

# 光照和温度对草鱼和三文鱼鱼肉贮藏品质的影响

高海<sup>1,2,3</sup>, 蔡欢欢<sup>1,2,3</sup>, 朱志伟<sup>1,2,3,\*</sup>

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东 广州 510641; 2. 华南理工大学现代食品工程研究中心, 广东 广州 510006;  
3. 广东省冷链食品智能感知与过程控制工程技术研究中心, 广东 广州 510006)

**摘要:** 采用4、10（无光照）、10（5 000 lx）、25 ℃条件, 同时贮藏草鱼鱼片（除去红肉）和三文鱼鱼片, 研究光照和温度对草鱼和三文鱼贮藏品质的影响。结果表明, 草鱼和三文鱼贮藏过程中pH值、挥发性盐基氮（total volatile basic nitrogen, TVB-N）值、硫代巴比妥酸（thiobarbituric acid, TBA）值和色差变化差异显著（ $P < 0.05$ ），且菌落总数（total viable count, TVC）、pH值、TVB-N值、TBA值、色差、ATP分解产物（adenosine triphosphate-related decomposition products）K值均随着贮藏时间的延长而增加。光照（5 000 lx）对于草鱼、三文鱼贮藏过程中的pH值变化、TBA值变化影响显著（ $P < 0.05$ ），能使鱼肉中pH值增加量高于避光保存，促进光氧化，提高TBA值增加速率，而对于TVC、TVB-N值、K值、色差变化影响不显著（ $P > 0.05$ ）。贮藏温度的差异（4、10 ℃）对两种鱼肉品质变化都有显著影响（ $P < 0.05$ ）。

**关键词:** 光照; 温度; 草鱼; 三文鱼; 品质变化

## Comparative Study of Effects of Light Exposure and Storage Temperature on the Quality of Grass Carp Fillets and Salmon Fillets

GAO Hai<sup>1,2,3</sup>, CAI Huanhuan<sup>1,2,3</sup>, ZHU Zhiwei<sup>1,2,3,\*</sup>

(1. School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China;  
2. Academy of Contemporary Food Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China;  
3. Engineering and Technological Research Centre of Guangdong Province on Intelligent Sensing and Process Control of Cold Chain Foods, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** For the purpose of investigating the effects of storage conditions on fillet quality, grass carp fillets (without dark meat) and salmon fillets were stored at 4, 10 (with and without light exposure at an intensity of 5 000 lx) and 25 ℃. It was demonstrated that the pH, total volatile basic nitrogen (TVB-N) value, thiobarbituric acid (TBA) value and color difference of both grass carp and salmon fillets changed significantly ( $P < 0.05$ ) during storage, and total viable count (TVC), pH, TVB-N, TBA, color difference, and adenosine triphosphate (ATP) decomposition ( $K$  value) were increased with prolonging storage time. Meanwhile, light exposure had significant effects on the pH and TBA value of both grass carp and salmon fillets during storage ( $P < 0.05$ ), resulting in a higher increase in pH and causing photooxidation, which accelerated the increase in TBA value, compared with dark conditions. However, the effects on TVC, TVB-N,  $K$  value and color difference were not statistically significant ( $P > 0.05$ ). Different storage temperatures exhibited significantly different effects on fish quality during storage ( $P < 0.05$ ).

**Key words:** light; temperature; grass carp; salmon; quality changes

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201715039

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 15-0244-06

引文格式:

高海, 蔡欢欢, 朱志伟. 光照和温度对草鱼和三文鱼鱼肉贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 244-249.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201715039. <http://www.spkx.net.cn>

GAO Hai, CAI Huanhuan, ZHU Zhiwei. Comparative study of effects of light exposure and storage temperature on the quality of grass carp fillets and salmon fillets[J]. Food Science, 2017, 38(15): 244-249. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201715039. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2017-01-04

基金项目: 广东省海洋渔业科技推广专项 (A201403)

