

# 不同温度下鲳鱼品质及微观组织的变化研究

苏辉<sup>1,2</sup>, 谢晶<sup>1,2</sup>, 黎柳<sup>1,2</sup>, 吴圣彬<sup>1,2</sup>, 徐程华<sup>2</sup>

(1. 上海水产品加工与贮藏工程技术研究中心, 上海 201306) (2. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

**摘要:** 为探究鲳鱼在不同温度贮藏下货架期情况, 本文对冷藏(4℃)、微冻(-3℃)和冻藏(-18℃)条件下鲳鱼的菌落总数(APC)、pH值、挥发性盐基氮(TVB-N值)、K值、肌动球蛋白含量、总巯基含量和微观组织等指标进行研究。结果表明: 随着贮藏时间延长三种贮藏方式鲳鱼菌落总数、pH、TVB-N值和K值上升, 至三种贮藏方式实验终点, 鲳鱼TVB-N分别在第6d、20d和60d时达到0.35 mgN/g、0.40 mgN/g、0.16 mgN/g, 说明冻藏能有效的延缓鲳鱼腐败变质; 三种贮藏方式鲳鱼肌动球蛋白溶出量与巯基含量呈现下降趋势。肌纤维间冰晶形成程度随贮藏温度不同呈现不同趋势, 贮藏至第20d, 因为冰晶的形成冷冻组鲳鱼肌纤维组织结构破坏程度大, 肌纤维发生大规模位移和形变, 微冻组鲳鱼肌纤维仅发生部分位移, 说明微冻贮藏方式能更好保持鲳鱼良好的肌纤维组织形态。

**关键词:** 鲳鱼; 冷藏; 微冻; 冻藏; 货架期

文章编号: 1673-9078(2014)8-106-111

## Effect of Different Storage Temperatures on the Quality and Ultrastructure of *Pampus argenteus*

SU Hui<sup>1,2</sup>, XIE Jing<sup>1,2</sup>, LI Liu<sup>1,2</sup>, WU Sheng-bin<sup>1,2</sup>, XU Cheng-hua<sup>2</sup>

(1. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing & Preservation, Shanghai 201306, China)

(2. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** To explore the shelf life of *Pampus argenteus* under different storage temperatures, the aerobic plate count (APC), pH, total volatile basic nitrogen (TVB-N) content, K values, actomyosin content, total sulfhydryl content, and ultrastructure of *Pampus argenteus* were measured under conditions of cold storage, partial freezing storage, and frozen storage. The results showed an increase in APCs, pH, TVB-N, and K values with time, under all three storage conditions. The TVB-N content of *Pampus argenteus* reached values of 0.35 mgN/g, 0.40 mgN/g, 0.16 mgN/g, respectively, after storage for 6 d, 20 d, and 60 d in the frozen state. This observation suggested that frozen storage conditions could effectively retard spoilage of *Pampus argenteus*. The amount of dissolved actomyosin and total sulfhydryl content decreased with storage time for all three storage conditions. The formation of ice crystals within muscle fibers showed different trends with different storage temperatures. After 20 d of storage under frozen conditions, the muscle fibers of *Pampus argenteus* were severely damaged, likely because of the formation of ice crystals with large muscle fiber displacement and deformation. In contrast, only partial muscle fiber displacement occurred with partial freezing storage, suggesting that partial freezing conditions could better maintain *Pampus argenteus* muscle fiber morphology.

**Key words:** *Pampus argenteus*; cold storage; partial freezing storage; frozen storage; shelf life

鲳鱼, 又名镜鱼, 属鲈形目, 鲳科, 主要分布于中国沿海、日本中部、朝鲜和印度东部等海域。我国以南海和东海产量较多, 黄、渤海较少。因其几乎全身都是肉, 骨刺少、肉味鲜美, 逐渐成为海产珍品, 颇受国内外消费者喜爱。但由于鱼体死后, 其体内开始发生变化, 包括鱼体内物质的生化分解和细菌繁殖

收稿日期: 2014-03-28

基金项目: “十二五”国家支撑计划项目(2012BAD38B09); 2013年上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2013)第3-4字]

