

文章编号: 1000-0615(2003)05-0480-06

鱮肌肉蛋白质生化特性在冻藏过程中的变化

曾名勇, 黄海, 李八方

(中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003)

摘要:以肌动球蛋白的盐溶性、肌原纤维蛋白 ATPase 活性以及肌原纤维蛋白的巯基含量为指标,研究了鱮肌原纤维蛋白在 -10°C 、 -20°C 、 -30°C 和 -40°C 下冻藏时的变性情况。结果表明,在不同温度下冻藏时,鱮肌动球蛋白的盐溶性、肌原纤维蛋白的 ATPase 活性以及巯基含量随着冻藏时间的延长,均呈下降趋势。但是,鱮蛋白质的变性速度在不同冻藏温度下的差异是极其显著的($P < 0.01$)。冻藏温度越低,变性越缓慢。

关键词: 鱮; 冻藏; 肌原纤维蛋白质; 变性

中图分类号: Q518.4; S984 文献标识码: A

Changes of biochemical properties of *Aristichthys nobilis* muscle protein during frozen storage

ZENG Ming-yong, HUANG Hai, LI Ba-fang

(Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: The denaturation of myofibrillar protein of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) during frozen storage at different temperatures (-10°C , -20°C , -30°C and -40°C) was studied by measuring the solubility of actomyosin, ATPase activities and -SH content of myofibrillar protein. The results indicated that the solubility of actomyosin, ATPase activities and -SH content of myofibrillar protein decreased as frozen storage progressed. The temperature of frozen storage can significantly influence the rate of denaturation of myofibrillar protein ($P < 0.01$). The lower the frozen storage temperature, the slower the rate of denaturation of protein is.

Key words: *Aristichthys nobilis*; frozen storage; myofibrillar protein; denaturation

鱼肌肉蛋白质的生化特性是影响鱼食用质量和保鲜加工特性的极为重要的因素,因此,长期以来,国内外研究人员对鱼类尤其是海水鱼类蛋白质在冻藏过程中的生化特性变化和鱼肌肉蛋白质冻结变性机理进行了大量系统深入的研究,取得了很多有益的成果。虽然有关蛋白质冻结变性的机理尚未完全明了,但是,大量的研究结果得到了 3 个变性学说,即结合水的分离学说、水和水合水的相互作用学说和细胞液的浓缩学说^[1,2]。此外,大量研究表明鱼肌肉蛋白质在冻藏过程中的变性与新鲜度、冻藏温度、pH 值、脂肪氧化、氧化三甲胺还原产生的二甲胺和甲醛等因素密切相关^[3-5]。其中,冻藏温度是最重要的影响因素,冻藏温度越低,鱼肌肉蛋白质冻结变性速度越慢。

淡水鱼蛋白质生化特性的变化不仅影响其活鲜销时的食用质量,而且会严重影响其贮藏与加工时

收稿日期: 2002-08-06

资助项目: 山东省攻关课题(003110107)

作者简介: 曾名勇(1965-),男,江西吉安人,副教授,博士,从事水产品保鲜研究。Tel: 0532-2032400, E-mail: mingyz@mail.ouqd.

edu.cn

的质量。国外关于鲤等少数几种鱼类的肌原纤维蛋白质在加热与冷冻过程中的变性及其防止方法的研究较为深入^[6-8]。国内的研究虽然涉及的鱼种较多,但是主要集中在低温贮藏中的质量变化及淡水鱼糜制品特性的变化方面^[9,10]。对淡水鱼肌肉蛋白质在贮藏与加工过程中的变化规律缺乏深入系统的了解,使得我国淡水鱼的保鲜加工受到了极大的限制。由于 Ca^{2+} -ATPase 活性是评价肌球蛋白分子完整性的良好指标, Mg^{2+} -ATPase 活性是在有内源性 Ca^{2+} 情况下评价肌动球蛋白复合体的完整性的指标, Ca^{2+} - Mg^{2+} -ATPase 活性是在无内源性 Ca^{2+} 情况下评价肌动球蛋白复合体的完整性的指标,而 Mg^{2+} -EGTA-ATPase 活性则表明了原肌球蛋白-肌钙蛋白复合体的完整性,因此,本研究将以肌动球蛋白(MA)含量, Ca^{2+} -ATPase 活性, Mg^{2+} -ATPase 活性, Ca^{2+} - Mg^{2+} -ATPase 活性, Mg^{2+} -EGTA-ATPase 活性, 巯基(-SH)含量作为蛋白质生化特性指标,考察鳙(*Aristichthys nobilis*)在不同温度下冻藏时肌肉蛋白质生化特性的变化规律,以期为淡水鱼的冻藏加工提供理论依据。

