

# 预冷处理对冻罗非鱼片品质的影响

郭学骞, 冯爱国, 夏光华, 李 川\*, 林向东

(海南大学食品学院, 海南 海口 570228)

**摘 要:** 拟在现有冻罗非鱼片工艺中加入预冷工序。将新鲜罗非鱼片用冰水浸渍, 放入不同温度(-4、-7、-18 °C)条件下冻藏, 定期测定pH值、色差、失水率、挥发性盐基氮(total volatile base nitrogen, TVB-N)值和质构等参数, 分析预冷对冻藏品质的影响。结果显示, 预冷对pH值影响最显著的温度为-7 °C, 10~20 d时-7 °C预冷处理组罗非鱼片pH值仍在继续下降, 而其对照组已开始回升。随着贮藏时间延长, 罗非鱼片色差亮度 $L^*$ 值与红度值 $a^*$ 均呈现下降趋势, 且贮藏温度越低, 下降幅度越小, 同时发现对照组 $L^*$ 值和 $a^*$ 值普遍低于预冷处理组。同时, 贮藏温度越低, 失水率越高, 30 d罗非鱼片失水率达到最高值, -18、-7 °C对照组此时失水率达7.47%、6.82%。-4 °C及-7 °C预冷处理对罗非鱼片TVB-N值影响较大, 20 d后与对照渐趋一致; 但30 d时-18 °C罗非鱼片预冷处理组与对照组仍有较大差别, TVB-N值分别为8.04 mg/100 g和9.87 mg/100 g。20 d前随贮藏温度降低罗非鱼片预冷处理组与对照组的咀嚼性差异增大, 之后则趋于一致。贮藏期间硬度无显著差异, 弹性仅在-4 °C内罗非鱼片处理组与对照组间有较明显差异, 其余差异均不显著( $P>0.05$ )。内聚性的变化因无明显规律不作为评判指标。综上, 预冷处理对罗非鱼片部分冻藏品质指标有较明显的改善作用, 利于保持鱼片品质, 可作为生产企业的借鉴。

**关键词:** 冻罗非鱼片; 预冷; 僵硬期; 质构; 品质

## Effect of Pre-cooling Treatment on Quality of Frozen Tilapia Fillets

GUO Xueqian, FENG Aiguo, XIA Guanghua, LI Chuan\*, LIN Xiangdong

(College of Food Science and Technology, Hainan University, Haikou 570228, China)

**Abstract:** This study was an attempt to examine the viability of pre-cooling before freezing of tilapia fillets. Fresh tilapia fillets were soaked in ice water prior to frozen storage at different temperatures, which served as a treatment group, and those directly frozen were used as a control group. The pH, color, drip loss after thawing, total volatile base nitrogen (TVB-N) and texture parameters of the fillets were measured at regular intervals during frozen storage to evaluate the effect of pre-cooling on the quality of frozen fish fillets. The results showed that the pH of fish fillets frozen at -7 °C was more influenced by pre-cooling than at other freezing temperatures, and it decreased from day 10 to 20 of storage at -7 °C but began to increase again at other freezing temperatures. Both color  $L^*$  and  $a^*$  values decreased continuously during the storage process, and the decrease was smaller at lower storage temperature. These color parameters were increased by pre-cooling as compared to control. In addition, post-thaw exudative moisture loss was higher at lower freezing temperature, reaching its maximum value on day 30 of storage, 7.47% and 6.82% at -18 and -7 °C, respectively. The TVB-N value of frozen fish fillets at -4 and -7 °C was more significantly affected by pre-cooling during the first 20 days of storage, but no significant difference was observed later. There was a big difference between the TVB-N values with and without pre-cooling on day 30 of storage -18 °C, which were 8.04 and 9.87 mg/100 g, respectively. An increased difference in chewiness between the treatment and control groups was observed during the first 20 days of frozen storage at lower temperature, which tended later to be consistent. No significant difference in hardness was noted at the same temperatures but there was a significant difference in elasticity between the two groups at -4 °C ( $P>0.05$ ), but not at other temperatures ( $P<0.05$ ). However, cohesiveness was changed irregularly. In conclusion, pre-cooling treatment can improve some quality attributes of frozen tilapia fillets, thereby maintaining their quality.