作者简介: 苏辉(1989-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品保鲜

通讯作者: 谢晶(1968-), 女, 教授, 博士生导师, 研究方向: 食品保鲜

引起的腐败, 这些因素会使鱼体在常温运输、贮藏期间发生品质下降<sup>[1]</sup>, 同时鲳鱼捕获期较为集中, 鲜鱼销量有限。如何改变单一贮藏方式带来的不便, 保证食用前提下延长鲳鱼货架期, 开拓鲳鱼销售方式, 是鲳鱼加工生产的一个重要课题。

低温贮藏是最常见延长水产品货架期手段, 它能够有效减缓微生物生长繁殖, 保证水产品品质与口感。低温贮藏较为常见的有冷藏、微冻贮藏和冻藏, 其中微冻贮藏指生物体在其冰点到冰点以下1~2℃之间的温度带的轻度冷冻贮藏, 也叫部分冷冻(partial freezing)和过冷却冷藏(super chilling)<sup>[2]</sup>。自二十世

纪六七十年代开始发展以来,已有诸多研究发现微冻保鲜技术能有效延长水产品货架期,如胡素梅等<sup>[3]</sup>对冷藏和微冻条件下鲤鱼品质进行对比发现,微冻处理组能有效减缓菌落总数、TVB-N值与K值等指标上升,较冷藏组延长鲤鱼货架期2.75倍。李卫东等<sup>[4]</sup>研究南美白对虾在微冻条件下鲜度变化表明,在贮藏18d时仍能保持原有风味,微冻贮藏的货架期达26d。但有关不同贮藏温度对鲳鱼品质的影响研究未见报道,本文对三种不同低温贮藏方式(4℃冷藏、-3℃微冻、-18℃冻藏)下鲳鱼进行研究,以菌落总数、pH、挥发性盐基氮、K值等理化鲜度指标作为鲳鱼货架期结点,并对贮藏期间鲳鱼肌动球蛋白溶出量、巯基含量等蛋白质变性指标和肌纤维组织形态变化进行研究,旨在为鲳鱼低温保鲜提供实用性理论。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料

新鲜鲳鱼购自上海芦潮港镇港口市场当天回港的渔船。鲳鱼挑选体型均匀一致,每尾中150~200g,碎冰装箱运回实验室。

新鲜鲳鱼切除鱼头、去腮、去内脏,清洗干净后,沥干水分,整尾装入PE食品袋,挤出空气。将装袋好的鲳鱼均分三份,分别置于4℃(冷藏)、-3℃(微冻)和-18℃(冻藏)下贮藏,定期取样测定。

### 1.2 主要仪器设备

SartoriusPB-10 酸度计,德国赛多丽斯集团;Kjeltec2300 凯氏定氮仪,丹麦FOSS公司;岛津LC-2010CHT型高效液相色谱仪,日本岛津公司;Unico2100分光光度计,上海Unico仪器公司;H-2050R冷冻离心机,长沙湘仪有限公司;FA25-18G匀浆机,德国FLUKO公司;Nikon-E200光学显微镜,日本Nikon公司;LM1100-1冷冻切片机,德国Leica公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 菌落总数(Aerobic Plate Count, APC)

参照GB 4789.2-2010中菌落总数测定方法进行测定。

#### 1.3.2 pH值

称取5g绞碎鱼肉置于烧杯,加入45mL蒸馏水,搅匀静置30min后,用pH计进行测定。

#### 1.3.3 挥发性盐基氮(Total Volatile Basic Nitrogen, TVB-N值)

根据半微量凯氏定氮原理,参考Goulas方法<sup>[5]</sup>,

分析天平准确称量5g绞碎鱼肉,加入0.5g氧化镁,以浓度为40g/L硼酸为吸收液,0.1mol/L盐酸滴定,凯氏定氮仪测定。

#### 1.3.4 K值

准确称取5g绞碎鱼肉放入50mL离心管,加入10%高氯酸(PCA)10mL,匀浆1min,浆液在10000r/min转速下离心15min,取上清液;沉淀物用冷却的5%的PCA10mL洗涤,等条件离心,重复5%PCA洗涤1次;合并上清液(约30mL),加入15mL冷却纯净水,用KOH溶液调节上清液pH至6.45~6.55,静置30min后,定容至50mL容量瓶,最后用0.45μm超微孔过滤膜过滤,滤液贮存于-20℃下待测。测定时,待滤液溶解后以高效液相色谱仪测定,采用inertsil ODP-SP(4.6mm×250mm×5μm)色谱柱,洗脱液为pH为6.5磷酸缓冲液,进样量10μL。K值结果以百分数表示:

$$K(\%) = \frac{[c(\text{HxR}) + c(\text{Hx})]}{[c(\text{ATP}) + c(\text{ADP}) + c(\text{AMP}) + c(\text{IMP}) + c(\text{HxR}) + c(\text{Hx})]} \times 100$$

注:式中ATP、ADP、AMP、IMP、HxR和Hx单位以mg/L表示。

#### 1.3.5 肌动球蛋白的测定

参考Yongsawatdigul<sup>[6]</sup>方法稍作修改。取3g左右绞碎鱼肉,加入5倍体积(15mL)冷却的磷酸盐缓冲液1(内含50mmol/L KCl, 20mmol/L磷酸盐缓冲液, pH 7.0)。用均质机在10000r/min下均质2min后,在4℃离心力5000g下离心10min。重复操作上述步骤2次,以去除水溶性蛋白。取两次离心所得的沉淀加入5倍体积的磷酸盐缓冲液2(内含0.6mol/L KCl, 20mmol/L磷酸盐缓冲液, pH 7.0)。用均质机在10000r/min下均质2min后,4℃下静置24h,在4℃离心力8000g下离心10min,去除不溶性蛋白。收集离心所得的上清液(盐溶性蛋白),加入3倍体积冷却的去离子水稀释,在4℃离心力10000g下离心15min,所得沉淀即为盐溶性的肌动球蛋白。蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝G-250法。

#### 1.3.6 总巯基含量(Total sulfhydryl content)测定

参照Benjakul<sup>[7]</sup>方法,取1mL的蛋白溶液加入9mL缓冲液1(50mmol/L磷酸盐缓冲液, pH 7.0, 10mmol/L EDTA, 0.6mol/L KCl, 8mol/L尿素),超声混匀。后取4mL混合溶液,加入0.4mL 0.1% DTNB, 40℃下静置反应25min。在412nm处测吸光度,空白对照用0.6mol/L KCl(pH 7.0)代替样品蛋白液,根据下列关系,可求得T-SH的含量:

$$Co = \frac{(A/\epsilon) \times D}{C}$$

式中: Co 为总巯基的摩尔浓度 (mol/g), A 为吸光值,  $\epsilon$  为吸光系数  $13600 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{L}$ , D 为稀释倍数, C 为蛋白液浓度, mol/mL。

### 1.3.7 背脊肌肉微观组织观察

将鲳鱼背部肌肉切成  $5 \text{ mm}^3$  左右小块, 放于 5% 福尔马林固定液中静置 24 h, 后经过乙醇梯度脱水, 二甲苯透明处理, 用石蜡包埋, 制成  $1 \text{ cm}^3$  石蜡块, 然后用 Leica 切片机切片, 厚度为  $10 \mu\text{m}$ , HE 常规染色。切片观察用 Nikon-E200 光学显微镜 (带有摄像头), 抓拍典型组织图像, 放大倍数  $10 \times 10$ 。

### 1.4 数据分析

实验均做 3 次重复, 数据用 SPSS 20 处理, 用 Origin 8.5 作图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同贮藏温度对鲳鱼菌落总数的影响

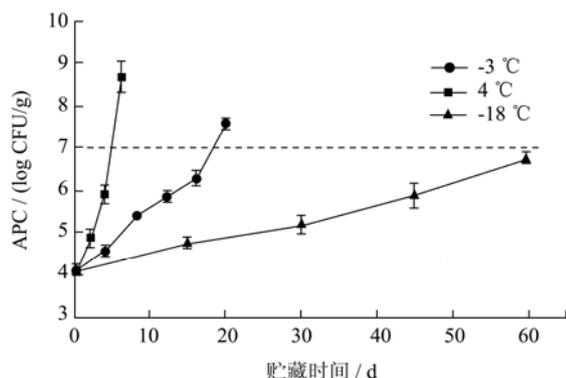


图 1 不同贮藏条件下鲳鱼菌落总数的变化

Fig.1 Changes in aerobic plate count of *Pampus argenteus* under different storage conditions

