

条浒苔多酚对加州鲈鱼冷藏期间品质影响的研究

洪静霞, 黄平, 李超, 杨文鸽*

(宁波大学 食品与药学学院, 浙江 宁波 315832)

摘要: 用4种不同浓度的条浒苔多酚(*Enteromorpha clathrata* polyphenols, ECPs)溶液处理新鲜加州鲈鱼块后置于4℃贮藏, 结合感官评分、菌落总数、挥发性盐基氮(TVB-N)、硫代巴比妥酸(TBA)值、肌原纤维蛋白疏基含量、表面疏水性、肌肉色差和质地剖面分析(TPA)等指标, 综合评估其对鱼块货架期的影响。结果表明, 在4℃贮藏条件下, ECPs处理能有效抑制鲈鱼贮藏期间TVB-N值、TBA值和菌落总数的增加, 减缓蛋白氧化和品质劣化进程, 从而达到延长货架期的作用。当ECPs浓度为0.20%时, 其对鲈鱼鱼块的保鲜效果最佳, 能延长鲈鱼货架期6 d。

关键词: 加州鲈鱼; 条浒苔多酚; 保鲜; 品质

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132(2023)02-0001-08

加州鲈鱼(*Micropterus salmoides*), 又名黑鲈鱼、大口黑鲈, 是我国常见经济鱼类之一, 2020年养殖产量达到60万t^[1], 因其肉质鲜美、营养丰富而深受消费者喜爱^[2]。然而, 鲈鱼在失活后发生的一系列理化反应为鱼体内微生物的生长繁殖创造了条件, 导致鱼体在加工、贮藏、运输和销售过程中易发生腐败变质, 最终影响其食用品质和商业价值^[3-4]。因此, 如何保证鲈鱼肉品质及其质量安全, 延长其保鲜期显得尤为重要。

目前, 低温保鲜被认为是便捷且保鲜效果较好的方法, 已被广泛应用于食品行业。低温可有效抑制微生物生长和酶活性, 减弱水产品新陈代谢速率, 从而减缓其腐败速度, 延长货架期^[5]。但是单一的低温保鲜技术的不足之处也较为明显, 它只适用于短期贮藏保鲜。因此, 将低温保鲜技术和生物保鲜剂相结合, 以发挥其协同作用是近几年食品保鲜领域的研究方向^[6-7]。植物多酚是常见的生物保鲜剂, 如Feng等^[8]研究发现茶多酚处理黑鲷能有效抑制其脂质氧化、蛋白质分解和微生物生长, 对其品质起到保护作用; 条斑紫菜多酚是一种具有抗菌性和抗氧化活性的海藻源多酚, 研究表明该多酚通过抑制对虾中微生物生长及虾头黑变,

减缓对虾品质下降速度^[9]。

条浒苔(*Enteromorpha clathrata*)作为我国东南沿海常见的可食性海藻, 不仅富含多种营养成分, 还含有多酚类物质, 是安全的天然保鲜剂原料^[10]。已有研究表明浒苔多酚具有抗氧化和抗菌活性, 并在鳗鱼鲞冷藏过程中表现出良好的脂质氧化抑制作用^[11-13]。然而, 有关条浒苔多酚对新鲜鱼肉的保鲜作用研究未见报道。因此, 本文以新鲜加州鲈鱼为研究对象, 探索经不同浓度条浒苔多酚溶液处理后鲈鱼块在冷藏条件下的保鲜效果, 旨在为条浒苔多酚在鱼类保鲜中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜活加州鲈鱼, 购于宁波路林水产市场, 质量(900±50)g, 体长(27±2)cm; 条浒苔多酚(ECPs), 参照文献[10]采用液液萃取法制备, 总酚含量为(18.34±0.45)mg·g⁻¹; 三氯乙酸, 购于上海阿拉丁生化科技股份有限公司; 平板计数琼脂(PCA), 购于杭州微生物试剂有限公司; 十二烷基硫酸钠(SDS)、氯化钾、三羟甲基氨基甲烷(Tris)、5,5'-二硫代双(2-硝基苯甲酸)(DTNB)、乙二胺四乙酸

收稿日期: 2022-04-08。

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.lg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0901105)。

第一作者: 洪静霞(1997-), 女, 浙江宁波人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 水产品加工与质量控制。E-mail: 1837645037@qq.com

*通信作者: 杨文鸽(1966-), 女, 浙江诸暨人, 教授, 主要研究方向: 水产品加工与贮藏。E-mail: yangwenge@nbu.edu.cn

(EDTA)、2-巯代巴比妥酸, 购于北京索莱宝科技有限公司; 氧化镁、氢氧化钠, 购于国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

TA.XT Plus 质构仪, 英国 Stable Micro Systems 公司; CR-400 色差仪, 日本 Konica Minolta 公司; Biofuge stratos 台式高速冷冻离心机, 德国 Thermo Scientific Sorvall 公司; BP221S 电子分析天平、DocuMeter pH 计, 北京赛多利斯科学仪器公司。

1.3 实验方法

1.3.1 浒苔多酚溶液的制备

称量不同质量的条浒苔多酚, 溶于无菌蒸馏水中, 搅拌 5 min 至完全溶解, 配制成浓度分别为 0.05%、0.10%、0.15% 和 0.20% 的 ECPs 溶液。

