: 41—49.
- [13] DENG J, YANG H, CAPANOGLU E, et al. Technological Aspects and Stability of Polyphenols[M]. Cambridge: Woodhead Publishing, 2018: 295—323.
- [14] YANG R, LIU Y, GAO Y, et al. Ferritin Glycosylated by Chitosan as a Novel EGCG Nano-carrier: Structure, Stability, and Absorption Analysis[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 105: 252—261.
- [15] 魏蒙月, 张赞彬, 吴酉芝, 等. 香辛料精油- $\beta$ -环糊精微胶囊的物理特征及对酱牛肉熏蒸保鲜的效果研究[J]. 中国食品添加剂, 2019, 30(04): 127—133.  
WEI Meng-yue, ZHANG Yun-bin, WU You-zhi, et al. Study on the Physical Characteristics of Essential Oil- $\beta$ -Ring Paste Microcapsules and Their Effect on the Fumigation and Preservation of Beef in Sauce[J]. China Food Additive, 2019, 30(4): 127—133.
- [16] 孙林皓, 曾贞, 周瑶, 等. 一种新型肉桂醛微胶囊的制备及其食品保鲜性能研究[J]. 华中农业大学学报, 2018, 37(5): 81—88.  
SUN Lin-hao, ZENG Zhen, ZHOU Yao, et al. Preparation and Food Preservation Properties of a New Cinnamaldehyde Microcapsule[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2018, 37(5): 81—88.
- [17] XIAO C, LU Y, LIU H, et al. Preparation and Characterization of Konjac Glucomannan and Sodium Carboxymethylcellulose Blend films[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2001, 80(1): 26—31.
- [18] LU Y, YUAN W. Superhydrophobic Three-dimensional Porous Ethyl Cellulose Absorbent with Micro/nano-scale Hierarchical Structures for Highly Efficient Removal of Oily Contaminants from Water[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 191: 86—94.
- [19] LIN Y, ZHU C, ALVA G, et al. Microencapsulation and Thermal Properties of Myristic Acid with Ethyl Cellulose Shell for Thermal Energy Storage[J]. Applied Energy, 2018, 231: 494—501.
- [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 Standard for Food Safety Determination of Total Number of Bacterial Colonies in Food Microbiology Test[S].
- [21] 岑剑伟, 于福田, 杨贤庆, 等. 微酸性电解水冰对罗非鱼片的保鲜效果[J]. 食品科学, 2019, 40(19): 288—293.  
CHEN Jian-wei, YU Fu-tian, YANG Xian-qing, et al. Quality Preservation of Tilapia Fillets Using Slightly Acidic Electrolyzed Water Ice[J]. Food Science, 2019, 40(19): 288—293.
- [22] 唐智鹏, 陈晨伟, 谢晶, 等. 聚乙烯醇活性薄膜对大黄鱼保鲜效果及品质动态监控[J]. 食品工业科技, 2019, 40(10): 296—302.  
TANG Zhi-peng, CHEN Chen-wei, XIE Jing, et al. Study of Antibacterial and Antioxidant Poly(vinyl) Alcohol Film on the Fresh-keeping Effect and Quality Dynamic Monitoring of *Pseudosciaena Crocea*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(10): 296—302.

- [23] 徐永霞, 赵佳美, 呼芷晴, 等. 丁香酚-明胶涂膜对草鱼片的保鲜效果[J]. 中国食品学报, 2018, 18(11): 168—174.  
XU Yong-xia, ZHAO Jia-mei, HU zhi-qing, et al. Preservation Effect of Eugenol-gelatin Coating on Grass Carp Slices[J]. Chinese Food Journal, 2018, 18(11): 168—174.
- [24] 雷志方, 谢晶, 高磊, 等. 不同冷藏温度条件下金枪鱼保鲜效果的分析比较[J]. 食品工业科技, 2015, 36(19): 312—317.  