作者简介: 高海 (1991—), 男, 硕士研究生, 主要从事先进冷链技术研究。E-mail: 893736848@qq.com

\*通信作者: 朱志伟 (1974—), 男, 副教授, 博士, 主要从事食品加工与保藏、冷冻冷链技术研究。E-mail: zhwzhu@scut.edu.cn

我国是世界上水产品生产和贸易大国,自1989年以来,我国水产品产量已连续多年居世界首位,2015年我国水产品产量为6 699.65万 t,其中,养殖产量4 937.90万 t,捕捞产量1 761.75万 t,总产量中,海水产品产量3 409.61万 t,淡水产品产量3 290.04万 t。而随着我国销售冷链和超市的迅速发展、国民消费习惯的改变和生活水平的提高,冷鲜分割鱼块日益受到消费者的欢迎<sup>[1]</sup>。

鱼肉贮藏过程品质变化受贮藏温度和时间的影响,三文鱼肉在-2、0、4℃条件下随贮藏时间的延长,感官评分和硬度值呈现显著下降,而细菌总数、硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)值、挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)值、亮度值 $L^*$ 、组胺水平和 $K$ 值均呈现上升的趋势,对应的货架期分别为13、10 d和8 d<sup>[2]</sup>。除贮藏温度和时间外,光照对鱼肉的贮藏品质也有一定的影响,研究发现光照对包装条件下鲜草鱼鱼肉TVB-N值影响较小,可以提高TBA值的增加速率,光照条件下贮藏的鲜草鱼肉pH值增加量稍高于避光保存<sup>[3]</sup>,但并未提及研究对象是鱼肉的白肉还是暗色肉部分。

草鱼鱼肉包括了白色肉和暗色肉,暗色肉也被称为红色肉,暗色肉的肌纤维稍细,主要成分是肌红蛋白,其次含有少量的血红蛋白和细胞色素等色素蛋白质<sup>[4]</sup>。三文鱼鱼肉为橘红色,它是影响市场价格的一个很重要的品质参数,一般水生动物呈现这种红色最主要的原因是含有类胡萝卜素,但三文鱼自身不能合成类胡萝卜素,它通过捕食水生动物,获得水生动物中的虾青素,三文鱼中的虾青素通过弱疏水键与肌动球蛋白结合位于蛋白的表面,使肉色呈现红色,三文鱼贮藏过程中颜色的变化有可能与虾青素有关<sup>[5-7]</sup>。

白肉鱼和红肉鱼由于物理性质的不同,对贮藏的环境条件要求可能存在差异,流通销售领域多将不同种类的鱼类混配贮藏,而目前关于这一领域的研究不多,因此,对于相同贮藏条件下,对比研究光照和温度对草鱼、三文鱼贮藏过程中品质动态变化的影响具有一定的意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)、三文鱼(*Salmo salar*)购于广州市卜蜂莲花超市。

高氯酸、三氯乙酸、甲基红、次甲基蓝、2-硫代巴比妥酸、氢氧化钠、氢氧化钾、磷酸氢二钾、磷酸二氢钾(均为分析纯)、甲醇、乙腈(均为色谱纯)国药集团化学试剂有限公司;三磷酸腺苷、二磷酸腺苷、腺苷酸、肌苷酸、次黄嘌呤核苷、次黄嘌呤(均为分析纯) 美国Sigma公司。

### 1.2 仪器与设备

HH-2恒温水浴锅 常州澳华仪器有限公司;  
BCD-370WGPVA美的冰箱 合肥美的电冰箱有限公司;  
MGC-300A光照培养箱 上海一恒科学仪器有限公司;  
L5S紫外-可见分光光度计 上海仪电分析仪器有限公司;  
H2050R冷冻离心机 济南来宝医疗器械有限公司;  
Kjeltec 8100 Distillation Unit凯氏定氮仪 丹麦福斯公司;  
CR-400色彩色差计 杭州祥盛科技有限公司;  
高效液相色谱仪 美国Waters公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品处理

将买回的草鱼和三文鱼去头尾、去鳞、去内脏、清洗沥干、去骨取背部肉切成鱼片,其中草鱼鱼片为除去暗色肉的白肉鱼片,三文鱼鱼片为红色肉鱼片。两种鱼片同时进行4、10(无光照)、10(光照培养箱,光照强度5 000 lx)、25℃条件下贮藏,定期分别于0、2、4、6 d取样,测理化指标,包括菌落总数、pH值、TVB-N值、TBA值、色差值、 $K$ 值等,并随时检测各样品的终点指标值。

