

## 南极磷虾冻藏温度下的品质变化及其货架期分析

迟海, 李学英, 杨宪时\*, 郭全友

(中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

**摘要:** 以出肉率及化学变化(pH、TVB-N、TBARS、Ca<sup>2+</sup>-ATPase活性)为指标,结合感官评价,探讨了南极磷虾冻藏温度下(-8、-18和-28℃)的品质变化及货架期。实验结果显示,南极磷虾感官评分与冻藏时间和冻藏温度均有显著的相关性( $r=0.982$ 和 $0.981$ ),-8℃条件下20 d后南极磷虾感官不可接受,-18和-28℃条件下南极磷虾分别在75和120 d时感官不可接受;出肉率与冻藏时间有显著的相关性( $r=0.953$ ),在-8、-18和-28℃条件下南极磷虾出肉率在货架期终点分别达到31.62%、31.21%、34.52%;pH与冻藏时间和冻藏温度相关性不明显,不适宜用作反映南极磷虾冻藏条件下的品质指标,但随时间的延长pH仍呈增长趋势,在货架期终点3种冻藏温度下南极磷虾pH分别达到7.94、7.99、7.84;TVB-N和TBARS分别与冻藏时间有显著相关性( $r=0.944$ 和 $0.935$ ),但TVB-N只与-8℃条件下的温度有显著相关性,TBARS只与-18和-28℃冻藏温度有显著相关性,在货架期终点时(感官不能接受)3种冻藏温度下南极磷虾TVB-N和TBARS分别为21.43、20.49、19.74 mg/100 g和0.88、0.78、0.66 mg MA/kg,均低于腐败水平阈值;Ca<sup>2+</sup>-ATPase活性下降显著,与冻藏时间呈显著相关性( $r=-0.929$ )。南极磷虾感官指标、出肉率、TVB-N、TBARS、Ca<sup>2+</sup>-ATPase活性均在冻藏期间有明显变化,且与冻藏时间有明显的相关性,可以考虑用作反映冻藏条件下南极磷虾品质变化指标。因此,综合各项指标并结合感官评价,可以判断实验过程中3种冻藏温度下南极磷虾货架期终点分别为20、75、120 d。

**关键词:** 南极磷虾;冻藏温度;品质变化;货架期

**中图分类号:** TS 254.4

**文献标志码:** A

磷虾属甲壳动物纲(Crustacean)、磷虾目(Euphausiacea),全世界共有85种。在南极水域的磷虾有11种之多,其中数量最多个体最大的称之为南极大磷虾,也就是我们平常所称的南极磷虾(*Euphausia superba*)。作为南大洋最大的单物种生物资源,南极磷虾为南大洋高等捕食者提供着重要的食物来源。同时,南极磷虾潜在的渔业资源也日益受到人们的关注<sup>[1-2]</sup>,开发和利用南极磷虾资源具有重大的意义。

南极磷虾营养比例适中,蛋白质含量丰富,是人类理想的动物蛋白资源。但是南极磷虾自身蛋白酶活性很强,即使低温条件下也不能抑制自溶,

品质快速下降<sup>[3-5]</sup>。在我国水产冻藏库和冻藏车温度多低于-18℃,在此条件下可以满足水产品长途运输和长期保存,相关的保鲜及贮藏研究也比较广泛<sup>[6-10]</sup>,但对南极磷虾冻藏过程中品质变化及其货架期的研究未见报道,所以探讨冻藏温度下南极磷虾品质变化及货架期十分必要。本研究将南极磷虾贮藏在-8、-18和-28℃温度下,分析感官、pH、出肉率、总挥发性盐基氮(total volatile base nitrogen, TVB-N)、硫代巴比妥酸反应物(tiobarbituric acid reactive substances, TBARS)和Ca<sup>2+</sup>-ATPase活性指标的变化,旨在探讨不同冻藏温度下南极磷虾的品质变化,为南

收稿日期:2011-06-24 修回日期:2011-10-19

资助项目:国家“八六三”高技术研究发展计划(2011AA090801);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2011T05);农业部南极海洋生物资源开发利用专项

