

# 冻藏温度对南极磷虾品质变化的影响

李学英<sup>1</sup>, 刘会省<sup>1,2</sup>, 杨宪时<sup>1</sup>, 迟海<sup>1</sup>, 黄洪亮<sup>1</sup>, 李灵智<sup>1</sup>, 饶玉林<sup>3</sup>

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090)

(2. 万翰深商贸(上海)有限公司, 上海 201111) (3. 上海大瀛食品有限公司, 上海 202177)

**摘要:** 本文以感官评分、持水力(WHC)、盐溶性蛋白质含量(SSP)、硫代巴比妥酸反应物(TBARS)为指标, 研究了(-20、-30、-40、-50±1)℃四个冻藏温度对南极磷虾品质变化的影响。结果表明, 冻藏温度对南极磷虾的品质变化影响差异显著(P<0.05), 冻藏温度越高, 时间越长, 南极磷虾的感官品质和肌肉持水能力越差, 蛋白变性和脂肪氧化程度越高。冻藏过程中南极磷虾品质变化趋势基本一致, 在-20、-30、-40、-50℃下冻藏180 d后, WHC分别下降了18.27%、15.00%、16.04%、12.92%, SSP分别下降了32.66%、33.99%、24.95%、21.84%, TBARS分别上升了76.38%、78.09%、65.71%、53.55%。-20℃冻藏南极磷虾品质变化较快, 在200 d时感官品质难以接受, -30℃冻藏200 d时, 感官品质尚可接受, -40℃和-50℃冻藏南极磷虾品质较好, 冻藏温度越低越有利于南极磷虾品质的保持。因此, 南极磷虾需长期贮藏建议冻藏温度在-30℃及以下。

**关键词:** 甲壳类动物; 南极磷虾; 冻藏温度; 品质变化

文章编号: 1673-9078(2014)6-191-195

## Effects of Temperature on the Quality of Antarctic Krill (*Euphausia superba*) during Frozen Storage

LI Xue-ying<sup>1</sup>, LIU Hui-xing<sup>1,2</sup>, YANG Xian-shi<sup>1</sup>, CHI Hai<sup>1</sup>, HUANG Hong-liang<sup>1</sup>, LI Ling-zhi<sup>1</sup>, RAO Yu-lin<sup>3</sup>

(1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory of East China Sea & Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture, Shanghai 200090, China) (2. Van Hesse (Shanghai) Commercial Co., Ltd, Shanghai 201111, China) (3. ShangHai DaYing Food Co., LTD, Shanghai 202177, China)

**Abstract:** Antarctic krill was stored at -20, -30, -40, -50±1℃ and their quality was studied based on the indicators of sensory score, water-holding capacity (WHC), salt soluble protein (SSP), thiobarbituric acid-reactive substance (TBARS). Significant differences (P<0.05) in the quality changes of Antarctic krill were observed during frozen storage at different temperatures. The results showed that the higher the frozen temperature, the worse the sensory quality and the water-holding capacity of Antarctic krill. Severe protein denaturation and fat oxidation were observed with prolonging frozen time. The trend of Antarctic krill deterioration basically kept constant in the process of freezing storage. When stored at -20, -30, -40, -50℃ after 180 d, WHC and SSP of Antarctic krill decreased by 18.27%, 15.00%, 16.04%, 12.92% and 32.66%, 33.99%, 24.95%, 21.84%, but TBARS increased by 76.38%, 78.09%, 65.71%, 53.55%, respectively. Sensory quality deteriorated the fastest when stored at -20℃ for 200 d, yet it was acceptable when stored at -30℃ after 200 d. The sensory quality was much better when stored at -40℃ and -50℃. It showed that the lower the frozen storage temperature, the slower the deterioration rate of Antarctic krill. In consequence, the storage temperature below -30℃ was recommended for the storage of Antarctic krill.

