

辐照结合复配保鲜剂对鲈鱼贮藏品质的影响

白 婵¹, 许 萍¹, 黄 敏², 熊光权¹, 王炬光¹, 廖 涛^{1,*}

(1.湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北省农产品辐照工程技术研究中心, 湖北 武汉 430064;

2.四川省原子能研究院辐照保藏四川省重点实验室, 四川 成都 610101)

摘 要:为延长大口黑鲈鱼片货架期, 将新鲜鲈鱼片分别用无菌蒸馏水(对照)、大蒜素、4 kGy ⁶⁰Co-γ射线辐照、大蒜素+辐照、复配保鲜剂A(含0.3 g/100 mL大蒜素、0.3 g/100 mL葡萄籽提取物、1 g/100 mL壳聚糖)+辐照和复配保鲜剂B(含0.3 g/100 mL大蒜素、0.3 g/100 mL茶多酚、1 g/100 mL壳聚糖)+辐照处理后, 于4 °C贮藏15 d, 考察各处理对鲈鱼片菌落总数、汁液流失率、pH值、硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substance, TBARs)值、总挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)含量、感官品质及Ca²⁺-ATPase活性的影响。结果表明:在贮藏初期, 经辐照的鲈鱼TBARs值、TVB-N含量较对照组略高, 辐照加速了脂质氧化;而复配保鲜剂结合辐照处理的鲈鱼能有效减缓脂质氧化, 减少菌落总数, 延缓汁液流失率和pH值的升高, 抑制肌原纤维蛋白Ca²⁺-ATPase活性的下降;贮藏15 d时, 2种复配保鲜剂结合辐照处理的鲈鱼片菌落总数均未达到6 (lg(CFU/g)), 仍符合可食用标准, 而复配保鲜剂B结合辐照处理组具有最好的保鲜效果;鲈鱼经辐照处理后货架期可延长6 d, 而经过复配保鲜剂结合辐照处理均可延长9 d以上, 表明辐照与复配保鲜剂在鲈鱼贮藏中具有协同保鲜作用, 能有效延长鲈鱼货架期。

关键词:辐照; 复配保鲜剂; 鲈鱼; 贮藏品质; 货架期

Effect of Irradiation Combined with Composite Preservatives on the Storage Quality of Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*)

BAI Chan¹, XU Ping¹, HUANG Min², XIONG Guangquan¹, WANG Juguang¹, LIAO Tao^{1,*}

(1.Hubei Engineering Research Center for Farm Products Irradiation, Institute of Agro-Products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China; 2.Irradiation Preservation Technology Key Laboratory of Sichuan Province, Sichuan Institute of Atomic Energy, Chengdu 610101, China)

Abstract: In order to extend the shelf life of largemouth bass fillets, fillet samples were treated with sterile distilled water as a control, allicin (AL), and 4 kGy ⁶⁰Co-γ irradiation alone and in combination with AL, composite preservative A (containing 0.3 g of AL, 0.3 g of grape seed extract and 1 g of chitosan per 100 mL of sample) or preservative B (containing 0.3 g of AL, 0.3 g of tea polyphenols and 1 g of chitosan per 100 mL of sample), separately and stored at 4 °C for 15 days. The total viable count (TVC), juice loss rate, thiobarbituric acid reactive substances (TBARs) value, pH, total volatile basic nitrogen (TVB-N) content, sensory quality and Ca²⁺-ATPase activity of the samples were measured during the storage period. The results indicated that at the early stage of storage, the TBARs and TVB-N value of the irradiation group were higher than those of the control group, showing the acceleration of lipid oxidation by irradiation. Combined treatment of the irradiation with each composite preservative could effectively delay lipid oxidation, reduced TVC, retard the increase in juice loss rate and pH, and inhibit the decrease in myofibrillar protein Ca²⁺-ATPase activity. On day 15, TVC values of the irradiation + composite preservative groups were lower than 6 (lg(CFU/g)), meeting the requirements for consumption. The irradiation combined with preservative B had the best preservation effect. The irradiation alone could extend the shelf life of fish by

收稿日期: 2021-04-12

基金项目: 广州市民生科技攻关计划项目(202002020087); 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-46);

四川省原子能研究院辐照保藏四川省重点实验室开放基金项目(FZBC2018002);

湖北省农业科技创新中心项目(2021-620-000-001-25)

第一作者简介: 白婵(1990—)(ORCID: 0000-0002-1912-1406), 女, 助理研究员, 硕士, 研究方向为水产品保鲜。

E-mail: baichan09@163.com

*通信作者简介: 廖涛(1979—)(ORCID: 0000-0003-0348-5296), 男, 研究员, 博士, 研究方向为水产品加工。

E-mail: 17418431@qq.com



6 days compared to more than 9 days when combined with each preservative, suggesting the irradiation and the composite preservatives in combination had a synergistic effect in maintaining the storage quality and prolonging the shelf life of largemouth bass.