如图 1 所示, 不同贮藏温度下鲳鱼菌落总数都呈上升趋势, 4 °C 冷藏组在贮藏期间菌落数迅速上升, 贮藏至第 6 d 其菌落总数达到  $8.67 \text{ log CFU/g}$ ; 超出  $7.0 \text{ log CFU/g}$  的鲜鲳鱼菌落总数最大值; -3 °C 微冻组在贮藏至第 16 d 时, 其菌落总数为  $6.28 \text{ log CFU/g}$ , 未超出限值, 较冷藏组延长 10 d 到达 APC 阈值。-18 °C 冻藏组的菌落总数显示平稳的上升趋势, 贮藏至第 60 d 时, 仍属于二级鲜度。可见, 不同温度对细菌生长有较大影响, 温度越低, 细菌生长繁殖越慢。

### 2.2 不同贮藏温度对鲳鱼 pH 值的影响

由图 2 可知, 不同贮藏温度下鲳鱼 pH 值整体呈现出先降低后升高走势, 这与高志立<sup>[8]</sup>等人研究带鱼 pH 值随贮藏时间呈现 V 字形有着相同结论, pH 值的下降可能是由于  $\text{CO}_2$  在鲳鱼肌肉中溶解<sup>[9]</sup>。冷藏组 pH

值在第 2 d 后出现急剧上升, 而微冻组 pH 值在经过第 4 d 到第 8 d 的快速上升后, 第 8 d 后升高趋势平缓, 直至第 16 d 后, pH 值再次急剧上升, 可能是由于第 16 d 后, 微生物急速繁殖并在酶的作用下, 产生大量碱性物质, 导致这一结果<sup>[10]</sup>, 所以, pH 值与 TVB-N 值的上升时间点是一致的<sup>[11]</sup>。冻藏组在低温的影响下, pH 值没有出现急剧的上升现象, 与冻藏组 APC 上升缓慢一致。

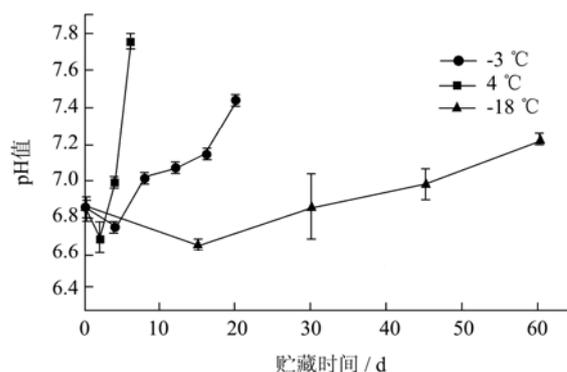


图 2 不同贮藏条件下鲳鱼 pH 值的变化

Fig.2 Changes in pH values of *Pampus argenteus* under different storage conditions

### 2.3 不同贮藏温度对鲳鱼 TVB-N 值的影响

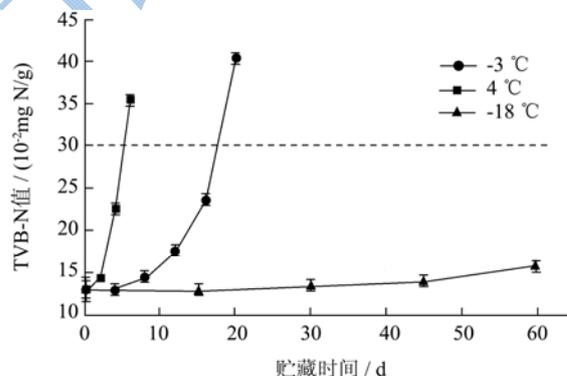


图 3 不同贮藏条件下鲳鱼 TVB-N 值的变化

Fig.3 Changes in TVB-N values of *Pampus argenteus* under different storage conditions