**Key words:** shellfish; Antarctic krill; frozen storage temperature; quality changes

收稿日期: 2014-02-19

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(2011AA090801); 农业部南极海洋生物资源开发与利用项目(2010-2014); 中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(2011T05); 南北极环境综合考察与评估专项(CHINARE 2012/2016-01-06)

作者简介: 李学英(1983-), 女, 硕士, 助理研究员, 主要从事水产品加工与质量安全控制的研究

通信作者: 杨宪时(1954-), 男, 研究员

南极磷虾(*Euphausia superba*)又名南极大磷虾, 是一种海洋浮游甲壳动物, 作为当今世界资源量最大的单物种生物之一, 开发利用南极磷虾无疑是满足人类对水产品需求和缓解粮食危机的有效途径<sup>[1]</sup>。南极磷虾的巨大资源量和高营养价值已得到世界的公认, 对于我国这样一个自然资源相对贫乏的人口大国而言, 综合开发利用南极生物资源具有极其重要的战略意义<sup>[2]</sup>。农业部于2009年底组织实施我国首次开发性

南极磷虾资源调查与探捕任务, 揭开了我国对南极磷虾大规模商业捕捞的序幕。2010年10月, 国家科技部将“南极磷虾快速分离与深加工关键技术”主题项目正式在国家“863计划”中立项, 使我国对南极海洋生物资源产品的高科技研发上升为国家战略。南极磷虾产品的高科技研发, 将有望成为未来远洋渔业新兴的主导产业和海洋经济发展新的增长点。目前, 我国基本保持3~4艘船的年生产规模, 其中:2010、2011、2012年度南极磷虾捕捞产量分别为1956 t、16014 t和4218 t, 约占当年世界总产量的0.9%、8.8%和2.7%<sup>[3-4]</sup>。

由于南极水域距离和加工技术问题, 我国南极磷虾主要以南极磷虾冻品和虾粉加工为主。-18℃对于大多数冻结食品来讲是最经济的冻藏温度, 然而与一般水产品不同, 南极磷虾体内蛋白酶活力很强, 即使在低温条件下也有较高酶活力, 造成肉质软化溶解<sup>[5]</sup>。近年来, 国际上冷藏库的贮藏温度趋于低温化, 英国对所有冻结鱼虾类制品推荐-30℃贮藏, 这已被欧洲众多冷库经营者所采用。美国认为水产品的冻藏温度应在-29℃以下, 日本贮藏南极磷虾专用冷库一般在-25℃左右或以下。国内水产冷库的冻藏温度大多在-20℃左右, 对虾类、贝类、鳗鱼、金枪鱼等含脂肪较多和商品价值较高的水产品来说显然不适宜<sup>[6]</sup>。本文通过对冷冻贮藏于-20、-30、-40℃和-50℃条件下的南极磷虾进行感官评分、硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid-reactive substances, TBARS)、盐溶性蛋白质含量(salt-soluble proteins, SSP)和持水力(water-holding capacity, WHC)的测定, 研究冻藏温度对南极磷虾品质变化的影响, 为南极磷虾科研和生产提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 样品来源

南极磷虾由我国“南极海洋生物资源开发利用项目组”于2012年6月采自南极附近海域, 捕捞上船后平板冻结后包装, 于(-20±1)℃条件下储运, 2012年9月运抵实验室, -80℃冻藏备用。

### 1.2 主要试剂

牛血清蛋白购于北京索莱宝科技有限公司, 考马斯亮蓝G-250、浓磷酸、无水乙醇、浓磷酸、氯化钾、硫代巴比妥酸、三氯乙酸均购于国药集团化学试剂有限公司; 试剂均为分析纯。

### 1.3 主要仪器

GZX-9240 数显鼓风干燥箱, 上海博迅实业有限公司医疗设备厂; 721 可见分光光度计, 上海菁华科技仪器有限公司; KQ5200V 超声波清洗器, 昆山超声仪器有限公司; SIM-F140AY65 制冰机, SANYO, 日本; MDF-U32V(N)超低温冰箱, 日本SANYO; 5810R 高速冷冻离心机, 德国Eppendorf; FA1004A 电子天平, 上海精天电子仪器有限公司; DK-S24 电热恒温水浴锅, 上海精宏实验设备有限公司; MPR-414F 型冰箱, 日本Sanyo; SILVER 型均质机, IUL, 西班牙。

