

冷藏过程中一氧化碳对白乌鱼肉品质的影响

张龙翼, 张崧, 张鹏程, 李远桥, 田茂均, 王晓林, 柯欢, 熊伟

(成都大学肉类加工四川省重点实验室, 四川成都 610106)

摘要: 为了使白乌鱼肉在冷藏期间呈现并保持良好色泽, 本文初步探讨了一氧化碳(CO)对白乌鱼肉色泽及其他品质的影响。通过分析 CO 处理对白乌鱼肉颜色、菌落总数、pH、失水率、硬度、咀嚼性、TBA 和感官品质的影响, 发现随着 CO 处理天数的增加, 鱼肉的 a^* 值呈先显著上升 ($p < 0.05$) 后下降的趋势, 鱼肉贮藏 13 d 时的 a^* 值为 8.66, 比新鲜白乌鱼肉的 a^* 值提高了 18.79%; 随着 CO 处理天数的增加, 白乌鱼肉的菌落总数、失水率和 TBA 值呈整体上升趋势, pH 值呈先下降后上升趋势, 硬度、咀嚼性和感官评分整体呈下降趋势。因此, CO 处理白乌鱼肉, 可使鱼肉在冷藏期间保持良好的红色, 但 CO 处理对鱼肉在冷藏期间的贮藏稳定性和其他品质无明显影响。因此, 用 CO 处理白乌鱼肉能有效保持白乌鱼肉的色泽。

关键词: 白乌鱼肉; 色泽; 品质; 冷藏

文章编号: 1673-9078(2019)03-95-100

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.3.015

Effect of Carbon Monoxide Treatment on Quality of White Mullet Fish (*Opniocephalus argus* var. *kimnra*) during Storage

ZHANG Long-yi, ZHANG Yin, ZHANG Peng-cheng, LI Yuan-qiao, TIAN Mao-jun, WANG Xiao-lin, KE Huan, XIONG Wei

(Key Laboratory for Meat Processing of Sichuan Province Chengdu University, Chengdu 610106, China)

Abstract: To keep white mullet fish in a red color during cold storage, the effect of carbon monoxide (CO) treatment on the color and other qualities of white mullet meat was discussed preliminarily. By analyzing the effects of CO treatment on the color, total bacterial colonies, pH, water loss rate, texture profiles, TBA and sensory quality of the white mullet fish, it was found that with the increasing time of CO treatment, the a^* value of the white mullet fish increased significantly ($p < 0.05$) at first and then decreased. The a^* value of white mullet fish meat stored for 13d was 8.66, and 18.79% higher than that of fresh white mullet fish. When the time of CO treatment increased, the total number of bacteria, water loss rate and TBA value increased as a whole, while the pH value decreased first and then increased, the hardness, chewiness and sensory score decreased as a whole. Therefore, CO treatment can make the white mullet fish to be kept in good red color during cold storage, but it has no obvious influence on the storage stability and other quality of the white mullet fish during cold storage. Therefore, using CO to treat the white mullet fish can maintain the red color of the white mullet fish.

Key words: white mullet fish; color; quality; refrigeration

色泽是鉴别水产品品质优劣的重要手段, 为了最大程度保持水产品的色泽, 有关水产品发色及护色方法的研究近年来备受水产加工业的关注^[1]。一氧化碳(Carbon monoxide, CO)可以使血红蛋白变成亮红色^[2]。原因在于其具有还原性, 当与肉中的肌红蛋白结合后形成一氧化碳肌红蛋白后, 在肉品贮藏过程中可防止血红蛋白中的 Fe^{2+} 向 Fe^{3+} 转化, 进而阻止肉品

发生褐变^[2]。因为该方法与亚硝酸盐类护色方法相比, 具有操作方便、无化学残留等优势, 近年来在水产品加工中逐渐开始应用。

Kowalski 等^[3]采用烟熏法, 利用其中的 CO 对冷冻水产品进行熏制发色。Kristinsson 等^[4]采用 4%、18%、100% 的 CO 和过滤烟处理黄鳍金枪鱼, 与未处理样品相比, 未处理样品的肌肉蛋白可溶性明显下降, 而经 CO 处理的样品下降幅度相对减少, 这表明 CO 处理对肌肉蛋白具有一定的保护作用。郝淑贤等^[5]以罗非鱼为研究对象, 分析了一氧化碳发色处理对鱼片背部暗色肉贮藏过程中色泽的影响, 发现 CO 可明显提高鱼片的红色值(a^*)。