#### 1.3.2 理化指标测定

##### 1.3.2.1 水分、粗脂肪、蛋白质、灰分含量测定

水分含量测定:采用105℃干燥恒质量法(GB/T 5009.3—2003《食品中水分的测定》);粗脂肪含量测定:采用索氏抽提法(GB/T 5009.6—2003《食品中脂肪的测定》);蛋白质含量测定:采用微量凯氏定氮法(GB/T 5009.5—2003《食品中蛋白质的测定》);灰分含量测定:采用箱式电阻炉550℃灼烧法(GB/T 5009.4—2003《食品中灰分的测定》)。

##### 1.3.2.2 pH值测定

参考Arashisar等<sup>[8]</sup>的方法,准确称取10.00 g鱼肉,加入100 mL预先煮沸冷却的蒸馏水,均质1 min,用pH计直接测定,平行测定3次。

##### 1.3.2.3 TVB-N值和TBA值测定

TVB-N值测定:参考Cheng Junhu等<sup>[9]</sup>的方法。

TBA值测定:参考Siu等<sup>[10]</sup>的方法并稍作修改。称取5 g搅碎鱼肉于烧杯中,向离心管中加入质量分数20%三氯乙酸溶液25 mL,再加入20 mL蒸馏水,8 000 r/min离心10 min,过滤得滤清液,将滤液倒入50 mL容量瓶中,加蒸馏水定容至50 mL,摇匀静置,取5.00 mL上清液于具塞试管中,然后加入10 mL的TBA溶液(0.02 mol/L)。将上述混合液放置于沸水浴加热40 min,冷却至室温后,在532 nm波长处测定吸光度 $A$ 。TBA值用丙二醛(malondialdehyde, MDA)的当量表示,见公式(1)。

$$\text{TBA值}/(\text{mg MDA/kg}) = A_{532\text{ nm}} \times 7.80 \quad (1)$$

### 1.3.2.4 色泽测定

利用色差计检测鱼肉色度指数色度值 $L^*$ 、红度值 $a^*$ 和黄度值 $b^*$ ，每个样检测3次，舍去离群值后取平均值，利用测得的 $L^*$ 值、 $a^*$ 值和 $b^*$ 值计算色差 $\Delta E$ ，计算公式如下：

$$\Delta E = \sqrt{(L_t^* - L_0^*)^2 + (a_t^* - a_0^*)^2 + (b_t^* - b_0^*)^2} \quad (2)$$

式中： $L_t^*$ 、 $a_t^*$ 、 $b_t^*$ 分别为实验期第 $t$ 天的亮度值、红度值和黄度值； $L_0^*$ 、 $a_0^*$ 、 $b_0^*$ 分别为亮度、红度和黄度的初始值。

### 1.3.2.5 K值测定

参考Cheng Junhu<sup>[11]</sup>、Cheng Weiwei<sup>[12]</sup>等方法稍作修改，称取5 g绞碎的肉于烧杯中，4℃条件下加入0.6 mol/L的高氯酸10 mL，均质1 min，均质后的混合液采用4℃冷冻高速离心机8 000 r/min离心10 min后。取出上清液，用1 mol/L KOH溶液将pH值调至7.0，移去沉淀，将上清液滤液置于50 mL容量瓶定容，-20℃贮藏用于后期检测。上机前，将上清液解冻，并采用0.45 μm水相滤膜过滤。

### 1.3.2.6 高效液相色谱分析

检测条件：色谱柱：ZEPC<sub>18</sub>柱（250 mm×4.6 mm，5 μm）；流动相：0.04 mol/L磷酸二氢钾（A）、0.06 mol/L磷酸氢二钾（B）混和溶液作为流动相进行平衡和梯度洗脱，流速：1 mL/min，梯度洗脱条件为：0 min，100% A+0% B；4 min，95% A+5% B；8 min，75% A+25% B；12 min，70% A+30% B；16 min，95% A+5% B；18 min，100% A+0% B；20 min，100% A+0% B。

### 1.3.3 微生物指标测定

菌落总数测定：按照GB 4789.2—2010《食品微生物学检验 菌落总数测定》。

### 1.4 数据分析

采用SPSS 17.0软件及Origin 8.5软件进行数据统计分析与作图，采用SPSS中的Tukey法对不同样品平均值进行方差分析，求出显著性差异，方差分析置信度为95%。