根据鲳鱼行业标准规定, 鲜、冻鲳鱼 TVB-N 值  $\leq 0.18 \text{ mgN/g}$  为一级品, TVB-N 值  $\leq 0.30 \text{ mgN/g}$  为合格品。图 3 所示, 贮藏开始 TVB-N 值为  $0.13 \text{ mgN/g}$ , 冷藏组第 4 d 时, 冷藏组与微冻组差异显著 ( $P < 0.05$ ), 第 6 d 其 TVB-N 值已超  $0.30 \text{ mgN/g}$  的合格限, 不可食用; 微冻组 TVB-N 在前 12 d 为缓慢上升期, 第 12 d 的 TVB-N 值为  $0.18 \text{ mgN/g}$ , 仍属于一级品, 第 16 d 后为该组贮藏后期, 微生物数增加使得细胞自溶, 产生大量胺类物质, 使 TVB-N 值急剧上升, 第 20 d 其 TVB-N 值为  $0.40 \text{ mgN/g}$ , 超出合格限值; 冻藏组 TVB-N 值显现出平缓上升, 在微生物受抑制情况下及

由冷冻造成的蛋白质变性, 都使得其蛋白质中含氮物质无法释出<sup>[12]</sup>, 第 60 d 其 TVB-N 值为 0.16 mgN/g, 仍为一级品。

### 2.4 不同贮藏温度对鲳鱼 K 值的影响

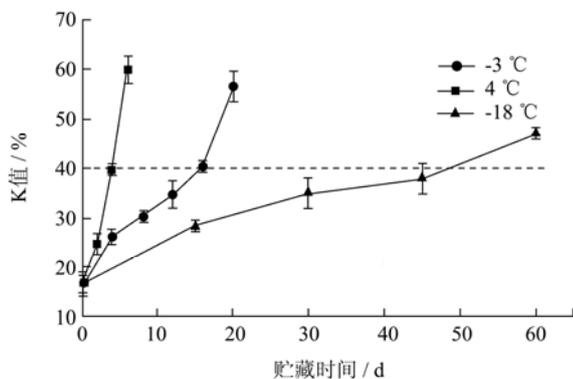


图4 不同贮藏条件下鲳鱼K值的变化

Fig.4 Changes in K values of *Pampus argenteus* under different storage conditions

K 值作为水产品前期鲜度评价一个代表性指标, K 值越大表明水产品腐败变质越明显, 20%、40%分别为水产品一级鲜度与二级鲜度的阈值, 超过 60%表明水产品已开始腐败。由图 4 可知, 随着贮藏时间推移, 不同温度组鲳鱼 K 值都呈上升趋势, 初始鲳鱼 K 值为 16.68%, 属于一级鲜度 ( $\leq 20\%$ ), 冷藏组在第 4d 其 K 值为 39.48%仍属于二级鲜度, 与微冻组已存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 微冻组与冻藏组最后临近二级鲜度点分别出现在第 16 d (40.22%) 和第 45d (37.69%), 说明低温能有效减缓 ATP 分解, 且在贮藏前期, K 值的上升态势比 TVB-N 值明显, 由此说明 K 值更能在水产品贮藏前期反应其品质变化。

### 2.5 不同贮藏温度对鲳鱼肌动球蛋白含量的影响

肌动球蛋白是肌动蛋白与肌球蛋白组成的复合物, 是肌原纤维的主要组成成分, 鱼肉冷冻变性与其有着紧密联系。如图 5 观察到, 不同贮藏温度下鲳鱼肌动球蛋白含量随时间延长而下降, 且前期下降剧烈, 后期趋于平缓, 这与周春霞等人研究碎冰冷藏对罗非鱼肌原纤维蛋白含量随贮藏时间的变化趋势相似<sup>[13]</sup>。微冻组在第 20 d 时, 肌动球蛋白含量为 1.89 mg/g, 同期冻藏组蛋白含量为 3.58 mg/g, 两组较初始值 (6.95 mg/g) 分别下降 72.8%与 48.5%。说明在最大冰晶生成带温度下贮藏, 肌动球蛋白不易稳定, 蛋白变性较严重。而肌动球蛋白的含量减少主要是由于盐溶性肌动球蛋白的巯基氧化形成的二硫键使肌动球蛋白重

