

鱼体初始中心温度对智利竹筴鱼冷藏品质的影响

吕飞, 胡卓瑾, 黄瑞济, 丁玉庭

(浙江工业大学食品系, 浙江杭州 310014)

摘要: 为了分析不同鱼体初始中心温度对冷藏智利竹筴鱼品质的影响, 本文研究了初始中心温度为 0、3 和 6 °C 的智利竹筴鱼(各处理依次标记为 A、B 和 C)在 4±1 °C 贮藏条件下的鱼体 pH 值、挥发性盐基氮(TVB-N)、三甲胺(TMA-N)、硫代巴比妥酸值(TBARS)和感官品质的变化规律。结果显示, 在贮藏期间, 各预处理竹筴鱼鱼体的 pH 值、TVB-N、TMA-N 和 TBARS 均随着冷藏时间的延长而上升, 且 C 组至第 6 d 时, 其 pH 值、TVB-N、TMA-N 和 TBARS 分别达到 6.13、0.29 mg/g、0.13 mg/g、7.12 mg/kg, 显著高于 A、B 组的结果 ($p < 0.05$)。此外, 竹筴鱼的感官评分与贮藏时间存在负相关性, 且鱼体初始中心温度越低, 其感官评分下降得越慢。研究表明, 智利竹筴鱼鱼体初始中心温度越低, 越有利于延缓鱼体各个鲜度指标的下降, 从而保证竹筴鱼的冷藏品质, 延长其货架期。

关键词: 智利竹筴鱼; 中心温度; 挥发性盐基氮; 三甲胺; 硫代巴比妥酸

文章编号: 1673-9078(2014)5-44-48

Effect of Initial Central Temperature of *Trachurus murphyi* on the Fish Quality During Refrigerated Storage

LV Fei, HU Zhuo-jin, HUANG Rui-ji, DING Yu-ting

(Department of Food Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Changes in quality of Chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) with different initial central temperatures stored at 4 °C temperature for 6 days were studied. Three different initial central temperatures including 0 °C (A group), 3 °C (B group) and 6 °C (C group), and pH values, total volatile basic nitrogen (TVB-N), trimethylamine (TMA-N), 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) and sensory assessment for whole jack mackerel were determined. The results indicated that pH, TVB-N, TMA-N and TBARS values increased as refrigerated storage progressed and it showed that in the 6th day, these values of fishes in C group were 6.13, 0.29 mg/g, 0.13 mg/g, 7.12 mg/kg, respectively, and they were significantly higher than those in A and B group ($p < 0.05$). In addition, there was a negative correlation between sensory scores and storage time. The lower initial central temperature of fish resulted in the more decrease of speed of sensory scores. The lower initial central temperature may contribute to the better quality of Chilean jack mackerel during refrigerated storage.

Key words: *Trachurus murphyi*; initial central temperature; total volatile basic nitrogen; trimethylamine; 2-thiobarbituric acid reactive substances

智利竹筴鱼(*Trachurus murphyi*)属鲈形目鲈科竹筴鱼属, 是东南太平洋最为重要的远洋资源之一^[1], 主要分布在临近厄瓜多尔、秘鲁和智利大陆架水域, 亚热带集合区的整个海洋水域, 以及新西兰 200 海里内以南 34°S 水域和澳大利亚 200 海里内东南水域^[2]。竹筴鱼肌肉和内脏的粗蛋白质含量均比较高, 平均含量达到 17~19%, 粗脂肪含量达到 3.0~5.0%, 其中含有 20~27% 多不饱和脂肪酸^[1], 此外还含有丰富的钙、锌、

收稿日期: 2013-12-15

基金项目: 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2012AA092301)