## 2 结果与分析

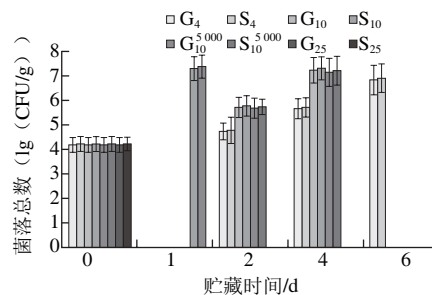
### 2.1 草鱼、三文鱼鱼肉营养成分对比分析

表1 草鱼和三文鱼肌肉主要营养成分分析比较  
Table 1 Comparative analysis of major nutritional components between grass carp and salmon fillets

品种	水分含量	灰分含量	粗蛋白质含量	粗脂肪含量
草鱼	77.69±5.59	1.21±0.09	17.78±1.31	3.31±0.28
三文鱼	69.92±4.13	1.78±0.12	21.32±1.98	7.16±0.51

由表1可知，草鱼、三文鱼鱼肉的主要营养成分含量存在一定差异，草鱼鱼肉中水分、粗蛋白质、粗脂肪和灰分含量分别为77.69%、17.78%、3.31%、1.21%，三文鱼鱼肉中水分、粗蛋白质、粗脂肪和灰分含量分别为69.92%、21.32%、7.16%、1.78%，草鱼的水分含量高于三文鱼，而蛋白质和脂肪含量均相对较低。

### 2.2 光照和温度对草鱼、三文鱼贮藏过程中菌落总数的影响



G<sub>4</sub> 草鱼4℃贮藏；S<sub>4</sub> 三文鱼4℃贮藏；G<sub>10</sub> 草鱼10℃贮藏；S<sub>10</sub> 三文鱼10℃贮藏；G<sub>10</sub><sup>5000</sup> 草鱼10℃贮藏，且光照强度为5 000 lx；S<sub>10</sub><sup>5000</sup> 三文鱼10℃贮藏，且光照强度为5 000 lx；G<sub>25</sub> 草鱼25℃贮藏；S<sub>25</sub> 三文鱼25℃贮藏。下同。

图1 草鱼片、三文鱼片贮藏期间菌落总数的变化

Fig. 1 Changes in TVC of grass carp and salmon fillets during storage

采用4、10、10（光照强度5 000 lx）、25℃条件下贮藏，草鱼片、三文鱼片的菌落总数随贮藏时间的变化如图1所示。菌落总数是评价水产品品质和货架期的一个非常有效的参数，在实验中，可以将鱼肉是否散发明显腐臭气味作为货架期终点的判断标准<sup>[13]</sup>。草鱼和三文鱼的初始菌落总数分别为4.18、4.24（lg（CFU/g）），贮藏过程中，光照对两种鱼肉的菌落总数变化无显著影响（ $P>0.05$ ），而温度（4、10℃和25℃）对两种鱼肉的菌落总数均有显著影响（ $P<0.05$ ），两种鱼肉的菌落总数均随着贮藏时间的延长而显著增加，贮藏初期微生物增长比较缓慢，这可能是因为微生物还在适应期，而到了贮藏中期，菌落总数呈对数增长<sup>[14]</sup>。根据《微生物检验与食品安全控制》国际食品微生物规格委员会规定<sup>[15]</sup>，鱼的菌落总数可接受水平限量值为5.69（lg（CFU/g）），最高安全限量值为6.00（lg（CFU/g）），可以通过菌落总数的变化来评价鱼肉的新鲜度，由此可知4℃时草鱼、三文鱼的货架期为5 d，10℃时草鱼、三文鱼的货架期为3 d，25℃时草鱼、三文鱼的货架期为1 d。在同一温度和光照条件下草鱼片（白肉）、三文鱼片（红肉）的菌落总数无显著性差异。