Keywords: irradiation; composite preservative; largemouth bass; storage quality; shelf life

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210412-099

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2021) 06-0050-07

引文格式:

白婵, 许萍, 黄敏, 等. 辐照结合复配保鲜剂对鲈鱼贮藏品质的影响[J]. 肉类研究, 2021, 35(6): 50-56. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210412-099. <http://www.rlyj.net.cn>

BAI Chan, XU Ping, HUANG Min, et al. Effect of irradiation combined with composite preservatives on the storage quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Meat Research, 2021, 35(6): 50-56. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210412-099. <http://www.rlyj.net.cn>

大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 等水产品具有极高的营养价值, 是人类健康饮食的重要部分, 提供了多种重要成分, 如蛋白质、多不饱和脂肪酸、维生素和矿物质^[1]。然而, 与其他水产品一样, 大口黑鲈极易腐败, 在其贮藏期间, 由于微生物作用、氧化作用和酶自溶作用等, 品质会迅速下降^[2]。随着我国淡水养殖产量的升高, 为拓展鲈鱼产品产业链, 除了对鲈鱼进行活销外, 其贮藏保鲜也逐渐成为了研究热点。

辐照作为一种新型保鲜技术, 具有安全、快捷的优点^[3], 对水产品中初始菌落具有较好的抑制作用, 较适用于水产品的保鲜。不同剂量⁶⁰Co- γ 射线辐照对鲈鱼质构特性和感官品质影响不同, 辐照剂量1.55~4.78 kGy时, 鲈鱼能保持较好的感官品质和质构^[4]。不过, 辐照可能会引起脂质氧化^[5]。因此, 可将辐照与具有抗氧化性的复配保鲜剂结合, 在增强保鲜效果的同时减缓脂质氧化。天然保鲜剂, 尤其是含有大蒜素、茶多酚等天然、无毒植物提取剂成分的保鲜剂能较好保证水产品质量, 有效延长水产品货架期^[6-7]。大蒜素是从大蒜中提取的活性物质, 具有较强的抑菌性^[8]。不同质量分数的大蒜提取物对4℃冷藏条件下蔬菜鱼丸的品质变化有较明显影响^[9]。茶多酚是一种天然抗氧化剂, 在水产品保鲜中也有广泛的应用^[10]。不同质量分数的茶多酚对冷藏鲫鱼片具有较大影响, 随着茶多酚添加量的增加, 冷藏鲫鱼片的贮藏效果显著增强, 添加2.5%茶多酚对鲫鱼片的保鲜效果最为显著^[11]。葡萄籽提取物中含有丰富的多酚类物质, 其中原花青素作为一种天然的强效抗氧化剂在食品、药品与化妆品等领域得到了广泛应用^[12]。壳聚糖是由自然界普遍存在的甲壳素在碱性加热条件下脱乙酰基得到的天然高分子物质, 具有无毒、抗菌、抗氧化、成膜性、生物相容性和生物降解性等优点, 在作为食品保鲜剂方面的应用受到广泛关注^[13]。杨丽丽等^[14]研究表明, 壳聚糖涂膜可有效延缓美国红鱼的品质下降。但单一的某种保鲜剂存在抑菌谱窄、用量过多的问题, 因此, 将多种具有不

同效能的天然抑菌保鲜剂复配用于水产品保鲜, 相较于单一保鲜剂, 扩大了杀菌范围, 提高了防腐效果, 已成为新的研究趋势。采用几种天然抑菌抗氧化剂进行复合保鲜, 既可发挥抗氧化抑菌效果, 又可以减少单一保鲜剂的局限性。Li Tingting等^[15]研究0.2%茶多酚、0.2%迷迭香提取物与壳聚糖复配大黄鱼4℃冷藏期间品质的影响, 结果表明, 保质期可延长8~10 d。Hassanzade等^[16]研究2%壳聚糖涂膜和0.1%葡萄籽提取物对虹鳟鱼片的保鲜效果, 结果表明, 含有葡萄籽提取物的壳聚糖涂层有助于保持虹鳟鱼片的感官品质, 延长其在冷藏条件下的货架期。

本课题组前期筛选出的4种天然保鲜剂(大蒜素、葡萄籽提取物、壳聚糖和茶多酚)应用于肉制品已经证实保鲜效果良好, 但是如何将几种天然保鲜液合理复配后与辐照综合应用于鲈鱼肉, 从而提高其安全品质, 目前研究报道较少。本研究以鲈鱼为研究对象, 研究大蒜素、辐照、大蒜素结合辐照、几种复配保鲜液结合辐照处理对冷藏鲈鱼品质的影响, 以为辐照结合复配保鲜剂在鲈鱼保鲜中的应用提供一定的理论依据, 也对辐照与生物保鲜剂在水产品保鲜应用中的相互作用机理进行探索研究。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大口黑鲈(下文统称鲈鱼), 购于湖北省武汉市武昌量贩, 每条体质量约450 g, 体长约28 cm。

大蒜素(呈淡黄色液体状, 纯度20%) 湖北省农科院实验室自提^[17]; 茶多酚和葡萄籽提取物(食品级, 纯度均为98%, 粉末状) 西安汇林生物科技有限公司; 平板计数琼脂培养基(生化试剂) 青岛高科技工业园海博生物科技有限公司; 壳聚糖(食品级, 脱乙酰度>90%) 宁波海鑫有限公司; 氯化钠、三氯乙酸、氯仿、硫代巴

比妥酸、盐酸、无水碳酸钠、氧化镁、硼酸、甲基红、溴甲酚绿、体积分数95%乙醇 中国医药(集团)上海化学试剂有限公司; 超微量 Ca^{2+} -ATPase测试盒 南京建成生物工程研究所。

1.2 仪器与设备

YM50立式压力蒸汽灭菌器 上海三申医疗器械有限公司; DHG-9055A鼓风干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司; HF safe-1200 A2生物安全柜 香港力康公司; HH-S6恒温水浴锅 郑州杜甫仪器厂; KQ5200DE数控超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司; UH5300紫外-可见分光光度计 日立高新技术公司; ME303E电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; DL-1万用电炉 北京中兴伟业仪器有限公司; JP-500恒温培养箱 武汉市武昌试验仪器厂; 3K15台式高速冷冻离心机 美国Sigma公司; GB-1000全自动真空包装机 康贝特食品包装器械有限公司; FE20 pH计 武汉永盛科技有限公司; K9860全自动凯氏定氮仪 济南海能仪器有限公司; SPARK酶标仪 瑞士Tecan仪器公司; VORTEX 3涡旋振荡器 德国IKA集团。