作者简介: 吕飞(1980-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 水产品加工与贮藏

通讯作者: 丁玉庭(1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 水产品加工与贮藏

铁和维生素 A、E, 具有很高的商业价值^[3]。智利竹筴鱼是目前世界上捕捞产量较高的鱼种之一, 自 1978 年至 2005 年年总产量均在 100×10^4 t 以上。竹筴鱼现已被列入我国远洋渔业重点捕捞和研究对象。高产量, 相对宽松的管理和良好的市场前景都有助于将竹筴鱼的商业捕捞成为我国远洋渔业新的经济增长点。我国 2000 年起由上海开创远洋渔业公司开始进行远洋探捕, 2003 年以来, 作业规模较为稳定。2002~2008 年中国捕捞船为 9~13 艘, 年总产量为 $(7.6 \sim 15.3) \times 10^4$ t^[4]。鱼类是极易腐败的食物, 微生物活动是引起鱼类腐败变质的主要原因, 低温贮藏是目前应用最广泛、最有效的保鲜方法。在智利竹筴鱼的实际生产过程中由于捕捞量过大, 鱼体不能及时冷却或冻结, 鱼体品质进而受到影响。为了降低竹筴鱼在捕捞后至加工前高温

对竹筴鱼品质的影响,并且根据冷却链条件下应将捕获后的鱼品迅速进行冷却处理,使鱼体中心温度在短时间内降为 8 ℃ 以下^[5],所以本研究对捕捞后的竹筴鱼进行冷却预处理,使得其冷藏初始中心温度分别为 0、3 和 6 ℃,分析鱼体冷藏过程中鱼体 pH 值、挥发性盐基氮 (TVB-N)、三甲胺 (TMA-N) 和硫代巴比妥酸值 (TBARS) 和感官评分的变化规律,来评价不同鱼体初始中心温度对智利竹筴鱼冷藏品质的影响。

1 材料与方法

1.1 试验原料

供试的鲜活竹筴鱼于 2012 年 3~7 月随上海开创远洋渔业公司的大型拖网船“开富号”在东南太平洋 87 渔区捕获,且直接在“开富号”进行本试验。鱼样平均体重为 860 g,平均长度为 40 cm。

1.2 鱼体冷却处理、贮藏及取样

捕获的鱼样进行以下处理:取 150 条鲜活竹筴鱼,挣扎致死,测定指标,即初始点;再随机分成 A、B 和 C 组,分别置于 -18 ℃ 环境中,根据冷却曲线测定结果控制冷冻时间,从而使鱼体初始中心温度冷却至 0、3 和 6 ℃,然后置于 4±1 ℃ 冷藏,分别在第 1、2、4 和 6 d 取样测定。每次测定时随机取 6 条竹筴鱼,切取鱼背部肌肉混合后定量取样。

1.3 冷却曲线的测定

随机挑取 3 条竹筴鱼,分别将数显温度计探头插入鱼体背部中心点,于 -18 ℃ 环境下进行冷却预处理,每隔 10 min 记录一次温度。

1.4 pH 值的测定

采用 GB/T 9695.5-2008 的方法:称取 10.0 g 剪碎鱼肉加入 90 mL 蒸馏水中,匀浆 30 s (2 次)后,过滤,用 pH 计测定。

1.5 TVB-N 的测定

参照 SC/T 3032-2007 的方法:称取剪碎鱼肉 10.0 g,加 0.6 mol/L 高氯酸 90 mL,用打浆机匀浆 2 min 后滤纸过滤或离心分离,上清液用半微量凯氏定氮法测定。

1.6 TMA-N 的测定

采用 Kilinc 等^[6]的方法测定。称取绞碎鱼肉 10.0 g,加入 40 mL 7.5% 的 TCA,混合均匀并静置 30 min 后滤纸过滤。取 5 mL 滤液,加入 1 mL 20% 甲醛、10 mL 甲苯和 3 mL 50% 氢氧化钾。上下剧烈振摇 60 次,静置 20 min。吸取 5 mL 甲苯提取液,加入 5 mL 0.02% 苦味酸甲苯溶液,在 410 nm 波长处测定吸光度 (OD_{410nm})。

1.7 TBARS 的测定

采用 Wenjiao 等^[7]的方法测定。称取鱼肉 10.0 g,加入 90 mL 7.5% 的三氯乙酸 (TCA) 匀浆 2 min (打 30 s,停 30 s),室温下抽提 30 min 后用滤纸过滤。取 5 mL 滤液和 5 mL TBARS 溶液 (0.02 mol/L) 于 90 ℃ 水浴中反应 40 min,冷却至室温,然后在 532 nm 波长处测定吸光度。

1.8 感官评定

表 1 智利竹筴鱼感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standards of Chilean jack mackerel