白乌鱼(*Opniocephalus argus* var. *Kimnra*)是我国

收稿日期: 2018-11-01

基金项目: 国家现代农业产业技术体系四川创新团队

作者简介: 张龙翼(1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 畜产品加工与保藏

通讯作者: 张崧(1981-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 畜产品加工与保藏

自主培育的珍稀淡水鱼品种,其肉质细嫩,营养丰富,除具有较高的食用价值外,还具有一定的药用和观赏价值,未来市场潜力巨大^[6]。但国内外有关其加工护色的研究较少。颜色是决定消费者购买行为的一个非常重要的因素,消费者一般认为亮红色的肉是新鲜的、卫生的并且是可食安全的^[7]。为了使白乌鱼肉在零售期间呈现并保持良好的色泽,本文初步探讨了一氧化碳对白乌鱼肉色泽的影响。

1 材料与方法

1.1 仪器与材料

1.1.1 实验设备

实验所用的主要仪器有实验室自制色差仪^[8,9];LE104E/02 电子天平,梅特勒-托利多(上海)仪器有限公司;PGJ-360 绞碎破骨机,廊坊市惠友机械有限公司;PHS-3E 计,上海仪电科学仪器股份有限公司;TA.XT Plus 质构仪,英国 SMS 公司;无菌操作台,苏州市金净净化设备科技有限公司;SPX-80 型生化培养箱,北京科伟永兴仪器有限公司;标准型超纯水机,四川沃特水处理设备有限公司;UV756CRT 紫外可见分光光度计,上海佑科仪器仪表有限公司。

1.1.2 实验材料

新鲜白乌鱼购自成都市龙泉驿区三联汽车城水产市场;CO 购自成都科源气体有限公司;三氯乙酸(分析纯)购自成都市科隆化学品有限公司;2-硫代巴比妥酸(生物试剂)购自上海科丰实业有限公司;平板计数琼脂购自杭州微生物试剂有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原料预处理

将白乌鱼去头,去尾,去鳞,去内脏,清洗,而后切成 2 cm×2 cm×1 cm 的肉块。采用 CO 浓度为 0.3125 mg/cm² 对白乌鱼肉肉块进行护色^[5]。随后将这些鱼肉置于 4 ℃ 条件下冷藏,每隔 1 d、2 d、4 d、7 d、10 d、13 d 进行鱼肉各项指标的测定分析。

1.2.2 色差

用实验室自制色差计测定样品的 L*、a*、b* 值,每个样品做 6 次平行测定。根据 L*、a*、b* 的值,按照下列算式计算白度^[10]:

$$W=100-[(100-L^*)^2+a^{*2}+b^{*2}]^{0.5}$$

式中:L-表示明度;a*、b*-表示色度;a*正值-表示偏红,负值表示偏绿;b*正值-表示偏黄,负值表示偏蓝。

1.2.3 菌落总数

按照 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》测定^[11]。

1.2.4 pH 的测定

按照 GB 5009.237-2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》测定^[12]。

1.2.5 失水率

参考文献^[10]的加压滤纸法。将鱼肉块放在上四层下四层的滤纸中,在 20.0 kg 压力下保持 5 min,加压前后分别称重,记录加压前质量(W₀)和加压后质量(W),则加压条件下的保水性可以用加压失水率表示,用下式计算:

$$\text{加压失水率}(\%)=(W_0-W)/W_0 \times 100\%$$

1.2.6 硬度和咀嚼性

参考文献^[13]的方法,用 TA.XT Plus 型质构仪选择探头 P/36R 进行质构特性测定,设置检测样品长 2 cm、宽 2 cm、高 1 cm,测前速度 1 mm/s,检测速度 5 mm/s,测后速度 5 mm/s,下压 40%,两次压缩时间间隔 5 s。所测 TPA 参数为硬度和咀嚼性。

