

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.12.029

# CO<sub>2</sub>-冷海水保鲜技术在南美白对虾中的应用\*

刘书来 张莎莎 吕飞 丁玉庭

(浙江工业大学生物与环境工程学院, 杭州 310014)

**【摘要】** 研究了 CO<sub>2</sub>-冷海水浸泡处理技术对南美白对虾保鲜贮藏过程中品质的影响。研究表明, CO<sub>2</sub>-冷海水浸泡处理后虾的菌落总数、大肠杆菌数、产 H<sub>2</sub>S 菌数和嗜冷菌数均比对照组低。同时, 贮藏期间挥发性盐基氮(TVB-N)、pH 值和 K 值的增加也显著低于对照组。CO<sub>2</sub>-冷海水中贮藏 8 d 的虾仍在二级鲜度范围内, 其 TVB-N 为 19.5 mg/(100 g) 和 K 值为 20.3%, 而对照组虾已严重腐败。贮藏期间虾肉的剪切力略有下降, 但无显著性差异。CO<sub>2</sub>-冷海水处理能有效抑制虾内 PPO 的活性, 延缓虾体的褐变和感官品质的下降。

**关键词:** 南美白对虾 保鲜 CO<sub>2</sub>-冷海水

中图分类号: TS254.4; S983.210.22 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)12-0158-07

## Combined Effect of CO<sub>2</sub> and Cold Seawater Maintain Quality of Pacific White Shrimp

Liu Shulai Zhang Shasha Lü Fei Ding Yuting

(College of Biological and Environmental Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

### Abstract

The combined effects of CO<sub>2</sub> and cold seawater on the quality of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) during the storage were investigated. The results showed that the total bacterial count (TBC), *Escherichia coli* count, H<sub>2</sub>S-producing bacteria count and psychrophilic bacteria count of shrimp preserved in CO<sub>2</sub>-cold seawater (4°C) were lower than that of control group (samples were not in CO<sub>2</sub>-cold seawater but cold storage). As a result, total volatile basic nitrogen (TVB-N), pH value and K value increased more slowly than that of control during storage. Shrimp in CO<sub>2</sub>-cold seawater was second-grade freshness (TVB-N value of 19.5 mg/(100 g), K value of 20.3%) after storage eight days comparing to serious spoilage of control. The shear force of shrimp flesh decreased slowly during storage, but there was no obvious difference. Activity of polyphenol-oxidase (PPO) was significantly inhibited by CO<sub>2</sub>-cold seawater. Meanwhile, melanosis of shrimp and deterioration of sense quality was delayed.

**Key words** Pacific white shrimp, Preservation, CO<sub>2</sub>-cold seawater

### 引言

南美白对虾 (*Penaeus vannamei*) 属易腐食品, 在捕捞、运输、加工及贮藏过程中极易受细菌侵袭而腐败变质。虾体内含有大量的多酚氧化酶 (PPO) 易

引起黑变, 明显降低虾的感官品质和消费者可接受度<sup>[1-3]</sup>。传统保鲜方法如低温保藏、化学防腐剂保藏在防黑变和安全方面已远远不能满足人们对南美白对虾货架期的要求。

CO<sub>2</sub>水溶液呈酸性, 能有效抑制好氧性微生物

收稿日期: 2011-12-30 修回日期: 2012-04-23

\* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA092302)和浙江省优先主题资助项目(2008C13063)

作者简介: 刘书来, 副教授, 主要从事水产加工与保鲜研究, E-mail: slliu@zjut.edu.cn

通讯作者: 丁玉庭, 教授, 博士生导师, 主要从事水产品加工研究, E-mail: dingyt@mail.hz.zj.cn

生长,对 G<sup>-</sup> 菌的抑制作用明显<sup>[4]</sup>。目前国内外 CO<sub>2</sub> 在食品保鲜方面主要集中在气调保鲜等<sup>[5-8]</sup>。Marianna 等利用气调包装技术有效地延长了虾仁货架期<sup>[9]</sup>。Ioannis 等通过气调包装发现,不同比例的气体影响虾体的微生物、感官等变化<sup>[10]</sup>。但将 CO<sub>2</sub> 与冷海水技术相结合并应用于南美白对虾保鲜在国内外鲜有报道,因此研究 CO<sub>2</sub> 和冷海水结合的天然保鲜技术具有重要学术价值和实际意义。