项目	一级	二级	三级
体表	鱼体硬直、完整无破肚,具有鲜鱼固有色泽,色泽明亮,花纹清晰,鳞片紧贴鱼体	鱼体稍软,完整,无破肚,具有鲜鱼固有色泽,色泽稍暗,花纹较清晰,鳞片略有脱落	鱼体较软,基本完整,允许中上层鱼稍有破肚,鱼体色泽较暗,花纹较清晰,鳞片局部脱落,与鱼体连接稍松弛
肌肉	肌肉组织紧密有弹性,切面有光泽,肌纤维清晰	肌肉组织较紧密,有弹性,肌纤维清晰	肌肉组织较差紧密,弹性较差,肌纤维较清晰
眼球	眼球饱满,角膜透明、明亮	眼球平坦,角膜稍混浊	眼球稍凹陷,角膜较混浊
鳃	鳃丝清晰,色鲜红,有少量粘液	鳃丝清晰,色暗红,有些黏液	鳃丝较清晰,色粉红到褐色,有黏液覆盖
气味	体表和鳃丝具正常鱼特有气味,新鲜	体表和鳃丝具正常鱼腥味,无油酸败坏味及异味	允许鳃丝有轻微异味,但无臭味,氨味
杂质	无外来杂质,去内脏鱼腹部无黑膜		无外来杂质,允许去内脏鱼腹部稍有黑膜