通讯作者:杨宪时, E-mail: xianshiyang@126.com

极磷虾加工利用提供基础数据参考。

## 1 材料与方

### 1.1 材料与药品

南极磷虾由我国“南极海洋生物资源开发利用项目组”于2010年1月南极FAO 48.1区捕捞,船上冻结后 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右冻藏直至2010年4月运抵实验室,将样品贮藏在 $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下立即进行实验。

硼酸、氧化镁(轻质)、甲基红、次甲基蓝、氯化钙、无水甲苯、甲醛、KOH、盐酸三甲胺、无水硫酸钠、苦味酸、三氯乙酸(TCA)均购于上海国药集团化学试剂有限公司,分析纯;HCl标准溶液购于上海市计量测试技术研究院。

### 1.2 贮藏实验

选取完整的南极磷虾5 kg(规格为 $50\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ )经塑料密封包装后分别贮藏在 $(-8、-18\text{ 和 }-28) \pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下,根据贮藏温

度间隔适当时间取样进行感官评分和pH、出肉率、TVB-N、TBARS和 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性测定。

### 1.3 仪器与设备

HH-8型恒温水浴锅:常州国华电器有限公司;HGB550组织搅碎机:上海凌初科学仪器有限公司;SANYO-MR553低温培养箱:日本三洋公司;L550/L530低速台式离心机:长沙湘仪离心机仪器有限公司;721可见光分光光度计:上海菁华科技仪器有限公司;pHS-25型pH计:上海伟业仪器厂。

### 1.4 检测方法

**感官检验** 选择6名经过训练的评价员组成感官评价小组,根据参考文献[11]的评分标准(表1)采用现场打分方式,以南极磷虾的色泽、体表、肌肉及 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水煮5 min的气味和汤汁为评价指标,各项指标满分为2分,总分10分为最好品质,2分为感官不能接受,0分为最差品质。

表1 南极磷虾感官检验评分规则

Tab.1 Rules for evaluation on sensory characteristics of Antarctic krill

指标 index	2	1	0
色泽 color	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 body	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 muscle	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
气味 odor	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
汤汁 soup	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

**出肉率测定** 取个体完整、无损伤、无黑头的南极磷虾,在 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴下加热5 min,称得南极磷虾的质量为 $M_D$ (g),剥去虾头虾壳后南极磷虾的质量为 $m$ (g),出肉率计算公式

$$\text{出肉率}(\%) = \frac{m}{M_D} \times 100$$

**pH测定** 将南极磷虾进行组织搅碎后取10 g加入90 mL蒸馏水,静置30 min,然后用pH计对上清液直接进行测定。

**TVB-N测定** 参照GB/T 5009.44-2003<sup>[12]</sup>,按半微量定凯氏氮法进行测定,结果用mg/100 g表示。

**TBARS测定** 参照文献[13],将虾肉绞碎后取5 g,加入10% TCA 20 mL,再加入20 mL蒸馏水。振荡2 min。4 000 r/min离心5 min,滤纸过滤。取8 mL滤液于20 mL试管中。加入

2 mL 0.01 mol/L TBA,沸水中水浴25 min,取出冷却至室温,532 nm处比色法进行测定。结果以每千克虾肉中丙二醛的毫克数来表示(mg MA/kg)。

**$\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性测定** 参考文献[14],取1 mL肌球蛋白稀释液加入0.5 mL 0.5 mol/L Tris-maleate(pH 7.0),再加0.5 mL 0.1 mol/L  $\text{CaCl}_2$ ,再加7.5 mL蒸馏水,然后加入0.5 mL 20 mmol/L ATP在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下水浴5 min。然后加入3 mL 15% TCA终止反应。反应物在4 000 × g条件下离心5 min。采用磷钼蓝比色法<sup>[15]</sup>对反应物中磷进行定量,结果用 $\mu\text{mol}/(\text{min} \cdot \text{mg})$ 表示。