1.3 方法

1.3.1 生物保鲜剂的配制

大蒜素保鲜液: 室温下, 取大蒜素0.3 g, 加入到100 mL容量瓶中, 用无菌蒸馏水定容, 配制质量浓度为0.3 g/100 mL的大蒜素保鲜液。

复配保鲜液A: 室温下, 将壳聚糖1 g溶解于2 mL体积分数1%乙酸溶液, 取大蒜素0.3 g、葡萄籽提取物0.3 g, 将上述物质加入到100 mL容量瓶中, 用无菌蒸馏水定容, 得到复配保鲜液A, 含壳聚糖1 g/100 mL、大蒜素0.3 g/100 mL、葡萄籽提取物0.3 g/100 mL。

复配保鲜液B: 室温下, 将壳聚糖1 g溶解于2 mL体积分数1%乙酸溶液, 取大蒜素0.3 g、茶多酚0.3 g, 将上述物质加入到100 mL容量瓶中, 用无菌蒸馏水定容, 得到复配保鲜液B, 含壳聚糖1 g/100 mL、大蒜素0.3 g/100 mL、茶多酚0.3 g/100 mL。

所有保鲜液均贮存于4 °C冰箱中预冷备用。

1.3.2 鲈鱼原料处理

将新鲜的鲈鱼敲晕, 低温下放血, 去掉内脏、鱼鳞和头部, 取背部肌肉2片, 放入已灭菌的预冷蒸馏水中, 清洗干净, 沥干水分, 切成4 cm×3 cm×1 cm鱼片。按料液比1:4 (m/V) 将鱼片随机放入预冷的大蒜素保鲜液、复配保鲜液A、复配保鲜液B中搅拌均匀, 浸泡30 min, 对照组放入预冷的无菌蒸馏水中同样浸泡30 min。将浸泡完成的鱼肉取出, 用双层沥水篮低温下沥干, 分装于高温蒸煮袋中, 进行真空包装, 包装完成后, 单独辐照组、大蒜素+辐照组、复配保鲜液A+辐照组、复配保鲜液B+辐照组置于泡沫箱内, 内置冰袋, 送

至湖北省农业科学院辐照中心进行剂量4 kGy的 ^{60}Co - γ 射线辐照约12 h。最后, 将所有样品均贮存于4 °C冰箱中。每3 d进行1次取样, 测定相关贮藏保鲜指标。

1.3.3 菌落总数测定

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]方法测定, 在(30±1) °C温度条件下, 按照水产品培养(72±3) h的要求进行培养, 每个梯度实验重复3次。

1.3.4 汁液流失率测定

参考李敬等^[19]的方法。汁液流失率按式(1)计算。

$$\text{汁液流失率}/\% = \frac{m_1 - m_2 - m_3}{m_1 - m_3} \times 100 \quad (1)$$

式中: m_1 为不同处理组包装样品的整体质量/g; m_2 为撕开包装袋后将鱼肉表面汁液用吸水纸吸干后鱼肉的质量/g; m_3 为包装袋质量/g。

1.3.5 硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substance, TBARs)值测定

参考Zhu Yingchun等^[20]的方法, 对其稍作修改。称取5 g用绞肉机搅碎后的鱼肉样品, 加入25 mL质量浓度7.5 g/100 mL的三氯乙酸并振荡摇匀30 min, 过滤后, 取5 mL上清液于比色管中, 并加入5 mL 0.02 mol/L硫代巴比妥酸溶液, 混匀后, 置于水浴锅中反应40 min, 冷却至室温; 取5 mL溶液, 加入5 mL氯仿, 振荡混匀, 静置分层, 取上层粉色溶液于532 nm波长处比色。TBARs值以每千克肌肉样品中所含丙二醛的毫克数表示, 按式(2)计算。

$$\text{TBARs值}/(\text{mg/kg}) = \frac{A_{532 \text{ nm}}}{m} \times 9.24 \quad (2)$$

式中: $A_{532 \text{ nm}}$ 为上清液在532 nm波长处的吸光度; m 为鱼肉样品质量/g; 9.24为由样品稀释倍数和摩尔消光系数得到的常数。

1.3.6 pH值测定

称取10 g用绞肉机搅碎的鱼肉, 加入100 mL新煮沸后冷却的双蒸水, 均质, 并在室温下静置浸渍30 min后, 离心并过滤, 取50 mL上清液测定pH值。

1.3.7 总挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)含量测定

参照GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》^[21]。

1.3.8 感官评价

由6名专业人员参与感官评估, 进行感官评价前先熟悉鲈鱼的感官特征。采用5分制进行评估, 以鱼肉的色泽、气味、弹性和肌肉组织状态为评分对象。非常理想为5分, 可取为4分, 可接受为3分, 无法接受为2分, 完全无法接受为1分, 各指标权重均

设置为25%，评定标准见表1，总分20分，12分为不能接受的界限^[22]。

表1 鲈鱼片感官评定标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of largemouth bass fillets