根据宋智等^[8]的方法进行。对鱼体体表、肌肉、眼、鳃、气味、杂质 6 项进行评价,各指标的感官分

值在 0~9 之间。一级:7~9 分;二级:4~6 分;三级:1~3 分;根据消费者对各项指标的敏感程度,各项指

标的权重分别为 0.1、0.2、0.1、0.2、0.3、0.1。各项评分值乘以权重即为综合感官评分，4 分以下则表明样品腐败。

1.9 数据分析

数据处理采用软件 SPSS 16.0，表述形式为平均值±SD，差异性分析采用单因素方差分析方法。

2 结果与讨论

2.1 智利竹筴鱼在-18℃下的冷却曲线

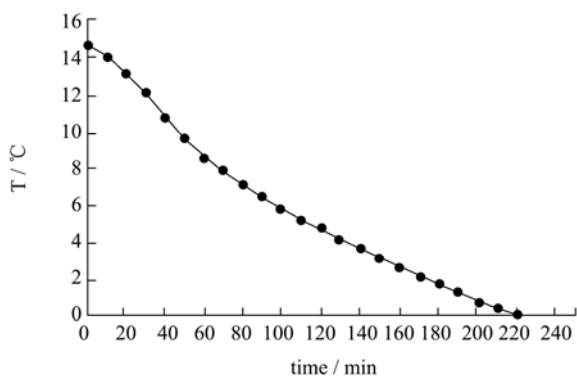


图1 竹筴鱼-18℃冷却预处理过程中的冷却曲线

Fig.1 Cooling curve of Chilean jack mackerel during storage at -18℃

由图 1 可知，智利竹筴鱼在-18℃环境中鱼体到达 0、3、6℃所需的时间分别为 95 min、150 min 和 220 min。

2.2 冷藏过程中 pH 值的变化

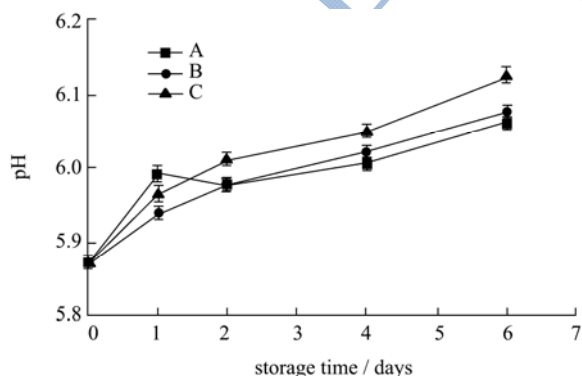


图2 冷藏过程中鱼体初始中心温度分别为 0、3、6℃竹筴鱼组织中 pH 变化

Fig.2 Changes in pH of Chilean jack mackerel during storage at 4℃

注：A 表示初始中心温度为 0℃；B 表示初始中心温度为 3℃；C 表示初始中心温度为 6℃。

由图 2 可以看出，三组处理竹筴鱼的 pH 值的初始值为 5.86，这可能是由于鱼体在捕捞过程中经过

6~8 h 的挣扎，体内糖酵解作用产生的乳酸在组织内积累的缘故。这与 Quitral 等^[9]在研究迷迭香植物提取物对智利竹筴鱼冻藏品质影响的结果相一致。在冷藏期间，三组处理的竹筴鱼的 pH 值均随着贮藏时间的延长而增加，这与 Mazorra-Manzano 等^[10]对鲑鱼的研究结果一致。在贮藏的第 1 d，A 组的 pH 值相比 B 和 C 两组较高，但是差异不显著 ($p>0.05$)。从第 2 d 起，C 组的 pH 值增长的趋势明显比 B 和 C 两组快 ($p<0.05$)；在贮藏第 6 d，C 组竹筴鱼 pH 值为 6.13，显著高于 A 组 (6.07) 和 B 组 (6.08) ($p<0.05$)，这可能与鱼体初始中心温度的降低能够减缓鱼肉中的各种生物化学反应，抑制微生物的繁殖^[11]，进而减少碱性物质的生成有关^[12]。

2.3 冷藏过程中挥发性盐基氮的变化

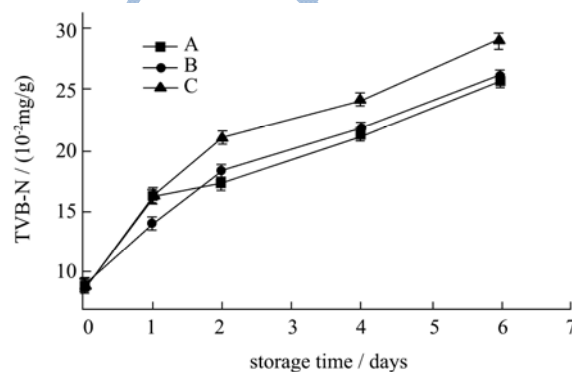


图3 冷藏过程中鱼体初始中心温度分别为 0、3、6℃竹筴鱼组织中挥发性盐基氮的含量变化

Fig.3 Changes in TVB-N of Chilean jack mackerel during storage at 4℃

注：A 表示初始中心温度为 0℃；B 表示初始中心温度为 3℃；C 表示初始中心温度为 6℃。

水产品货架保藏时，由于内源性酶和微生物的作用，肌肉中的蛋白质发生分解产生氨和胺类等含氮挥发性物质，该类物质统称为挥发性盐基氮^[13]。许多鱼类的 TVB-N 值和鱼体鲜度有很高的相关性，因此 TVB-N 值被广泛作为判断水产品腐败变质程度的重要指标^[14]。不同中心温度预处理的竹筴鱼的 TVB-N 变化如图 3 所示。由图可知，在贮藏的起始点，竹筴鱼 TVB-N 的含量为 8.68×10^2 mg/g，低于 Aranda 等^[1]在研究-18℃冻藏智利竹筴鱼的结果 0.11 mg/g，这可能与本文的取样和测定地点在远洋船上，鱼样较为新鲜有关。在贮藏过程中，从第 2 d 开始 C 组样品的 TVB-N 值的增加幅度显著大于其他两组 ($p<0.05$)，说明较低的初始中心温度可以延缓鱼体 TVB-N 的增加，这可能与低温可以有效抑制微生物生长和酶活性有关。此外，在贮藏的第 6 d，A、B 和 C 组样品的

TVB-N 分别为 0.26、0.26 和 0.29 mg/g，但三组实验组的 TVB-N 都没有超过 GB 18108-2008 规定的鲜海水鱼 TVB-N 的限量标准，0.30 mg/g。