**Key words:** frozen tilapia fillets; pre-cooling; rigor mortis; texture; quality

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201713041

收稿日期: 2017-01-06

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金项目(31460420); 海南省自然科学基金项目(20163043)

作者简介: 郭学骞(1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产品贮藏与加工技术。E-mail: guoxueqian2013@163.com

\*通信作者: 李川(1986—), 男, 讲师, 博士, 研究方向为热带水产品精深加工与贮藏保鲜。E-mail: lichuanbest@126.com

中图分类号: TS254.4; S986.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 13-0251-06

引文格式:

郭学骞, 冯爱国, 夏光华, 等. 预冷处理对冻罗非鱼片品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(13): 251-256. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201713041. <http://www.spkx.net.cn>

GUO Xueqian, FENG Aiguo, XIA Guanghua, et al. Effect of pre-cooling treatment on quality of frozen tilapia fillets[J]. Food Science, 2017, 38(13): 251-256. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201713041. <http://www.spkx.net.cn>

2014年联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)发布的罗非鱼全球市场分析预测显示, 2030年全球罗非鱼产量将达到730万 t, 发展势头良好。在过去的20年里, 中国的罗非鱼产量增加了4倍多, 最高时一度占据全球市场的45%。然而由于我国冷冻加工的罗非鱼片产品存在易变色、质构品质不够理想及国外同类产品竞争等现象, 导致欧美市场容量减少、买家退单等问题, 自2015年以来, 我国罗非鱼加工出口行业效益出现下降态势, 目前市场占有率已下降至30%, 致使我国一些罗非鱼加工企业减产、倒闭或转产, 前景堪忧<sup>[1-3]</sup>。

预冷处理是指物料从初始温度迅速降至所需要温度的过程, 该法多用于果蔬原料贮藏保鲜, 可去除物料田间热并冷却到适宜温度, 大大降低果蔬冷害、腐败的发生率, 已逐渐发展成为采后冷链保鲜的重要环节<sup>[4]</sup>。欧盟要求畜禽肉类在进入分割阶段前需进行预冷, 美国1997年起亦开始相关立法。而我国在2005年已将预冷处理编入国家标准并正式实施, 方法主要包括传统冷却、延迟冷却、喷淋冷却、快速冷却等<sup>[5-7]</sup>。

由于鱼类死后的体态变化大致可以分为僵硬期、自溶期、腐败期3个阶段, 即鱼肉由于ATP及乳酸变化质地, 在僵硬期由柔软先逐渐变僵硬, 到达极限时又受pH值、微生物等影响下进入自溶期再度恢复柔软, 随后进入腐败期。研究发现僵硬期阶段其新鲜度与活鱼几乎没有区别, 即僵硬期结束前其新鲜度与活鱼相比几乎没有区别<sup>[8]</sup>。故本实验拟在原有冻罗非鱼片加工流程中将预冷处理置于开片工序之后, 若能延长罗非鱼片原料的僵硬期, 推迟其进入自溶期的时间, 则将从源头上保证鱼片品质, 为后续加工创造有利条件, 提高产品的国际市场竞争力。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

经CO处理发色的新鲜罗非鱼片, 购自海南佳得信食品有限公司, 单片质量约170 g。

硼酸、盐酸 广州化学试剂厂; 甲基红(分析纯)、氧化镁(分析纯)、溴甲酚绿(指示剂) 国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

FA2004B型电子天平 上海佑科仪器仪表有限公司; 202-2型电热恒温干燥箱 常州市华普达教学仪器有限公司; DL-YI-15台式封闭电炉 天津市泰斯特仪器有限公司; K9840凯氏定氮仪 济南海能仪器有限公司; HJ-4四联磁力加热搅拌器 江苏省金坛市环宇科学仪器厂; JJ-2型高速组织捣碎机 上海标本模型厂; CR-10型色差仪 日本柯尼卡美能达公司; BCD-356WJ型电冰箱 青岛海尔股份有限公司; pH-3C型pH计 上海伟业仪器厂; CT3型质构仪 美国BrookField公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 罗非鱼片预冷处理