1.2.7 硫代巴比妥酸

参考文献^[14]的方法,称取样品 5 g(精确到 0.01 g)置入 100 mL 具塞锥形瓶中,准确加入 50 mL 三氯乙酸混合液,摇匀,加塞密封,置于恒温振荡器上 50 ℃ 振摇 30 min,取出,冷却至室温,用双层定量慢速滤纸过滤 2 次。准确移取上述滤液 5 mL 置于 25 mL 具塞比色管内,另取 5 mL 三氯乙酸混合液作为样品空白,分别加入 5 mL 硫代巴比妥酸(TBA)水溶液,加塞,混匀,置于 90 ℃ 水浴内反应 40 min,取出,冷却至室温。分别在 532 nm 和 600 nm 处进行比色测定,TBA 以每 100 g 白乌鱼肉中丙二醛的毫克数来表示,计算公式为:

$$(A_{532}-A_{600})/155 \times (1/10) \times 72.6 \times 100$$

1.2.8 感官评价

评定人员由 6 名经过专门训练的人员组成,具体评定标准如表 1。实验采用加权评分法,各指标权重设置为:气味 50%、组织形态 50%。

表 1 感官评价标准

Table 1 Standard of sensory evaluation		
分数/分	气味	肌肉形态
8~10	清新鱼鲜味	致密完整,纹理清晰
6~8	较清新鱼鲜味变淡	紧密,纹理较清晰
4~6	鱼鲜味消失腥味凸显	不紧密,纹理不清晰
2~4	鱼鲜味消失有腥臭味	不紧密,局部松散
0~2	有强烈腥臭味或氨味	不紧密,松散

1.3 数据分析

利用 Excel 2016 进行作图,SPSS 9.0 进行数据统

计分析。

2 结果与讨论

2.1 CO 对白乌鱼肉颜色的影响

颜色是影响消费者购买肉品的重要因素,亮红色的肉一般认为是新鲜卫生的^[7]。为此,为了使白乌鱼肉在销售期间保持良好的鲜红色,本文采用 CO 对白乌鱼肉进行护色,所得鱼肉的颜色变化见图 1。由图 1 可知,随着 CO 处理天数的增加,白乌鱼肉的 a^* 、 L^* 、 W 值呈现先显著 ($p<0.05$) 上升后下降的趋势; b^* 值总体无显著 ($p>0.05$) 变化。这与郝淑贤等^[5]的研究结果相符合。新鲜白乌鱼肉的 a^* 值为 7.29,当 CO 处理 4 d 时,白乌鱼肉的 a^* 值最大,其值为 16.37,比新鲜白乌鱼肉的 a^* 值高 55.47%;当 CO 处理天数为 13 d 时,白乌鱼肉的 a^* 值为 8.66,仍然高于新鲜白乌鱼肉的 a^* 值。

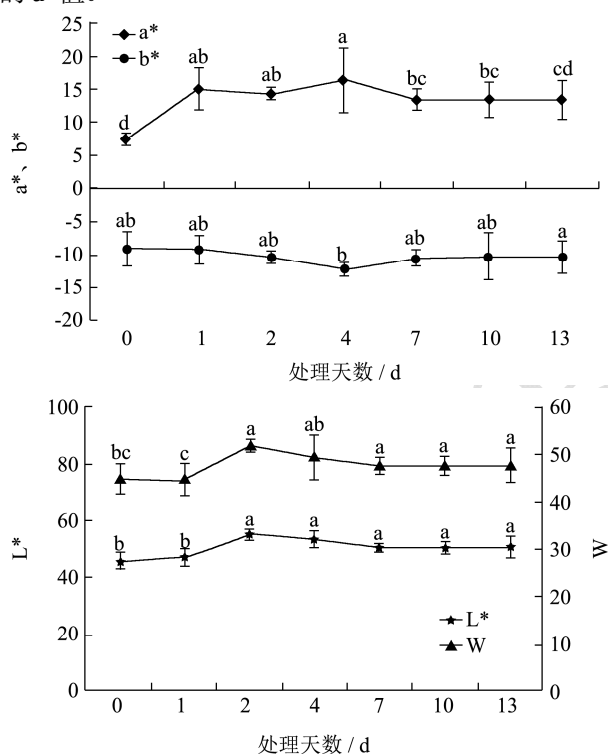


图 1 CO 对白乌鱼肉颜色的影响

Fig.1 Effect of carbon monoxide on the color of white mullet fish

注: L^* 表示明度, a^* 和 b^* 表示色度。 a^* 正值表示偏红, 负值表示偏绿; b^* 正值表示偏黄, 负值表示偏蓝; 图中的不同字母表示在 $p<0.05$ 水平上有显著差异。