组, 使其溶解性降低。

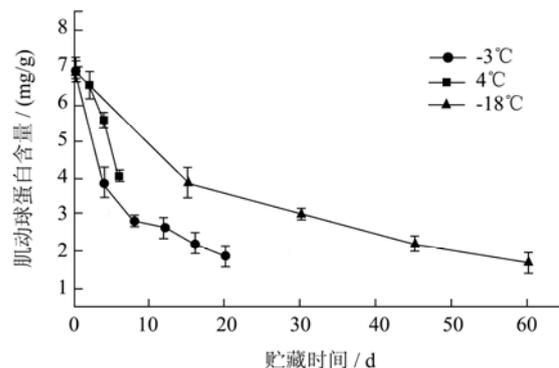


图5 不同贮藏条件下鲳鱼肌动球蛋白含量的变化

Fig.5 Changes in actomyosin value of *Pampus argenteus* under different storage conditions

### 2.6 不同贮藏温度对鲳鱼肌动球蛋白巯基含量的影响

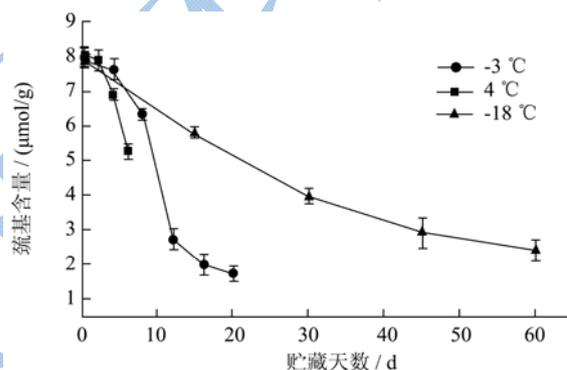


图6 不同贮藏条件下鲳鱼肌动球蛋白巯基含量的变化

Fig.6 Changes in T-SH contents in actomyosin of *Pampus argenteus* under different storage conditions

巯基是鱼肉蛋白中一种功能性基团, 易氧化, 巯基含量的变化反应了蛋白变性程度。如图 6 所示, 冷藏组巯基含量在前期下降平缓, 中后期下降迅速, 第 6 d 后巯基含量降到初始的 34.9%; 微冻组巯基量在中期下降很快, 前后期变化缓慢, 第 20 d 时降到初始值的 27.2%, 冻藏组则显示类似线性下降趋势, 后期也显示出一定的平缓下降态势, 第 60 d 其数值为初始值的 24.2%。由图 5 与图 6 可看出, 巯基含量与肌动球蛋白溶出量整体趋势相同, 但对于微冻组存在不同, 巯基含量在前期变化平缓, 中后期减少剧烈, 而肌动球蛋白含量变化速度正好相反 (如图 5)。其中巯基功能为稳定鱼肉中蛋白质的空间结构, 蛋白质中巯基氧化成二硫键后则迫使蛋白质重组, 导致肌动球蛋白溶出量减少, 而图 5 与图 6 中微冻组肌动球蛋白含量与巯基含量的变化表现出不同的下降速率, 可认为微冻组鲳鱼肌动球蛋白溶出量在前期并非只与巯基含量相

关,而可能还与与冰晶的形成有着关联,且微冻贮藏正好处在最大冰晶生成带,这与荣建华<sup>[14]</sup>等人研究低温贮藏对脆肉鲩鱼肉肌动球蛋白溶出量与巯基含量变化关系相似,在贮藏前期,冰晶的形成对鱼肉前期肌动球蛋白溶出量的影响高于巯基对肌动球蛋白溶出量的影响。