1.3.2 样品处理

鲈鱼宰杀后去鳞、去内脏、去皮, 清水洗净, 取背部肌肉切成约 2 cm×2 cm×1 cm 的均一鱼块。鱼块随机分为 5 组: 对照组(CK)用蒸馏水浸泡, 实验组 T1、T2、T3 和 T4 分别用浓度为 0.05%、0.10%、0.15% 和 0.20% 的 ECPs 溶液浸泡 15 min。浸泡后各组鱼块置于无菌纱布上沥干, 聚乙烯袋包装, 4 ℃ 冰箱内冷藏 15 d。每 3 d 取样检测相关指标。

1.3.3 感官评定

采取盲试验, 样品随机编号后呈递给 10 名经培训具有食品感官评定经验的人员, 具体评定标准见表 1^[14]。4 个指标得分的平均值为最终感官评分结果, 当最终得分低于 5 分时, 感官上拒绝接受。

1.3.4 菌落总数测定

根据 GB 4789.2—2016^[15]进行菌落总数测定。

1.3.5 挥发性盐基氮(TVB-N)的测定

参照 GB 5009.228—2016^[16], 采用半微量蒸馏法进行测定。

1.3.6 硫代巴比妥酸(TBA)值的测定

取 10 g 鱼肉用 50 mL 75 g·L⁻¹ 三氯乙酸匀浆,

置于恒温振荡器(180 r·min⁻¹, 50 ℃)中提取 30 min。提取液过滤, 滤液与 0.02 mol·L⁻¹ TBA 混合, 90 ℃ 水浴加热 30 min, 冷却后在 532 nm 处测量吸光度。TBA 值用丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量表示, 单位为 mg·kg⁻¹^[17]。

1.3.7 色差数值测定

将鱼块切成 1 cm×1 cm×1 cm 立方体, 使用 CR-400 色差仪测定鱼肉色值。记录 L^* 值(亮度)、 a^* 值(红绿度)和 b^* 值(黄蓝度), 用白度表示实验结果。白度(I_w)计算式:

$$I_w = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}.$$

1.3.8 质地剖面分析

质地剖面分析(Texture Profile Analysis, TPA)参照 Wang 等^[17]的方法。每组随机抽取 6 个样本, 切成 1 cm×1 cm×1 cm 立方体, 使用 P/36R 扁平圆柱形探头进行 TPA 测定。仪器参数: 预试速度 1 mm·s⁻¹, 测试速度 1 mm·s⁻¹, 返回速度 1 mm·s⁻¹, 触发力 0.1 N, 压入深度 50.0%, 测试间隔 5 s。TPA 结果以硬度(g)、弹性和咀嚼性(g)表示。

1.3.9 肌原纤维蛋白的提取及其指标测定

取 10 g 鱼肉于离心管中, 加入 10 倍体积 20 mmol·L⁻¹ Tris-maleate 缓冲液(pH 7.0, 含 0.05 mol·L⁻¹ KCl), 充分匀浆后冷冻离心(10 000 r·min⁻¹, 10 min), 取沉淀加入 10 倍体积 20 mmol·L⁻¹ Tris-maleate 缓冲液(pH 7.0, 含 0.6 mol·L⁻¹ KCl), 充分匀浆后于 4 ℃ 静置 1 h, 冷冻离心(10 000 r·min⁻¹, 10 min), 上清液即为肌原纤维蛋白溶液, 采用福林酚法测定肌原纤维蛋白浓度^[18]。

(1)肌原纤维蛋白总巯基和活性巯基的测定。将蒋伟人等^[19]的方法略作修改, 0.5 mL (5 mg·mL⁻¹) 蛋白液中加入 4.5 mL (0.2 mol·L⁻¹) Tris-HCl (pH 6.8, 含 8 mol·L⁻¹ 尿素, 2% SDS, 10 mol·L⁻¹ EDTA), 检测活性巯基时则不加尿素, 混匀后加入 0.5 mL 0.1% DTNB 溶液, 置于 40 ℃ 水浴 25 min, 在 412 nm 处

表 1 鲈鱼肉感官评分标准

分值	气味	色泽	触感	组织形态
9~10	鱼香浓郁, 无异味	肌肉富有光泽	坚实富有弹性	肌肉致密, 纹理很清晰
7~8	鱼香清淡, 无异味	肌肉略带光泽	坚实有弹性	肌肉致密, 纹理较清晰
5~6	鱼香清淡, 略带异味	肌肉无光, 颜色较黄	有弹性	肌肉不致密, 纹理较不清晰
3~4	鱼腥较浓, 异味较重	肌肉暗淡, 颜色很黄	稍有弹性	肌肉不致密, 纹理不清晰
1~2	强烈腥味和异味	肌肉灰暗	无弹性	肌肉松散, 纹理不清晰

测定样品的吸光值 A ,按下式计算巯基含量 ω ($\text{nmol} \cdot \text{mg}^{-1}$),

$$\omega = \frac{73.53AD}{C},$$

式中: D 为稀释倍数; C 为样品浓度.