### 2.3 光照和温度对草鱼、三文鱼贮藏过程中pH值的影响

鱼体死后，在ATP酶的作用和糖类酵解以及乳酸菌等产酸微生物作用下使乳酸积累，故开始pH值会降低。在贮藏后期可能是微生物繁殖，鱼体内的蛋白质在微生物



物作用下开始分解,产生碱性的氨或胺类物质<sup>[16-17]</sup>,从而导致pH值上升,可以通过pH值的变化来评价鱼肉的新鲜度<sup>[18]</sup>。将图1、2对比可知,当10℃贮藏4 d时,草鱼、三文鱼的菌落总数均达到限值,两者的pH值开始上升;当4℃贮藏6 d时,草鱼、三文鱼的菌落总数也达到限值,同时两者的pH值也开始上升,说明草鱼、三文鱼的菌落总数与pH值变化有一定的相关性。由图2可知,草鱼和三文鱼的初始pH值分别为6.57、6.73,草鱼片和三文鱼片在贮藏期间pH值变化差异显著( $P<0.05$ ),但两者的变化趋势不一致,这可能与两种鱼肉的脂肪、蛋白质含量差异有关;光照(5 000 lx)对两种鱼肉的pH值变化有显著影响( $P<0.05$ ),且光照条件下贮藏的鱼肉的pH值增加量稍高于避光保存,此现象可能是由于光照促进了脂肪的水解作用,产生了一些酸性物质,造成了pH值的降低<sup>[19]</sup>;温度对两种鱼肉的pH值变化有显著影响( $P<0.05$ )。

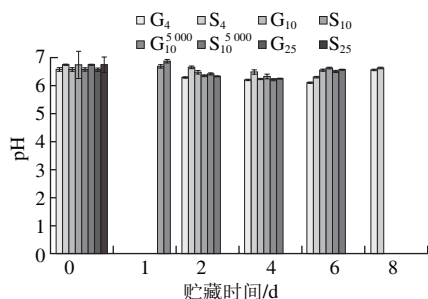


图2 草鱼片、三文鱼片贮藏期间pH值的变化

Fig. 2 Changes in pH of grass carp and salmon fillets during storage

2.4 光照和温度对草鱼片、三文鱼片贮藏过程中TVB-N值的影响

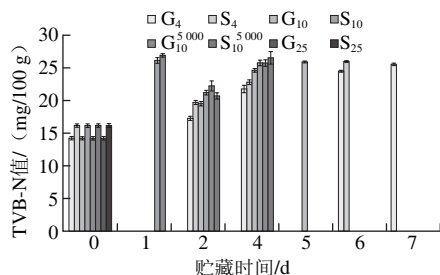


图3 草鱼片、三文鱼片贮藏期间TVB-N值的变化

Fig. 3 Changes in TVB-N of grass carp and salmon fillets during storage

由图3可知,草鱼和三文鱼的初始TVB-N值分别为14.875、16.792 mg/100 g,这可能是由于三文鱼中蛋白质含量比草鱼的高,初期降解的蛋白质相对较多,两种鱼肉的TVB-N值均随着贮藏时间的延长而呈逐渐递增的趋势,且温度对于两种鱼肉的TVB-N值均有显著影响

( $P<0.05$ ),4℃条件下草鱼和三文鱼TVB-N的增加量分别为每天1.58、1.53 mg/100 g。10℃(光照5 000 lx)条件下草鱼、三文鱼的TVB-N值增加量均高于10℃(无光照),但差异性并不显著( $P>0.05$ ),说明光照对鱼肉贮藏过程中TVB-N值变化无明显作用,TVB-N值的增加是因为鱼肉中的蛋白质和非蛋白质的含氮化合物在酶和细菌等作用下发生了降解,产生了氨以及胺类等挥发性碱性含氮化合物<sup>[8]</sup>,而光照对其影响较小。

