

缪函霖,包海蓉,赵路漫. 金枪鱼肉冷藏过程中理化特性的变化[J]. 江苏农业科学,2013,41(8):248-251.

金枪鱼肉冷藏过程中理化特性的变化

缪函霖,包海蓉,赵路漫

(上海海洋大学食品学院/上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心,上海 201306)

摘要:以新鲜金枪鱼为试材,通过分析 4 ℃ 冷藏过程中金枪鱼肉 pH 值、肌原纤维蛋白盐溶性、 Ca^{2+} -ATPase 活性、巯基含量和 K 值的变化规律,考察金枪鱼肉在冷藏过程中理化特性及新鲜度的变化情况。结果表明:在 4 ℃ 冷藏过程中,鱼肉 pH 值在冷藏后 1 d 下降,达到最低值 6.78,之后呈波动状上升趋势;肌原纤维蛋白盐溶性、 Ca^{2+} -ATPase 活性、巯基含量均呈下降趋势,8 d 后分别下降了 26.90%、75.18%、23.67%,其中, Ca^{2+} -ATPase 活性和巯基含量的下降趋势相似; K 值在前 7 d 基本呈稳定上升趋势,前 4 d 未超过 20%,8 d 后超过 50%。

关键词:金枪鱼;冷藏;理化特性;肌原纤维蛋白;新鲜度

中图分类号:TS254.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2013)08-0248-04

金枪鱼属硬骨鱼纲鲈形目鲭科鱼类,生活在海洋中上层,分布于太平洋、大西洋和印度洋的热带、亚热带和温带广阔水域中,是大洋暖水性洄游鱼类。金枪鱼不但肉质柔嫩,口感上佳,而且具有高蛋白、低脂肪和低能量的特点,是国际营养学会推荐的三大营养鱼之一^[1]。鱼肉蛋白质中氨基酸种类齐全,包含人体所必需的 8 种氨基酸,同时,还含有大量的多不饱和脂肪酸,DHA 的含量尤为突出,此外还含有多种维生素、矿物质,是有益健康的海洋美味,深受消费者青睐。近年来,国内外学者对金枪鱼冻藏过程中品质变化的研究较多^[2-5],而对冷藏过程中品质变化的研究较少。在常见的生食料理店里,作为生鱼片进行销售的冻藏金枪鱼肉,在销售前通常会被

转入冷藏条件下进行解冻和贮藏,在冷藏过程中,金枪鱼肉会发生一系列的品质变化。肌原纤维蛋白约占金枪鱼肉总蛋白质含量的 30%~50%,与鱼肉的品质特性有较大关联,是水产品加工中主要的研究对象^[6]。本研究以肌原纤维蛋白盐溶性、 Ca^{2+} -ATPase 活性、巯基含量、鱼肉 pH 值和 K 值作为指标,考察金枪鱼肉在冷藏过程中的理化特性及新鲜度的变化情况,以为金枪鱼的贮藏、加工和销售提供一定的参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 试样及预处理 黄鳍金枪鱼:取 -60 ℃ 冻藏黄鳍金枪鱼背部肉,装入聚乙烯保鲜袋并密封,立即置于 4 ℃ 冰箱中冷藏。每隔 24 h 取肉进行测定,每个指标重复测定 3 次。

1.1.2 主要仪器 XHF-1 型高速分散器:上海金达生化仪器厂;GL-12B 型高速冷冻离心机:上海嘉鹏科技有限公司;SG2 型酸度计:梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司;T6(新世纪)型紫外分光光度计:沈阳鑫科之杰实验仪器有限

收稿日期:2013-04-02

基金项目:国家“863”计划(编号:2012AA092302)。

作者简介:缪函霖(1989—),男,硕士研究生,浙江舟山人,主要从事食品品质评价的研究。E-mail: watch56@163.com。

通信作者:包海蓉,博士,上海人,副教授,主要从事食品加工工艺和水产品保鲜方面的研究。Tel: (021) 61900373; E-mail: hrbao@shou.edu.cn。