(2)肌原纤维蛋白表面疏水性的测定.参考 Chelh 等^[20]的方法,以溴酚蓝(BPB)与蛋白质中疏水性氨基酸的结合量表示表面疏水性的大小.取 1 mL 蛋白液 ($5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$),加入 200 μL 溴酚蓝 ($1 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$),室温下搅拌 10 min 后冷冻离心 ($10\,000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 15 min),取上清液纯水稀释 10 倍,于 595 nm 处测定其吸光值 A . 20 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 磷酸盐缓冲液作空白对照,其吸光值记作 A_0 . 则溴酚蓝结合量 m 的计算式为

$$m = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 200 \mu\text{g}.$$

1.4 数据分析

采用 SPSS 23.0 软件单因素方差分析中的 Duncan 检验对实验数据进行显著性分析,当 $P < 0.05$ 时为差异显著,用 GraphPad Prism 8.0 软件绘图.每个实验至少平行测定 3 次,结果以平均值 $\pm$ 标准差表示.

2 结果与讨论

2.1 鲈鱼肉感官评分的变化

由图 1 可知,各组鲈鱼肉感官评分均随贮藏时间的增加呈下降趋势.

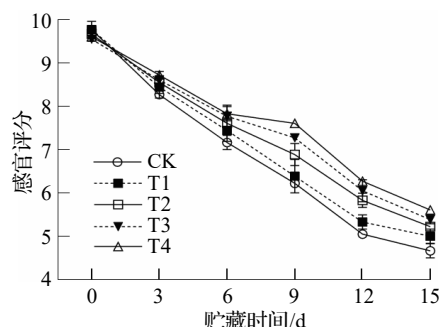


图 1 冷藏期间鲈鱼肉感官评分的变化

初始时,新鲜鱼块鱼香浓郁,肌肉光泽有弹性,组间感官评分无显著差异($P > 0.05$).贮藏 3 d 后,除 T4 组感官评分显著高于对照组外($P < 0.05$),其余组与对照组无显著差异.贮藏至第 6 天,对照组和 T1 组鱼香味清淡,肌肉光泽度和弹性下降,而 T2 组、

T3 组、T4 组感官评分显著高于对照组($P < 0.05$).当进一步延长贮藏期(9~15 d),所有 ECPs 处理组的感官评分均高于对照组,对照组样品在冷藏至第 9 天时,肌肉开始失去光泽,并产生异味,感官不能接受.结果表明,条浒苔多酚处理鲈鱼鱼块能缓解鱼肉感官品质劣化,且在贮藏后期作用较显著.这与窦川林等^[21]发现茶多酚可抑制微冻泥鳅贮藏过程中感官评分的下降速度且浓度越大效果越明显的研究结果一致.

2.2 鲈鱼肉菌落总数的变化

微生物的生长繁殖是引起水产品腐败变质的主要原因,寻找安全有效的抗菌方式尤为重要.由图 2 可知,样品中菌落总数均随贮藏时间的延长呈上升趋势.其中,对照组鱼肉菌落总数在第 9 天时超过了国际食品微生物标准委员会设定的最大值($10^7 \text{ CFU} \cdot \text{g}^{-1}$)^[22],而 T1 组、T2 组和 T3 组达到限值的时间为 12 d, T4 组货架期为 15 d,可延长 6 d.这表明条浒苔多酚处理可以有效抑制鲈鱼在冷藏期间的细菌生长,延长货架期.

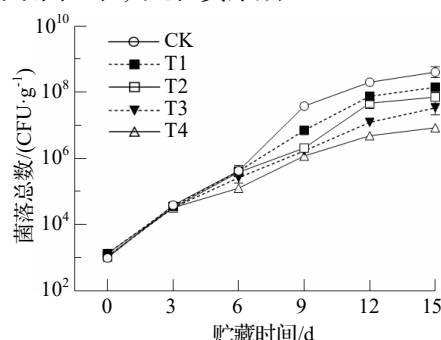


图 2 冷藏期间鲈鱼肉菌落总数的变化

多酚物质能破坏微生物细胞结构,从而达到抑菌效果^[23]. Nie 等^[24]研究发现,茶多酚和海藻酸钠结合处理冷藏鲈鱼可延长货架期 5 d.其他植物多酚如马尾藻多酚、蓝莓叶多酚、海带多酚也表现出较高的水产品保鲜能力,可有效抑制多种水产品或水产制品中微生物生长繁殖,延缓其腐败变质,延长货架期^[25-27].

2.3 鲈鱼肉 TVB-N 含量的变化

TVB-N 是指在微生物和内源性酶的作用下,蛋白质被分解成的胺类及氨等碱性含氮物质^[28].TVB-N 含量越高,水产品新鲜度越差,因此 TVB-N 常用作一项评价水产品腐败程度的重要指标.根据 GB 2733—2015^[29],淡水鱼 TVB-N 可接

受值为 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。如图 3 所示, 在贮藏前期, 除对照组外, 多酚处理组 TVB-N 保持在较低水平, 且组间无显著性差异($P>0.05$)。随着时间的延长, TVB-N 增加速度变快, 其中对照组尤为明显, 贮藏 9 d, 对照组 TVB-N 增至 $192.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 已接近限值。贮藏 12 d, T1 组 TVB-N 含量接近 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, T2 组、T3 组和 T4 组分别为 170.8 、 163.8 和 $155.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 显著低于对照组($P<0.05$)。贮藏结束时, T1 组和 T2 组 TVB-N 含量均超过可接受限值, T3 组 TVB-N 值已接近限值, T4 组 TVB-N 值为 $168 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 尚未超过限值。蓝蔚青等^[30]发现, 微生物作用使得水产品 TVB-N 值不断上升, 而植物多酚(如茶多酚、葡萄多酚、石榴多酚等)处理, 可以有效抑制微生物生长繁殖, 降低 TVB-N 值, 延长水产品货架期。林智铭等^[31]用蓝莓叶多酚处理鲈鱼鱼片, 发现处理后的鱼片贮藏至 12 d 才超过可接受值, 比对照组延长 4 d。