2.5 光照和温度对草鱼片、三文鱼片贮藏过程中TBA值变化的影响

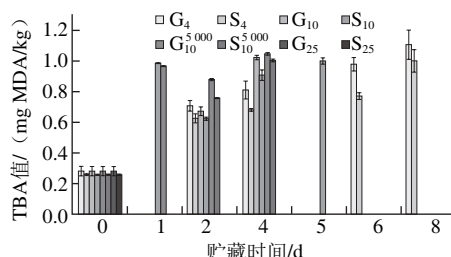


图4 草鱼片、三文鱼片贮藏期间TBA值的变化

Fig. 4 Changes in TBA value of grass carp and salmon fillets during storage

由图4可知,草鱼片和三文鱼片的初始TBA值分别为0.279、0.256 mg MDA/kg,鱼肉的TBA值随贮藏时间的延长而增加,且刚开始增加速率快,一段时间后增加速率减慢,温度对TBA值的增加有显著影响( $P<0.05$ ),且草鱼片的脂肪氧化速率快于三文鱼片,这可能是由于三文鱼捕食水生动物中含有虾青素等抗氧化剂所致<sup>[20-21]</sup>,光照(5 000 lx)条件下TBA值增加速率比无光照要快,即光照对草鱼片、三文鱼片TBA值变化有显著影响( $P<0.05$ ),这是由于鱼肉脂肪酸中的双键易氧化成氢过氧化物,氢过氧化物不稳定又进一步分解产生醛、酮、醇、酸等小分子物质,导致TBA值变大<sup>[22]</sup>,光对TBA的影响一方面可能是由于光可使氧分子活化,并促使自动氧化链反应中游离基的生成,从而加快脂肪自动氧化的速率<sup>[23]</sup>;另一方面肉中的光敏化剂(血红蛋白等)受到光照后可将基态氧( $^3O_2$ )转变为激发态氧( $^1O_2$ ),高亲电性的单线态氧可直接进攻脂肪不饱和双键,发生光敏氧化反应<sup>[24]</sup>。一般情况下,鱼肌肉中的TBA值达到1 mg MDA/kg时便产生难以接受的气味<sup>[25]</sup>,因此可以推测25℃时草鱼、三文鱼的货架期为1 d,10℃(无光照)时草鱼、三文鱼的货架期分别为4、5 d,10℃(光照5 000 lx)时草鱼、三文鱼的货架期均为4 d,4℃时草鱼、三文鱼的货架期分别为6、8 d,草鱼片、三文鱼片的变化差异显著( $P<0.05$ )。

## 2.6 光照和温度对不同鱼肉贮藏过程中色差值的影响

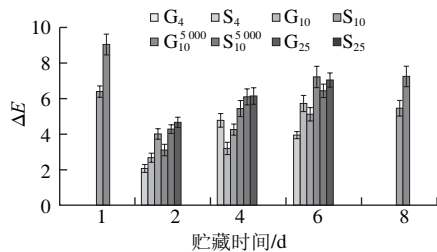


图5 草鱼片、三文鱼片贮藏期间色差值的变化

Fig. 5 Changes in color difference of grass carp and salmon fillets during storage

$L^*$ 越大,表示越白; $a^*$ 为正值时表示偏红,负值时表示偏绿; $b^*$ 为正值时表示偏黄色,负值时表示偏蓝色, $\Delta L^*$ 、 $\Delta b^*$ 和 $\Delta a^*$ 则为相对值, $\Delta E$ 表示样品颜色的变化。 $\Delta E$ 在0.0~0.5为极小的差异;0.5~1.5为稍有差异;1.5~3.0为感觉到有点差异;3.0~6.0为显著性差异;6.0~12.0为极显著差异;12.0以上为不同颜色<sup>[26]</sup>。鱼肉贮藏过程中颜色会发生变化,时间越长,颜色差异越明显,由此可以判断鱼肉的新鲜程度<sup>[27]</sup>。由图5可知,草鱼和三文鱼的色差值变化差异显著( $P<0.05$ ),即三文鱼片的色差值变化比草鱼片的大,贮藏过程中蛋白质会发生降解,与蛋白质形成络合物的虾青素会因此被释放<sup>[28]</sup>,导致三文鱼肉颜色的变化,两种鱼肉的贮藏前期色差值变化速率快于后期,这可能与蛋白质的降解速率等有关,光照对两种鱼肉的色差值变化的影响并不显著( $P>0.05$ ),温度对两种鱼肉的色差值变化影响显著( $P<0.05$ )。