2.4 冷藏过程中三甲胺的变化

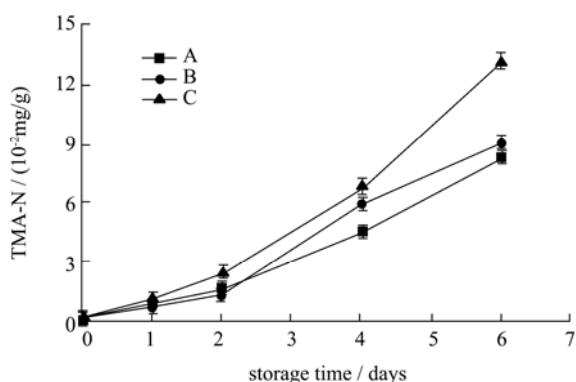


图4 冷藏过程中鱼体初始中心温度分别为 0、3、6 °C 竹筴鱼组中三甲胺的含量变化

Fig.4 Changes in TMA-N of Chilean jack mackerel during storage at 4 °C

注：A 表示初始中心温度为 0 °C；B 表示初始中心温度为 3 °C；C 表示初始中心温度为 6 °C。

三甲胺是鱼类（尤其是海产鱼类）、肉类食品中存在的氧化三甲胺，经兼性厌氧菌还原而产生的挥发性含氮物质。三甲胺含量随鱼体鲜度的下降而逐渐增加。图 4 为不同中心温度预处理竹筴鱼贮藏期间 TMA-N 的变化。在贮藏的开始，几乎检测不出 TMA-N 的含量。这与 Koutsoumanis 等^[15]的研究结果一致。在冷藏期间，竹筴鱼肉中 TMA-N 随着时间的延长而增加，其中 C 组的增加幅度最大。三组竹筴鱼肉中的 TMA-N 含量在冷藏的前 2 d 均较低；在贮藏期的第 4 d，TMA-N 的含量有明显地上升，C 组的 TMA-N 显著高于 A 和 B 两组 ($p < 0.05$)，TMA-N 含量分别为 4.52×10^{-2} 、 5.83×10^{-2} 、 6.70×10^{-2} mg/g。在贮藏的后期，TMA-N 呈现指数型增长，在冷藏的第 6 d，TMA-N 的含量是第 4 d 的两倍，A、B 和 C 三组鱼体的 TMA-N 分别是 8.29×10^{-2} 、 9.01×10^{-2} 、0.13 mg/g，呈现显著性变化。研究表明，鱼体初始中心温度越低，越有利于抑制鱼体 TMA-N 含量的增加。NiaBaixas-Nogueras^[16] 等人在研究地中海鳕鱼在 6~8 °C 冷藏中的感官和品质变化中也发现了 TMA-N 增长呈现出这样的趋势。

三甲胺在贮藏前期的变化不显著，而在鱼体的腐败后期会呈现出指数型变化，所以三甲胺常常不被用于评价鱼体的新鲜程度，而被用于评价鱼体的腐败程度^[6]，但是，三甲胺可以作为一个补充指标来更好地评价冷藏过程中的竹筴鱼品质。

2.5 冷藏过程中 TBARS 的变化

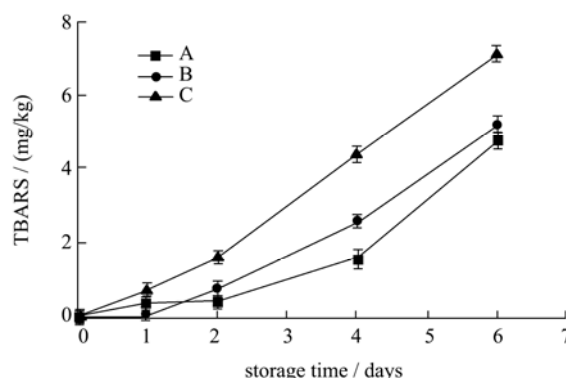


图5 冷藏过程中鱼体初始中心温度分别为 0、3、6 °C 竹筴鱼组中 TBARS 的含量变化

Fig.5 Changes in TBARS of Chilean jack mackerel during storage at 4 °C

注：A 表示初始中心温度为 0 °C；B 表示初始中心温度为 3 °C；C 表示初始中心温度为 6 °C。

TBARS 广泛应用于评价脂类氧化。富含不饱和脂肪酸鱼易产生脂肪氧化，导致鱼体品质下降^[17]。竹筴鱼样品储藏初期 TBARS 值为 0.27 mg/kg，随着储藏时间的延长逐渐上升。由图 5 可以看出，不同处理对样品 TBARS 值存在显著性影响 ($p < 0.05$)，C 组的 TBARS 值显著高于 A 和 B 组。由此可见，鱼体初始中心温度越低，鱼体的品质越好。在冷藏第 6 d A、B、C 三组鱼体的 TBARS 分别达到 4.82、5.22 和 7.12 mg/kg，Lakshmisha 等^[18]认为鱼类 TBARS 值保持良好品质可以接受的范围为 5 mg/kg，但是 C 组的 TBARS 值达到 7.12 mg/kg，呈现出异味。