图 1 中随着 CO 处理天数的增加, 鱼肉的 a^* 值呈现显著上升, 当鱼肉贮藏 4 d 时, 其 a^* 值最大。这可能是由于 CO 与肉中的肌红蛋白结合形成鲜红的一氧化碳肌红蛋白所致。类似结果在其他鱼肉经 CO 处理

后出现^[15,16]。鱼肉的红色值在冷藏中通常 1~2 d 后高于新鲜鱼肉, 此后随贮藏时间的延长色泽略下降^[15,16]。图 1 中随着 CO 处理天数的增加, 鱼肉发生自溶和腐败变质, 导致 a^* 值逐渐减小。但是 CO 处理 13 d 时的 a^* 值仍然比新鲜白乌鱼肉的 a^* 值高, 这可能是由于 CO 与鱼肉中的肌红蛋白具有极强的亲合能力, 且与肌红蛋白结合的稳定性极高, 进而阻止了肌红蛋白中 Fe^{2+} 向 Fe^{3+} 转化。

2.2 CO 对白乌鱼肉菌落总数的影响

菌落总数常用来判定食品被细菌污染的程度, 水产品贮藏保鲜过程中极易因微生物污染而导致腐败变质, 通过测定水产品的菌落总数可以反映其新鲜程度^[17]。为了进一步分析 CO 处理对白乌鱼肉贮藏稳定性的影响, 对鱼肉中的菌落总数进行了测定 (图 2)。由图 2 可知, 随着 CO 处理时间的增加, 白乌鱼肉的菌落总数呈上升趋势; 当 CO 处理天数为 0~4 d 时, 菌落总数基本没有明显变化; 当 CO 处理天数为 10 d 时, 菌落总数达到 $7.9 [\log(CFU/g)]$, 已经超过食品中菌落总数上限 $6 [\log(CFU/g)]$ ^[13]。

当 CO 处理天数为 0~4 d 时, 白乌鱼肉中的菌落总数基本没有明显变化。这可能是由于 CO 的存在, 改变了鱼肉周围的气体组成, 使鱼肉周围的 O_2 含量降低, 从而抑制了鱼肉表面微生物的生长, 并降低了鱼肉组织中的一些生化反应速度, 减慢肉制品的腐败变质速度; 4 d 之后, 鱼肉的菌落总数逐渐上升, 这可能是由于鱼肉中的内源性蛋白质随着肌肉细胞的破裂而释放, 从而分解鱼肉产生胺类物质, 为细菌生长提供了氮源, 因而导致鱼肉的菌落总数快速增加。

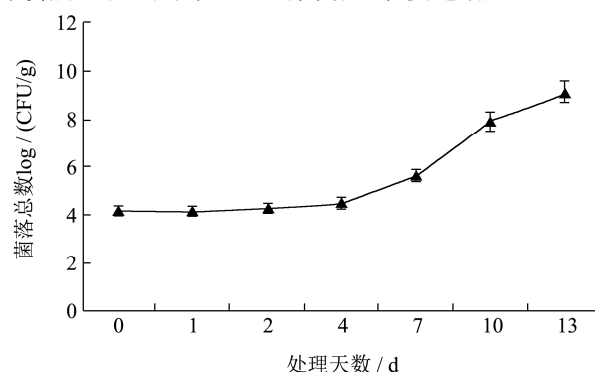


图 2 CO 对白乌鱼肉菌落总数的影响

Fig.2 Effect of carbon monoxide on total bacterial count of white mullet fish

2.3 CO 对白乌鱼肉 pH 的影响

白乌鱼肉在贮藏期间 pH 的变化与其新鲜程度具有较为密切的关系, 因此 pH 值的变化可以作为评价

鲜度的一个辅助指标^[18]。为了分析 CO 处理对白乌鱼肉新鲜度的影响,对贮藏期间白乌鱼肉的 pH 变化进行了测定(图3)。由图3可知,随着 CO 处理天数的增加, pH 值呈现先下降后上升趋势, pH 变化范围在 6.13~6.66 之间。CO 处理 1 d、2 d、4 d 时的 pH 值均小于新鲜鱼的 pH 值。在 CO 处理 2 d 时达到最低点, pH 值为 6.13。