本文应用 CO<sub>2</sub>-冷海水集成技术研究南美白对虾贮藏期品质变化规律,并引入揭示虾黑变机理的 PPO 活性为指标,综合评价黑变抑制和货架期延长效果。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验原料

南美白对虾购自杭州德胜市场,虾长(10.5 ± 0.5) cm,质量(12.5 ± 1.5) g。

### 1.2 实验装置与样品处理

CO<sub>2</sub>-冷海水制备:如图 1 所示,在低温冷却液循环泵中将海水冷却至 4℃,将冷海水经水泵灌入气液混合罐,通入 CO<sub>2</sub> 与冷海水混合,维持一定压力和时间,至 CO<sub>2</sub> 的浓度饱和,即为饱和 CO<sub>2</sub>-冷海水。

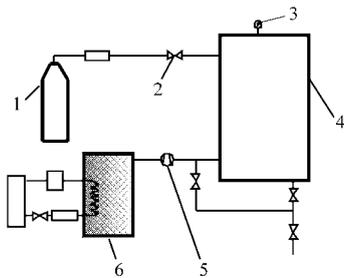


图 1 CO<sub>2</sub>-冷海水发生装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of CO<sub>2</sub>-cold seawater generating apparatus

1. CO<sub>2</sub> 罐 2. 减压阀 3. 压力表 4. 气液混合罐 5. 水泵 6. 低温冷却液循环泵

样品处理:将鲜活虾置于冰水中致死,并随机分成 3 组:第 1 组直接密封包装(对照组 CK0 组);第 2 组用冷海水浸泡(实验组 CL1 组),密封包装后于 4℃ 贮藏;第 3 组用 CO<sub>2</sub>-冷海水浸泡(实验组 CL2 组),密封包装后于 4℃ 贮藏。料水比为 1:2。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 微生物测定分析

##### (1) 菌落总数

采用 GB 4789.2—2010 方法。

##### (2) 产 H<sub>2</sub>S 菌

在 1L 营养琼脂培养基中加入 0.2 g FeSO<sub>4</sub> 和 0.3 g Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。黑色菌落为产 H<sub>2</sub>S 菌。

##### (3) 大肠杆菌

采用 GB/T 4789.38—2008 方法。

##### (4) 嗜冷菌

将 0.1 mL 的虾浆稀释液涂布于含 0.5% NaCl 琼脂计数平板,4℃ 培养 10 d。

#### 1.3.2 理化指标

##### (1) pH 值

采用 GB/T 9695.5—2008 方法。

##### (2) 挥发性盐基氮(TVB-N)

采用 SC/T 3032—2007 方法。

##### (3) K 值

参考 Yokoyama 等方法,略有改动<sup>[11]</sup>。高效液相色谱仪:Waters 2695,检测器:紫外检测器,色谱柱:ODS-C18(460 × 4.0 mm, Agilent),流动相:0.05 mol/L pH 值 6.8 的磷酸钾缓冲溶液,流速:1 mL/min,检测波长:254 nm,进样量:10 μL。外标法定量。

##### (4) 肌原纤维蛋白质抽提率

采用丁玉庭等方法,对取样方法和抽提 PBS 缓冲液方法稍作调整<sup>[12-13]</sup>。

#### 1.3.3 多酚氧化酶

采用 Pilar 等方法<sup>[14]</sup>。测定 6 次取平均值,相对酶活力为  $\frac{A}{A_0} \times 100\%$ 。其中, A 为不同贮藏时间虾头 PPO 酶活力, A<sub>0</sub> 为新鲜虾头中 PPO 酶活力。