将经CO发色的罗非鱼片放入隔热装置迅速运回实验室, 处理组放入冰水浸泡1 h, 结束后将鱼片分别放入-4、-7、-18℃冰箱中, 每组各6片。对照组无预冷操作直接放入相同条件冰箱。每隔10 d进行一次指标测量以比较其品质变化。

#### 1.3.2 pH值的测定

参照文献[9]进行测定。将pH计打开, 预热5~10 min, 并用校准液校准。将待测样品用高速组织捣碎机捣碎, 称取10.0 g并加入去离子水100 mL, 用磁力搅拌器搅拌30 min, 静置30 min, 过滤后取滤液30 mL用pH计重复测定3次, 取平均值记为最终数据。

#### 1.3.3 色差值的测定

参考奉琳娜<sup>[10]</sup>的方法并做改动: 打开仪器电源并调至L\*、a\*、b\*系统, 取出低温贮藏的样品, 室温(约25℃)解冻30 min。将解冻好的鱼片样品放置在平整操作台上, 将探头完整的置于发色鱼片颜色变化最明显的脊柱处进行色差值的测定, 且要避免漏光影响数据出现误差, 重复测定6次, 取平均值为最终结果。

#### 1.3.4 失水率的测定

将取出的样品称质量并记录。解冻后每隔30 min称质量一次, 直至鱼片汁液不再流失为止, 根据与解冻前质量差值计算鱼片失水率, 见公式(1)。

$$\text{失水率}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

式中:  $m_1$ 为解冻前样品质量/g;  $m_2$ 为解冻后样品质量/g。

### 1.3.5 挥发性盐基氮含量的测定

按GB 5009.228—2016《食品中挥发性盐基氮的测定》中第二法并参考海南省出入境检验检疫总局操作方法稍作改动。样本处理：鱼肉组织捣碎后精确称取10.00 g，放入100 mL烧杯中，加75 mL蒸馏水磁力搅拌30 min，静置浸渍30 min，使试样在样液中分散均匀。自动凯氏定氮仪参数：蒸馏水：0 mL；20 g/L硼酸溶液30 mL；350 g/L氢氧化钠溶液：0 mL；蒸馏时间210 s；淋洗水量10 mL。样品蒸馏：将样品直接滤入定氮仪蒸馏管内，加入1 g氧化镁，滴入10滴甲基红-溴甲酚绿混合指示剂，用标定后的0.01 mol/L盐酸标准液滴定。样品挥发性盐基氮（total volatile base nitrogen, TVB-N）含量按式（2）计算。

$$X = \frac{(V_1 - V_2) \times c \times 14}{m} \times 100 \quad (2)$$

式中：X为试样中TVB-N的含量/（mg/100 g）； $V_1$ 为试液消耗盐酸或硫酸标准滴定溶液的体积/mL； $V_2$ 为试剂空白消耗盐酸或硫酸标准滴定溶液的体积/mL；c为盐酸或硫酸标准滴定溶液的浓度/（mol/L）；14为滴定1.0 mL盐酸[c（HCl）=1 mol/L]标准滴定溶液相当氮的摩尔质量/（g/mol）；m为试样质量/g；100为计算结果换算系数。

### 1.3.6 质构参数的测定

使用TPA测试模式，测定指标包括硬度、弹性、内聚性和咀嚼性。参数设定<sup>[11]</sup>：探头选取直径为6 mm的圆柱形TA41探头，测试速率2 mm/s，触发点负载7 g，压缩距离2 mm。选取贴近脊柱鱼肉最厚处测量3个点，结果取平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 预冷对罗非鱼片pH值的影响