活鱼在宰杀以后,其中的肌肉糖原开始发生酵解,生成大量的乳酸及其他酸性物质,导致 pH 值下降^[19]。之后,由于微生物的生长,导致鱼肉组织内的蛋白质分解为基本的含氮小分子物质。由于含氮小分子物质为碱性,导致 pH 值逐渐增加^[20]。这可能是图3中 CO 处理白乌鱼肉后,鱼肉的 pH 值呈现先降低后增加的主要原因。

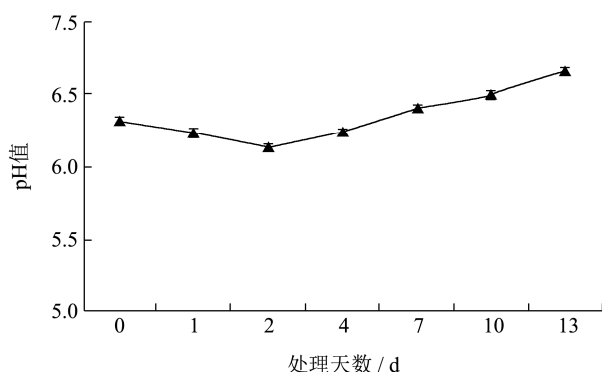


图3 CO对白乌鱼肉 pH 的影响

Fig.3 Effect of carbon monoxide on pH of white mullet fish

2.4 CO 对白乌鱼肉失水率的影响

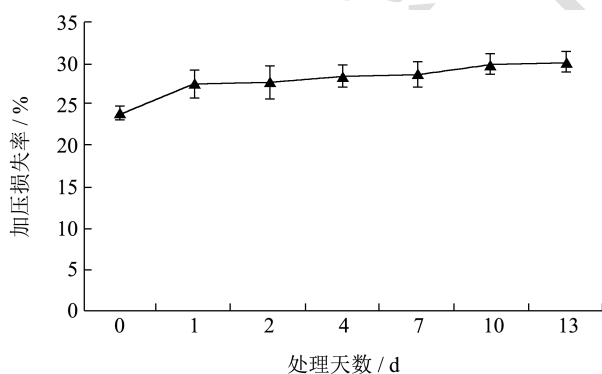


图4 CO对白乌鱼肉失水率的影响

Fig.4 Effect of carbon monoxide on water loss rate of white mullet fish

汁液流失率是反映水产品是否变质的重要指标之一^[21]。为了进一步分析 CO 处理对白乌鱼肉品质的影响,对白乌鱼肉在贮藏期间的加压失水率的变化进行了测定(图4)。由图4可知,随着 CO 处理天数的增加,白乌鱼肉的失水率呈现逐渐上升趋势。

在冷藏过程中,随着贮藏时间的增加,鱼肉自身

会发生一些生化反应,同时鱼肉中的微生物也进行着生长繁殖。这些因素均会导致鱼肉蛋白质的分解,肌肉纤维的破坏,致使其保水性变差。这可能导致图4中鱼肉的失水率随贮藏时间增加的主要原因。

2.5 CO 对白乌鱼肉硬度和咀嚼性的影响

为了分析 CO 处理后白乌鱼肉的质构特性变化,对鱼肉的硬度和咀嚼性进行了测定(图5)。由图5可知,随着 CO 处理天数增加,白乌鱼肉质构总体呈下降趋势,但在 CO 处理 0~2 d 时,白乌鱼肉的硬度和咀嚼性都逐渐增加。类似质构变化现象在虹鳟鱼和马鲛鱼的贮藏过程中也有出现^[7,13]。