1 材料与方法

活鳙购于农贸市场,平均 646~710g,即杀,将鱼背腹肉沿脊椎取下,切成 2cm 见方的鱼丁,分成若干份,装入保鲜袋后,分别用低温冰箱冻结到中心温度 -10℃, -20℃, -30℃ 和 -40℃,然后分别置于 (-10±0.5)℃, (-20±0.5)℃, (-30±0.5)℃ 和 (-40±0.5)℃ 下保存。每隔 15d 进行一次蛋白质生化特性指标的测定。冻鱼肉流水(约 15℃)解冻 20min 左右,然后用组织捣碎机(DS-1)捣碎,用于指标测定。

肌动球蛋白的提取、肌动球蛋白的定量测定参考文献[11]的方法,ATPase 活性测定参考文献[11]的方法,测得的磷酸标准曲线如图 1 所示。

巯基含量测定按参考文献[12]的方法,巯基含量用下面公式计算

$$SH(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}) = \frac{A}{c} \times 11$$

其中, A 表示吸光度值, c 表示分子吸光系数,其值为 $13\ 600\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$, 11 表示稀释倍数。

2 结果

2.1 鳙在冻藏过程中肌动球蛋白盐溶性的变化

鳙在不同温度下冻藏时肌动球蛋白盐溶性的变化如图 2 所示。在 -10℃ 和 -20℃ 下冻藏时鳙肌动球蛋白的溶出量一直呈快速下降趋势,尤其是在前 45d 的冻藏期内,肌动球蛋白的溶出量迅速从 $28.01\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 分别下降到 $1.63\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $5.66\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 下降速率分别达到 $0.586\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $0.497\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, 远远高于后 45d 冻藏期内的下降速率,即 $3.6\times 10^{-2}\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $0.122\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 。在 -10℃ 下冻藏时,第 60d 的鳙肌肉中已几乎提取不到肌动球蛋白了。

在 -30℃ 下冻藏时,鳙肌动球蛋白溶出量在前 30d 的冻藏期内变化不明显,其溶出量仅下降了 $1.71\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。从第 30d 起,下降速率加快,尤其是在冻藏 75d 后,下降速率明显加快,达到 $0.616\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 。实验结束(第 90d)时,肌动球蛋白的溶出量为 $8.76\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 仍然远远高于在 -10℃ 和 -20℃ 下冻藏相同时间的鳙肌动球蛋白溶出量。在 -40℃ 下冻藏时,前 60d 内鳙肌动球蛋白溶出量的变化相当缓慢,60d 后肌动球蛋白溶出量的下降速率开始加快。不过,到第 90d 时,肌动球蛋白的溶出量仍高达 $21.4\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 仅比鲜活鱼肉的值得低 $6.61\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

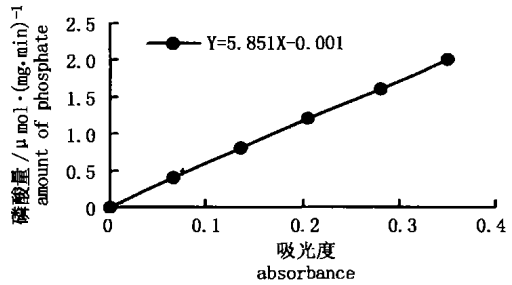


图 1 ATPase 活性的标准曲线

Fig. 1 The standard curve of ATPase activity

2.2 鳙在冻藏过程中 ATPase 活性的变化

鳙在不同温度下冻藏时 ATPase 活性的变化如图 3~ 图 6 所示。在 -10°C 下冻藏的鳙肌动球蛋白的 Ca^{2+} -ATPase 活性, Mg^{2+} -ATPase 活性, Ca^{2+} - Mg^{2+} -ATPase 活性和 Mg^{2+} -EGTA-ATPase 活性均随冻藏时间的延长而下降, 且前三者的变化趋势基本相似, 呈前期快后期慢的特点。到第 15d 时, Mg^{2+} -EGTA-ATPase 活性已基本消失, 而 Ca^{2+} -ATPase 活性, Mg^{2+} -ATPase 活性及 Ca^{2+} - Mg^{2+} -ATPase 活性分别下降到初始活性的 14.4%, 22.1% 和 20.4%。到第 30 天时, 三种 ATPase 的活性已基本丧失。