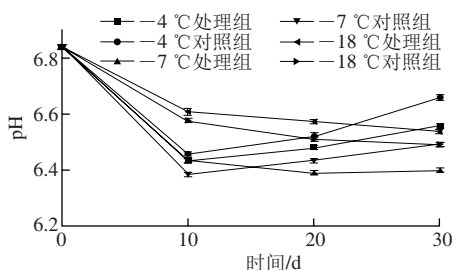


图1 不同处理罗非鱼片样品pH值变化

Fig. 1 pH change of fish fillets with different treatments during storage

由图1可知，除-18 °C贮藏条件下样品pH值呈逐渐下降趋势外，其他各处理pH值变化均呈先下降后上升趋势，且各处理组间差异显著（ $P < 0.05$ ），该结果与熊铭<sup>[12]</sup>的研究相符。由于初期肌糖原无氧酵解产生的乳酸以及

ATP分解生成的磷酸根离子等使pH值下降，随着酶被逐渐增多的乳酸抑制，肌糖原不能继续分解，乳酸也不再产生，此时为最低pH值。而后期由于含氮物质不断分解生成碱性物质使pH值回升<sup>[13]</sup>。各温度处理组变化趋势均落后于对照组，表明预冷处理对鱼片pH值变化产生了抑制作用，有利于延长鱼片僵硬期及提高鱼片品质。

### 2.2 预冷对罗非鱼片色差值的影响

产品颜色的变化通常用色差仪进行测定。与传统肉色评定方法相比，该方法数据精确度高，客观性强，更具有参考价值<sup>[14-16]</sup>。 $L^*$ 和 $a^*$ 主要由肉内肌红蛋白存在形式及含量决定，因此可以用色差值反映鱼片的不同状态差异<sup>[17]</sup>。鱼体被宰杀时，由于体内主要为紫红色的还原态肌红蛋白（Mb）和鲜红色的氧合肌红蛋白（MbO<sub>2</sub>），而大部分MbO<sub>2</sub>随放血过程流失，鱼片整体呈紫红色或浅红色；随着Mb与充足氧气氧合生成MbO<sub>2</sub>，肉色呈鲜亮的红色；此间Mb或MbO<sub>2</sub>可与少量氧气结合生成氧化态高铁肌红蛋白（Met-Mb），肉色发暗褐变<sup>[13,18]</sup>。鱼片颜色劣化的主要表现为肉色变白、红色消退，因此认为黄蓝色变化对鱼片色泽影响较小，故本实验未对 $b^*$ 值做讨论。

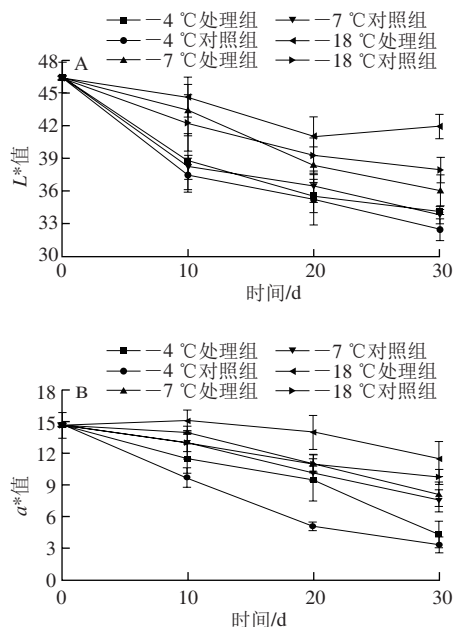


图2 不同处理罗非鱼片样品 $L^*$ 值（A）和 $a^*$ 值（B）的变化

Fig. 2 Changes in  $L^*$  (A) and  $a^*$  (B) values fish fillets with different treatments during storage

由图2可知，冻罗非鱼片在贮藏过程中色差变化总体呈下降趋势，且贮藏温度越高，下降越快，该结果与奉琳娜<sup>[10]</sup>的研究结果相符；10 d时-7 °C处理组 $L^*$ 值为43.4，高于-18 °C对照组的42.49， $a^*$ 值为13.89，亦高于-18 °C对照组的13.1，且各处理组间差异显著



( $P<0.05$ )。表明预冷操作可抑制罗非鱼片色差值的降低,其原因可能是对照组pH值相对较低,减弱了血红素与结构蛋白的结合,从而加快其氧化,导致Mb氧化生成MbO<sub>2</sub>以及Mb、MbO<sub>2</sub>氧化生成Met-Mb的速度在一定程度上较处理组更高,加快了 $a^*$ 值的下降速度。