### 1.5 数据分析与处理方法

实验数据用Microsoft Excel 2003进行回归分析,用SPSS 13.0进行方差分析,每项测定数据

采用3个平行。

## 2 结果

### 2.1 南极磷虾冻藏温度下感官的变化

图1是南极磷虾冻藏温度下的感官评分变化。如图所示,南极磷虾感官评分与冻藏时间和冻藏温度均有显著相关性( $r=0.982$ 和 $0.981$ )。南极磷虾的品质初始点感官评分较高,随着时间延长品质不断下降, $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻藏温度下的南极磷虾品质下降很快,15 d感官评分在2.7左右,20 d后虾肉变得松散,虾体发黑,煮熟后汤汁浑浊,品质难以接受,不适宜加工生产; $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻藏温度下南极磷虾品质下降较快,60 d时感官评分为2.9,在75 d时南极磷虾组织已经开始松散,虾体出现发黑严重现象,煮熟后汤汁浑浊,此时可以认为南极磷虾品质难以接受; $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻藏温度下的南极磷虾品质下降相对较慢,80 d时感官评分为3.2,120 d左右感官不能接受。从实验结果可以看出, $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下仍难以保证南极磷虾的品质, $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下南极磷虾的货架期高于其他二种温度,在120 d左右。

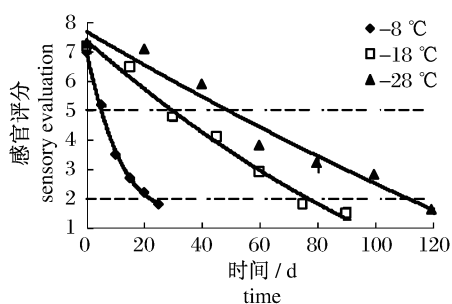


图1 冻藏温度下南极磷虾感官评分  
Fig.1 Sensory score of Antarctic krill during frozen storage

### 2.2 南极磷虾冻藏温度下出肉率变化

图2是南极磷虾冻藏温度下的出肉率变化。如图所示,南极磷虾出肉率与冻藏时间有显著的相关性( $r=0.953$ )。南极磷虾初始点出肉率大约为45%,随着时间延长冻藏温度下南极磷虾出肉率呈下降趋势, $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下出肉率下降明显,25 d后南极磷虾出肉率为31.62%; $-18$ 和 $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下南极磷虾在前30 d时出肉率大致相同,45 d后 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 出肉率下降变快, $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下南极磷虾出肉率变化较缓慢,75 d时两种温度条件下出肉率分别为31.73%

和37.21%;在货架期终点(感官不能接受)时 $-18$ 和 $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下南极磷虾出肉率分别达到31.21%和34.52%。

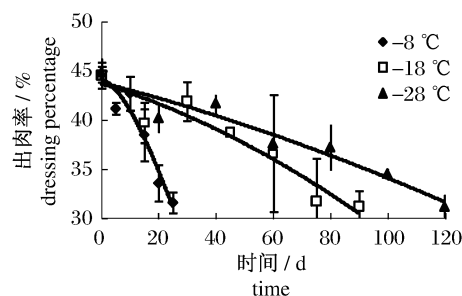


图2 冻藏温度下南极磷虾的出肉率变化  
Fig.2 Changes in dressing percentage of Antarctic krill during frozen storage

### 2.3 南极磷虾冻藏温度下pH变化

测定虾肉的pH可作为判定新鲜度的参考标准之一。水产动物死后体内糖原开始分解,产生乳酸,使肌肉的pH下降,下降程度与肌肉中糖原的质量分数有关。随着鲜度的变化,蛋白质开始分解,呈碱性的物质不断增加,使pH上升,所以,可以认为水产品的鲜度变化与pH变化有一定的联系。图3是南极磷虾冻藏温度下的pH变化。如图所示,pH变化与冻藏时间和冻藏温度相关性不明显。南极磷虾pH初始点很接近,但都超过7.60,而且3种温度条件下南极磷虾的pH变化总体趋向于增长。 $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下南极磷虾pH增长较快,15 d后pH达到7.98; $-18$ 和 $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下南极磷虾pH先是下降,而后增长,在75 d后pH分别达到7.76和7.90,三种温度下南极磷虾pH在货架期终点(感官不能接受)时分别达到7.94、7.99、7.84。