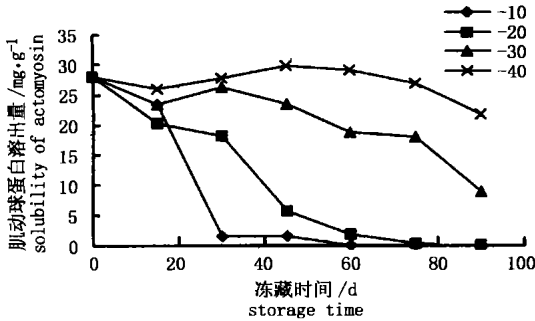


图 2 鳙在不同温度下冻藏时肌动球蛋白溶出量的变化

Fig. 2 Changes of solubility of actomyosin of bighead carp during frozen at different temperature

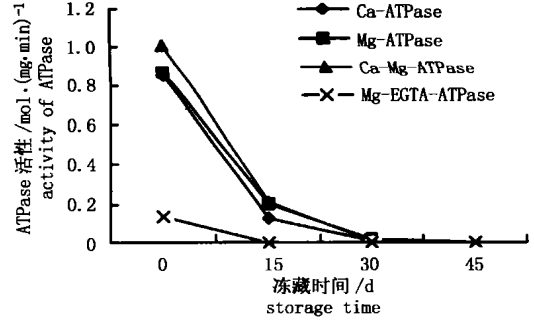


图 3 鳙在 -10°C 冻藏过程中 ATPase 活性的变化

Fig. 3 Changes of ATPase activities of bighead carp during frozen at -10°C

从图 4 可知, 在 -20°C 下冻藏时, 鳙肌动球蛋白的 Ca^{2+} -ATPase 活性, Mg^{2+} -ATPase 活性及 Ca^{2+} - Mg^{2+} -ATPase 活性一直下降, 而且前 30d 的下降速率较快, 从第 30d 开始, 下降的速率变慢。 Ca^{2+} -ATPase 活性到第 60d, Mg^{2+} -ATPase 活性及 Ca^{2+} - Mg^{2+} -ATPase 活性到第 75d 时降为 0。 Mg^{2+} -EGTA-ATPase 活性在前 30d 冻藏期内下降速率较慢, 从第 30d 开始迅速下降, 到第 45 d 下降到 $0.003\mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, 活性基本丧失。

从图 5 可知, 在 -30°C 下冻藏时, 鳙肌动球蛋白的 Ca^{2+} -ATPase 活性, Mg^{2+} -ATPase 活性, Ca^{2+} - Mg^{2+} -ATPase 活性呈一直下降的趋势, 且前 30 d 的下降速率快于后 60d。在冻藏 70d 后, 3 种酶的活性均已降低到接近 0。 Mg^{2+} -EGTA-ATPase 活性则基本上呈缓慢下降趋势, 到第 60d 时, Mg^{2+} -EGTA-ATPase 活性已接近 0。