## 2.7 不同贮藏温度对鲳鱼微观组织结构的影响

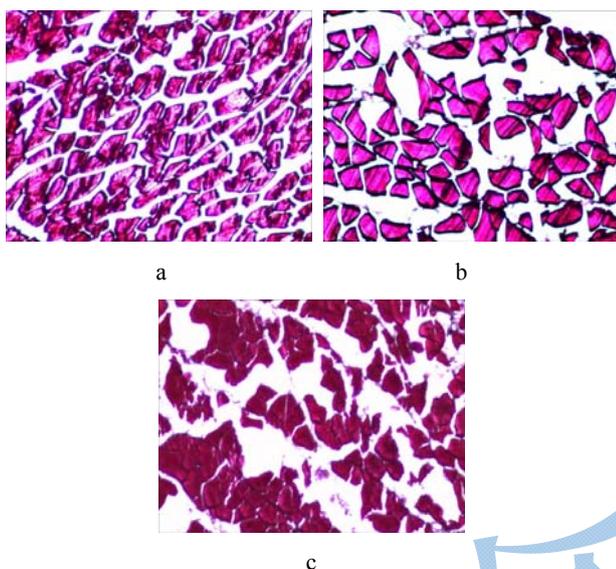


图7 不同贮藏条件下鲳鱼微观组织结构的变化

Fig.7 Changes in histology of *Pampus argenteus* under different storage conditions

图7分别显示了不同贮藏温度下鲳鱼肉横断面微观组织结构(10×10倍)。其中a图为新鲜鲳鱼肉,b为微冻组第20d后鲳鱼肉,c为冻藏组第20d后鲳鱼肉。从a中可以看出,新鲜鲳鱼肉(视为冷藏组)肌纤维断面分布均匀,有固定形状,肌纤维之间有线状间隙;当微冻贮藏至20d后,如b,之前的线状间隙发生变化,部分区域形成较大空隙,肌纤维受到挤压,往受力方向位移,部分肌纤维断面变形,不再按一定规律排列;当冻藏至20d后,如c所示,肌纤维间隙发生大规模变化,冰晶形成空隙增多,部分肌纤维受挤压严重位移,挤压在一起的肌纤维之间很难有间隙看出,且肌纤维断面轮廓模糊,边缘出现絮状物,肌纤维束发生断裂现象。说明当贮藏温度低于鲳鱼冻结点,温度越低,形成的冰晶对于鲳鱼肌纤维的形态、位置等影响越大,因为比较微冻组与冻藏组,在冻藏情况下,鱼体内水分冻结率更大,形成的冰晶数量更多,冰晶体积膨胀的影响更大,导致肌纤维间隙的拉开度增大,也就造成了对肌纤维更大程度的破坏。

## 3 结论

3.1 不同贮藏温度下,鲳鱼品质随贮藏时间延长而下降,菌落总数、pH值、TVB-N值和K值上升,肌动球蛋白溶出量与巯基含量下降;然而单一指标无法完全反应出鲳鱼品质变化情况,要得出鲳鱼在不同贮藏温度下的货架期,需综合参考多项品质指标的国家标准。根据APC、TVB-N值和K值三种标准二级鲜度的规定,得出冷藏组鲳鱼货架期在4~6d,微冻组鲳鱼货架期在16~20d,冻藏组鲳鱼K值指标在第60d时为46.82%,处于二级鲜度与初级腐败之间(40%~60%),其余指标均低于二级鲜度标准,所以认为其货架期仍然大于60d。

3.2 比较这三种不同温度贮藏,冷藏贮藏货架期最短,品质变化最快,适用于大众家庭鲜食或短期贮藏,因其贮藏期间未经历冻结点,肌肉内无冰晶形成,因而肌肉纤维没有受到冰晶破坏而具有较好的口感和风味;微冻贮藏货架期较冷藏延长12~16d,适用于企业初级加工销售方式,按捕捞—初加工—运输—销售的快速销售模式,且在此阶段内,冰晶形成数较少,冰晶对肌肉纤维破坏小;冻藏贮藏可长时间保持鲳鱼品质,货架期是其最大优势,且较微冻贮藏的温度控制技术简单,但其产生的冰晶问题为其最大劣势,肌肉组织受冰晶破坏严重。所以若将微冻保鲜进一步优化改进,减少温度波动对鱼体影响,则可使微冻保鲜作为鲳鱼等大宗水产鱼类的主要保鲜方式,满足大部分市场需求。