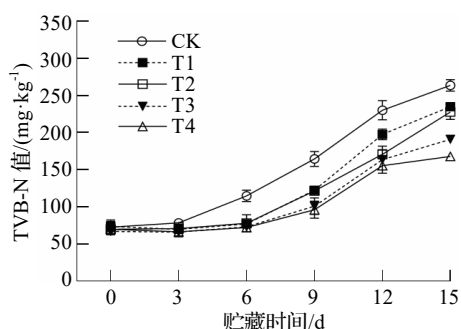


图 3 冷藏期间鲈鱼肉 TVB-N 含量的变化

2.4 鲈鱼肉 TBA 值的变化

水产品中脂肪在加工与贮藏过程中容易氧化, 主要降解产物 MAD 可与 TBA 作用生成稳定的红色络合物^[32]。因此, 该反应常用于评估水产品脂肪氧化程度, TBA 值越高, 表明脂肪氧化程度越深^[33]。由图 4 可知, 各组 TBA 值随贮藏时间延长呈上升趋势, 其中对照组样品冷藏 9 d 时, 其 TBA 值超过

了 $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 与文献[34]报道结果较为一致。研究表明, 水产品肌肉 TBA 值达到 $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 其脂质氧化产生的腥臭味会影响其食用价值^[35]。与对照组相比, 各 ECPs 处理组呈剂量依赖性抑制 TBA 的增加, 且在贮藏后期更为明显。在贮藏至第 15 天时, 除 T1 组外, T2 组、T3 组和 T4 组 TBA 值均显著低于对照组($P<0.05$), 且 T4 组的 TBA 值低于 $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 腥臭味不明显。可见, 条浒苔多酚浸泡处理能有效抑制鲈鱼鱼块脂质氧化, 且抗氧化效果与多酚浓度呈正相关。田光娟等^[36]也报告了类似的结果, 随着茶多酚浓度增加, 高浓度的茶多酚对鲫鱼鱼片的保鲜效果显著。许萍等^[34]研究发现大蒜素能延缓鲈鱼脂质氧化, 相比于对照组 9 d 时产生腥臭味, 大蒜素处理组在贮藏终点 15 d 时超出 $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有腥臭味产生。

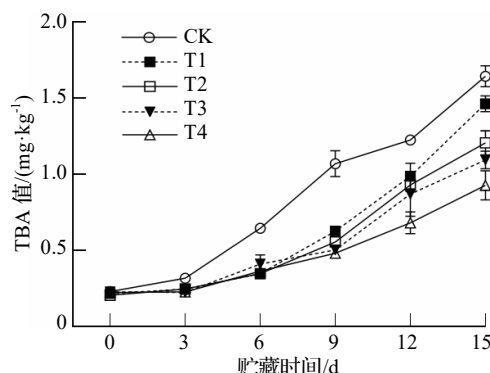


图 4 冷藏期间鲈鱼肉 TBA 值的变化

2.5 鲈鱼肉色差的变化

鲈鱼肉白度随贮藏时间延长呈下降趋势(表 2), 可能是因为在贮藏过程中鱼肉中的肌红蛋白和血红蛋白发生氧化, 以及脂类氧化产物醛、酮类物质引起的褐变反应所造成^[17]。多酚作为抗氧化剂能够减缓鱼肉成分的氧化作用, 有利于保持较好的白度。其中对照组在贮藏 9 d 时, 白度显著下降($P<0.05$), T1 组和 T2 组鲈鱼鱼块的白度在第 12 天

表 2 冷藏期间鲈鱼肉白度的变化

组别	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d
CK	$38.99 \pm 0.24^{\text{aA}}$	$38.60 \pm 0.58^{\text{abA}}$	$37.92 \pm 0.22^{\text{abAB}}$	$37.83 \pm 0.88^{\text{bA}}$	$36.64 \pm 0.66^{\text{cA}}$	$35.98 \pm 0.66^{\text{cB}}$
T1	$39.06 \pm 0.71^{\text{aA}}$	$38.63 \pm 0.54^{\text{aA}}$	$37.82 \pm 0.27^{\text{abAB}}$	$37.89 \pm 0.98^{\text{abA}}$	$36.72 \pm 0.72^{\text{bcA}}$	$36.38 \pm 0.51^{\text{cAB}}$
T2	$39.00 \pm 0.25^{\text{aA}}$	$38.62 \pm 0.46^{\text{aA}}$	$38.12 \pm 0.41^{\text{abAB}}$	$37.80 \pm 0.83^{\text{abA}}$	$37.22 \pm 0.39^{\text{bcA}}$	$36.87 \pm 0.22^{\text{cAB}}$
T3	$38.83 \pm 0.30^{\text{aA}}$	$38.50 \pm 0.75^{\text{aA}}$	$38.11 \pm 0.40^{\text{abAB}}$	$37.85 \pm 0.15^{\text{abA}}$	$37.37 \pm 0.64^{\text{abA}}$	$37.12 \pm 0.64^{\text{bAB}}$
T4	$38.73 \pm 0.44^{\text{aA}}$	$38.57 \pm 0.40^{\text{aA}}$	$38.58 \pm 0.49^{\text{aA}}$	$38.38 \pm 0.36^{\text{aA}}$	$37.57 \pm 0.40^{\text{bA}}$	$37.28 \pm 0.54^{\text{bA}}$