### 2.3 预冷对罗非鱼片失水率变化的影响

失水率表示肌肉的系水能力,即肌肉受外力作用时保持原有水和添加水的能力。失水率越高,表明系水力越差,且肌肉系水力是影响肉的颜色、风味、嫩度、加工与贮藏的重要因素。正常情况下肌肉水分主要为结合水,且靠肌纤维所带大量电荷与水结合,而肌肉pH值能够改变肌纤维带电荷状况,从而对系水力有很大的影响。活体状态下肌纤维蛋白质分子带净负电荷,能够吸附大量水分子,此时肌肉的系水力较高。而屠宰后糖酵解和乳酸堆积使pH值下降,导致带净负电荷蛋白质数量减少,从而降低其系水力。当pH值下降到接近肌肉蛋白质等电点时,蛋白质净电荷为零,此时肌肉的系水力最低。pH值回升时,系水力亦将回升,导致失水率增速减缓<sup>[19-22]</sup>。

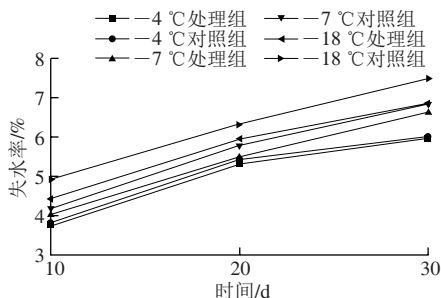


图3 不同处理罗非鱼片样品失水率的变化

Fig. 3 Change in post-thaw exudative water loss fillets with different treatments during storage

由图3可知,贮藏温度越低失水率越高,且处理组普遍低于对照组,30 d时-4 °C处理组失水率最低,仅为5.95%,与-4 °C对照组5.99%相比差异不显著( $P>0.05$ )。而其余各处理组间差异均显著( $P<0.05$ )。30 d时-18 °C对照组最高,已达7.47%, -7 °C对照组失水率达6.82%,且贮藏温度越低,预冷对于降低失水率的效果越明显。此外,20 d后,-4 °C两组失水率上升速率明显减缓,分析其原因应为-4 °C条件下鱼片率先到达极限pH值且开始回升,提高肌纤维系水力,从而一定程度抑制水分大量流失,符合pH值发展趋势。综上可见,贮藏温度和预冷对持水力有较明显影响。

### 2.4 预冷对罗非鱼片TVB-N含量变化的影响

TVB-N是动物性食品由于酶和细菌的作用,使蛋白质分解而产生胺类等碱性含氮物质,随肉品腐败程度加

剧而增加,因此是判定肉类、水产品 and 腌制蛋制品新鲜度的理想指标之一<sup>[17,23]</sup>。

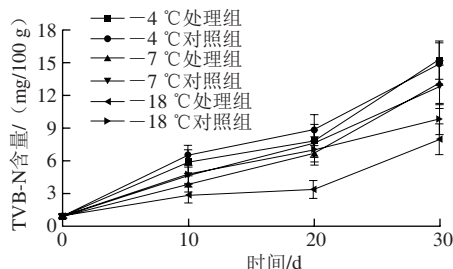


图4 不同处理罗非鱼片样品TVB-N含量的变化

Fig. 4 TVB-N change of fish fillets with different treatments during storage

由图4可知,罗非鱼片样品TVB-N值增长趋势随贮藏温度的降低渐缓,且-4 °C和-7 °C环境下前20 d相同温度处理组鱼片TVB-N含量均低于对照组,而到30 d时含量基本一致。30 d时-18 °C罗非鱼片处理组与对照组TVB-N值分别为8.04 mg/100 g和9.87 mg/100 g,表明预冷操作对鱼片在TVB-N变化的影响上主要体现在贮藏初期。