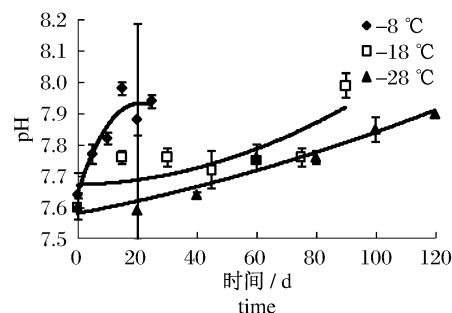


图3 冻藏温度下南极磷虾pH变化  
Fig.3 Changes in pH of Antarctic krill during frozen storage

#### 2.4 南极磷虾冻藏温度下 TVB-N 变化

图4是南极磷虾冻藏温度下的TVB-N值变化。如图所示,南极磷虾TVB-N与冻藏时间有显著相关性( $r=0.944$ ),并与 $-8^{\circ}\text{C}$ 温度条件下有显著相关性( $r=0.942$ )。南极磷虾TVB-N值初始点很低,这说明南极磷虾质量仍处于很高品质。随着时间的延长,3种冻藏温度下TVB-N值不断增加, $-8^{\circ}\text{C}$ 条件下TVB-N值增加迅速,25 d后TVB-N值达到 $21.43\text{ mg}/100\text{ g}$ , $-18^{\circ}\text{C}$ 和 $-28^{\circ}\text{C}$ 冻藏温度下TVB-N值呈增长的趋势,而后随时间延长TVB-N增长速度开始变缓,75 d时两种温度条件下南极磷虾TVB-N分别为 $19.89$ 和 $18.58\text{ mg}/100\text{ g}$ ,这说明冻藏条件下对南极磷虾TVB-N的增长有一定的控制作用。3种温度下南极磷虾TVB-N值在货架期终点时分别达到 $21.43$ 、 $20.49$ 、 $19.74\text{ mg}/100\text{ g}$ 。

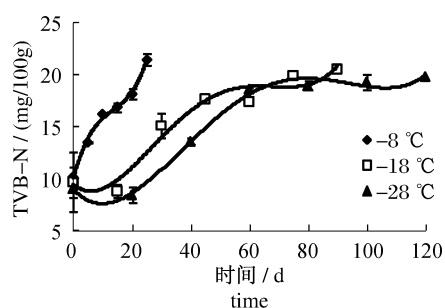


图4 冻藏温度下南极磷虾 TVB-N 值变化  
Fig. 4 Changes in TVB-N of Antarctic krill during frozen storage

#### 2.5 南极磷虾冻藏温度下 TBARS 变化

南极磷虾不饱和脂肪酸含量很高<sup>[16]</sup>,容易发生氧化,同时冻藏使虾体自由水含量减少,使氧化速率加快<sup>[17]</sup>。TBARS 值的变化反应了肌肉脂肪的氧化,这种变化与冻藏时间呈线性关系<sup>[18]</sup>,因此 TBARS 值变化可以准确判断南极磷虾冻藏条件下的品质变化。图5是南极磷虾冻藏温度下的TBARS值变化。如图所示,南极磷虾TBARS值与冻藏时间有显著的相关性( $r=0.935$ ),并只与 $-18^{\circ}\text{C}$ 和 $-28^{\circ}\text{C}$ 条件下的冻藏温度有显著的相关性。南极磷虾初始点TBARS值很低,约为 $0.4\text{ mg MA}/\text{kg}$ , $-8^{\circ}\text{C}$ 冻藏温度下南极磷虾TBARS值随着时间延长增长迅速,25 d后TBARS值到达 $0.88\text{ mg MA}/\text{kg}$ ;  $-18^{\circ}\text{C}$ 和 $-28^{\circ}\text{C}$ 条件下TBARS值增长比较平缓,75 d时两种温度条件下南极磷虾TBARS值分别为 $0.74$ 和 $0.61\text{ mg MA}/\text{kg}$ ;

$3$ 种温度下南极磷虾TBARS值在货架期终点时分别达到 $0.88$ 、 $0.78$ 、 $0.66\text{ mg MA}/\text{kg}$ 。

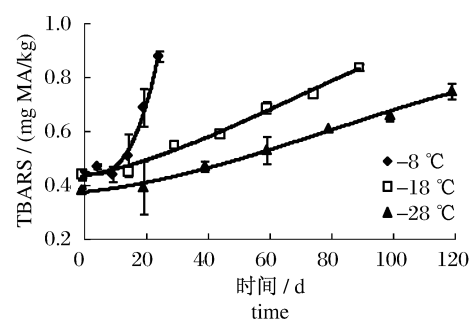


图5 冻藏温度下南极磷虾 TBARS 值变化  
Fig. 5 Changes in TBARS of Antarctic krill during frozen storage