稳定性为 57.97%。

3 结论

鲷鱼加工下脚料分离蛋白提取的最佳工艺参数:料液比为 1:10(g:mL),提取液 pH 值 11.0、提取温度 40 ℃,提取时间 90 min,在此条件下提取液中的蛋白质含量最高,为 0.538。鲷鱼加工下脚料分离蛋白的等电点为 5.2。添加 30 g/L β -环糊精进行鲷鱼加工下脚料分离蛋白液脱腥效果最好。鲷鱼加工下脚料分离蛋白得率为 42.12%,蛋白质提取率为 76.0%。鲷鱼加工下脚料分离蛋白质粉的溶解性在 pH 值为 5.0 时最小;鲷鱼加工下脚料分离蛋白粉的吸水性为 1.48 mL/g,吸油性为 2.8 mL/g,乳化性为 40.59%,乳化稳定性为 57.97%。

参考文献:

[1] 沈继成. 美国斑点叉尾鲷概况[J]. 水产科技情报,1992(3):19.

[2] 王利琴,汪之和. 美国斑点叉尾鲷及其加工利用[J]. 渔业现代化,2002(2):32-33.

[3] 封功能,张雪梅,刘汉文,等. 斑点叉尾鲷含肉率及肌肉营养成分分析[J]. 江西农业学报,2007,19(7):79-80.

[4] 苑艳辉,钱和,姚卫蓉. 鱼下脚料综合利用之研究近况与发展趋势[J]. 水产科学,2004(11):40-42.

[5] 张晓敏. 带鱼下脚料水解蛋白的制备及其利用研究[D]. 重庆:西南大学,2008.

[6] 刘东儿,吕天喜. 绿豆分离蛋白的制备及其功能性质的研究[J]. 食品科技,2007,4(2):27-30.

[7] 张水华. 食品分析[M]. 北京:中国轻工业出版社,2006:156-163.

[8] 杜健,张晖,郭晓娜,等. 苦荞麦分离蛋白的提取及功能性质研究[J]. 粮油深加工及食品,2007(3):17-19.

[9] 张联英. 几种主要淡水鱼胶原蛋白的制备及其特性研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2004.

公司;AL104-IC 型分析天平;梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司;LRH-100CL 型低温培养箱;上海一恒科学仪器有限公司;LC-20A 岛津液相色谱仪;岛津国际贸易(上海)有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 pH 值的测定^[7] 取 5 g 左右鱼肉剪碎后放入均质器中,加入 10 倍体积蒸馏水后,在冰浴环境中用高速分散器进行均质,静置 30 min 后用酸度计测定 pH 值。

1.2.2 肌原纤维蛋白的提取 参照袁春红等的方法^[8],并进行适当修改。取鱼肉 5 g,准确称量(精确到 0.1 mg),加入 20 mL 缓冲液 1(pH 值 7.5,含 0.16 mol/L KCl,40 mmol/L Tris-Maleat,1% triton)和 20 mL 缓冲液 2(pH 值 7.5,含 0.16 mol/L KCl,40 mmol/L Tris-Maleat)。均质后将样品和泡沫全部转移至离心管内,离心 10 min(5 000 r/min,4 ℃)。离心后,弃上清液,加入 40 mL 缓冲液 2 清洗沉淀,均质后离心,重复 2 次。之后弃上清液,用 20 mL 0.1 mol/L NaCl 清洗沉淀,均质后离心。弃上清液,用 40 mL 0.1 mol/L NaCl 清洗沉淀,均质后用纱布过滤,滤液离心,沉淀即为纯净的肌原纤维蛋白样品。用缓冲液(50 mmol/L Na₂HPO₄/NaH₂PO₄,pH 值 7.0)配制肌原纤维蛋白溶液,定容到 100 mL。整个提取过程需在冰浴低温条件下进行。