等级及分值	色泽	气味	肌肉组织	弹性
非常理想 (5分)	色泽正常，肌肉切面富有光泽	鲈鱼片固有香味浓郁	肌肉组织致密光滑，纹理很清晰	坚实有弹性，手压后凹陷立即消失
可取 (4分)	色泽正常，肌肉切面有光泽	固有香味较浓郁	肌肉组织紧密，纹理较清晰，有少量汁液流失	坚实有弹性，手指压后凹陷较快消失
可接受 (3分)	色泽稍暗淡，肌肉切面稍有光泽	固有香味清淡，略带异味	肌肉组织不紧密，但不松散，汁液流失较明显	稍有弹性，手指压后凹陷消失较慢
无法接受 (2分)	色泽较暗淡，肌肉切面无光泽	固有香味消失，有腥臭味或氨味	表面松软发黏，汁液流失较多，汁液稍浑浊	稍有弹性，手指压后凹陷消失很慢
完全无法接受 (1分)	色泽暗淡，肌肉切面无光泽	有强烈腥臭味或氨味	肌肉组织不紧密，表面发黏，汁液流失多而浑浊	无弹性，手指压后凹陷不消失

1.3.9 肌原纤维蛋白Ca²⁺-ATPase活性测定

参照林婉玲等^[23]的方法，根据试剂盒说明书测定肌原纤维蛋白的Ca²⁺-ATPase活性。

1.4 数据处理

每个实验设3个重复，取平均值。采用Origin 8.5软件进行图形绘制，采用SAS 8.1软件进行方差分析，显著性水平设置为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同保鲜处理对鲈鱼菌落总数的影响

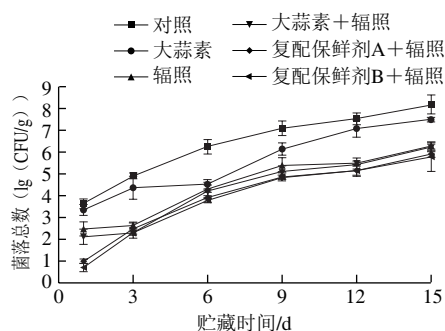


图1 不同保鲜处理对4℃贮藏鲈鱼菌落总数的影响

Fig. 1 Effects of different preservation treatments on the total number of colonies in perch stored at 4 °C

鱼类的腐败变质多数是由微生物引起，菌落总数是微生物生长繁殖的直观指标，可为水产品的品质管理提供直接依据。由图1可知，在贮藏初期，经过辐照处理的鲈鱼初始菌落总数均低于3 (lg (CFU/g))，表明辐照能有效抑制微生物的生长，对鲈鱼具有良好的减菌作用，这与鞠健等^[24]的报道一致。随着贮藏时间延长，各组样品菌落总数均呈上升趋势。贮藏6 d时，对照组菌落总数达6.25 (lg (CFU/g))，超过6 (lg (CFU/g))的国家标准限量，而其他各处理组均低于对照组，其中大蒜素处理组较对照组低1.74 (lg (CFU/g))，

且在国标规定的范围内，表明大蒜素处理可明显抑制微生物生长，大蒜素与细菌中某些重要酶发生化学反应，从而抑制细菌体进行正常的氧化还原反应，使病菌致死。贮藏9 d时，大蒜素处理组菌落总数高于国标限量，而此时，所有经过辐照处理的样品均在可食用质量标准范围内，且菌落总数上升速率缓慢，直到贮藏12 d仍然符合可食用标准。辐照使微生物内部结构发生改变，使其受到不可恢复的破坏，从而损害细胞内的遗传物质，阻止生物体继续存活，达到杀菌效果。贮藏15 d时，复配保鲜剂A+辐照组的菌落总数为5.91 (lg (CFU/g))，复配保鲜剂B+辐照组的菌落总数为5.79 (lg (CFU/g))，仍然满足可食用要求，表明复配保鲜液结合辐照至少可以延长鲈鱼保质期9 d。复配保鲜剂A/B由大蒜素、葡萄籽提取物、茶多酚和壳聚糖按比例复配而成。大蒜素对多种微生物均有强烈的抑制效果，壳聚糖则对大肠杆菌等多种微生物有较强的抑制作用，茶多酚和葡萄籽提取物2种植物提取物具有良好的抗氧化性和抑菌性，对食品中常见的致病菌均有抑制作用。几种保鲜剂按一定比例复配，可表现出协同增效作用。贮藏15 d时，复配保鲜剂B+辐照组较复配保鲜剂A+辐照组菌落总数低0.12 (lg (CFU/g))，说明茶多酚与葡萄籽提取物相比有更好的抑菌性。朱军莉等^[25]研究发现，相同质量浓度茶多酚对铜绿假单胞菌生物被膜抑制率高于葡萄籽提取物，质量浓度为8 mg/mL时，茶多酚对生物被膜的抑制率达88%，而葡萄籽提取物的抑制率仅为66%，与本研究结果一致。

2.2 不同保鲜处理对鲈鱼汁液流失率的影响

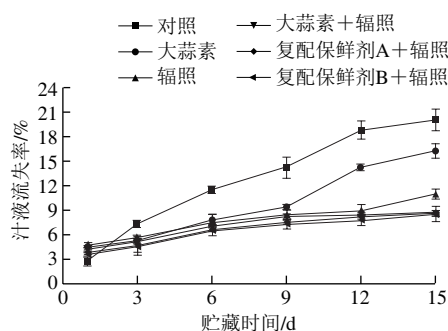


图2 不同保鲜处理对4℃贮藏鲈鱼汁液流失率的影响

Fig. 2 Effects of different preservation treatments on juice loss rate of perch stored at 4 °C