## 2.7 光照和温度对草鱼片、三文鱼片贮藏过程中K值的影响

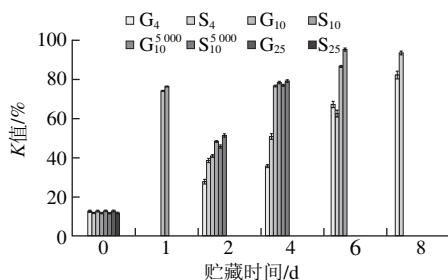


图6 草鱼片、三文鱼片贮藏期间K值的变化

Fig. 6 Changes in K value of grass carp and salmon fillets during storage

在水产品捕获死亡后,其体内迅速发生自溶变化,产生一系列的物质,这些物质可作为新鲜度的评价标准。其中,三磷酸腺苷的浓度及其降解产物(即K值)被广泛用作新鲜度判定的指标。Saito等<sup>[29]</sup>认为K值小于20%时,鱼肉为一级新鲜度;20%~40%时为二级新鲜度;60%~80%时已经达到初期腐败。如图6所示,草鱼片、三文鱼片初始K值分别为12.76%、11.70%,4℃条件下

草鱼片、三文鱼片的货架期为6 d左右,10℃条件下草鱼片、三文鱼片的货架期为4 d左右,25℃条件下草鱼片、三文鱼片的货架期为1 d左右,三文鱼片贮藏期间K值增加速率快于草鱼片,但草鱼片、三文鱼片K值变化无显著差异( $P>0.05$ ),光照对不同鱼肉K值变化影响不显著( $P>0.05$ ),温度对不同鱼肉贮藏期间K值变化影响显著( $P<0.05$ )。

## 3 结论

草鱼(白肉鱼)、三文鱼(红肉鱼)的基本营养成分(如水分、蛋白质、脂肪)有明显差异,贮藏过程中pH值、TVB-N值、TBA值、色差变化差异显著( $P<0.05$ ),两种鱼肉的菌落总数和K值变化不存在显著性差异( $P>0.05$ ),且菌落总数、pH值、TVB-N值、TBA值、色差、K值均随着贮藏时间的延长而显著增加( $P<0.05$ ),温度对两种鱼肉品质变化有显著影响( $P<0.05$ )。光照(5 000 lx)对于草鱼、三文鱼贮藏过程中的pH值、TBA值变化影响显著( $P<0.05$ ),即光照(5 000 lx)能使鱼肉中pH值增加量高于避光保存,可以促进光氧化,提高TBA值增加速率,但光照(5 000 lx)对于菌落总数、TVB-N值、K值和色差变化影响不显著( $P>0.05$ )。

## 参考文献:

- [1] 陈东清. 草鱼片调理处理及其贮藏过程中的品质变化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015: 9-11. DOI:10.7666/d.Y2803523.
- [2] 张新林, 谢晶, 郝楷, 等. 不同低温条件下三文鱼的品质变化[J]. 食品工业科技, 2016, 37(17): 316-321. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.17.053.
- [3] 张钦发, 许霞, 刘显威, 等. 光照对包装鲜鱼肉品质动态变化的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 155-157.
- [4] 李强. 草鱼冷藏过程中肌肉蛋白质的组成和理化特性变化研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2013: 17-19. DOI:10.7666/d.Y2306707.
- [5] OTTESTAD S, SQRHEIM O, HEIA K, et al. Effects of storage atmosphere and heme state on the color and visible reflectance spectra of salmon (*Salmo salar*) fillets[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(14): 7825-7831. DOI:10.1021/jf201150x.
- [6] QUEVEDO R A, AGUILERA J M, PEDRESCHI F. Color of salmon fillets by computer vision and sensory panel[J]. Food and Bioprocess Technology, 2010, 3(5): 637-643. DOI:10.1007/s11947-008-0106-6.
- [7] WALLAT G K, LAZUR A M, CHAPMAN F A. Carotenoids of different types and concentrations in commercial formulated fish diets affect color and its development in the skin of the red oranda variety of goldfish[J]. North American Journal of Aquaculture, 2005, 67(1): 42-51.
- [8] ARASHISAR S, HISAR O, KAYA M, et al. Effects of modified atmosphere and vacuum packaging on microbiological and chemical properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets[J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 97(2): 209-214. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2004.05.024.