#### 1.3.4 剪切力

采用 Brauer 等方法<sup>[15]</sup>。

#### 1.3.5 感官评价

感官评价参考(Council Regulation, 1990)略作改动。对外观、气味、整体完整性及褐变度进行感官评定,评分采用 E(极好)、A(好)、B(一般)、C(差) 4 个等级。

#### 1.3.6 色差

采用 Color Quest XE 色差仪的 L\*、a\*、b\* 模式,平行测定 5 次。

### 1.4 数据处理

用 Microsoft Office Excel 2003 处理数据,计算得平均值和标准差。用 SPSS 软件进行方差分析(ANOVA, p = 0.05)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 微生物

鱼虾变质是由某一种或多种特定的微生物引起的,如产 H<sub>2</sub>S 菌、大肠杆菌和嗜冷菌是导致鱼虾类水产品变质产生异味的最主要原因<sup>[16]</sup>。图 2 为贮藏期间微生物的变化情况。由图 2 可知,随贮藏期

的延长,CK0组、CL1组和CL2组的菌落总数、大肠杆菌数、产硫细菌数及嗜冷菌数变化显著,CL1组和CL2组中微生物的增加量均远小于对照组( $p < 0.05$ )。CL2组贮藏2d内微生物均呈下降趋势,这与贮藏初期 $\text{CO}_2$ -冷海水抑菌作用强有关,而贮藏后期 $\text{CO}_2$ -冷海水抑制微生物生长的效果有所减弱。与CK0组相比,贮藏第2~8天CL1组和CL2组大肠杆菌、产 $\text{H}_2\text{S}$ 菌、嗜冷菌增加得相对较慢( $p < 0.05$ )。贮藏末期,CL2组大肠杆菌、产 $\text{H}_2\text{S}$ 菌、嗜冷菌的数量明显比CK0组、CL1组少( $p < 0.05$ )。Mastromatteo等发现低浓度的气调包装可显著抑制嗜温菌和产 $\text{H}_2\text{S}$ 菌的产生,并可控制货架期维持在6d左右<sup>[9]</sup>。这与冷海水维持南美白对虾的货架期的天数相近。南美白对虾贮藏期间微生物呈现总体一致的变化趋势(图2), $\text{CO}_2$ -冷海水有明显的减菌和抑菌作用。当 $\text{CO}_2$ 通入冷海水后,使得海水的pH值降低、呈酸性,抑制了部分不耐酸性条件的微生物生长;同时通入 $\text{CO}_2$ 也降低了冷海水中原有溶解氧的浓度,并抑制好氧性细菌的繁殖;从而延长对虾的保鲜期。

## 2.2 鲜度

### 2.2.1 挥发性盐基氮

挥发性盐基氮(TVB-N)为动物性食品在腐败过程中,由于酶和细菌作用使蛋白质分解产生的氨以及低级胺类,是衡量水产品新鲜度的重要指标<sup>[17]</sup>。图3为虾体贮藏期间挥发性盐基氮的变化。由图3可知,在整个贮藏期内,CK0组、CL1组和CL2组中南美白对虾TVB-N呈现快速增长的趋势,而CK0组中TVB-N变化幅度不大。CK0组经8d贮藏,TVB-N达到 $96.5 \text{ mg}/(100 \text{ g})$ ,严重超过了国标规定的可食用标准(GB 2736—2003规定:一级鲜度TVB-N小于或等于 $15 \text{ mg}/(100 \text{ g})$ ,二级鲜度TVB-N小于或等于 $20 \text{ mg}/(100 \text{ g})$ ,变质肉TVB-N大于 $20 \text{ mg}/(100 \text{ g})$ );而CL1组和CL2组TVB-N远低于对照组,贮藏8d后TVB-N分别为 $40.0 \text{ mg}/(100 \text{ g})$ 和 $19.5 \text{ mg}/(100 \text{ g})$ 。其中CL2组TVB-N仍处于二级鲜度以内,远小于CL1组。这也说明与冷海水CL1相比, $\text{CO}_2$ -冷海水技术对于抑制虾体内胺类物质的产生和降低TVB-N有积极作用,这与微生物的变化趋势基本一致。说明虾体贮藏期间微生物生长与TVB-N呈正相关性,通过抑制微生物繁殖可有效降低胺类物质产生,并延缓虾体的品质变化。而在冷冻虾的贮藏过程中,TVB-N的产生主要是由肌肉组织中酶反应导致的,微生物作用次之<sup>[18]</sup>。Bono等利用冷冻和气调包装手段可将虾的保质期控制在一年左