## 参考文献

- [1] Ocano-Higuera V M, Marquez-Ríos E, Canizales-Dávila M, et al. Postmortem changes in cazon fish muscle stored on ice [J]. Food Chemistry, 2009(116): 933-938
- [2] Bahaud D, Møkøe T, Langsrud Ø, et al. Effects of -1.5°C Super-chilling on quality of atlantic salmon (*Salmo salar*) pre-rig or fillets: cathepsin activity, muscle histology, texture and liquid leakage [J]. Food Chemistry, 2008, 111: 329-339
- [3] 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-kong, et al. Study on the quality changes of common carp during chilled storage and partial-freezing storage [J]. Fishery Modernization, 2010, 37(5): 38-42
- [4] 李卫东,陶妍,袁骥,等.南美白对虾在微冻保藏期间的鲜度变化[J].食品与发酵工业,2008,34(18):48-52  
LI Wei-dong, TAO Yan, YUAN Qi, et al. Changes in freshness

- of penaeus vannamei during partial freezing storage [J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 34(18): 48-52
- [5] Goulas A E, Kontominas M G. Effect of salting and smoking-method on the keeping quality of chub mackerel(*Scomber japonicus*): Biochemical and sensory attributes [J]. Food Chemistry, 2005, 93(3): 511-520
- [6] Yongsawatdigul J, Park J W. Thermal denaturation and aggregation of threadfin bream actomyosin [J]. Food Chemistry, 2003, 83(3): 409-416
- [7] Soottawat B, Wonnop V, Chutima T, et al. Comparative study on physicochemical changes of muscle proteins from some tropical fish during frozen storage [J]. Food Research International, 2003, (36): 787-795
- [8] 高志立,谢晶,施建兵,等.不同贮藏条件下带鱼品质变化的研究[J].食品科学,2013,34(16):311-315  
GAO Zhi-li, XIE Jing, SHI Jian-bing, et al. Quality changes of *Trichiurus haumela* under different storage conditions [J]. Food Science, 2013, 34(16): 311-315
- [9] Manju S, Jose L, Srinivasa Gopal T K, et al. Effects of sodium acetate dip treatment and vacuum-packaging on chemical, microbiological, textural and sensory changes of Pearlsplit (*Eetroplus suratensis*) during chill storage [J]. Food Chemistry, 2007(102): 27-35
- [10] 施建兵,谢晶,高志立,等.臭氧水浸渍后冰温贮藏提高鲳鱼块的保鲜品质[J].农业工程学报,2013,29(6):274-279  
SHI Jian-bing, XIE Jing, GAO Zhi-li, et al. Effects of ozone water dipping and super-chilling on improving preservation quality of pomfret fillet [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(6): 274-279
- [11] Yang Z, Wang H Y, Wang W. Effect of 10 MeV E-beam irradiation combined with vacuum-packaging on the shelf life of Atlantic salmon fillets during storage at 4°C [J]. Food Chemistry, 2014(145): 535-541
- [12] 宋永令,罗永康,张丽娜,等.不同温度贮藏期间团头鲂品的变化规律[J].中国农业大学学报,2010,15(4):104-110  
SONG Yong-ling, LUO Yong-kang, ZHANG Li-na, et al. Study on bream(*Megalobrama amblycephala*) quality variation during storage under different temperatures [J]. Journal of China Agricultural University, 2010, 15(4): 104-110
- [13] 王瑛,周春霞,洪鹏志,等.碎冰冷藏对罗非鱼肌原纤维蛋白理化特性的影响[J].食品工业科技,2013(10):120-123  
WANG Ying, ZHOU Chun-xia, HONG Peng-zhi, et al. Effect of iced storage on properties of myofibrillar protein from *Tilapia* muscle [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013(10): 120-123
- [14] 荣建华,甘承露,熊善柏,等.低温贮藏对脆肉鲩鱼肉肌球蛋白特性的影响[J].食品科学,2012,33(14):273-276  
RONG Jjian-hua, GAN Cheng-lu, XIONG Shan-bai, et al. Effect of low-temperature storage on properties of actomyosin in crisped grass carp muscle [J]. Food Science, 2012, 33(14): 273-276