### 1.4 实验方法

#### 1.4.1 贮藏实验

将船上冻结规格约为54.5×33.0×6.0 cm(长×宽×高), 质量约为9.0 kg的整块南极磷虾经塑料密封包装后, 分别放置在(-20、-30、-40℃、-50±1)℃的冰箱或冰柜中冻藏, 每隔20 d取样, 每次随机取样3份进行检测。

#### 1.4.2 感官检验

选择经过培训的7名评价员, 参考文献<sup>[7]</sup>中的评分标准(表1), 以生南极磷虾的色泽、体表、肌肉及90℃水煮南极磷虾5 min后的汤汁和气味为评价指标进行打分, 各项指标满分为2分, 10分为最好品质, 低于4分为感官不能接受。

#### 1.4.3 持水力测定

参考文献<sup>[8]</sup>的方法, 将30 g的样品打浆后在11000 r/min的条件下离心40 min, 除去上清液后称量质量。

$$\text{持水力}(\%) = \frac{m}{M} \times 100 \quad (1)$$

式中:  $M$  为离心前样品的质量,  $m$  为样品离心后除去上清液的质量, 单位均为g。

#### 1.4.4 盐溶性蛋白质含量测定

按照文献<sup>[9]</sup>提取南极磷虾样品中的盐溶性蛋白质, 运用考马斯亮蓝法, 595 nm条件下测定南极磷虾盐溶性蛋白质含量<sup>[10]</sup>(牛血清蛋白标准曲线的回归方程为 $y=0.0058x+0.0115$ ,  $R^2=0.9963$ ), 计算结果以mg/g表示。

#### 1.4.5 TBARS的测定

参考文献<sup>[11]</sup>的方法稍作修改, 先将南极磷虾均质, 称取10.0 g于锥形瓶中, 加入50 mL 7.5%的三氯乙酸(TCA), 振荡提取30 min后6500 r/min离心, 取5 mL上清液并加入5 mL 0.02 mol/L 2-硫代巴比妥酸溶液, 90℃水浴40 min, 室温冷却, 分别在532 nm

和 600 nm 处进行比色测定,用公式 2 计算 TBARS 值,结果以每 kg 南极磷虾肉中丙二醛的毫克数来表示 (mg MDA/kg)。

$$\text{TBARS 值 (或 TBA 值)} = (A_{532} - A_{600}) / 155 \times (1/10) \times 72.6 \times 1000 \quad (2)$$

表 1 南极磷虾感官检验评分规则

Table 1 Rules of sensory evaluation on *Euphausia superba*

指标	2	1	0
色泽	体色正常,有光泽	色泽稍有变化,光泽逐渐变暗	色泽发暗,无光泽
体表	个体清洁完整,甲壳、尾部无脱落,无黑头现象	个体较完整,少数出现黑头现象但不明显	个体不完整,甲壳、尾部脱落现象严重,黑头现象严重
肌肉	组织坚实,弹性好	组织稍有连接,较有弹性	手触弹性差,组织松弛
汤汁	汤汁清冽带有虾体色泽,汤内无碎肉	汤汁稍混,少有组织脱落于汤内	汤汁浑浊,肉质腐败,脱落悬浮于汤内
气味	虾体固有的香味	稍有香气,有较淡的腥味或氨味	有强烈的腥味和氨味