#### 2.6 南极磷虾冻藏温度下 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性变化

$\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性源于肌动球蛋白的头部结构。在冻藏温度下肌动球蛋白的头部结构会发生变化,严重时会导致其酶活性的下降或丧失<sup>[19]</sup>。 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性可以准确反映冻藏温度下蛋白质变化,从而判断其冻藏温度下的品质变化。图6是南极磷虾冻藏温度下 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性变化。如图所示, $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性与冻藏时间呈显著的相关性( $r=-0.929$ )。 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性随冻藏时间延长呈下降趋势。3种温度下 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性在前期下降明显, $-8^{\circ}\text{C}$ 下第5天 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性下降超过40%;后期3种温度下的 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性下降趋势较缓慢。 $-8^{\circ}\text{C}$ 下 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase活性下降最快,在25 d后活性已经很低, $-28^{\circ}\text{C}$ 条件下下降最慢, $-18^{\circ}\text{C}$ 次之,这说明冻藏温度对南极磷虾蛋白质变性起一定的作用。

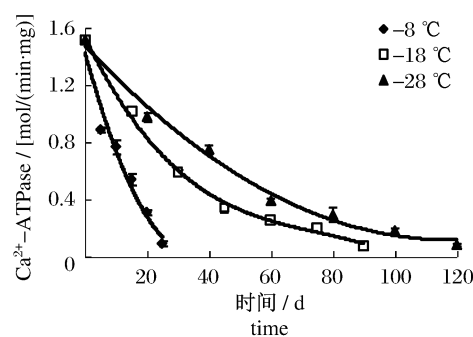


图6 冻藏温度下南极磷虾  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性变化  
Fig. 6 Changes in  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase activity of Antarctic krill during frozen storage

### 3 讨论

#### 3.1 南极磷虾冻藏温度下出肉率、pH 的变化

冻藏水产品在生产过程中的水分含量和持水性直接影响水产品的组织状态、品质,甚至风味。由于在冻藏期间自由水冻结和蛋白质结合水脱离,从而容易造成蛋白质损失,降低水产品的出肉率,因此以出肉率为指标探讨冻藏条件下水产品品质十分必要,同时也为企业生产加工提供基础数据。南极磷虾在 3 种冻藏温度条件下出肉率呈下降趋势,这可能是冻藏过程中冰晶的生成对蛋白质的水化程度束缚变小,加之南极磷虾蛋白酶活力在很低的温度条件下仍很高<sup>[16]</sup>,造成蛋白质水解,使蛋白质结合状态改变,造成出肉率下降。Nishimura 等<sup>[20]</sup>对冻藏条件下的南极磷虾的品质变化进行分析,结果发现南极磷虾在冻藏条件下肌肉组织品质下降明显,这与本实验中南极磷虾出肉率下降有关系。

南极磷虾自身的 pH 测定研究很少,但总体上应趋于中性。本实验中南极磷虾 pH 初始点为 7.60,这可能与南极磷虾生活环境或自身的渗透压有关。南极磷虾在冻藏过程中 pH 的变化总体上呈上升的趋势,这说明冻藏过程中虾肉蛋白质不断降解,虾体的 pH 一直趋向碱性,虾体的品质也逐渐降低。冻藏温度对微生物的生长有抑制作用,这使蛋白质分解速度降低。但是南极磷虾 pH 依旧升高,这说明微生物对蛋白质的利用很低,蛋白酶在冻藏温度下 pH 的变化起主要的作用。Nishimura 等<sup>[20]</sup>对冻藏条件下南极磷虾肌肉组织的蛋白酶进行测定,发现冻藏条件下南极磷虾酶活力依然很强,这与本实验的观点一致。

#### 3.2 南极磷虾冻藏温度下 TVB-N, TBARS 和 $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性的变化

TVB-N 是指动物性食品由于酶和细菌的作用,在腐败过程中使蛋白质分解而产生的氨以及胺类等碱性含氮物质,目前已被中国和世界上大多数国家作为鉴定肉、水产品腐败程度的标准。大部分水产品中 TVB-N 水平与鲜度感官评价之间有很大的相关性<sup>[21]</sup>。本实验中南极磷虾 3 种冻藏温度在感官不能接受时的 TVB-N 均未达到 GB 2733-2005 海虾中 TVB-N 为 30 mg/100 g 的规定要求,说明冻藏温度下南极磷虾品质下降主要不是微生物作用,内源蛋白酶对南极磷虾品