一般鱼体死后,其中的 ATP 含量下降,肌肉收缩,进入僵直期,硬度升高;鱼体解僵后,鱼肉组织构造崩解、汁液流失及口感下降^[22]。白乌鱼肉的僵直和解僵,从而引起肌肉组织的硬度升高和降低。这可能导致图5中 CO 处理的白乌鱼肉的硬度和咀嚼性出现先增加后降低的主要原因。

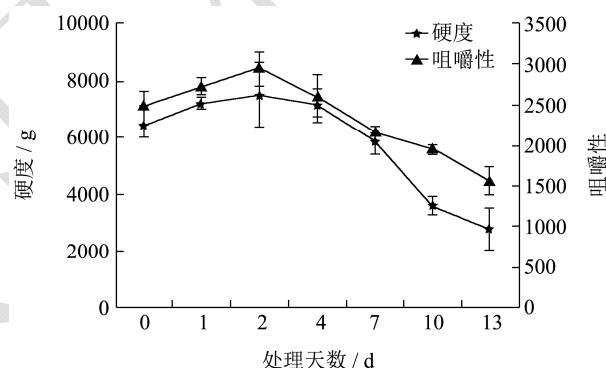


图5 CO对白乌鱼肉硬度和咀嚼性的影响

Fig.5 Effect of carbon monoxide treatment on hardness and chewiness of white mullet fish

2.6 CO 对白乌鱼肉 TBA 的影响

TBA 是评价肉类和水产品的脂类氧化酸败程度的重要指标^[23]。为了分析 CO 处理对白乌鱼肉中氧化酸败程度的影响,对白乌鱼肉在冷藏期间的 TBA 值进行了测定(图6)。图6中数据显示,随着 CO 处理天数的增加,TBA 值呈现不断上升趋势,在 CO 处理 13 d 时达到最大值 1.16 mg MDA/100 g。CO 处理天数为 0~7 d 时,白乌鱼肉的 TBA 值上升速率缓慢,7 d 之后,白乌鱼肉的 TBA 值上升速率明显增高。

鱼肉的脂肪含量较高,且富含多不饱和脂肪酸。鱼体在贮藏期间极易因外界贮藏条件和微生物代谢发生脂肪氧化降解。TBA 值越大,脂肪的氧化腐败程度越高,鱼肉的腐败程度越高。因此,由图6中 CO 处理白乌鱼肉的 TBA 值随着贮藏时间的增加而升高可

知, CO 处理不能明显抑制鱼肉脂肪的变质。

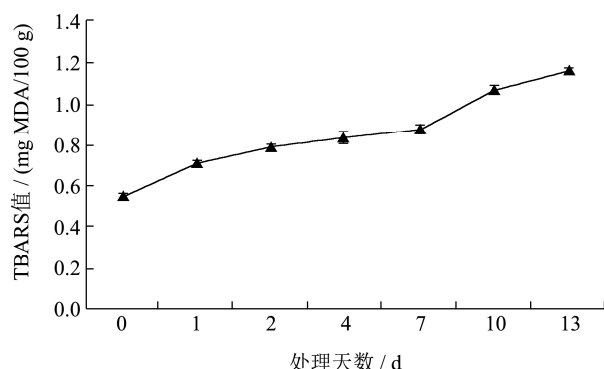


图 6 CO 对白乌鱼肉 TBA 的影响

Fig.6 Effect of carbon monoxide on TBA of white mullet fish

2.7 CO 对白乌鱼鱼肉感官品质的影响

为了分析 CO 处理对白乌鱼肉感官品质的影响, 对贮藏期间白乌鱼肉的气味和组织形态进行了评价 (图 7)。由图 7 可知, 随着 CO 处理天数的增加, 白乌鱼肉的感官得分呈下降趋势, 处理天数为 7 d 时, 鱼肉的感官得分为 5.2。由感官评分标准可知, 当鱼肉的气味评分低于 5 分时, 白乌鱼肉已经不可食用。因此, CO 处理白乌鱼肉后, 其最长的冷藏时间不宜超过 7 d。这与徐晨等^[21]的实验结果相符合。