1.2.3 肌原纤维蛋白含量的测定 参照双缩脲法^[9](以牛血清白蛋白为标准品)测定肌原纤维蛋白的含量。

1.2.4 肌原纤维蛋白 Ca²⁺-ATPase 活性的测定 参照万建荣的方法^[9],并进行适当修改。取 3.5 mL 已知浓度的肌原纤维蛋白溶液,加入 0.3 mL Tris-maleat 溶液(0.5 mol/L,pH 值 7.0),0.5 mL 0.1 mol/L CaCl₂ 溶液,25 ℃水浴恒温后,加入 0.25 mL 20 mmol/L ATP 溶液,在 25 ℃反应 10 min 后用 2.5 mL 预冷 15% TCA(三氯乙酸)来阻断反应。反应完后,反应液离心(6 500 r/min,5 min)得上清液。空白试验:先加 TCA 溶液,再加 ATP 溶液,其他同上。采用钼酸铵比色法测定反应释放出来的无机磷含量,660 nm 测定吸光值。肌原纤维蛋白 Ca²⁺-ATPase 活性以 1 mg 蛋白质在 1 min 内生成的 μmol/L 无机磷(P_i)来表示,单位:P_i μmol/mg·min。

按下式计算 Ca²⁺-ATPase 活性:

$$\text{ATPase 活性} = \frac{A \cdot B}{T \cdot m}$$

式中:A、B 分别为反应管和空白管所得的无机磷 P_i 含量(μmol),t 为反应时间(min),m 为肌原纤维蛋白质量(mg)。

1.2.5 肌原纤维蛋白巯基含量的测定 参考 Yongsawatdigul 和 Park 的方法^[10],并进行适当修改。总巯基含量测定:取 1 mL 肌原纤维蛋白溶液,加入 9 mL pH 值 6.8 0.2 mol/L Tris-HCl 缓冲液 1(含 8 mol/L 尿素,2% SDS 和 10 mmol/L EDTA)充分混匀。取 4 mL 混合液加入 0.4 mL pH 值 8.0 的 0.2 mol/L Tris-HCl(含 0.1% DTNB)。在 40 ℃保温 25 min 后,412 nm 处测定吸光度。空白用缓冲液(50 mmol/L Na₂HPO₄/NaH₂PO₄,pH 值 7.0)代替样品。

按下式计算巯基含量:

$$SH = \frac{A \cdot D}{C \cdot B}$$

式中:SH 表示巯基含量(mol/g);A 表示吸光度;B 表示样品

蛋白质浓度(mg/mL);C 表示吸光系数,值为 13 600 L/(mol·cm);D 为稀释倍数(为 11)。

活性巯基含量测定:缓冲液 1 用 pH 值 6.8、0.2 mol/L Tris-HCl 缓冲液 2(内含 2% SDS 和 10 mmol/L EDTA)代替,混合液在 4 ℃保温 1 h 后测定吸光度,其他步骤、计算公式同总巯基含量测定。

1.2.6 K 值的测定 取鱼肉约 5 g,精确称量(精确到 0.1 mg),加 15 mL 10% PCA(高氯酸)溶液均质,离心约 3 min(3 000 r/min,4 ℃),上清液用滤纸过滤。沉淀再用 10 mL 5% PCA 溶液加入搅拌,离心后,上清液再次过滤,重复 2 次。合并滤液后,用 10 mol/L KOH 和 1 mol/L KOH 调整滤液的 pH 值为 6.35~6.4 之间,然后用去离子水定容至 50 mL。孔径为 0.45 μm 水系滤膜过滤后,用液相色谱仪测定。

色谱条件:色谱柱:StableBond Analytical 250 mm × 4.6 mm,0.03 mol/L K₂HPO₄/0.07 mol/L KH₂PO₄ 1:1 混合组成流动相,流速 1.0 mL/min,温度 35 ℃,进样量 10 μL,UV 检测器,检出波长 254 nm。

1.3 数据处理

试验数据用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 18.0 软件进行处理,绘图采用 Origin 8.0 软件。每个样品做 3 个平行测定,结果取平均值。