质变化可能有一定的影响,相关报道也介绍了南极磷虾酶系与品质变化的关系<sup>[11,22-23]</sup>,但仍需要进一步的研究。郑福麟<sup>[24]</sup>将刚捕获的南极磷虾贮藏在  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  条件下,三个月后总挥发性盐基氮含量仍保持在 12.03 mg/100 g,并且鲜度良好,这与本实验结果一致。

TBARS 是肉类和水产品冻藏条件下特有的腐败指标。在脂肪含量较高的水产品中,脂肪氧化分解产小分子物质(醛、酮、酸等)是引起感官质量下降的原因之一,故 TBARS 值在反映这类物质的含量的同时也对冻藏条件下水产品质量变化做出准确的评价;同时,由于 TBARS 测定的特征物质丙二醛是不饱和脂肪酸氧化后产生的一个特征致癌物质,所以 TBARS 值不但能反映水产品脂肪酸败的程度,也能反映其安全性。TBARS 值与脂肪氧化程度有很强的相关性,TBARS 值越大说明脂肪的氧化程度越高酸败就越严重。在国外,TBARS 值常用于生肉鲜度的测定,当 TBARS 值大于 0.5 时表明氧化正在进行产品会显现异味。国内对 TBARS 在食品中的限量还没有规定,国外推荐的 TBARS 阈值是 1~2 mg MA/kg<sup>[25]</sup>。本实验中南极磷虾 TBARS 初始值处于 0.4 mg MA/kg 左右,随着时间的延长,TBARS 值不断增加,这说明南极磷虾脂肪含量很高,氧化速度很快,南极磷虾品质变化也很快,但从实验结果显示,3 种温度条件下南极磷虾 TBARS 值未达到腐败水平阈值。同时,在实验过程中还发现,包装不封闭的南极磷虾在冻藏温度下 TBARS 值更高,表面的虾体腐败更明显,建议冻藏过程中将南极磷虾密封包装。

肌球蛋白和肌动蛋白是构成肌原纤维粗丝和细丝的主要成分,两者在三磷酸腺苷(ATP)存在的条件下形成肌动球蛋白,与肌肉的收缩和死后僵硬有关。肌球蛋白分子具有分解 ATP 的酶活性,当水产品蛋白质冷冻变性越严重,其  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性也越低<sup>[26-27]</sup>。Hashimoto 等<sup>[28]</sup>对磷虾肌动蛋白的  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性进行研究,结果显示磷虾肌动蛋白的  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性较其他海洋生物肌动蛋白的  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性不稳定,容易变性。Nishimura 等<sup>[29]</sup>对常温条件下南极磷虾  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性进行研究。结果显示,25  $^{\circ}\text{C}$  条件下 10 min 南极磷虾  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性损失达 65%。本实验中南极磷虾蛋白的  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活

性显著下降,这说明南极磷虾蛋白在冻藏过程中发生了严重的变性,影响肌肉持水力,这也可能引起南极磷虾出肉率下降,实验数据显示,  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性与出肉率之间有显著的相关性 ( $P < 0.05$ )。同时,  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性在  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  的下降速率较  $-18$  和  $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$  更快,这说明低温能延长南极磷虾蛋白的变性。Nishimura 等<sup>[20]</sup> 在南极磷虾冻藏条件下也发现  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性显著下降,  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  条件下  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性 5 d 后损失 30%, 六个月后  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase 活性几乎消失,这与本实验研究结果相一致。