LEI Zhi-fang, XIE Jing, GAO Lei, et al. Effect of Storage Temperature on Quality and the Freshness of Tuna[J]. Food Industry Science and Technology, 2015, 36(19): 312—317.
- [25] THIANSILAKUL Y, BENJAKUL S, Richards M P. Effect of Myoglobin from Eastern Little Tuna Muscle on Lipid Oxidation of Washed Asian Seabass Mince at Different pH Conditions[J]. Journal of Food Science, 2011, 76(2): C242—C249.
- [26] BULUSHI I A, POOLE S, DEETH H C, et al. Biogenic Amines in Fish: Roles in Intoxication, Spoilage, and Nitrosamine Formation—A Review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2009, 49(4): 369—377.
- [27] 吴晓菲, 朱丹实, 王丽娜, 等. 真鲷在 0 °C 贮藏保鲜中的鲜度评价[J]. 食品工业科技, 2015, 36(8): 309—314.  
WU Xiao-fei, ZHU Dan-shi, WANG Li-na, et al. Freshness Assessment of Red Sea Bream During 0 °C Storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(8): 309—314.
- [28] GB 5009. 228—2016, 食品安全国家标准. 食品中挥发性盐基氮的测定[S].  
GB 5009. 228—2016, National Standards for Food Safety Determination of Volatile Base Nitrogen in Foods[S].
- [29] ZHANG D, ZHANG J, LI M, et al. A Novel Miniaturised Electrophoretic Method for Determining Formaldehyde and Acetaldehyde in Food using 2-Thiobarbituric Acid Derivatisation[J]. Food Chemistry, 2011, 129(1): 206—212.
- [30] 汪兴平, 刘勤晋. 茶多酚应用于鲜鱼保鲜效果研究[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 1996, 28(2): 53—54.  
WANG Xing-ping, LIU Qin-jin. Application of Tea Polyphenols in Fresh Fish Preservation[J]. Journal of Hubei University for Nationalities (Natural Science Edition), 1996, 28(2): 53—54.
- [31] 高玉萍, 唐德松, 龚淑英. 茶提取物抗氧化活性与茶多酚、儿茶素关系探究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(6): 40—47.  
GAO Yu-ping, TANG De-song, GONG Shu-ying. Relationship between Antioxidant Activity of Tea Extract and Tea Polyphenols and Catechins[J]. Chinese Food Journal, 2013, 13(6): 40—47.
- [32] RUIZ-CAPILLAS C, MORAL A. Changes in Free Amino Acids During Chilled Storage of Hake (*Merluccius Merluccius* L) in Controlled Atmospheres and Their use as a Quality Control Index[J]. European Food Research and Technology A, 2001, 212(3): 302—307.
- [33] 丁卫新, 戴鑫鑫. 浅谈小麦质量的感官鉴定[J]. 粮油食品科技, 2010, 18(4): 54—55.  
DING Wei-xin, DAI Xin-xin. Sensory Identification of Wheat Quality[J]. Grain, Oil and Food Science and Technology, 2010, 18(4): 54—55.
- [34] 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 Sheng-ping, XIE Jing, TONG Yi, et al. Effects of Chitosan Combined with Different Concentrations of Tea Polyphenols on Preservation of *Trichiurus haemela* [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2010, 26(4): 818—821.
- [35] 袁鹏翔, 邓尚贵, 张宾, 等. 静态流化冰对鲑鱼保鲜效果的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(8): 242—247.  
YUAN Peng-xiang, DENG Shang-gui, ZHANG Bin, et al. Effect of Static Ice Slurry on the Preservation of Squid[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 31(8): 242—247.
- [36] 戴志远, 崔雁娜, 王宏海. 不同冻藏条件下养殖大黄鱼肉质构变化的研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(8): 188—191.  
DAI Zhi-yuan, CUI Yan-na, WANG Hong-hai. Study on Meat Texture Changes of Cultured Large Yellow Croaker under Different Frozen Storage Conditions[J]. Food and Fermentation Industry, 2008, 34(8): 188—191.