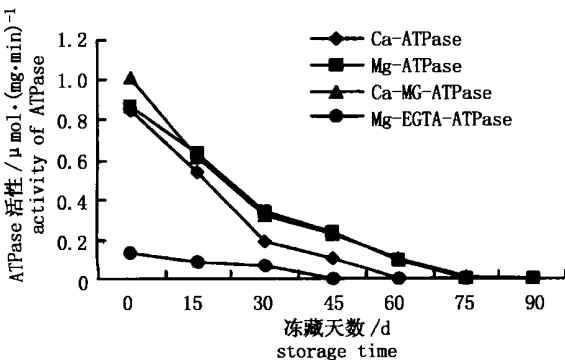


图 4 鳙在 -20°C 冻藏过程中 ATPase 活性的变化

Fig. 4 Changes of ATPase activities of bighead carp during frozen at -20°C

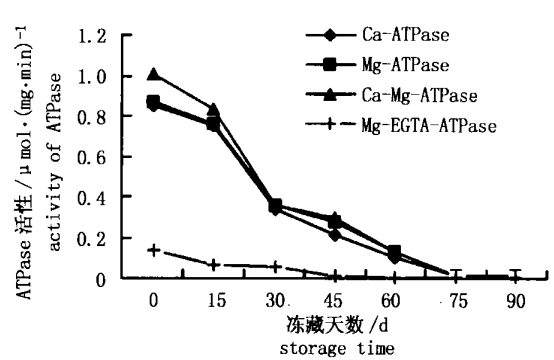


图 5 鳙在 -30°C 冻藏过程中 ATPase 活性的变化

Fig. 5 Changes of ATPase activities of bighead carp during frozen at -30°C

由图 6 可知, 在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下冻藏时, 鳙肌动球蛋白的 $\text{Ca}^{2+}\text{-ATPase}$ 活性, $\text{Mg}^{2+}\text{-ATPase}$ 活性及 $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-ATPase}$ 活性大体呈匀速变化趋势, 它们的线性回归方程分别为 $Y = -0.009X + 0.855$, $Y = -0.0087X + 0.872$ 和 $Y = -0.01X + 1.008$ 。从回归方程可以推知三种 ATPase 活性完全丧失的时间分别为 95d、100d 和 100d。而且可以推知实验结束(90d)时, 三种 ATPase 的活性分别为 0.045, 0.089 和 0.108 $\mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, 与实测值分别为 0.041, 0.086 和 0.093 $\mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 基本相符。 $\text{Mg}^{2+}\text{-EGTA-ATPase}$ 活性在前 15d 下降较快, 此后一直缓慢下降, 直至第 60d 降为 0 $\mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

2.3 鳙在冻藏过程中巯基含量的变化

鳙在不同温度下冻藏时巯基含量的变化如图 7 所示。从图 7 可知, 在前 15 d 的冻藏过程中, 不论在何种温度下冻藏, 鳙巯基含量下降速度差异不大。从第 15d 开始, 不同温度下鳙巯基含量下降速度出现了显著差异。在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下冻藏时, 鳙巯基含量在 15~30d 内急剧下降, 由 0.970 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 下降到 0.104 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 。到第 45d 时, 巯基含量已接近 0 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 。在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下冻藏时, 鳙的巯基含量在 30~45d 期间快速下降, 巯基含量由 0.784 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 下降到 0.257 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 。到第 70d 时, 鳙的巯基含量已下降为 0 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 。在 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下冻藏时, 鳙巯基含量下降速度明显放慢, 尤其是在冻藏 60d 以后, 鳙巯基含量几乎不变。到第 90d 时, 巯基含量仍达 0.764 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$, 为初始含量的 60.4%。在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下冻藏时, 鳙巯基含量下降极为缓慢。到 90d 的冻藏期结束时, 巯基含量依然高达 1.030 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$, 比初始含量下降 0.234 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$, 下降速率仅为 $2.1 \times 10^{-4} \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

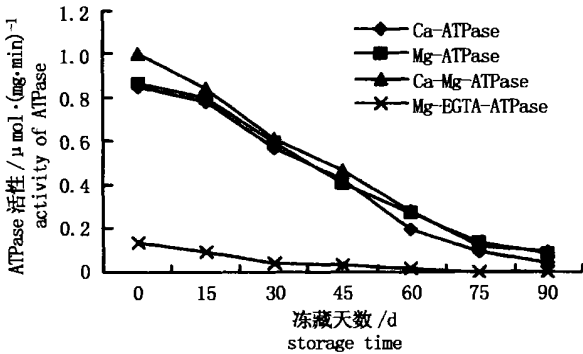


图 6 鳙在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻藏过程中 ATPase 活性的变化

Fig. 6 Changes of ATPase activities of bighead carp during frozen at $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$