### 2.5 预冷对罗非鱼片质构的影响

#### 2.5.1 硬度的变化

硬度为压缩循环的峰值负载,即使鱼片发生形变所要施加的压力,鱼肌肉组织的成分特性、固有结构及连接组织均会影响鱼肌肉硬度大小。TPA检测分为两次重复试验,故有两个硬度参数,称为硬度1和硬度2,由于硬度2是第一次压缩样品发生略微形变后测定的,故本实验硬度值取硬度1作比较<sup>[24-27]</sup>。

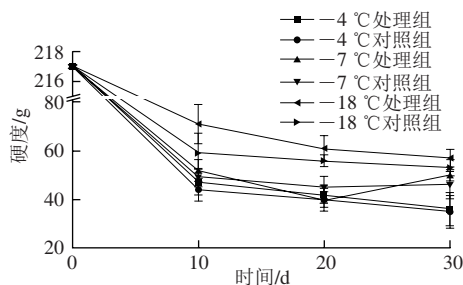


图5 不同处理罗非鱼片样品硬度的变化

Fig. 5 Hardness change of fish fillets with different treatments during storage

由图5可知,贮藏期内罗非鱼片硬度总体变化呈降低趋势,且处理组硬度均高于对照组,10 d时-18 °C处理组硬度为71 g,远高于同温度对照组的59 g,处理组间差异显著( $P<0.05$ )。原因可能是预冷使鱼片分段降温减弱肌肉应激反应强度,降低肌纤维冷收缩强度及僵硬期最高硬度;另外,预冷延长鱼片僵硬期时间,导致同样贮藏时间鱼片解僵程度不同,加大了两组差距,而其余两个贮藏温度条件下处理组与对照组并未出现明显差别,组间差异不显著( $P>0.05$ )。其原因应为贮藏温度

较高, 鱼体已经完全进入自溶期, 故从数值上并未明显表现出预冷对延长僵硬期所体现出的作用。

### 2.5.2 内聚性的变化

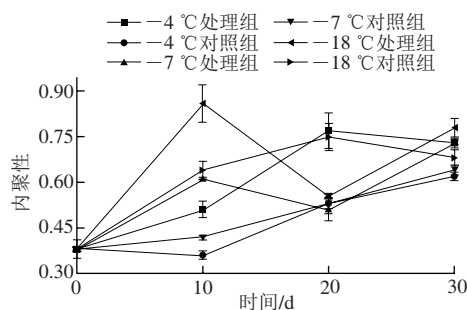


图6 不同处理罗非鱼片样品内聚性的变化

Fig. 6 Cohesiveness change of fish fillets with different treatments during storage

内聚性指组成食物结构的内部健力, 反映鱼片细胞间结合能力的大小<sup>[24]</sup>, 由图6可知, 鱼肉内聚性整体呈略微上升趋势, 在30 d时除-18 °C处理组外, 各组数据均保持在0.62~0.72之间, 且各处理组鱼片内聚性均优于对照组, 10 d时, -4、-7 °C对照组内聚性略微下降, 其余各组均有上升, 尤其-18 °C处理组内聚性达到了0.89, 原因可能为预冷处理延长鱼片僵硬期, 致使不同处理下鱼片在10 d时僵硬或解僵进入迟滞期的程度不同, 细胞间结合力发生不同程度改变, 而-18 °C处理组在10 d时相较于其他处理僵硬表现更明显所致。

### 2.5.3 弹性的变化

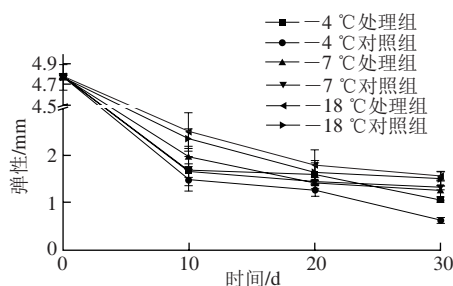


图7 不同处理罗非鱼片样品弹性的变化

Fig. 7 Elasticity change of fish fillets with different treatments during storage