注: 同行肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$); 同列肩标不同大写字母表示差异显著($P<0.05$)。

显著下降($P<0.05$),而 T3 组和 T4 组鲈鱼鱼块的白度在贮藏 15 d 后才明显下降($P<0.05$),说明条浒苔多酚处理浓度与鱼块白度值呈正相关。有研究发现具有抗氧化、抗菌性的物质(茶多酚、曲酸、抗菌纤维膜)能够在一定程度上延缓鲈鱼颜色变化^[17,37],这与本研究中条浒苔多酚因具有抗氧化活性而表现出对色值变化的保护作用一致。

2.6 鲈鱼肉质构特性的变化

弹性、硬度和咀嚼性是衡量水产品品质的重要指标。由表 3 可知,在贮藏期内,鲈鱼鱼肉的硬度

呈先上升后下降的趋势,原因在于鲈鱼死后肌肉纤维收缩,鱼肉因失去弹性而进入僵直期,而后在微生物和酶的作用下,鱼块肌肉自溶,使得鱼块肌肉组织变得柔软。在贮藏至第 3 天时鱼块硬度显著上升($P<0.05$),随后逐渐下降。其中对照组硬度下降最快,而多酚处理可以减缓鱼块硬度下降,且多酚浓度越高,对鱼块肌肉的硬度保护效果越好。同样,随着贮藏时间的增加,鱼块开始发生腐败变质从而导致其弹性下降,而多酚处理组的鱼块肌肉弹性均高于对照组,鲈鱼肉咀嚼性与弹性变化的

表 3 冷藏期间鲈鱼肉质构的变化

时间/d	组别	硬度/g	弹性	咀嚼性/g
0	CK	3 193.16 ± 190.93 ^{bA}	0.55 ± 0.05 ^{aA}	847.42 ± 23.43 ^{aA}
	T1	3 203.69 ± 228.36 ^{bA}	0.55 ± 0.02 ^{aA}	853.82 ± 27.04 ^{aA}
	T2	3 196.84 ± 169.94 ^{bA}	0.54 ± 0.03 ^{aA}	836.70 ± 24.68 ^{aA}
	T3	3 155.76 ± 173.16 ^{bA}	0.55 ± 0.03 ^{aA}	832.06 ± 27.68 ^{aA}
	T4	3 147.01 ± 176.93 ^{cdA}	0.55 ± 0.02 ^{aA}	825.99 ± 34.43 ^{aA}
3	CK	3 933.27 ± 159.94 ^{aA}	0.48 ± 0.02 ^{bB}	562.48 ± 41.60 ^{bC}
	T1	3 098.96 ± 172.54 ^{aA}	0.50 ± 0.01 ^{bA}	634.31 ± 29.72 ^{bB}
	T2	3 835.73 ± 219.10 ^{aA}	0.50 ± 0.02 ^{bA}	640.10 ± 32.35 ^{bB}
	T3	3 720.89 ± 210.16 ^{aA}	0.51 ± 0.01 ^{bA}	679.43 ± 26.97 ^{bAB}
	T4	3 708.30 ± 136.64 ^{aA}	0.52 ± 0.03 ^{aA}	693.53 ± 32.93 ^{bA}
6	CK	3 169.37 ± 149.05 ^{bB}	0.40 ± 0.01 ^{cC}	462.05 ± 26.88 ^{cD}
	T1	3 224.64 ± 120.75 ^{bB}	0.46 ± 0.01 ^{cB}	523.39 ± 20.05 ^{cC}
	T2	3 296.84 ± 149.02 ^{bAB}	0.47 ± 0.02 ^{cB}	573.33 ± 37.75 ^{cB}
	T3	3 343.66 ± 130.10 ^{bAB}	0.49 ± 0.01 ^{bA}	595.39 ± 26.16 ^{cAB}
	T4	3 503.90 ± 160.83 ^{abA}	0.49 ± 0.05 ^{bA}	628.82 ± 21.16 ^{cA}
9	CK	2 735.86 ± 195.89 ^{cB}	0.33 ± 0.02 ^{dC}	390.32 ± 19.07 ^{dD}
	T1	3 085.15 ± 195.57 ^{bA}	0.41 ± 0.02 ^{dB}	458.08 ± 15.46 ^{dC}
	T2	3 118.54 ± 133.75 ^{bA}	0.42 ± 0.01 ^{dAB}	485.65 ± 12.23 ^{dC}
	T3	3 187.47 ± 187.27 ^{bA}	0.44 ± 0.01 ^{cAB}	519.52 ± 28.62 ^{dB}
	T4	3 331.90 ± 174.41 ^{bca}	0.45 ± 0.02 ^{cA}	569.95 ± 17.16 ^{dA}
12	CK	2 202.94 ± 80.30 ^{dC}	0.29 ± 0.01 ^{deD}	334.12 ± 35.12 ^{eD}
	T1	2 521.61 ± 104.46 ^{cB}	0.36 ± 0.01 ^{cC}	419.44 ± 11.45 ^{eC}
	T2	2 745.62 ± 177.75 ^{cAB}	0.37 ± 0.02 ^{eBC}	450.43 ± 36.89 ^{eBC}
	T3	2 826.65 ± 182.84 ^{cA}	0.39 ± 0.01 ^{dAB}	497.27 ± 35.83 ^{eAB}
	T4	2 982.97 ± 166.77 ^{dA}	0.41 ± 0.01 ^{dA}	533.92 ± 34.67 ^{eA}
15	CK	1 637.08 ± 91.32 ^{dD}	0.26 ± 0.01 ^{cC}	264.30 ± 29.41 ^{fD}
	T1	2 001.04 ± 146.84 ^{dC}	0.32 ± 0.01 ^{fB}	328.63 ± 30.06 ^{fC}
	T2	2 175.38 ± 103.97 ^{dBC}	0.33 ± 0.01 ^{fAB}	398.11 ± 38.13 ^{fB}
	T3	2 307.65 ± 73.99 ^{dB}	0.36 ± 0.03 ^{dAB}	422.75 ± 14.32 ^{fB}
	T4	2 620.79 ± 98.56 ^{eA}	0.38 ± 0.02 ^{eA}	485.09 ± 22.64 ^{fA}