## 2 结果与讨论

### 2.1 冻藏温度对南极磷虾感官评分变化的影响

影响

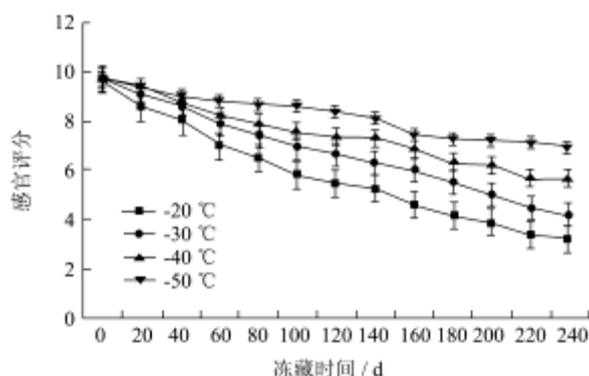


图 1 不同冻藏温度下南极磷虾感官评分变化

Fig.1 Changes in sensory quality of *Euphausia superba* during frozen storage

图 1 是南极磷虾在不同冻藏温度下的感官评分变化。如图所示, 南极磷虾感官评分随着冻藏时间和冻藏温度的不同而变化。冻藏温度不同, 感官品质变化极其显著 ( $P < 0.01$ ), 并且与冻藏时间存在显著的负相关关系 ( $r > 0.98$ )。初始点感官评分较高  $9.75 \pm 0.05$ , 随着时间延长品质不断下降,  $-20^\circ\text{C}$  冻藏温度下的南极磷虾品质下降较快, 160 d 时表层磷虾颜色发暗, 在 180 d 时表层磷虾黑变, 并在 200 d 时, 有强烈的腥味和氨味, 煮熟后汤汁浑浊, 此时感官评分为  $3.90 \pm 0.05$  可认为南极磷虾品质难以接受。 $-30^\circ\text{C}$  冻藏条件下的样品在 200 d 时表层磷虾发暗, 极少数头部发黑, 冻藏结束后, 其感官品质尚可接受。在  $-40^\circ\text{C}$  和  $-50^\circ\text{C}$  冻藏条件下的南极磷虾的感官品质可以得到很好的保

### 1.5 数据处理

实验数据用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS19.0 进行处理与分析。

持。南极地区每年分寒、暖两季, 4~10 月是寒季, 11~3 月是暖季。1 月是南极的最暖月, 平均气温和海水表温与 6 月份相比都较高, 南极磷虾捕捞上船 1 h 后若没及时冷冻加工颜色会发白, 品质略降。迟海等<sup>[7]</sup>研究 2010 年 1 月捕捞的南极磷虾  $-18^\circ\text{C}$  和  $-28^\circ\text{C}$  冻藏时分别在 75 d 和 120 d 时感官不能接受, 与本研究 2012 年 6 月捕捞的南极磷虾冻藏结果有一定差异, 这可能与南极磷虾的捕捞季节不同有关。

### 2.2 冻藏温度对南极磷虾 TBARS 变化的影响

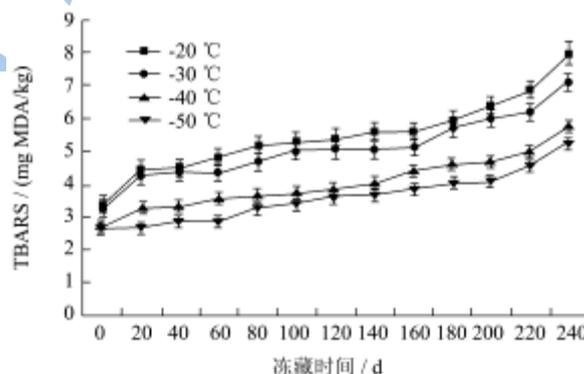


图 2 不同冻藏温度下南极磷虾 TBARS 的变化

Fig.2 Changes in TBARS of *Euphausia superba* during frozen storage

南极磷虾中不饱和脂肪酸含量高、易氧化, TBARS 值的变化反应了肌肉脂肪的氧化程度, 与冻藏时间呈线性关系, 因此 TBARS 值可以作为判断南极磷虾冻藏条件下品质变化的指标。图 2 是南极磷虾在不同冻藏温度下的 TBARS 值变化。如图所示, 冻藏温度不同, TBARS 值差异极其显著 ( $P < 0.01$ ), 并且与冻藏时间存在显著的正相关关系 ( $r > 0.95$ )。由于丙二醛是脂类氧化的一些初级和次级产物再降解形成的, 在冻藏开始之前, 会有一些初级和次级代谢产物