弹性指样品经过第一次压缩后鱼片所能够再恢复的程度, 主要受僵直时间及恢复程度影响<sup>[28]</sup>, 由图7可知, 弹性变化趋势也随贮藏时间变化而下降, -18 °C条件下区别最小, 贮藏20 d时处理组与对照组之间相差最大, 也仅为0.16 mm, -7 °C条件下最大差别0.31 mm (贮藏10 d时), -4 °C条件下30 d时差异最大, 处理组与对照组弹性分别为1.05 mm和0.62 mm, 组间差异显著 ( $P < 0.05$ )。推测原因可能是弹性指标受其硬度、解僵程度等多方面原因影响, 因素较为复杂。

### 2.5.4 咀嚼性的变化

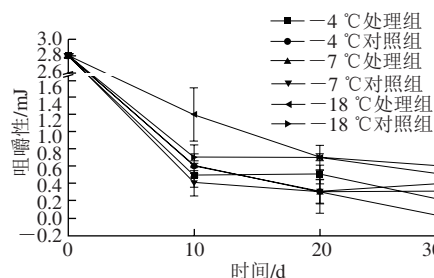


图8 不同处理罗非鱼片样品咀嚼性的变化

Fig. 8 Chewiness change of fish fillets with different treatments during storage

咀嚼性是贮藏前期测定冻罗非鱼片僵硬程度及探究预冷对冻罗非鱼片品质变化的可靠指标之一<sup>[12]</sup>。由图8可知, 咀嚼性亦呈随时间延长逐渐下降趋势, 且贮藏温度越低, 咀嚼性下降越慢, 其变化趋势与硬度类似, 即预冷会在贮藏初期使咀嚼性产生一定差别, 但随着贮藏时间的延长, 相同贮藏温度的鱼片会渐趋一致, 即鱼片僵硬期及僵硬程度对咀嚼性有重要影响。此外, 由于鱼肉脂肪含量越高, 咀嚼性越好<sup>[29]</sup>, 故表明预冷对延缓鱼体脂肪氧化亦有一定效果。

## 3 结论

经分析认为, 预冷作用可减缓pH值变化速度, 推迟到达极限pH值的时间, 在贮藏前期可抑制TVB-N含量增长速度, 同时具有一定的护色效果; 还可在一定程度上降低失水率。同时, 质构参数中硬度、弹性和咀嚼性指标的变化亦说明罗非鱼片僵硬期得到了延长。

由于鱼类死后的体态变化大致可以分为僵硬期、自溶期、腐败期3个阶段, 即鱼肉由于ATP及乳酸变化质地, 在僵硬期由柔软先逐渐变僵硬, 到达极限时又受pH值、微生物等影响下进入自溶期再度恢复柔软, 随后进入腐败期。而在僵硬期阶段其新鲜度与活鱼几乎没有区别。据实验观察, 罗非鱼死后具有较典型的僵硬期变化过程, 而预冷由于可延缓pH值降低时间、抑制TVB-N含量升高等效果, 故可在一定程度延长鱼体僵硬期、降低僵直程度, 从而改善鱼片贮藏品质, 可作为冻罗非鱼片生产工艺改进的内容。

### 参考文献:

- [1] 崔和. 罗非鱼生产与贸易形势[N]. 中国渔业报, 2015-02-09(B01).
- [2] 崔和. 常态下中国罗非鱼产业的发展[R]. 广州: 中国水产流通与加工协会, 2016: 6.
- [3] 崔和. 罗非鱼产业发展新进展[R]. 广州: 中国水产流通与加工协会, 2016: 12.
- [4] 高丽朴, 郑淑芳, 李武, 等. 果蔬差压预冷设备及预冷技术研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 185-189.