注:不同时间、同一组别同列肩标小写字母不同表示差异显著($P<0.05$);同一时间、不同组别同列肩标大写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

趋势一致. 这与 Wang 等^[17]运用茶多酚和曲酸研究鲈鱼货架期的结果一致.

2.7 鲈鱼肉肌原纤维蛋白巯基含量的变化

在贮藏过程中, 肌肉蛋白质中的巯基易被氧化成二硫键, 因此可通过巯基含量的变化判断蛋白质氧化程度^[38]. 如图 5(a)所示, 各组鱼块肌原纤维蛋白的总巯基含量随贮藏时间的延长而降低, 提示蛋白质发生了氧化变性, 这和王蒙等^[39]研究苹果多酚处理后冰鲜大黄鱼贮藏期间品质变化的结论一致. 贮藏开始时, 各组总巯基含量无显著差异($P>0.05$), 之后多酚处理组总巯基含量虽随时间下降, 但其变化速率小于对照组. 贮藏结束时, 除 T1 组外其余各组的总巯基含量均显著高于对照组($P<0.05$). 如图 5(b)所示, 活性巯基的变化趋势与总巯基一致, 呈现下降趋势, 说明在贮藏过程中肌原纤维蛋白中的活性巯基被氧化成二硫键, 使得总巯基含量下降. 前 9 d, 各组间活性巯基含量无显著差异($P>0.05$). 至第 12 天, 条浒苔多酚的抗蛋白氧化作用明显, T3 组和 T4 组活性巯基水平显著高于对照组($P<0.05$). 贮藏结束时, T4 组仍表现出较高的巯基含量. 可见, 一定浓度条浒苔多酚浸泡具有延缓鲈鱼肌原纤维蛋白氧化的效果, 这与郭利芳等^[40]研究黑麦多酚对泥鳅冰藏过程中肌原纤维蛋白氧化的保护作用的结果相近.

2.8 鲈鱼肉肌原纤维蛋白表面疏水性的变化

天然蛋白质的疏水性基团往往包埋于分子内部而具有较低的表面疏水性^[41]. 贮藏过程中, 鱼肉蛋白构象发生变化, 埋在内部的疏水键和氢键暴露在外并脱离其固有排列, 导致蛋白质表面疏水性增加, 这可作为衡量蛋白质变性的一项重要指标^[40]. 如图 6 所示, 鲈鱼鱼块蛋白表面疏水性随贮藏时间延长而上升. 初始时, 各组表面疏水性之间

无明显差异($P>0.05$). 贮藏结束时, 对照组蛋白质表面疏水性提高了 116.54%, ECPs 处理组增加幅度随剂量的升高而降低, 为 110.75%~70.86%, 低于对照组样品. 此结果符合巯基含量变化趋势, 表明条浒苔多酚对鲈鱼肌肉蛋白质品质有保护作用, 与 Zhao 等^[42]研究所得茶多酚对大黄鱼鱼片蛋白质品质具有保护作用的结论一致.

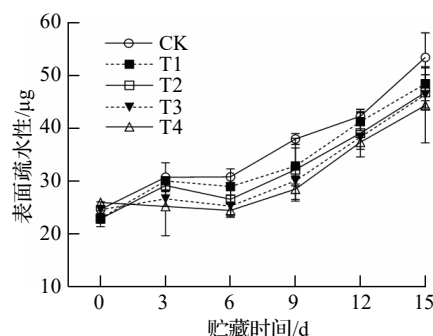


图 6 冷藏期间鲈鱼肉肌原纤维蛋白表面疏水性的变化

3 结论

本文探讨了条浒苔多酚提取物对加州鲈鱼保鲜效果的影响. 结果表明, 与对照组相比, 条浒苔多酚处理能减缓鲈鱼鱼块菌落总数、TVB-N 值、TBA 值以及肌原纤维蛋白表面疏水性的上升速度, 抑制鲈鱼鱼块感官评分分值、硬度、弹性、咀嚼性、白度值以及肌原纤维蛋白巯基含量的下降, 使其货架期得以延长. 其中, 0.20%条浒苔多酚处理后的鲈鱼鱼块品质保持效果最佳, 该处理组鲈鱼鱼块 4℃贮藏的货架期可达 15 d, 相比对照组延长 6 d. 综上所述, 条浒苔多酚水溶液(0.05%~0.20%)浸泡对鲈鱼鱼块具有保鲜作用, 在 4℃贮藏条件下可延长其货架期. 该研究结果可为条浒苔多酚应用于鱼类保鲜提供依据, 对提升条浒苔高值化利用具有积极意义.