的积累,因此在-20、-30℃冻藏条件下的南极磷虾的TBARS值上升较快,而后增加减缓,随着时间的推移,增长速率再次增加。在-40、-50℃冻藏条件下,由于冻藏温度较低,对脂肪氧化起到了一定的抑制作用,样品的TBARS值增长相对比较平缓。李汴生等<sup>[12]</sup>研究了不同冻藏温度下脆肉鲩鱼片TBARS值的变化,认为冻藏温度愈低TBARS值愈小,与笔者结论一致。南极磷虾TBARS初始值为(3.00±0.30)mgMDA/kg,在-20、-30、-40℃和-50℃下冻藏180d后,TBARS分别上升了76.38%、78.09%、65.71%、53.55%。夏杏洲等<sup>[13]</sup>对军曹鱼片在-18、-30℃冻藏90d后TBA值分别上升了107.15%、83.79%。Santiago等<sup>[14]</sup>研究得出大西洋鳕和黑线鳕在-30℃冻藏150d后TBA值分别上升了254.55%、73.08%。

### 2.3 冻藏温度对南极磷虾盐溶性蛋白质变化的影响

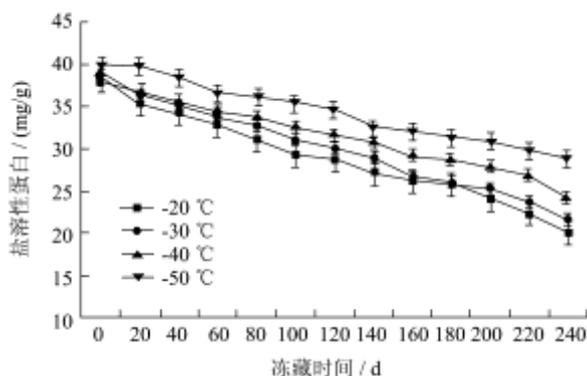


图3 不同冻藏温度下南极磷虾盐溶性蛋白质的变化

Fig.3 Changes in SSP of *Euphausia superba* during frozen storage

图3是在不同冻藏温度条件下南极磷虾盐溶性蛋白质的含量变化,一般认为,冻藏过程中形成的二硫键、氢键和疏水键等导致了蛋白质的盐溶性下降,且其下降程度与冻藏温度密切相关,由图可知,冻藏温度不同,SSP变化显著( $P<0.05$ ),并且与冻藏时间存在显著的负相关关系( $r>0.99$ )。随着冻藏时间的增加SSP的含量逐渐减少,冻藏温度越低SSP降低减缓,在-30℃冻藏条件下的南极磷虾的品质略好于-20℃,而在-40℃和-50℃冻藏条件下的南极磷虾SSP含量相对较高,降低的相对缓慢,许多研究报告<sup>[12-13]</sup>也得到了类似结果。南极磷虾的SSP初始值在(39.09±0.80)mg/g,在-20、-30、-40℃和-50℃下冻藏180d后SSP含量分别下降了32.66%、33.99%、24.95%、21.84%。李汴生等<sup>[12]</sup>研究得出脆肉鲩鱼片在-18、-30℃冻藏70d后,SSP含量分别下降了40.22%、