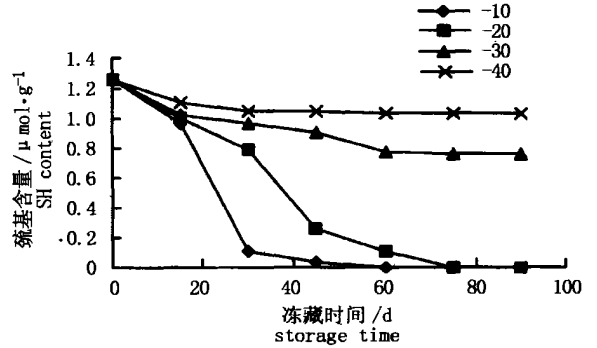


图 7 鳙在不同温度下冻藏时巯基含量的变化

Fig. 7 Changes of SH content of bighead carp during storage at different temperatures

3 讨论

3.1 不同冻藏温度对鳙肌动球蛋白溶出量的影响

由于蛋白质的部分结合水形成冰晶, 导致肌动球蛋白分子之间相互形成非共价键, 进而形成超大分子的不溶性凝集体, 使肌动球蛋白溶出量在冻藏过程中不断下降。另外, 肌原纤维蛋白质变性后, 会产生一种在高离子强度下不能溶出但在碱性条件下可以溶出的蛋白质, 即碱溶性蛋白质, 也会导致肌动球蛋白在冻藏过程中溶出量的下降。Sompongse 等^[13]认为巯基氧化形成的二硫键会导致肌球蛋白重链聚合, 从而降低其盐溶性。比较图 2 和图 7 可以看出, 鳙肌动球蛋白的溶出量在不同温度下冻藏时的下降趋势与其巯基含量的变化存在相关性。因此, 可以认为鳙在冻藏过程中肌动球蛋白溶出量的下降是由于巯基氧化形成二硫键所致。

从图 2 中也可清楚地看出冻藏温度对鳙肌动球蛋白溶出量有显著的影响 ($P < 0.01$)。至第 30d 时,

在 -10°C 下冻藏的鳙肌动球蛋白的溶出量已降为 $1.67\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,而在 -40°C 下冻藏的鳙肌动球蛋白的溶出量仍高达 $27.81\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。至第60d时, -20°C 冻藏下的鳙肌动球蛋白的溶出量降至 $1.84\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,而 -40°C 冻藏下的鳙肌动球蛋白的溶出量升至 $29.1\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。到第90d实验结束时, -30°C 冻藏下的鳙肌动球蛋白的溶出量也降至 $8.76\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,而 -40°C 冻藏下的鳙肌动球蛋白的溶出量还保持在 $18.18\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 的较高水平,差异极其显著($P < 0.01$)。表明鳙肌动球蛋白溶出量随着冻藏时间的延长和冻藏温度的升高而减少。许多研究也得到了相似的结论^[14-16]。

另外,从图2中可以看到,在 -30°C 下冻藏的鳙肌动球蛋白溶出量从第15d至第30d,在 -40°C 下冻藏的鳙肌动球蛋白溶出量从第15d至第45d之间出现了上升趋势。实际上Fukuda等^[5]在研究8种深海鱼肌肉在冻藏过程中的变性情况时,也发现了盐溶性在一段时间内上升的现象。Jiang等^[17]也发现类似情况。笔者认为此现象可能是提取方法不完善而导致的。由于在较低的温度下冻藏时冻藏前期肌动球蛋白变性较轻微,因而提取方法对实验值的影响较大,导致 -30°C 和 -40°C 下冻藏过程中的肌动球蛋白溶出量出现了上升趋势。基于此,作者认为不宜单独将肌动球蛋白的盐溶性作为评价其变性的指标。

3.2 不同冻藏温度对鳙肌原纤维蛋白质 ATPase 活性的影响

鳙肌原纤维蛋白质 Ca^{2+} -ATPase 活性, Mg^{2+} -ATPase 活性, Ca^{2+} - Mg^{2+} -ATPase 活性和 Mg^{2+} -EGTA-ATPase 活性在不同温度下冻藏时,均随冻藏时间的延长而下降。引起冻藏过程中鱼肉肌原纤维蛋白质 ATPase 活性下降的原因众说纷纭。Lian等^[4]认为是由于冰晶的机械作用引起的;也有很多研究认为是由 pH 值下降引起的^[18,19];还有许多学者^[20,21]认为,由于巯基氧化形成二硫键导致分子聚合是 ATPase 活性下降的主要原因。作者认为,由于冻藏温度越低, pH 值下降越慢,因此,在 -10°C 和 -20°C 下冻藏时鳙肌原纤维蛋白质 ATPase 活性下降是由巯基氧化和 pH 值下降两个因素引起,而在 -30°C 和 -40°C 下冻藏时下降,则主要是由巯基氧化引起。