水产品贮藏中会发生汁液流失的情况，汁液流失的多少与产品品质息息相关^[26]。由图2可知，对照组在整个贮藏过程中汁液流失较快，贮藏1~15 d，汁液流失率增加17.3%。贮藏1 d时，各处理组较对照组均有所增加，可能是因为经过保鲜剂和辐照处理后，鲈鱼肌肉组

织表面暂时失去平衡, 汁液流出增加。随着贮藏时间的延长, 各处理组的汁液流失率均明显低于对照组, 经过辐照处理的样品在贮藏结束时仍明显低于对照组和大蒜素处理组。贮藏15 d时, 辐照组、大蒜素+辐照组、复配保鲜剂A+辐照组、复配保鲜剂B+辐照组的汁液流失率分别较对照组低9.11%、11.31%、11.48%和11.56%。因此, 辐照结合2种大蒜素复配保鲜剂均能有效减缓汁液流失。辐照抑制了鱼肉微生物的生长, 减缓了腐败和营养成分流失, 因此, 降低了汁液流失率。复配保鲜剂的加入可进一步协同灭菌, 使鱼肉肌肉组织分解和蛋白质变性速率降低, 延缓汁液流失, 较好保证产品质量。壳聚糖在鱼肉表面形成膜, 可作为微生物生长的屏障, 具有减少水分损失、防止鱼类脂质氧化和抑制微生物生长的防腐功效。陈达佳等^[27]研究发现, 茶多酚改性胶原蛋白-壳聚糖复合膜不仅能降低水分子的蒸发量, 而且能避免外界环境的污染。

2.3 不同保鲜处理对鲈鱼TBARs值的影响

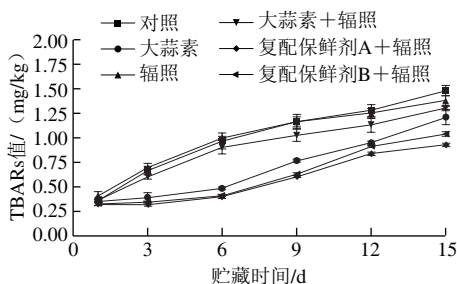


图3 不同保鲜处理对4 °C贮藏鲈鱼TBARs值的影响

Fig. 3 Effects of different preservation treatments on TBARs value of perch stored at 4 °C

TBARs值常被用作快速评判脂肪氧化程度的指标, TBARs值越低, 证明脂肪氧化程度越低, 产品质量越好^[28]。这是由于脂质降解产物会导致鲜鱼在贮藏过程中产生异味。由图3可知, 随着贮藏时间延长, 对照组和各个处理组的鲈鱼TBARs值均呈现上升趋势。贮藏6 d以内, 辐照处理的鲈鱼TBARs值较对照组略高, 说明辐照在一定程度上使得脂肪氧化速率加快, 这可能是因为辐照使得鲈鱼体内水分子产生羟基, 使得体系的氧化程度变快。而大蒜素+辐照组、复配保鲜剂结合辐照处理组的TBARs值均低于单独辐照组和对照组, 且在整个贮藏过程中, TBARs值增加速率较慢, 说明复配保鲜剂具有良好的抗氧化效果, 能防止脂质氧化。茶多酚和葡萄籽提取物均含有酚羟基, 可提供活性质子, 当油脂氧化产生过氧化物自由基时, 酚羟基上的供氢体能将其捕获, 使连锁反应中断或延缓, 阻止氧化反应的发生, 达到抗氧化目的, 作为肉类保鲜剂时均具有强抗氧化性^[29-30], 使得复配保鲜剂能有效延缓脂肪氧化, 协同辐照对鲈鱼的抑菌效果, 不仅可以减缓鲈鱼脂质氧化速率, 还可以增强抑菌效果, 达到延长货架期的目的。

2.4 不同保鲜处理对鲈鱼pH值的影响

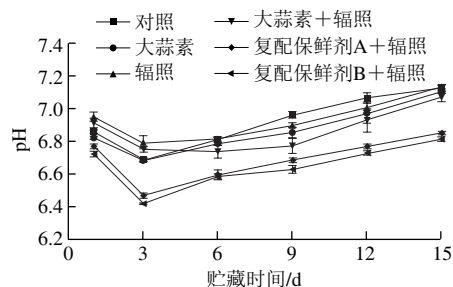


图4 不同保鲜处理对4 °C贮藏鲈鱼pH值的影响

Fig. 4 Effects of different preservation treatments on pH value of perch stored at 4 °C

水产品pH值的变化与微生物及腐败程度息息相关。由图4可知, 随着贮藏时间的延长, 对照组和所有处理组pH值均呈现先降低后升高的趋势。原因主要是由于鱼死后初期, 肌体无氧呼吸产生乳酸等酸性物质, 导致pH值下降, 随着贮藏时间的延长, 鱼体内微生物不断分解蛋白质产生胺类等碱性物质, 如二甲胺、三甲胺等, pH值则会有所上升, 且pH值越高表明鱼肉腐败程度越高^[31]。在贮藏初期, 与对照组相比, 辐照组的pH值略有上升, 这可能是由于辐照会对脂肪的氧化造成影响, 生成碱性含氮物质^[32], 但复配保鲜剂结合辐照能有效降低pH值, pH值回升时间较晚且速率缓慢, 且在整个贮藏期内均保持良好的品质, 在贮藏终点的pH值仍然低于7。这说明复配保鲜剂结合辐照适用于鲈鱼在4 °C条件下的贮藏保鲜, 能够有效延缓鲈鱼的自溶作用, 保持优良的新鲜度, 实现延长贮藏期的作用。辐照及几种复配保鲜剂均具有较强的抑菌杀菌作用, 能够有效控制微生物的增殖水平, 防止细菌污染, 达到良好的防腐保鲜效果。