- [5] 杨林, 王伟, 王晓文, 等. 走出冷冻禽肉生产中预冷要求的误区: 浅谈冷冻禽肉在分割前必须达到冷却要求的合理性[J]. 肉类工业, 2016(5): 51-52.
- [6] 国家质量监督检验检疫总局. 屠宰和肉类加工企业卫生管理规范: GB/T 20094—2006[S].
- [7] 时美英. 屠宰体重、季节和套袋处理对猪胴体预冷损耗和肉品性状的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014: 7.
- [8] 杨光, 郭娟, 林向东. 不同致死方法和微冻处理对罗非鱼保鲜特性的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(16): 278-281.
- [9] 张强. 罗非鱼片真空微冻保鲜工艺的研究[D]. 海口: 海南大学, 2011: 11.
- [10] 奉琳娜. 基于微冻与气调结合的罗非鱼片保鲜技术研究[D]. 海口: 海南大学, 2016: 23.
- [11] 何其, 林向东, 鹿常胜, 等. 基于质构参数的低温保藏罗非鱼片品质评价方法[J]. 包装与食品机械, 2013(6): 1-6. DOI:10.3969/j.issn.1005-1295.2013.06.001.
- [12] 熊铭. 基于分形维数的冻罗非鱼片品质评价方法的研究[D]. 海口: 海南大学, 2016: 32.
- [13] 周光宏. 肉品加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 76; 116.
- [14] 蒋晓玲, 赵晓枫, 郭晓令, 等. 色差仪光源参数对猪肉肉色测定结果的影响[J]. 浙江农业科学, 2008, 1(4): 489-492. DOI:10.16178/j.issn.0528-9017.2008.04.005.
- [15] 王晶, 曹雪涛, 林向东. 罗非鱼鱼片非CO发色工艺优化[J]. 食品科学, 2015, 36(10): 23-27. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201510005.
- [16] 周波, 黄瑞华, 曲亮, 等. 色差仪和肉色板在猪肉肉色评定中的应用[J]. 江苏农业科学, 2007(2): 121-124. DOI:10.15889/j.issn.1002-1302.2007.02.046.
- [17] 杨毅青. 贮藏和加工工艺对三种淡水鱼品质及氯霉素残留的影响[D]. 天津: 天津农学院, 2014: 46.
- [18] TANG S Z, OU S Y, HUANG X S, et al. Effects of added tea catechins on colour stability and lipid oxidation in minced beef patties held under aerobic and modified atmospheric packaging conditions[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(2): 248-253. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2005.06.025.
- [19] 陈清明, 工连纯. 现代养猪生产[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1997: 352-357.
- [20] 郭锋, 刘风民. 宰后畜禽肌肉组织生化变化及其对肉质的影响[J]. 中国家禽, 2003, 25(2): 46-47. DOI:10.16372/j.issn.1004-6364.2003.02.032.
- [21] 宾冬梅. 冷却保鲜肉生产技术与发展趋势[J]. 肉类研究, 2004, 18(1): 19-22.
- [22] 郭建凤, 武英, 呼红梅, 等. 不同储存温度、时间对长白猪肌肉pH及失水率的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(1): 33-36.
- [23] 齐娟, 徐志方. 猪肉、猪肝挥发性盐基氮与其感官性状的差异研究[J]. 肉类工业, 2015(10): 32-34.
- [24] 张馨木. 质构仪测定冷鲜肉新鲜度方法的研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2012: 25.
- [25] WAN Linglin, QING Xiaozeng, ZHI Weizhu. Different changes in mas-tication between crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C.et V) and grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) after heating: the relationship between texture and ultrastructure in muscle tissue[J]. Food Research International, 2009, 42: 271-278.
- [26] JOHNSTON I A. Muscle development and growth: potential implications for flesh quality in fish[J]. Aquaculture, 1999, 177(1/4): 99-115. DOI:10.1016/S0044-8486(99)00072-1.
- [27] PERIAGO M A J, AYALA M A D, LÓPEZ-ALBORS O, et al. Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass, *Dicentrarchus labrax* L.[J]. Aquaculture, 2005, 249(1/2/3/4): 175-188. DOI:10.1016/j.aquaculture.2005.02.047.
- [28] 林婉玲, 杨贤庆, 李来好, 等. 脆肉鲩质构与感官评价的相关性研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(1): 1-7. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2013.01.004.
- [29] ROBB D H F, KESTIN S C, WARRISS P D, et al. Muscle lipid content determines the eating quality of smoked and cooked Atlantic salmon (*Salmo salar*)[J]. Aquaculture, 2002, 205(3/4): 345-358. DOI:10.1016/S0044-8486(01)00710-4.