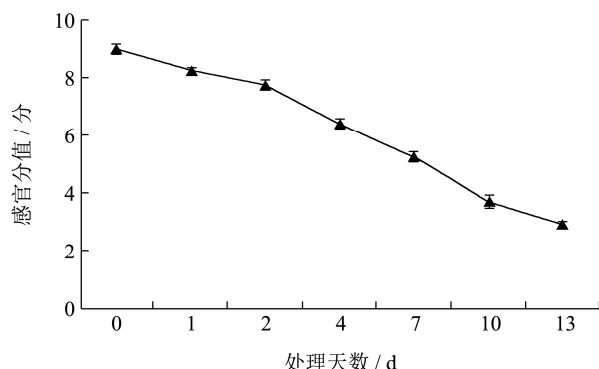


图 7 CO 对白乌鱼肉感官的影响

Fig.7 Effect of carbon monoxide on sensory characteristics of white mullet fish

注: 感官分值=(气味得分+肌肉形态得分)/2。

3 结论

通过分析 CO 处理对白乌鱼肉颜色及其他品质的影响, 发现随着 CO 处理天数的增加, 鱼肉的 a^* 值呈先显著上升 ($p < 0.05$) 后下降的趋势, 鱼肉贮藏 13 d 时的 a^* 值仍然比新鲜白乌鱼肉的 a^* 值高; 白乌鱼肉的菌落总数呈整体上升的趋势; 白乌鱼肉的 pH 值呈先下降后上升趋势; 白乌鱼肉的失水率和 TBA 值呈整体上升趋势; 白乌鱼肉的硬度和咀嚼性呈整体下降趋势; 白乌鱼肉的气味得分整体呈下降趋势。因此, CO

处理可使白乌鱼肉保持良好的红色, 但 CO 处理对白乌鱼肉的贮藏稳定性及其他品质无明显影响。

参考文献

- [1] Nam K C, Dong U A. Effects of irradiation on meat color [J]. Food Science & Biotechnology, 2003, 12(2): 198-205
- [2] Berruga M I, Vergara H, Gallego L. Influence of packaging conditions on microbial and lipid oxidation in lamb meat [J]. Small Ruminant Research, 2005, 57(2): 257-264
- [3] Kowalski W R. Process for Manufacturing Tasteless Super Purified Smoke for Treating Seafood to be Frozen and Thawed: United States Patent, 5972401 [P]. 1999-10-26
- [4] Otwell W S, Kristinsson H G, Balaban M O. Microbial and Quality Consequences of Aquatic Foods Treated with Carbon Monoxide or Filtered Wood Smoke [M]. Blackwell Publishing Professional, 2007
- [5] 郝淑贤, 林婉玲, 李来好, 等. 一氧化碳发色处理对罗非鱼鱼片暗色肉贮藏过程色泽影响分析[J]. 南方水产科学, 2013, 9(5): 6-12
HAO Shu-xian, LIN Wan-ling, LI Lai-hao, et al. Effect of CO treatment on color of tilapia fillets during storage [J]. South China Fisheries Science, 2013, 9(5): 6-12
- [6] 牟春艳, 任胜杰, 乔国贤, 等. 白甲鱼诺卡氏菌病的防治一例[J]. 科学养鱼, 2015, V31(3): 65-65
MOU Chun-yan, REN Sheng-jie, QIAO Guo-xian, et al. Prevention and treatment of nocardiosis in white snakehead, Argus [J]. Scientific Fish Farming, 2015, V31(3): 65-65
- [7] Djenane D, Sánchez-Escalante A, Beltran J A, et al. Extension of the shelf life of beef steaks packaged in a modified atmosphere by treatment with rosemary and displayed under UV-free lighting [J]. Meat Science, 2003, 64(4): 417-426
- [8] Zhang Y, Luo S, Wang W. Stability and sensory quality of fresh fruit and vegetable juices: Evaluated with chromatic aberration [J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2014, 38(3): 1259-1268
- [9] Zhang Y, Wang W, Zhang H, et al. Meat sensory color grade: mathematical simulation and its application in quality analysis of chilled pork [J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2014, 38(4): 1957-1964
- [10] 张崑, 陶红丽, 曾庆孝, 等. 不同漂洗处理对罗非鱼浆的影响[J]. 现代食品科技, 2007, 23(10): 50-61
ZHANG Yin, TAO Hong-li, ZENG Xiao-qing, et al. Effects of washing conditions on the quality of minced tilapia [J]. Modern Food Science and Technology, 2007, 23(10): 50-61