2 结果与分析

2.1 金枪鱼肉 pH 值的变化

金枪鱼在 4 ℃冷藏条件下的 pH 值变化如图 1 所示。从图 1 中可以看出,随着贮藏时间的延长,鱼肉 pH 值呈现波动状,总体呈先下降后上升趋势。金枪鱼肉初始 pH 值为 6.86,在 1 d 时 pH 值达到最低值 6.78,之后迅速上升,2 d 之后 pH 值则呈波动状上升趋势达到末值 7.18。活鱼死后,糖原有氧分解途径中断,转向进行无氧酵解产生乳酸,同时,三磷酸腺苷为无氧酵解提供能量,自身分解产生磷酸等酸性物质。这些酸性物质的产生导致鱼肉冷藏初期 pH 值的下降。随着贮藏时间的延长,由于内源性酶和微生物对蛋白质等含氮化合物的分解作用,产生大量的碱性物质,最终导致鱼肉 pH 值逐渐上升。Rawdkuen 等对 4 ℃下鲢鱼肉 pH 值变化的研究结果表明,鲢鱼肉 pH 值初始值与末值分别为 6.33 和 6.40,最低值出现在冷藏后 2 d,比金枪鱼最低值的出现时间延迟了 1 d,pH 值整体低于金枪鱼^[11]。史策等对鲢鱼鱼肉 pH 值的研究结果^[12]与本研究相似,pH 值也呈先下降后上升变化,最低值也出现在冷藏后 1 d,但是鲢鱼 pH 值整体要高于金枪鱼。这些差异可能是由于鱼种及生长环境的不同。

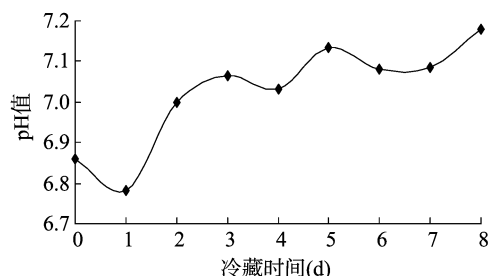


图1 4℃冷藏过程中金枪鱼肉pH值的变化

2.2 金枪鱼肉肌原纤维蛋白盐溶性的变化

金枪鱼在 4℃ 冷藏过程中肌原纤维蛋白盐溶性的变化如图 2 所示。肌原纤维蛋白的盐溶性总体呈下降趋势。盐溶性蛋白含量初始值为 64.34 mg/g, 前 2 d 冷藏过程中, 盐溶性蛋白含量下降较慢, 至 2 d 时含量下降了 3.22 mg/g。2~3 d 盐溶性蛋白含量下降较快, 下降了 4.85 mg/g, 这之后到冷藏后 7 d, 含量呈缓慢下降趋势。冷藏后 7 d 至冷藏末期(8 d), 盐溶性蛋白含量则又迅速下降, 最终含量末值为 47.03 mg/g, 为初始值的 73.10%。

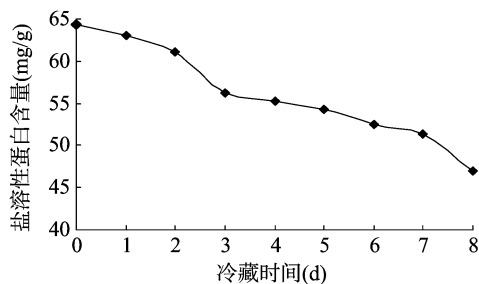


图2 4℃冷藏过程中金枪鱼肉肌原纤维蛋白盐溶性的变化

盐溶性蛋白含量的变化在一定程度上反映了鱼肉肌原纤维蛋白的变性程度。肌原纤维蛋白变性导致溶解度下降, 盐溶性蛋白含量减少。造成肌原纤维蛋白盐溶性下降的原因很多, 研究表明, 肌原纤维蛋白在冷藏期间由于部分结合水形成冰晶, 导致蛋白质分子之间形成大分子的不溶性凝集体, 使其溶出量不断下降; 肌原纤维蛋白变性后, 会产生一种在高离子强度下不能溶出而在碱性条件下可以溶出的碱溶性蛋白质, 也会导致盐溶性下降; 巯基氧化形成的二硫键会导致肌动球蛋白重链聚合, 降低盐溶性。另外, 鱼肉中的酶及微生物对蛋白质有降解作用, 也会造成盐溶性蛋白含量下降^[13]。

2.3 金枪鱼肉肌原纤维蛋白 Ca^{2+} -ATPase 活性的变化

金枪鱼在 4℃ 冷藏过程中肌原纤维蛋白 Ca^{2+} -ATPase 活性的变化如图 3 所示。肌原纤维蛋白 Ca^{2+} -ATPase 活性初始值为 0.263 5 $\mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{min})$, 冷藏初期变化不显著, 冷藏 1 d 之后开始下降。3 d 后 Ca^{2+} -ATPase 活性开始迅速下降, 下降速度逐渐达到最大, 而 6 d 后下降速度开始减小, 之后逐渐平稳。到冷藏末期(8 d), Ca^{2+} -ATPase 活性降为 0.065 4 $\mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{min})$, 为初始值的 24.82%。