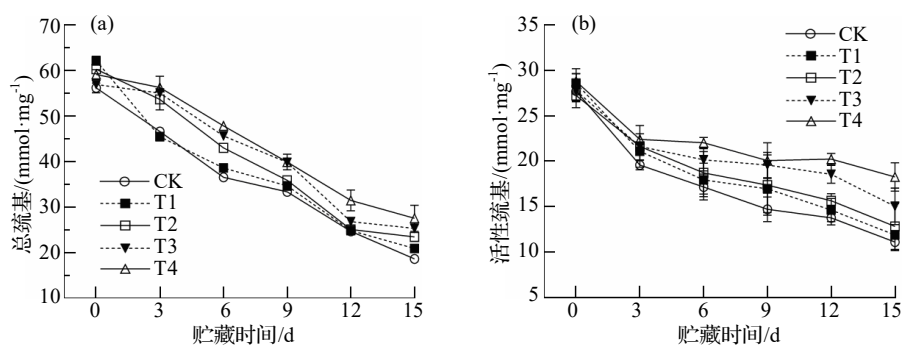


图 5 冷藏期间鲈鱼肉肌原纤维蛋白总巯基和活性巯基含量的变化

参考文献:

- [1] Chen S, Jiang X, Liu N, et al. Effects of dietary berberine hydrochloride inclusion on growth, antioxidant capacity, glucose metabolism and intestinal microbiome of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Aquaculture, 2022, 552:738023.
- [2] Huang X, Liu S, Zhang H, et al. Pathological characterization and cause of a novel liver disease in largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Aquaculture Reports, 2022, 23:101028.
- [3] Zhuang S, Li Y, Hong H, et al. Effects of ethyl lauroyl arginate hydrochloride on microbiota, quality and biochemical changes of container-cultured largemouth bass (*Micropterus salmonides*) fillets during storage at 4 °C[J]. Food Chemistry, 2020, 324:126886.
- [4] Cai L, Cao A, Bai F, et al. Effect of ϵ -polylysine in combination with alginate coating treatment on physicochemical and microbial characteristics of Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicas*) during refrigerated storage[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 62(2):1053-1059.
- [5] 张家玮. 低压静电场协同低温对舟山带鱼保鲜效果的研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2021.
- [6] Li J, Han Q, Chen W, et al. Antimicrobial activity of Chinese bayberry extract for the preservation of surimi[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 92(11):2358-2365.
- [7] Li Y, Zhuang S, Liu Y, et al. Effect of grape seed extract on quality and microbiota community of container-cultured snakehead (*Channa argus*) fillets during chilled storage[J]. Food Microbiology, 2020, 91:103492.
- [8] Feng L, Jiang T, Wang Y, 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.
- [9] Li Y, Yang Z, Li J, et al. Shelf-life extension of Pacific white shrimp using algae extracts during refrigerated storage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(1):291-298.
- [10] Wang C, Ali I, Wang D, et al. Polyphenols separated from *Enteromorpha clathrata* by one-dimensional coupled with inner-recycling high-speed counter-current chromatography and their antioxidant activities[J]. European Food Research and Technology, 2021, 247(7):1791-1802.
- [11] Shao L L, Xu J, Shi M J, et al. Preparation, antioxidant and antimicrobial evaluation of hydroxamated degraded polysaccharides from *Enteromorpha prolifera*[J]. Food Chemistry, 2017, 237:481-487.
- [12] Zhang Z S, Wang X M, Zhao M X, et al. The immunological and antioxidant activities of polysaccharides extracted from *Enteromorpha linza*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 57(1):45-49.
- [13] 胡科娜, 谷贵章, 高兴杰, 等. 浒苔多酚协同低剂量电子束辐照对鳗鱼鲞菌落总数和油脂氧化的作用[J]. 食品科学, 2021, 42(19):157-163.
- [14] 黄晓春, 侯温甫, 杨文鸽, 等. 冰藏过程中美国红鱼生化特性的变化[J]. 食品科学, 2007, 28(1):337-340.
- [15] 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].
- [16] 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].
- [17] Wang R, Hu X, Agyekumwaa A K, et al. Synergistic effect of kojic acid and tea polyphenols on bacterial inhibition and quality maintenance of refrigerated sea bass (*Lateolabrax japonicus*) fillets[J]. LWT - Food Science and Technology, 2021, 137:110452.
- [18] 倪伟, 米杰, 孙仲麒, 等. 羟丙基二淀粉磷酸酯对虾糜凝胶特性及其蛋白结构的影响[J]. 水产学报, 2021, 45(7):1181-1190.
- [19] 蒋祎人, 李涛, 刘友明, 等. 丙二醛氧化修饰对白鲢肌原纤维蛋白结构性质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(6):1-7.
- [20] Chelh I, Gatellier P, Santé-Lhoutellier V. Technical note: A simplified procedure for myofibril hydrophobicity determination[J]. Meat Science, 2006, 74(4):681-683.
- [21] 窦川林, 林静, 董唯, 等. 茶多酚处理对泥鳅微冻贮藏过程中肌原纤维蛋白功能性质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(23):250-256.
- [22] International Commission on Microbiological Specifications for Foods. Sampling plans for fish and shellfish. Microorganisms in foods 2, sampling for microbiological analysis: Principles and specific applications[S]. Toronto: University of Toronto Press, 1986:181-196.
- [23] Campos F M, Couto J A, Hogg T A. Influence of phenolic acids on growth and inactivation of *Oenococcus oeni* and *Lactobacillus hilgardii*[J]. Journal of Applied Microbiology, 2003, 94(2):167-174.
- [24] Nie X, Wang L, Wang Q, 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.
- [25] Fang H, Zhang J, Hong Z, et al. Prevention of quality loss and melanosis of white leg shrimp by *Sargassum horneri* extracts[J]. British Food Journal, 2021, 123(7):2365-2379.
- [26] 李颖畅, 杨钟燕, 仪淑敏, 等. 蓝莓叶多酚和大蒜提取