冻藏温度对鳙肌原纤维蛋白质 ATPase 活性下降速率具有显著的影响($P < 0.01$)。在 -10°C , -20°C , -30°C , -40°C 下冻藏时, Ca^{2+} -ATPase 活性的下降速率分别为 $2.85 \times 10^{-2} \mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, $1.43 \times 10^{-2} \mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, $9.5 \times 10^{-3} \mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, $9.0 \times 10^{-2} \mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$; Mg^{2+} -ATPase 活性下降速率分别为 $2.9 \times 10^{-2} \mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, $1.17 \times 10^{-2} \mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, $9.7 \times 10^{-3} \mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, $8.6 \times 10^{-3} \mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$; Ca^{2+} - Mg^{2+} -ATPase 活性的下降速率分别为 $3.36 \times 10^{-2} \mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, $1.34 \times 10^{-2} \mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, $1.12 \times 10^{-2} \mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, $1.0 \times 10^{-2} \mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$; Mg^{2+} -EGTA-ATPase 活性下降速率分别为 $9.1 \times 10^{-3} \mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, $3.0 \times 10^{-3} \mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, $2.3 \times 10^{-3} \mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, $1.8 \times 10^{-3} \mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, 差异是极其显著的($P < 0.01$)。显然,冻藏温度越低,鳙肌原纤维蛋白质 ATPase 活性下降速率越慢。另外,即使是在 -40°C 下冻藏时, Mg^{2+} -EGTA-ATPase 活性也将在70d内消失,表明鳙肌原球蛋白-肌钙蛋白复合体非常容易变性。

3.3 不同冻藏温度对鳙巯基含量变化的影响

鳙在不同冻藏温度下冻藏时,其巯基含量均表示出不同程度的下降趋势。巯基含量下降的原因可能是冰晶的形成使得肌原纤维蛋白空间结构发生改变,使埋藏在分子内部的巯基暴露出来,进而被氧化成二硫键,导致巯基含量的减少^[13]。冻藏温度对鳙巯基含量的变化影响极其显著($P < 0.01$)。冻藏至第30d时, -10°C 下冻藏的鳙巯基含量已降为 $0.104\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$,仅为初始含量的8.2%,而 -40°C 下冻藏的鳙巯基含量仍高达 $1.048\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$,为初始含量的82.9%。冻藏至第60d时, -20°C 下冻藏的鳙巯基含量降至 $0.111\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$,仅为初始含量的8.8%,而 -40°C 下冻藏的鳙巯基含量为 $1.039\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$,相当于初始含量的82.2%。到第90d实验结束时, -30°C 冻藏下的鳙巯基含量也降至 $0.764\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$,为初始含量的60.4%,而 -40°C 下冻藏的鳙巯基含量还保持在 $1.030\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 的较高水平。Jiang等^[20]研究遮目鱼巯基含量在不同冻藏温度下的变化时也得出了相似的结论。此外,4种温度下冻藏的鳙肌原

纤维蛋白的巯基含量在前 15d 的冻藏中下降得较快。这可能是因为前期氧化的大部分是分子外侧的巯基。这部分巯基不需要肌原纤维蛋白的变性就能在贮藏过程中被氧化。

参考文献:

- [1] Yan B F. Research on denaturation of freshwater fish protein during cold-storage and protective methods[J]. Hangzhou Food Science and Technology, 1993, 28: 30- 31. [严伯奋. 有关淡水鱼在冷藏过程中鱼肉蛋白质的冷冻变性及其防止的探讨[J]. 杭州食品科技, 1993, 28: 30- 31.]
- [2] Guo X F, Zou S X. Aquatic utilizing chemical[M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1997. 68- 71. [郭晓风, 邹胜祥. 水产利用化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997. 68- 71.]
- [3] Suwanich V, Jahncke M L, Marshall D L. Changes in selected chemical quality characteristics of channel catfish frame mince during chill and frozen storage[J]. J Food Sci, 2000, 65(1): 24- 29.
- [4] Lian P Z, Lee C M, Hufnagle L. Physicochemical properties of frozen Red Hake mince as affected by cryoprotective ingredients[J]. J Food Sci, 2000, 65(7): 1117- 1123.
- [5] Fukuda Y, Kakehata K I, Arai K I. Denaturation of myofibrillar protein in deep-sea fish by freezing and storage[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1981, 47(5): 663- 672.
- [6] Azuma Y, Konno K. Freeze denature of carp myofibrils compared with thermal denaturation[J]. Fisheries Science, 1998, 64(2): 287- 290.
- [7] Yoshikawa K, Inoue N, Kawai Y, et al. Changes of the solubility and ATPase activity of carp myofibrils during frozen storage at different temperatures[J]. Fisheries Science, 1995, 61(5): 804- 812.
- [8] Kato S, Koseki H, Konno K. Oligomerization of carp myosin which retains its ATPase activity[J]. Fisheries Science, 1996, 62(6): 985- 989.
- [9] Wang Z, Guo D J, Feng Y, et al. Change of freshness of bighead under different temperature[J]. J Fish China, 1993, 17(2): 113- 119. [王, 郭大钧, 冯 媛, 等. 鳙在不同保藏温度下的鲜度变化[J]. 水产学报, 1993, 17(2): 113- 119.]
- [10] Zeng M Y, Wu Y. Study on preservation of tilapia with chemical ice[J]. J Fish China, 1997, 21(4): 443- 448. [曾名勇, 伍 勇. 化学冰保鲜非鲫的研究[J]. 水产学报, 1997, 21(4): 443- 448.]
- [11] Wan J R, Hong Y Q, Xi Y C, et al. Handbook of aquatic food chemical analysis[M]. Shanghai: Shanghai Science & Technology Press, 1993. 198- 202. [万建荣, 洪玉菁, 奚印慈, 等. 水产食品化学分析手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1993. 198- 202.]
- [12] Benjakul S, Seymour T A, Morrissey M T, et al. Physicochemical changes in Pacific whiting muscle proteins during iced storage[J]. J Food Sci, 1997, 62(4): 729- 733.
- [13] Sompongse W, Itoh Y, Ohtake A. Effect of cryoprotectants and a reducing reagent on the stability of actomyosin during ice storage[J]. Fisheries Science, 1996, 62(1): 73- 79.
- [14] Miki H, Nishimoto J, Yamanaka T. Relation between protein denaturation and lipid oxidation in fish muscle during storage at low temperatures[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1994, 60(5): 631- 634.
- [15] Benjakul S, Baher F. Physicochemical and enzymatic changes of cod muscle proteins subjected to different freeze-thaw cycles[J]. J Sci Food Agric, 2000, 80: 1143- 1150.
- [16] Yoshikawa K, Inoue N, Kawai Y. Subunit components in salt-soluble and insoluble fractions of carp myofibrils during frozen storage[J]. Fisheries Science, 1995, 61(5): 813- 816.
- [17] Jiang S T, Hwang B S, Tso C Y. Effect of adenosine nucleotides and their derivatives on the denaturation of myofibrillar proteins *in vitro* during frozen storage at - 20℃[J]. J Food Sci, 1987, 52(1): 117- 123.
- [18] Hatano S. Effect of freezing and storage on the enzyme activities[J]. Refrigeration(Jap), 1968, 43: 14- 16.
- [19] Okada T, Ohta F, Inoue N, et al. Denaturation of carp myosin B in KCl solution during frozen storage[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1985, 51(11): 1887- 1892.
- [20] Jiang S T, Hwang D C, Chen C S. Effect of storage temperature on the formation of disulfides and denaturation of milkfish actomyosin[J]. J Food Sci, 1988, 53(5): 1333- 1335.
- [21] Hamada I, Tsuji K, Nakayama J, et al. Oxidative denaturation of actomyosin[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1977, 43: 1105- 1108.