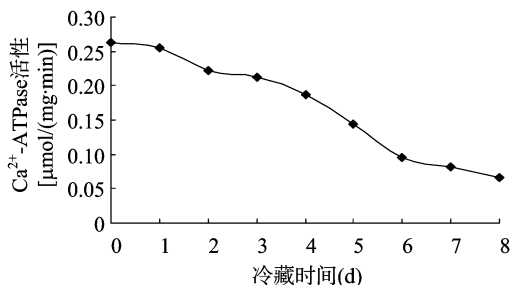


图3 4℃冷藏过程中金枪鱼肉肌原纤维蛋白 Ca^{2+} -ATPase活性的变化

Ca^{2+} -ATPase 活性被广泛用作评价肌球蛋白完整性的指标。由于 Ca^{2+} -ATPase 活性来自与肌球蛋白的球状头部, 因此, Ca^{2+} -ATPase 活性的下降说明肌球蛋白结构产生了变化, 发生了变性。造成冷藏过程中 Ca^{2+} -ATPase 活性下降的

原因, 目前研究认为, 可能是肌球蛋白分子之间相互作用产生交联, 其头部被丝状蛋白质覆盖, 造成与 ATP 接触的几率减小, 从而使 Ca^{2+} -ATPase 活性下降; 也有可能是肌球蛋白活性部位巯基氧化形成了二硫键, 导致分子聚合, 造成 Ca^{2+} -ATPase 活性下降^[14-15], 结合冷藏过程中金枪鱼巯基含量的变化情况, 后者是造成冷藏过程中 Ca^{2+} -ATPase 活性下降的主要原因。

本研究结果与黄晓春等^[16]对冰藏过程中美国红鱼 Ca^{2+} -ATPase 活性研究的变化趋势相似, 但是活性总体显著低于美国红鱼, 且 Ca^{2+} -ATPase 活性在 1 d 后开始下降, 较美国红鱼提前了 3 d。这些差异可能是因为鱼种不同导致肌肉蛋白在处理过程中变性的敏感程度有差异。

2.4 金枪鱼肉肌原纤维蛋白巯基含量的变化

金枪鱼在 4℃ 冷藏过程中肌原纤维蛋白巯基含量的变化如图 4 所示。随着冷藏时间的延长, 肌原纤维蛋白总巯基和活性巯基含量都呈下降趋势。总巯基含量初始值为 92.85 $\mu\text{mol}/\text{g}$, 在冷藏后 1 d 之内, 变化不显著, 之后开始下降。2 d 之后, 总巯基含量逐渐保持平稳。4 d 开始, 含量则开始迅速下降, 而 6 d 之后下降趋势则趋于平缓, 到 8 d 时, 总巯基含量为 70.87 $\mu\text{mol}/\text{g}$, 为初始值的 76.33%。活性巯基含量初始值为 82.97 $\mu\text{mol}/\text{g}$, 在冷藏的前 5 d, 下降趋势比较平缓, 5 d 时含量为 76.11 $\mu\text{mol}/\text{g}$, 是初始值的 91.73%, 之后下降的趋势与总巯基类似, 到 8 d 时, 活性巯基含量为 62.46 $\mu\text{mol}/\text{g}$ 。这一变化趋势与 Benjakul 等研究太平洋石首鱼冰藏时总巯基含量变化的结果有所不同; 太平洋石首鱼在前 2 d 巯基含量上升, 之后至贮藏末期呈下降趋势^[17]。鲢鱼^[13]在冷藏过程中, 总巯基含量在前 4 d 逐渐上升, 4 d 后则逐渐下降。而金枪鱼与 Jiang 等^[18]研究遮目鱼在不同冻藏温度下巯基含量的变化结果相似, 总体都呈下降趋势。这一差异可能是鱼种和生长环境的不同造成的。