- [9] CHENG Junhui, SUN Dawen, ZENG Xin'an, et al. Non-destructive and rapid determination of TVB-N content for freshness evaluation of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) by hyperspectral imaging[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2014, 21: 179-187. DOI:10.1016/j.ifset.2013.10.013.
- [10] SIU G M, DRAPER H H. A survey of the malonaldehyde content of retail meats and fish[J]. Journal of Food Science, 1978, 43(4): 1147-1149. DOI:10.1111/j.1365-2621.1978.tb15256.x.
- [11] CHENG Junhu, SUN Dawen, PU Hongbin, et al. Development of hyperspectral imaging coupled with chemometric analysis to monitor *K* value for evaluation of chemical spoilage in fish fillets[J]. Food Chemistry, 2015, 185: 245-253. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.03.111.
- [12] CHENG Weiwei, SUN Dawen, PU Hongbin, et al. Integration of spectral and textural data for enhancing hyperspectral prediction of *K* value in pork meat[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 72: 322-329. DOI:10.1016/j.lwt.2016.05.003.
- [13] 向思颖, 谢君, 徐芊, 等. 中性氧化电解水对冷鲜草鱼肉品质及质构的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(3): 239-244. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201703039.
- [14] 刘大松. 草鱼肉在微冻和冰藏保鲜中的品质变化及其机理[D]. 无锡: 江南大学, 2012: 13-15.
- [15] 国际食品微生物标准委员会. 微生物检验与食品安全控制[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2012: 4-6.
- [16] 王庆丽. 养殖大黄鱼和海水鲈鱼冷藏过程中特定腐败菌的鉴别[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2012: 18-21. DOI:10.7666/d.Y2292494.
- [17] 陈丽丽, 赵利, 袁美兰, 等. 电子鼻检测贮藏期草鱼新鲜度的变化[J]. 食品科学技术学报, 2014, 32(4): 64-68. DOI:10.3969/j.issn.2095-6002.2014.04.012.
- [18] 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: 13-15. DOI:10.7666/d.Y2887269.
- [19] BJERKENG B, JOHNSEN G. Frozen storage quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) as affected by oxygen, illumination, and fillet pigment[J]. Journal of Food Science, 1995, 60(2): 284-288. DOI:10.1111/j.1365-2621.1995.tb05656.x.
- [20] 陈林兴, 周井娟. 世界三文鱼生产现状与发展展望[J]. 农业展望, 2011, 7(8): 41-44. DOI:10.3969/j.issn.1673-3908.2011.08.011.
- [21] 刘延岭, 邓林. 养殖三文鱼与挪威三文鱼营养成分的比较分析[J]. 食品与发酵科技, 2011, 47(6): 84-86. DOI:10.3969/j.issn.1674-506X.2011.06.022.
- [22] KE P J, WOYEWODA A D. Microdetermination of thiobarbituric acid values in marine lipids by a direct spectrophotometric method with a monophasic reaction system[J]. Analytica Chimica Acta, 1979, 106(2): 279-284. DOI:10.1016/S0003-2670(01)85011-X.
- [23] LEE S, JOO S T, ALDERTON A L, et al. Oxymyoglobin and lipid oxidation in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) loins[J]. Journal of Food Science, 2003, 68(5): 1664-1668. DOI:10.1111/j.1365-2621.2003.tb12310.x.
- [24] 霍晓娜, 李兴民. 光对冷却肉脂肪氧化和色泽变化的影响[J]. 肉类研究, 2008, 23(2): 3-10. DOI:10.3969/j.issn.1001-8123.2008.02.004.
- [25] 丁婷, 李婷婷, 励建荣, 等. 0℃冷藏三文鱼片新鲜度综合评价[J]. 中国食品学报, 2014, 14(11): 252-259.
- [26] 包海蓉, 张奎. 不同冷藏温度对生鲜三文鱼品质变化的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(14): 344-347.
- [27] CHAIJAN M, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Changes of pigments and color in sardine (*Sardinella gibbosa*) and mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) muscle during iced storage[J]. Food Chemistry, 2005, 93(4): 607-617. DOI:10.1016/j.foodchem.2004.10.035.
- [28] STOREBAKKEN T, FOSS P, SCHIEDT K, et al. Carotenoids in diets for salmonids: IV. pigmentation of Atlantic salmon with astaxanthin, astaxanthin dipalmitate and canthaxanthin[J]. Aquaculture, 1987, 65(3): 279-292. DOI:10.1016/0044-8486(87)90241-9.
- [29] SAITO K, AHMED A, TAKEDA H, et al. Effects of a humidity-stabilizing sheet on the color and *K* value of beef stored at cold temperatures[J]. Meat Science, 2007, 75(2): 265-272. DOI:10.1016/j.meatsci.2006.07.011.