- 物对冷藏鲑鱼鱼丸品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(10):331-336.
- [27] 林娇芬, 苏秋芳, 蔡真珍, 等. 海带多酚提取物对冷藏中国对虾品质的影响[J]. 宁德师范学院学报(自然科学版), 2020, 32(1):63-69.
- [28] 刘楠, 李婷婷, 王当丰, 等. 迷迭香与葡萄籽复合保鲜剂对白鲢鱼丸的保鲜效果[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(3):247-253.
- [29] GB 2733—2015. 食品安全国家标准 鲜、冻动物性水产品[S].
- [30] 蓝蔚青, 赵欣宇, 刘嘉莉, 等. 植物多酚的主要抑菌机制及在水产品保鲜中的应用研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(10):259-264.
- [31] 林智铭, 王媛媛, 赵珺泽, 等. 蓝莓叶多酚和溶菌酶对鲑鱼鱼片的保鲜作用[J]. 农产品加工, 2018(21):36-39; 44.
- [32] 汪兰, 曾俊杰, 吴文锦, 等. 不同冻藏温度对鲑鱼品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21):287-292.
- [33] Li P, Peng Y, Mei J, et al. Effects of microencapsulated eugenol emulsions on microbiological, chemical and organoleptic qualities of farmed Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) during cold storage[J]. LWT - Food Science and Technology, 2020, 118:108831.
- [34] 许萍, 黄敏, 廖涛, 等. 大蒜素复配保鲜剂对大口黑鲈保鲜效果的影响[J]. 食品科学技术学报, 2021, 39(4):148-155.
- [35] 武娇, 杨华, 张家涛, 等. 原位合成纳米 SiO_x/溶菌酶/茶多酚/壳聚糖复合保鲜涂膜对海鲈鱼鱼片保鲜性能的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(23):181-189.
- [36] 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.
- [37] Zhang Y, Yang L, Dong Q, et al. Fabrication of antibacterial fibrous films by electrospinning and their application for Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) preservation[J]. LWT - Food Science and Technology, 2021, 149:111870.
- [38] 李志鹏, 周晓娇, 张宾, 等. 南美白对虾肉糜低温冻藏过程中蛋白质的特性变化[J]. 现代食品科技, 2021, 37(1):117-124.
- [39] 王蒙, 蓝蔚青, 邱泽慧, 等. 苹果多酚处理后冰鲜大黄鱼贮藏期间品质与水分迁移的变化[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(21):93-101.
- [40] 郭利芳, 吴肖淮, 颜燕, 等. 黑麦多酚对泥鳅冰温贮藏过程中肌原纤维蛋白功能特性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1):312-316.
- [41] 石钢鹏, 阙凤, 高天麒, 等. 速冻方式对冷冻贮藏中大口黑鲈鱼肉蛋白质特性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(20):309-319.
- [42] Zhao J, Lv W, Wang J, et al. Effects of tea polyphenols on the post-mortem integrity of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) fillet proteins[J]. Food Chemistry, 2013, 141(3):2666-2674.

Effect of *Enteromorpha clathrata* polyphenols on qualities of *Micropterus salmoides* during refrigerated storage

HONG Jingxia, HUANG Ping, LI Chao, YANG Wenge*

(College of Food and Pharmaceutical Sciences, Ningbo University, Ningbo 315832, China)

Abstract: Fresh *Micropterus salmoides* (*M. salmoides*) fillets were treated with 4 different concentrations of *Enteromorpha clathrata* polyphenols (ECPs) solutions and stored at 4 °C. Multiple parameters were employed to comprehensively analyze the freshness of *M. salmoides* including the sensory evaluation, total viable count, total volatile basic nitrogen (TVB-N), thiobarbituric acid (TBA) value, myofibrillar protein sulfhydryl content, surface hydrophobicity, muscle color difference and texture profile analysis. The results showed that under the storage condition of 4 °C, ECPs treatment reversed the increased value of TVB-N, TBA value and total viable count during the storage of *M. salmoides*. Furthermore, ECPs prevented the process of protein oxidation and quality deterioration, extending the shelf life. The ECPs with a concentration of 0.20% had the best preservation effect and prolonged the shelf life of *M. salmoides* by 6 days.

Key words: *Micropterus salmoides*; *Enteromorpha clathrata* polyphenols; preservation; quality

(责任编辑 韩 超)