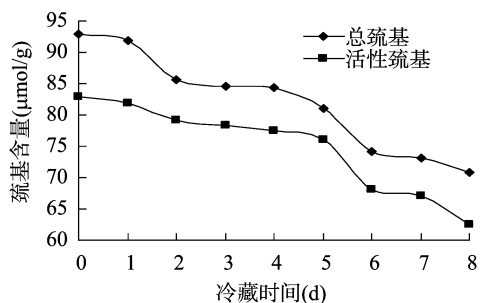


图4 4℃冷藏过程中金枪鱼肉肌原纤维蛋白巯基含量的变化

总巯基含量和活性巯基含量的下降主要是因为巯基发生氧化和二硫化物产生互换作用。在冷藏过程中, 巯基逐渐氧化, 但是同时, 肌球蛋白发生变性, 分子展开, 使含有隐藏巯基的活性区域逐渐暴露^[19], 导致前 4 d 活性巯基含量下降幅度不大。但是, 含巯基基团的活性区域暴露, 会使巯基更易氧化, 因此, 导致冷藏后 4 d 总巯基含量和活性巯基含量的下降幅度明显大于前 4 d。结合金枪鱼 Ca^{2+} -ATPase 活性的变化可以看出, 肌原纤维蛋白巯基含量的变化与其存在一定的正相关。这可能是因为位于肌球蛋白头部的巯基对维持 Ca^{2+} -ATPase 活性起一定的作用, 这些巯基氧化导致相应的 Ca^{2+} -ATPase 活性下降。

2.5 金枪鱼肉 K 值的变化

金枪鱼在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷藏过程中 K 值的变化如图 5 所示。随着冷藏时间的延长,鱼肉 K 值呈上升趋势。0 d 的初始 K 值为 4.08%,冷藏后 4 d 达到 18.03%,至 7 d 时达到 26.18%。前 7 d K 值基本上呈稳定上升趋势,递增速度约为 3.16 百分点/d,之后上升幅度加快,8 d 时 K 值达到 41.01%,之后 K 值超过 50%。

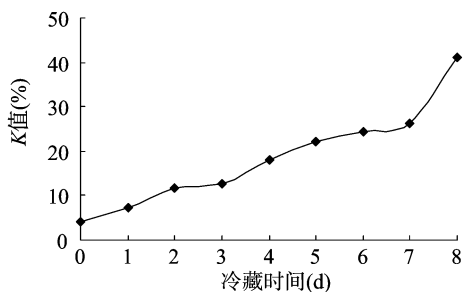


图5 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷藏过程中金枪鱼肉 K 值的变化

K 值是以次黄嘌呤和肌苷的量对 ATP 关联物总量的比值,是评价鱼类新鲜度的重要指标,尤其适合对鱼类早期新鲜度的评定。目前对鱼类新鲜度的评定,一般认为 K 值 20% 以下时为一级鲜度、20% ~ 40% 为二级鲜度,60% ~ 80% 为初期腐败。但是,对于不同的鱼种,用来判断新鲜度的 K 值范围有所差异^[7]。对于金枪鱼的研究表明, K 值在 20% 以下的鱼肉,其品质达到产生鱼片的优良等级,当 K 值达到 50% 时,鱼肉达到可接受的极限^[20]。本研究结果显示,将 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻藏鱼肉直接转入 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷藏条件之后,前 4 d,鱼肉新鲜度较好,适合作为生鱼片进行消费;4 d 后,鱼肉不再适合生食,但是通过热加工等其他工艺处理后,仍可食用;至 8 d 时,鱼肉达到最大保鲜期,之后则不再适合食用。

3 结论

超低温冻藏的金枪鱼肉进入 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷藏过程后,其理化特性随着冷藏时间的延长,会产生一定的变化。冷藏期间,pH 值呈现波动状,总体呈先下降后上升趋势;肌原纤维蛋白在冷藏过程中发生降解和变性,其盐溶性、 Ca^{2+} - ATPase 活性和巯基含量均呈现下降趋势,其中, Ca^{2+} - ATPase 活性和巯基含量的下降趋势相似,两者之间存在一定的关联。鱼肉在冷藏前 7 d 中, K 值基本上呈稳定上升趋势,之后上升幅度加快。冷藏前 4 d,鱼肉新鲜度达到产生鱼片的优良等级,4 d 后,鱼肉不再适合生食,但是通过热加工等其他工艺处理后,仍可食用,8 d 之后,超过可接受限度,不再适合食用。超低温冻藏金枪鱼肉进入 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷藏条件后,能在短期内保持鱼肉的良好品质,试验结果可以为生食料理店金枪鱼肉的贮藏和销售提供一定的理论参考依据。