2.5 不同保鲜处理对鲈鱼TVB-N含量的影响

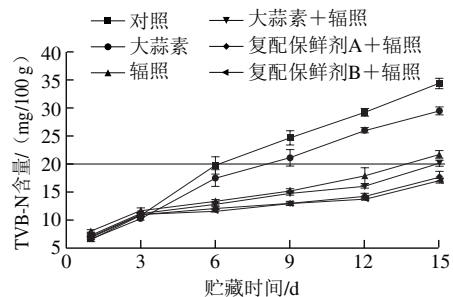


图5 不同保鲜处理对4 °C贮藏鲈鱼TVB-N含量的影响

Fig. 5 Effects of different preservation treatments on TVB-N content of perch stored at 4 °C

食品贮藏过程中, 由于微生物的作用, 会产生蛋白质和非蛋白质氮化合物的降解。TVB-N是指示挥发性氮含量的指标, 它与水产品的新鲜度密切相关^[33-34]。由图5可知, 在整个贮藏期内, 各组的TVB-N含量均呈现上

升趋势, 对照组在贮藏6 d达到水产品二级鲜度, 而经过辐照、大蒜素+辐照、复配保鲜剂A+辐照、复配保鲜剂B+辐照处理的鲈鱼TVB-N含量在贮藏12 d时分别为17.89、15.93、14.17、13.70 mg/100 g, 仍然保持二级鲜度, 直到贮藏15 d, 大蒜素+辐照处理的鲈鱼才到达不可食用的标准^[35], 而此时, 复配保鲜剂A+辐照、复配保鲜剂B+辐照处理的鲈鱼TVB-N含量仍然低于20 mg/100 g, 这表明复配保鲜剂结合辐照处理能有效抑制微生物的生长及酶的活性, 从而减缓TVB-N含量的上升, 延长鲈鱼货架期至少9 d。但2种复配保鲜剂结合辐照处理对TVB-N含量的影响差异不显著。可能是由于茶多酚、葡萄籽提取物可以抑制微生物的生长繁殖, 导致其对鱼肉蛋白质化合物的分解速率减慢, 从而使得胺类化合物减少, 能够有效抑制鱼肉TVB-N含量的增加。

2.6 不同保鲜处理对鲈鱼感官评价的影响

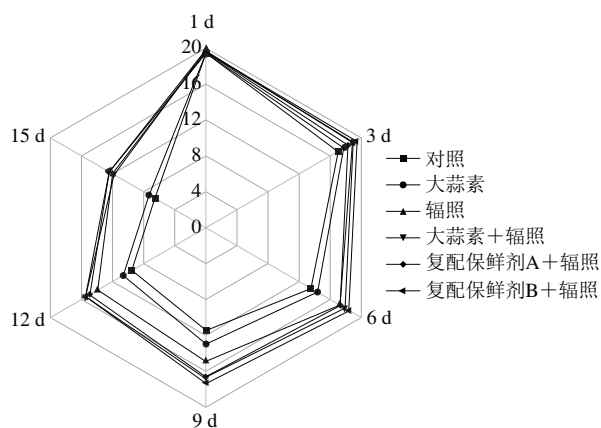


图6 不同保鲜处理对4 °C贮藏鲈鱼感官评价的影响

Fig. 6 Effects of different preservation treatment on sensory evaluation of perch stored at 4 °C

感官是评价鱼类品质变化最直观的参数。由图6可知, 贮藏1 d, 与对照组相比, 处理组的鲈鱼在感官品质上并无明显差别。随着贮藏时间的延长, 对照组和处理组样品感官评分均降低, 而对照组降低速率最快, 贮藏9 d时即低于12分, 达到感官不可接受值。所有经过辐照处理的样品, 在贮藏12 d时, 仍然远远高于对照组。经过复配保鲜剂结合辐照处理的样品贮藏15 d时感官评分仍然高于12分, 而只经过辐照处理的样品此时已经低于12分。因此, 辐照可以保持鲈鱼的感官品质, 且复配保鲜剂结合辐照处理会使得感官品质保持时间更长。蛋白氧化的过程通常会导致肌肉蛋白功能特性下降、失水率增加、凝胶性和乳化稳定性减弱, 这些变化进而对肉和肉制品的感官品质产生负面影响。茶多酚、葡萄籽提取物均属于强抗氧化剂, 延缓了鱼肉脂肪氧化, 而辐照及其他复配保鲜剂还有效抑制了微生物的生长, 使得复配保鲜剂结合辐照处理组鱼片具有较好的感官品质。复配保鲜剂结合辐

照处理可有效保持鲈鱼品质, 货架期延长9 d以上, 与菌落总数、TVB-N含量分析得出的结果一致。

2.7 不同保鲜处理对鲈鱼肌原纤维蛋白Ca²⁺-ATPase活性的影响

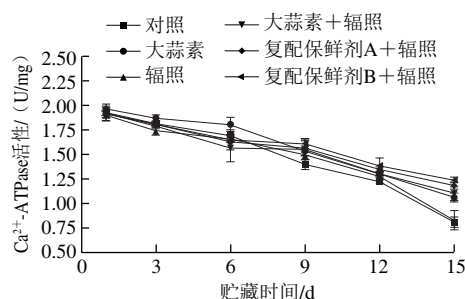


图7 不同保鲜处理对4 °C贮藏鲈鱼Ca²⁺-ATPase活性的影响

Fig. 7 Effects of different preservation treatment on Ca²⁺-ATPase activity in perch stored at 4 °C