2.6 冷藏过程中的感官变化

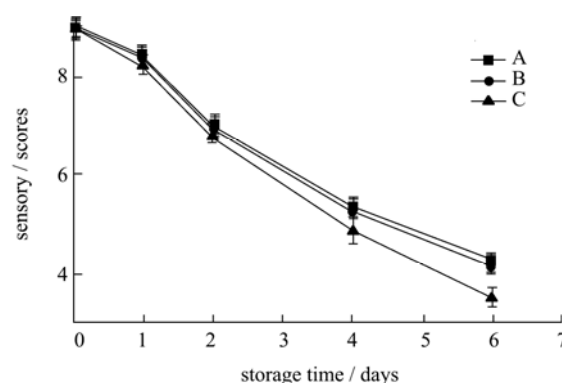


图6 冷藏过程中初始中心温度分别为 0、3、6 °C 竹筴鱼感官指标变化

Fig.6 Changes in sensory quality of Chilean jack mackerel during storage at 4 °C

注：A 表示初始中心温度为 0 °C；B 表示初始中心温度为 3 °C；C 表示初始中心温度为 6 °C。

3 °C; C 表示初始中心温度为 6 °C。

图 6 表明, 竹筴鱼在 4±1 °C 冷藏条件下, 感官评分随时间的延长急剧降低, 其中 C 组的降低趋势较为明显。各处理的感官评分 (Y) 与贮藏时间 (X) 之间进行线性回归, 线性方程分别为:

$$A \text{ 组: } Y = -1.2524X + 10.565, R^2 = 0.9812$$

$$B \text{ 组: } Y = -1.2616X + 10.527, R^2 = 0.9861$$

$$C \text{ 组: } Y = -1.4234X + 10.736, R^2 = 0.9857$$

由上述公式可以看出, 感官评分与贮藏时间存在负相关性, 与蔡慧农等^[19]的研究结果一致。6 °C 组感官评分的下降趋势较其它两组更为明显。在贮藏第 4 天, A、B 和 C 三组鱼体的感官评分分别为 4.27、4.2 和 3.53, C 组已经超出新鲜鱼类感官评分的接受范围。Lakshmisha 等^[18]认为当 TMA-N 值超过 0.10 mg/g 时, 鱼类会出现不愉快气味, C 组在冷藏第 6 d TMA-N 值为 0.13 mg/g, 超过了 0.10 mg/g, 与感官评分的结果相一致。

3 结论

通过对初始中心温度为 0、3、6 °C 的竹筴鱼冷藏过程中品质变化的比较发现, 初始中心温度越低, 竹筴鱼的 pH 值、TBARS 值和 TVB-N 值增加越慢, 表明鱼体初始中心温度越低越有利于保持冷藏竹筴鱼品质。TMA-N 和 TVB-N 都是评价鱼体鲜度的化学指标, 但是从本文中 TMA-N 的形成规律可以看出, TMA-N 相较于 TVB-N 更适合评价鱼体腐败期的品质变化。