参考文献:

[1] 苗振清,王锡昌. 远洋金枪鱼渔业[M]. 上海:上海科学技术文

献出版社,2003:245 - 246.

- [2] 郑 斌,王坚强,王传堂,等. 冷藏温度对金枪鱼品质变化的影响研究[J]. 浙江海洋学院学报:自然科学版,2009,28(3):315 - 318.
- [3] 杨金生,尚艳丽,夏松养. 不同冻藏温度对金枪鱼肉质变化的影响[J]. 食品工业,2012(1):39 - 41.
- [4] 路 昊,包建强. 黄鳍金枪鱼肉在不同冻藏温度下品质变化的动力学研究[J]. 现代食品科技,2007,23(2):5 - 7.
- [5] 路 昊,岳晓华,丁小圣,等. 金枪鱼冻藏在不同温度下营养成分的研究[C]//上海市制冷学会 2005 年学术年会,2005:249 - 251.
- [6] 孙 丽. 金枪鱼肉在蒸煮过程中品质特性变化的研究[D]. 无锡:江南大学,2009.
- [7] 杨文鸽. 几种海水养殖鱼贝类低温贮藏生化特性的变化及其鲜度评价[D]. 青岛:中国海洋大学,2007:1 - 111.
- [8] 袁春红,陈舜胜,程裕东,等. 冻结条件与冻藏温度对鲢鱼肉肌原纤维蛋白冷冻变性的影响[J]. 上海水产大学学报,2001,10(1):44 - 48.
- [9] 万建荣,洪玉蓉,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,1993:154 - 157,198 - 202.
- [10] Yongsawatdigul J, Park J W. Thermal denaturation and aggregation of threadfin bream actomyosin[J]. Food Chemistry, 2003, 83(3): 409 - 416.
- [11] Rawdkuen S, Jongjareonrak A, Benjakul S, et al. Discoloration and lipid deterioration of farmed giant catfish (*Pangasianodon gigas*) muscle during refrigerated storage[J]. Journal of Food Science, 2008, 73(3): C179 - C184.
- [12] 史 策,罗永康,宋永令,等. 鲢鱼鱼肉冷藏过程中理化性质的变化[J]. 食品科技,2011,36(10):116 - 119,123.
- [13] Suvanich V, Jahncke M L. Changes in selected chemical quality characteristics of channel catfish frame mince during chill and frozen storage[J]. Journal of Food Science, 2000, 65(1): 24 - 29.
- [14] 项建琳,吴少军,陈 洁. 鲤鱼肌肉 ATP 酶生化特性的研究[J]. 食品工业科技,1999,20(3):11 - 13.
- [15] Benjakul S, Bauer F. Physicochemical and enzymatic changes of cod muscle proteins subjected to different freeze - thaw cycles[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80(8): 1143 - 1150.
- [16] 黄晓春,侯温甫,杨文鸽,等. 冰藏过程中美国红鱼生化特性的变化[J]. 食品科学,2007,28(1):337 - 340.
- [17] Benjakul S, Seymour T A, Morrissey M T, et al. Physicochemical changes in pacific whiting muscle proteins during iced storage[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(4): 729 - 733.
- [18] Jiang S T, Hwang D C, Chen C S. Effect of storage temperature on the formation of disulfides and denaturation of milkfish actomyosin[J]. Journal of Food Science, 1988, 53(5): 1333 - 1335.
- [19] 曾名湧. 几种主要淡水经济鱼类肌肉蛋白质冻结变性机理的研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2005:1 - 99.
- [20] 罗 殷,王锡昌,刘 源. 金枪鱼保鲜方法及其对品质影响的研究进展[J]. 水产科技情报,2008,35(3):116 - 119.