23.04%。夏杏洲等<sup>[13]</sup>对军曹鱼片在-18、-30℃冻藏60d后SSP含量分别降低了51.84%和39.66%。

### 2.4 冻藏温度对南极磷虾持水力变化的影响

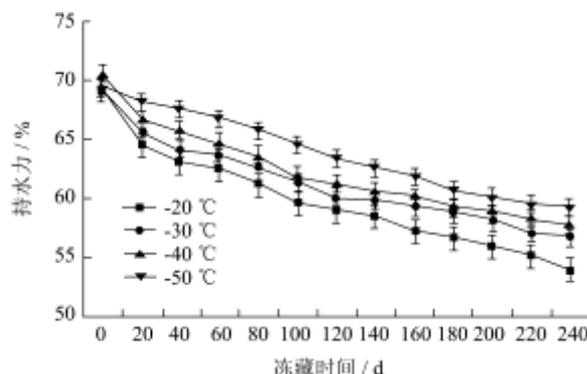


图4 不同冻藏温度下南极磷虾持水力的变化

Fig.4 Changes in WHC of *Euphausia superba* during frozen storage

持水力即指在外力作用下,样品牢固束缚住其自身的和外加的水的能力。图4是南极磷虾在不同冻藏温度条件下WHC的变化,冻藏温度不同,WHC变化显著( $P<0.05$ ),并且与冻藏时间存在显著的负相关关系( $r>0.95$ )。冻藏时间增加WHC呈现降低的趋势,冻藏前期持水力下降较快,后期减缓。南极磷虾的WHC初始值为(69.75±0.55)%,在-20、-30、-40℃和-50℃下冻藏180d后,WHC分别下降了18.27%、15.00%、16.04%、12.92%。较低的冻藏温度使得南极磷虾的持水能力可以得到很好的保持。冻藏期间WHC的变化可能与蛋白质的变性、脂肪氧化和肌肉组织的变化有相关性。刘会省等<sup>[15-16]</sup>研究了不同冻结温度和冻结方式对南极磷虾WHC的影响,指出冻结温度越低和冻结时间越短,南极磷虾的持水力越强。杨金生<sup>[17]</sup>研究了在冻藏期间金枪鱼肌肉的WHC变化,认为在不同冻藏温度下,金枪鱼肌肉的WHC都呈下降趋势,冻藏温度越高,下降越明显,这是由于在冻藏过程中,蛋白质周围疏水的/亲水的基团受到破坏,使蛋白质亲和的水分子转变成游离水流出,因失水使得蛋白质凝聚变性,WHC下降。

## 3 结论

3.1 不同的冻藏温度(-20、-30、-40、-50℃)对南极磷虾各理化指标有显著影响( $P<0.05$ ),且随着冻藏时间的延长,差异更明显。冻藏温度越高,时间越长,南极磷虾的感官品质和持水能力越差,蛋白变性和脂肪氧化程度越高。冻藏过程中南极磷虾品质变化趋势基本一致,随着冻藏时间的延长,南极磷虾的感官评分降低、WHC下降、SSP降低、TBARS增加。南极

磷虾在-20、-30、-40、-50℃下冻藏180 d后, TBARS分别上升了76.38%、78.09%、65.71%、53.55%, SSP分别下降了32.66%、33.99%、24.95%、21.84%, WHC分别下降了18.27%、15.00%、16.04%、12.92%。

3.2 冻藏中除蛋白质冷冻变性, 脂肪氧化外, 南极磷虾体内酪氨酸酶易氧化生成黑色素, 引起感官品质下降。-20℃冻藏条件下南极磷虾品质变化较快, 200 d时感官品质难以接受, -30℃冻藏200 d时感官品质尚可接受, 在-40℃和-50℃冻藏条件下感官品质较好。又因南极磷虾体内功能强大的酶系统<sup>[5]</sup>, 冻藏温度越低越有利于南极磷虾品质的保持。根据本研究结果并综合考虑经济节能等问题, 建议采用较低的温度(-30℃及以下)冻藏可以最大限度保持南极磷虾的品质。

致谢: 感谢2013年2月到6月期间跟随我国赴南极“开欣”号渔轮参与南极磷虾捕捞作业的我所捕捞与渔业工程实验室的吴越研究实习员提供的有关南极磷虾捕捞后的品质变化情况等信息。