### 3.3 南极磷虾冻藏温度下的货架期

水产品死后发生的物理、化学和微生物反应使人类的感官不能接受被定义为水产品的腐败变质<sup>[30]</sup>。冻藏条件下影响水产品腐败和货架期取决于很多因素,首先冰晶成长会使细胞受到机械损伤,组织质地不严密,解冻和加工时容易导致汁液流失,造成蛋白质变性;其次脂肪氧化造成酸败,产生有毒物质,影响感官指标,所以对冻藏条件下水产品品质变化和货架期的研究十分必要。由图 1 所得,实验过程中,  $-8$ 、 $-18$  和  $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$  冻藏温度条件下南极磷虾的货架期分别约为 20、75 和 120 d,加之南极磷虾已经在  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右条件下贮藏 90 d,综合检测指标,结合感官评分,可以判断  $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$  冻藏温度条件下南极磷虾货架期大约为 200 d,  $-8$  和  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  条件下南极磷虾的货架期可能稍短。郑福麟<sup>[24]</sup> 将刚捕获的南极磷虾贮藏在  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  条件下,3 个月后南极磷虾品质仍保持很好,这与本实验的结果一致。Trond 等<sup>[23]</sup> 将刚捕获的南极磷虾在不同的冻藏温度下进行品质变化研究,结果显示死后南极磷虾自溶依然严重,应尽量低温贮藏,  $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$  冻藏温度下南极磷虾的货架期长达半年,这个结果与本实验结果一致。

上海理工大学医疗器械与食品学院 2005 级杭虞杰同学参加部分研究工作,谨表谢意!

### 参考文献:

[1] 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.  
[2] 谢营梁. 南极磷虾(*Euphausia superba*) 开发利用的现状和趋势[J]. 现代渔业信息,2004,19(4):18-20.

[3] 李学英,迟海,杨宪时,等. 南极磷虾冷藏过程中的品质变化[J]. 食品科学,2010,31(20):464-468.  
[4] Koichi K, Akiyoshi F, Kazuo M. Partial purification and characterization of proteinases from abdomen part muscle of Antarctic krill [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1986, 52(4):745-749.  
[5] Yukio K, Kimio N, Teruyoshi M, et al. Effects of protease inhibitors on the Autolysis and protease activities of Antarctic krill [J]. Agricultural and Biological Chemistry,1984,48(4):923-930.  
[6] 刁石强,陈培基,李来好,等. 臭氧冰对凡纳滨对虾保鲜效果的研究[J]. 南方水产,2008,4(1):53-57.  
[7] 何耀辉,卢敏仪,刘康,等. 气调包装技术用于草虾保鲜的研究[J]. 食品与发酵工业,2001,27(2):26-29.  
[8] 李艳,周培根,戚晓玉. 罗氏沼虾在不同温度贮藏期间鲜度的变化[J]. 上海海洋大学学报,2002,11(1):62-67.  
[9] 王四维,过世东. 南美白对虾复合型涂膜保鲜的效果研究[J]. 食品研究与开发,2005,26(5):164-167.  
[10] 邹明辉,李来好,郝淑贤,等. 凡纳滨对虾虾仁在冻藏过程中品质变化研究[J]. 南方水产,2010,6(4):37-42.  
[11] 迟海,李学英,杨宪时,等. 南极磷虾 0、5 和 20  $^{\circ}\text{C}$  贮藏中品质变化[J]. 海洋渔业,2010,32(4):447-453.  
[12] 上海市食品卫生监督检验所. GB/T 5009.44-2003 肉与肉制品卫生标准的分析方法[S]. 北京:中国标准出版社,2003.  
[13] 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.  
[14] 宣伟,励建荣,李学鹏,等. 真空包装青石斑鱼片在 0  $^{\circ}\text{C}$  贮藏时的品质变化[J]. 水产学报,2010,34(8):1285-1293.  
[15] 梁运江,谢修鸿,许广波,等. 磷钼蓝比色法合适工作波长及线性范围的讨论[J]. 中国环境监测,2007,23(1):35-37.  
[16] 迟海,李学英,杨宪时. 南极磷虾加工利用研究进展[J]. 天然产物研究与开发,2010,22:283-287.  
[17] 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):134-143.  
[18] Hanenian R, Mittal S, Usbome R. Influence of freezing rate and storage time on beef quality[C].