构成肌肉蛋白的主要成分是肌原纤维蛋白, 水产品品质的变化是由肌原纤维蛋白结构变化导致的。ATP酶活性的变化可以反映出肌肉的变化情况^[36]。由图7可知, 在贮藏初期, 各组Ca²⁺-ATPase活性差异不显著, 随着贮藏时间的延长, 经过辐照结合保鲜剂处理的鲈鱼, 肌原纤维蛋白Ca²⁺-ATPase活性明显高于对照组和辐照组, 这是由于辐照虽然可以减少鲈鱼的初始菌落, 但也会加快脂质氧化, 从而使得蛋白质分解较多, 造成酶活性的降低, 加入茶多酚、葡萄籽提取物、大蒜素及壳聚糖等生物保鲜剂后, 不仅具有协同增效的抑菌作用, 还具有抗氧化作用, 使得微生物生长进一步受到抑制^[37], 促使鲈鱼肌原纤维蛋白Ca²⁺-ATPase活性下降速度减慢, 从而达到保持鲈鱼品质的作用。辐照可抑制微生物的繁殖, 降低微生物对鱼肉氢键的破坏力, 加上天然保鲜液的协同作用, 减缓了鲈鱼肉肌原纤维蛋白的氧化速率, 维护了蛋白质的稳定性, 延缓了Ca²⁺-ATPase活性的下降, 维持鲈鱼片良好的食用品质。

3 结论

对不同处理条件下4 °C贮藏鲈鱼的菌落总数、TBARs值、TVB-N含量、汁液流失率、pH值、感官评价和肌原纤维蛋白Ca²⁺-ATPase活性进行测定, 结果表明, 经过复配保鲜剂与辐照结合处理的鲈鱼保鲜效果最好, 综合抑菌效果和抗氧化效果, 复配保鲜剂B结合辐照处理对鲈鱼具有更好的保鲜作用, 有效抑制了冷藏鲈鱼肉中微生物的生长繁殖, 延缓了鲈鱼贮藏过程中汁液流失率、TVB-N含量的上升, 减缓了肌原纤维蛋白Ca²⁺-ATPase活性下降, 有效延缓了鲈鱼贮藏过程中肌肉蛋白品质的下降, 延长货架期9 d以上。辐照处理可以延长鲈鱼的保质期, 但同时也会加速脂质氧化, 而与具有

抗氧化效果的茶多酚、葡萄籽提取物等生物保鲜剂的复配使用,降低了辐照对鱼肉产生的脂质氧化作用,而加强了抑菌效果,在鲈鱼保鲜中具有协同增效作用,较应用单一大蒜素、辐照及大蒜素复配保鲜液具有更好的保鲜效果,为辐照在鲈鱼贮藏保鲜中与其他保鲜剂复配使用以获得更长货架期提供了数据支撑,有较好的应用前景。

参考文献:

- [1] HASSOUN A, SAHAR A, LAKHAL L, et al. Fluorescence spectroscopy as a rapid and non-destructive method for monitoring quality and authenticity of fish and meat products: impact of different preservation conditions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 103: 279-292. DOI:10.1016/j.lwt.2019.01.021.
- [2] MUTWAKIL M Z. Meat spoilage mechanisms and preservation techniques: a critical review[J]. American Journal of Agricultural and Biological Science, 2011, 6(4): 486-510. DOI:10.3844/ajabssp.2011.486.510.
- [3] ROBERTS P B. Food irradiation is safe: half a century of studies[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2014, 105: 78-82. DOI:10.1016/j.radphyschem.2014.05.016.
- [4] 钮晓艳, 王玮琼, 陈玉霞, 等. ^{60}Co - γ 辐照剂量对鲈鱼感官和质构的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(5): 202-206; 167. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.5.032.
- [5] HAM Y K, KIM H W, HWANG K E, et al. Effects of irradiation source and dose level on quality characteristics of processed meat products[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2017, 130: 259-264. DOI:10.1016/j.radphyschem.2016.09.010.
- [6] BRANNAN R G, MAH E. Grape seed extract inhibits lipid oxidation in muscle from different species during refrigerated and frozen storage and oxidation catalyzed by peroxynitrite and iron/ascorbate in a pyrogallol red model system[J]. Meat Science, 2007, 77: 540-546. DOI:10.1016/j.meatsci.2007.05.001.
- [7] AHN D U, OLSON D G, LEE J I, et al. Packaging and irradiation effects on lipid oxidation and volatiles in pork patties[J]. Journal of Food Science, 1998, 63(1): 15-19. DOI:10.1111/j.1365-2621.1998.tb15665.x.
- [8] MARCHESI A, BARBIERI R, SANCHES-SILVA A, et al. Antifungal and antibacterial activities of allicin: a review[J]. Trends in Food Science and Technology, 2016, 52: 49-56. DOI:10.1016/j.tifs.2016.03.010.
- [9] 李婷婷, 励建荣, 胡文忠, 等. 大蒜提取物对冷藏蔬菜鱼丸品质的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(16): 280-285.
- [10] 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. DOI:10.1016/j.lwt.2018.01.056.
- [11] 田光娟, 李喜宏, 韩聪聪, 等. 茶多酚对冷藏鲫鱼片品质的影响[J]. 中国食品添加剂, 2017(10): 112-116. DOI:10.3969/j.issn.1006-2513.2017.10.013.
- [12] 吴宁, 金城, 黄菊. 葡萄籽提取物对香菇保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(8): 299-302.
- [13] 胡晓亮, 周国燕. 壳聚糖及其衍生物在果蔬贮藏保鲜中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(3): 146-150.
- [14] 杨丽丽, 郝晗, 张璇, 等. 壳聚糖浓度对原位合成纳米SiO₂壳聚糖涂膜性能的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(5): 85-92. DOI:10.16429/j.1009-7848.2019.05.012.
- [15] LI Tingting, HU Wenzhong, LI Jianrong, 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. DOI:10.1016/j.foodcont.2011.10.029.
- [16] HASSANZADE P, MORADI M, VAEZI N, et al. Effects of chitosan edible coating containing grape seed extract on the shelf life of refrigerated rainbow trout fillet[J]. Veterinary Research Forum, 2018, 9(1): 73-79.
- [17] 许萍, 黄敏, 廖涛, 等. Box-Behnken设计摇床辅助响应面优化大蒜素提取工艺[J]. 食品科技, 2019, 44(9): 270-276.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB 4789.2—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 12.
- [19] 李敬, 王小瑞, 刘红英, 等. 气调包装对大菱鲆的冷藏保鲜效果[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 313-317. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201622048.
- [20] ZHU Yingchun, MA Lizhen, YANG Hua, et al. Super-chilling (-0.7 °C) with high-CO₂ packaging inhibits biochemical changes of microbial origin in catfish (*Clarias gariepinus*) muscle during storage[J]. Food Chemistry, 2016, 206: 182-190. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.03.053.
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定: GB 5009.228—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 8.
- [22] HAO Ruoyi, LIU Yang, SUN Liming, et al. Sodium alginate coating with plant extract affected microbial communities, biogenic amine formation and quality properties of abalone (*Haliotis discus hannai* Ino) during chill storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 81: 1-9. DOI:10.1016/j.lwt.2017.03.031.
- [23] 林婉玲, 杨贤庆, 李来好, 等. 浸渍冻结对调理草鱼冻藏过程中肌原纤维蛋白特性的影响[J]. 南方水产科学, 2016(3): 67-73. DOI:10.3969/j.issn.2095-0780.2016.03.009.
- [24] 鞠健, 胡建中, 廖李, 等. Nisin结合辐照处理对冷藏鲈鱼品质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(21): 280-284. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.21.045.
- [25] 朱茉莉, 王慧敏, 王桂洋, 等. 茶多酚和葡萄籽提取物对假单胞菌抗生物被膜的抑制作用[J]. 中国食品学报, 2016, 16(1): 84-90. DOI:10.16429/j.1009-7848.2016.01.012.
- [26] QIU Xujian, CHEN Shengjun, LIU Guangming, et al. Quality enhancement in the Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) fillets stored at 4 °C by chitosan coating incorporated with citric acid or licorice extract[J]. Food Chemistry, 2014, 162: 156-160. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.04.037.
- [27] 陈达佳, 赵利, 袁美兰, 等. 茶多酚改性胶原蛋白-壳聚糖复合膜工艺优化[J]. 食品科学, 2014, 35(24): 63-68. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201424012.
- [28] 郭丽, 丛萃芳, 王鹏, 等. 透明质酸涂膜结合微冻贮藏对鲜切鲤鱼保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(5): 253-258. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2019.05.042.
- [29] YANG C S, LAMBERT J D, SANG S M. Antioxidative and anti-carcinogenic activities of tea polyphenols[J]. Archives of Toxicology, 2009, 83: 11-21. DOI:10.1007/s00204-008-0372-0.
- [30] MIELNIK M B, OLSEN E, VOGT G, et al. Grape seed extract as antioxidant in cooked, cold stored turkey meat[J]. LWT-Food Science and Technology, 2006, 39(3): 191-198. DOI:10.1016/j.lwt.2005.02.003.
- [31] RIEBROY S, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Effect of iced storage of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) on the chemical composition, properties and acceptability of Som-fug, a fermented Thai fish mince[J]. Food Chemistry, 2007, 102(1): 270-280. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.05.017.
- [32] 鞠健, 汪超, 廖李, 等. 低剂量辐照对冷藏期间鲈鱼品质的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(7): 157-162.
- [33] SILBANDE A, CORNET J, CARDINAL M, et al. Characterization of the spoilage potential of pure and mixed cultures of bacterial species isolated from tropical yellowfin tuna (*Thunnus albacares*)[J]. Journal of Applied Microbiology, 2018, 124(2): 559-571. DOI:10.1111/jam.13663.
- [34] MOUSAKHANI-GANJEH A, HAMDAMI N, SOLTANIZADEH N. Impact of high voltage electric field thawing on the quality of frozen tuna fish (*Thunnus albacares*)[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2016, 36: 42-47. DOI:10.1016/j.ifset.2016.05.017.
- [35] OCAÑO-HIGUERA V M, MAEDA-MARTÍNEZ A N, MARQUEZ-RÍOS E, et al. Freshness assessment of ray fish stored in ice by biochemical, chemical and physical methods[J]. Food Chemistry, 2011, 125: 49-54. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.08.034.
- [36] 王发祥, 张付兰, 刘永乐, 等. 草鱼冷藏过程中肌原纤维蛋白的变化[J]. 食品工业科技, 2015, 36(18): 82-86. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.18.008.
- [37] 吕卫金, 赵进, 汪金林, 等. 茶多酚延缓冷藏大黄鱼肌原纤维蛋白变性降解机理研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(1): 60-67.