#### 参考文献

- [1] 王荣, 孙松. 南极磷虾渔业现状与展望[J]. 海洋科学, 1995, 4:28-32  
WANG Rong, SUN Song. Krill fishery in the southern ocean-its present and future [J]. Marine Sciences, 1995, 4: 28-32
- [2] 陈雪忠, 徐兆礼, 黄洪亮. 南极磷虾资源利用现状与中国的开发策略分析[J]. 中国水产科学, 2009, 16(3):451-458  
CHEN Xue-zhong, XU Zhao-li, HUANG Hong-liang. Development strategy on Antarctic krill resource utilization in China [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(3): 451-458
- [3] CCAMLR. Statistical bulletin Volume 24 (2002-2011) [R]. Hobart, Australia: Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources, 2012
- [4] CCAMLR. CCAMLR\_2013\_Statistical\_Bulletin\_Volume\_25 [R/OL]. [2013-05-16]. <http://www.ccamlr.org>
- [5] Kuwano K, Osawa Y, Sekiya N, et al. Boiling process for the prevention of loss and autolysis of protein from Antarctic krill (*Euphausia superba*) [J]. Journal of Japanese Society of Food and Nutrition, 1975, 28(4): 191-194
- [6] 冯志哲, 沈月新, 史维一, 等. 食品冷藏学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2002  
FENG Zhi-zhe, SHEN Yue-xin, SHI Wei-yi, et al. Refrigerated storage of food [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2002
- [7] 迟海, 李学英, 杨宪时, 等. 南极磷虾冻藏温度下的品质变化及其货架期分析[J]. 水产学报, 2012, 36(1):153-160  
CHI Hai, LI Xue-ying, YANG Xian-shi, et al. Analysis of quality changes and shelf-life of Antarctic krill (*Euphausia superba*) at frozen temperature [J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(1): 153-160
- [8] Robertson J, Eastwood M. A method to measure the water-holding properties of dietary fibre using suction pressure [J]. Br. J. Nutr., 1981, 46(2): 247-255
- [9] Pan B, Yeh W. Biochemical and morphological changes in grass shrimp (*Penaeus monodon*) muscle following freezing by air blast and liquid nitrogen methods [J]. Journal of Food Biochemistry, 1993, 17(3): 147-160
- [10] Bradford M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. Anal. Biochem., 1976, 72(1): 248-254
- [11] 马丽珍, 南庆贤, 戴瑞彤. 真空包装冷却猪肉低剂量辐照后的理化和感官特性变化[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4):184-187  
MA Li-zhen, NAN Qing-xian, DAI Rui-tong. Changes in physicochemical and sensory characteristics of vacuum-packaged chilled pork irradiated at low-dose gamma ray [J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(4): 184-187
- [12] 李汴生, 朱志伟, 阮征, 等. 不同温度冻藏对脆肉鲩鱼片品质的影响[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2008, 36(7): 134-139  
LI Bian-sheng, ZHU Zhi-wei, RUAN Zheng, et al. Effects of frozen storage at different temperatures on quality of crisped grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V) fillets [J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2008, 36(7): 134-139
- [13] 夏杏洲, 洪鹏志, 钟灿桦, 等. 不同冻结速率对军曹鱼片品质影响的研究[J]. 广东海洋大学学报, 2010, 30(3):67-72  
XIA Xing-zhou, HONG Peng-zhi, ZHONG Can-hua, et al. Effects of different freezing rates on qualities of rachycentron canadum fillets [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2010, 30(3): 67-72
- [14] Santiago P, Isabel M. Influence of storage time and temperature on lipid deterioration during cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) frozen storage [J]. Journal of the Science of Food and Agricultural, 1999, 79: 1943-1948
- [15] 刘会省, 迟海, 杨宪时, 等. 冻结温度对南极磷虾品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(3):77-82  
LIU Hui-xing, CHI Hai, YANG Xian-shi, et al. Effects of different freezing temperature on the quality of Antarctic krill (*Euphausia superba*) [J]. Food and Fermentation Industries,

2013, 39(3): 77-82

- [16] 刘会省,迟海,杨宪时,等.冻结方式对南极磷虾品质的影响[J].现代食品科技,2013,29(7):1601-1605

LIU Hui-xing, Chi Hai, Yang Xian-shi, et al. Effects of freezing methods on the quality of Antarctic krill (*Euphausia superba*) [J]. Modern Food Science and Technology, 2013,

29(7): 1601- 1605

- [17] 杨金生.金枪鱼肌肉冷藏工艺的研究[D].浙江海洋学院, 2012

YANG Jin-sheng. Study on refrigeration technology muscle of tuna [D]. Zhejiang Ocean University, 2012

现代食品科技