- 134<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology congress proceedings. 1998;222 – 225.
- [19] Benjakul S, Seymour S, Morrissey T, *et al.* Physicochemical changes in Pacific whiting muscle proteins during iced storage [J]. *Journal of Food Science*, 1997, 62:729 – 733.
- [20] Nishimura K, Kawamura Y, Matoba T, *et al.* Deterioration of Antarctic krill muscle during freeze storage [J]. *Agricultural and Biological Chemistry*, 1983, 47(12):2881 – 2888.
- [21] Ruiz-Capillas C, Moral A. Changes in free amino acids during chilled storage of hake (*Merluccius merluccius* L.) in controlled atmosphere and their use as a quality control index [J]. *European Food Research and Technology*, 2001, 29(3):302 – 307.
- [22] Kawamura Y, Nishimura K, Igarashi S, *et al.* Characteristic of autolysis of Antarctic krill [J]. *Agricultural and Biological Chemistry*, 1981, 45(1):93 – 100.
- [23] Trond E, Mohr V. Biochemistry of autolytic processes in Antarctic krill post mortem [J]. *Biochemical Journal*, 1987, 246(2):295 – 305.
- [24] 郑福麟. 南极大磷虾生物学分析和鲜度评定 [J]. *海洋渔业*, 1986, 8(4):152 – 154.
- [25] Connell J J. *Methods of assessing and selecting for quality* [M]. Berlin: Springer, 1990.
- [26] 陈慧斌, 王梅英, 陈绍军, 等. 不同气体环境对冻藏牡蛎品质变化的影响 [J]. *农业工程学报*, 2008, 24(9):263 – 267.
- [27] Chan J K, Gill T A, Thompson J W, *et al.* Herring surimi during low temperature setting, physicochemical and textural properties [J]. *Journal of Food Science*, 1995, 60(6):1248 – 1253.
- [28] Hashimoto A, Arai K. Thermostability of myofibrillar  $Ca^{2+}$ -ATPase of Antarctic krill [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1979, 45:1453 – 1460.
- [29] Nishimura K, Kawamura Y, Matoba T, *et al.* Stability of myofibril of Antarctic krill at ordinary temperatures [R]. *食糧科学研究所報告*, 1984.
- [30] Mukundan M, Antony P, Nair M. A review on autolysis in fish [J]. *Fisheries Research*, 1986, 4:259 – 269.

## Analysis of quality changes and shelf-life of Antarctic krill (*Euphausia superba*) at frozen temperature

CHI Hai, LI Xue-ying, YANG Xian-shi\*, GUO Quan-you

(1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** Quality changes and shelf-life of Antarctic krill were investigated by testing the indexes of dressing percentage, chemical (pH, TVB-N, TBARS,  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase activity) and sensory evaluation at the frozen temperature (−8, −18 and −28 °C). The results showed that sensory evaluation of Antarctic krill obtained significant correlations with frozen time and frozen temperature ( $r = 0.982$  and  $0.981$  respectively), sensory evaluation was unaccepted on 20<sup>th</sup> day at −8 °C, 75<sup>th</sup> and 120<sup>th</sup> day were unacceptable for −18 and −28 °C respectively. Dressing percentage exhibited significant correlations with frozen time ( $r = 0.953$ ), dressing percentage were 31.62%, 31.21% and 34.52% at the end of the shelf-life (sensory evaluation unaccepted) at −8, −18 and −28 °C, respectively. No significant correlations were found between pH and frozen temperature, and pH, consequently, was not considered as the suitable parameter for reflecting quality changes of Antarctic krill under frozen storage. However, pH increased as time extended, pH got 7.94, 7.99 and 7.84 at the end of shelf-life respectively. Significant correlations were obtained between TVB-N, TBARS and frozen time ( $r = 0.944$  and  $0.935$ ), whereas, only frozen temperature at −8 °C has good correlations when TVB-N, and frozen temperature at −18 and −28 °C attained strong correlations with TBARS, TVB-N and TBARS reached 21.43, 20.49, 19.74 mg/100 g and 0.88, 0.78, 0.66 mg MA/kg at the end of the shelf-life at three frozen temperatures respectively. Those results were lower than the limitation.  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase activity decreased sharply with significant correlations with frozen time ( $r = -0.929$ ). Changes of sensory evaluation, dressing percentage, TVB-N, TBARS and  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase activity were sensitive and had significant correlations with frozen time, therefore they could be considered as right testing indexes for Antarctic krill at frozen temperature. So shelf-life of Antarctic krill at three frozen temperature, based on the testing indexes and sensory evaluation, was estimated at 20, 75 and 120 days respectively during the whole study.

**Key words:** Antarctic krill (*Euphausia superba*); frozen temperature; quality changes; shelf-life

**Corresponding author:** YANG Xian-shi. E-mail: xianshiyang@126.com