- [11] 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 Standard, Determination of Total Bacterial Colony in Food Microbiology Test [S]
- [12] 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 Value of Food [S]
- [13] 王汉玲, 刘彩华, 秦军委, 等. 不同保鲜剂结合微冻技术对虹鳟鱼块在贮藏期间品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(2): 285-289
WANG Han-ling, LIU Cai-hua, QIN Jun-wei, et al. Effect of partial freezing combined with different preservatives on quality of rainbow trout during storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(2): 285-289
- [14] Witte V C, Krause G F, Bailey M E. A new extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage [J]. Journal of Food Science, 1970, 35: 582-585
- [15] Jeong J Y, Claus J R. Color stability of ground beef packaged in a low carbon monoxide atmosphere or vacuum [J]. Meat Science, 2011, 87(1): 1-6
- [16] 徐群英, 汪之和, 王立井, 等. 金枪鱼碎鱼肉中肌红蛋白的初步提取和纯化[J]. 食品与生物技术学报, 2006, 25(1): 96-98
XU Qun-ying, WANG Zhi-he, WANG Li-jing, et al. The primary extraction and purification of myoglobin from drossy meat of tuna [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2006, 25(1): 96-98
- [17] 胡素梅, 张丽娜, 罗永康, 等. 冷藏和微冻条件下鲤鱼品质变化的研究[J]. 渔业现代化, 2010, 37(5): 38-42
HU Su-mei, ZHANG Li-na, LUO Yong-kang, et al. Study on quality changes of carp under refrigeration and micro freezing conditions [J]. Fishery Modernization, 2010, 37(5): 38-42
- [18] 鞠健, 胡佳慧, 乔宇, 等. 茶多酚结合真空包装对微冻鲈鱼片品质的影响[J]. 现代食品科技, 2018, 34(1): 104-110
JU Jian, HU Jia-hui, QIAO Yu, et al. Effects of tea polyphenols combined with vacuum packaging on the quality of micro-freezing weever fillets [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(1): 104-110
- [19] 顾仁勇. Nisin、溶菌酶用于斑点叉尾鲴鱼片保鲜的研究[J]. 食品科学, 2010, 31(14): 305-308
GU Ren-yong. The combined use of nisin, lysozyme and vitamin C for the preservation of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fillets [J]. Food Science, 2010, 31(14): 305-308
- [20] Ocañohiguera V M, Marquezzó E, Canizalesdávila M, et al. Postmortem changes in cazon fish muscle stored on ice [J]. Food Chemistry, 2009, 116(4): 933-938
- [21] 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 and chitosan mixture on fresh preservation of *Ctenopharyngodon idellus* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(5): 296-300
- [22] 程琳丽, 李来好, 马海霞. 谷氨酰胺转氨酶对鱼肉保水性的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(9): 128-131
CHENG Lin-li, LI Lai-hao, MA Hai-xia. Effects of transglutaminase on water holding capacity of fish muscle [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(9): 128-131
- [23] Hernández M D, López M B, Álvarez A, et al. Sensory, physical, chemical and microbiological changes in aquacultured meagre (*Argyrosomus regius*) fillets during ice storage [J]. Food Chemistry, 2009, 114(1): 237-245

(上接第 25 页)

- [21] Hsu J, Kao S, Ou T, et al. Gallic acid induces G2/M phase arrest of breast cancer cell MCF-7 through stabilization of p27(Kip1) attributed to disruption of p27(Kip1) / Skp2 complex [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(5): 1996-2003
- [22] Wu H, Zhu H, Li X, et al. Induction of apoptosis and cell cycle arrest in A549 human lung adenocarcinoma cells by surface-capping selenium nanoparticles: An effect enhanced by polysaccharide-protein complexes from *Polyporus rhinoceros* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(41): 9859-9866
- [23] Mignotte B, Vayssiere J L. Mitochondria and apoptosis [J]. European Journal of Biochemistry, 1998, 252(1): 1-15
- [24] De Maria R, Lenti L, Malisan F, et al. Requirement for GD3 ganglioside in CD95- and ceramide-induced apoptosis [J]. Science, 1997, 277(5332): 1652-1655