参考文献

- Aranda M, Mendoza N, Villegas R. Lipid damage during frozen storage of whole jack mackerel (*Trachurus symmetricus murphyi*) [J]. Journal of Food Lipids, 2006, 13(2): 155-166
- 谢营梁, 岳郁峰, 张勋, 等. 智利竹筴鱼渔业和管理现状及趋势[J]. 现代渔业信息, 2011, 26(3): 6-10
XIE Ying-liang, YUE Yu-feng, ZHANG Xun, et al. Status and trends of chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) fisheries and its management [J]. Modern Fisheries Information, 2011, 26(3): 6-10
- 梁小来. 竹筴鱼的综合利用和经济效益[J]. 海洋渔业, 1992, 14(1): 29-30
LIANG Xiao-lai. Comprehensive utilization and economic benefits of jack mackerel (*Trachurus murphyi*) [J]. Marine Fisheries, 1992, 14(1): 29-30
- 张衡, 樊伟. 2009 年秋冬季东南太平洋智利竹筴鱼的渔业生物学特征[J]. 海洋渔业, 2010, 32(3): 340-344
ZHANG Heng, FAN Wei. Biological characters of chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*) in the Southeast Pacific Ocean [J]. Marine Fisheries, 2010, 32(3): 340-344
- 朱天祥, 许钟, 蔡述秋, 等. 冰鲜大黄鱼加工过程中的细菌学分析及关键控制点[J]. 海洋渔业, 2007, 29(1): 68-72
ZHU Tian-xiang, XU Zhong, CAI Shu-qiu, et al. On the bacteriological analysis and critical control points in the process of manufacture for iced yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. Marine Fisheries, 2007, 29(1): 68-72
- Kilinc B, Cakli S, Tolasa S, et al. Chemical, microbiological and sensory changes associated with fish sauce processing [J]. European Food Research and Technology, 2006, 222(5-6): 604-613
- Wenjiao Fan, Yuanlong Chi, Shuo Zhang. The use of a tea polyphenol dip to extend the shelf life of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) during storage in ice [J]. Food Chemistry, 2008, 108: 148-153
- 宋智, 孟凤英. 鲤鱼保鲜技术的研究[J]. 食品科学, 1995, 16(6): 45-48
SONG Zhi, MENG Feng-ying. Study on fresh-keeping technology of carp [J]. Food Science, 1995, 16(6): 45-48
- Quitral V, Donoso M L, Ortiz J, et al. Chemical changes during the chilled storage of chilean jack mackerel (*Trachurus murphyi*): Effect of a plant-extract icing system [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(8): 1450-1454
- Mazorra-Manzano M A, Pacheco-Aguilar R, Diaz-Rojas E I, et al. Postmortem changes in black skipjack muscle during storage in ice [J]. Journal of Food Science, 2000, 65(5): 774-779
- 张方乐, 曾庆孝. 冷却速率对罗非鱼片冷藏品质的影响[J]. 现代食品科技, 2010, 26(11): 1200-1219
ZHANG Fang-le, ZENG Qing-xiao. Effect of cooling speed on the quality of tilapia fillets during cold storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2010, 26(11): 1200-1219
- 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
- Neunlist M R, Ralazamahuleo M, Cappelletti J M, et al. Effect of salting and cold-smoking process on the culturability, viability, and virulence of *Listeria monocytogenes* strain Scott A [J]. Journal of Food Protection, 2005, 68(1): 85-91
- Ruiz-Capillas C, Moral A. Changes in free amino acids during chilled storage of hake (*Merluccius merluccius* L) in

- controlled atmospheres and their use as a quality control index [J]. *European Food Research and Technology*, 2001, 212(3): 302-307
- [15] Koutsoumanis K, Lampropoulou K, Nychas GJE. Biogenic amines and sensory changes associated with the microbial flora of Mediterranean gilt-head sea bream (*Sparus aurata*) stored aerobically at 0, 8, and 15 degrees C [J]. *Journal of Food Protection*, 1999, 62(4): 398-402
- [16] Baixas-Nogueras S, Bover-Cid S, Veciana-Nogues T. Chemical and sensory changes in Mediterranean hake (*Merluccius merluccius*) under refrigeration (6~8 degrees C) and stored in ice [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(22): 6504-6510
- [17] Sallam K I, Ahmed A M, Elgazzar M M. Chemical quality and sensory attributes of marinated Pacific saury (*Cololabis saira*) during vacuum-packaged storage at 4 degrees C [J]. *Food Chemistry*, 2007, 102(4): 1061-1070
- [18] Lakshmisha I P, Ravishankar C N, Ninan G, et al. Effect of freezing time on the quality of Indian mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) during frozen storage [J]. *Journal of Food Science*, 2008, 73(7): S345-S353
- [19] 蔡慧农,陈发河,吴光斌,等.罗非鱼冷藏期间新鲜度变化及控制的研究[J].*中国食品学报*,2003,3(4):46-50
CAI Hui-nong, CHEN Fa-he, WU Guang-bin, et al. Studies on freshness changes and control of tilapia during cold storage [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2003, 3(4): 46-50