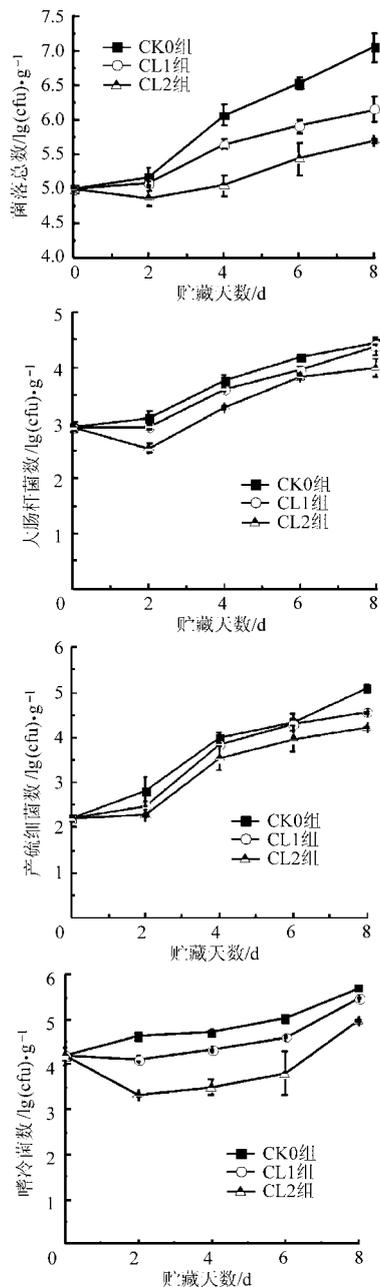


图2 虾体贮藏期间微生物数量变化曲线

Fig. 2 Microbial changes of shrimps during storage

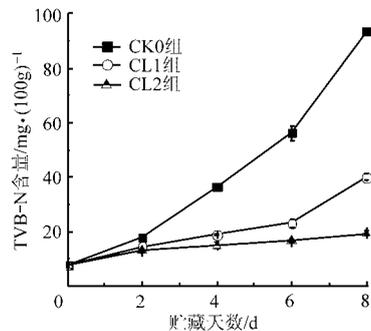


图3 贮藏期间TVB-N含量的变化曲线

Fig. 3 Changes of TVB-N of shrimps during storage

右,但是考虑到虾的营养价值利用及解冻后的食用口感问题,此类保鲜技术不适宜海捕捞后虾的短期保鲜<sup>[19]</sup>。

### 2.2.2 K 值

图 4 为虾体贮藏期间  $K$  值的变化。由图 4 可知,在 0 天时,CK0 组、CL1 组和 CL2 组的  $K$  值都接近 9.8%,而一般新鲜的虾类的  $K$  值均在 10% 以下,据报道深水粉红虾低温贮藏之前的  $K$  值是 9%<sup>[20]</sup>。随着贮藏时间的增加,CK0 组、CL1 组和 CL2 组的  $K$  值都呈现逐渐上升的趋势,但与 CK0 组相比,CL1 组和 CL2 组  $K$  值上升的较缓慢( $p < 0.05$ )。到第 8 天时,CK0 组的  $K$  值已经达到了 93.7%,而 CL1 组和 CL2 组的  $K$  值分别只有 32.7% 和 20.3%。此外,还可以看出 CL2 组比 CL1 组的  $K$  值上升更缓慢( $p < 0.05$ )。该指标和 TVB-N 呈现很好的相关性,同时  $K$  值的变化趋势还和菌落总数、pH 值呈现很好的相关性。这些结果表明相对于冷海水保鲜而言,CO<sub>2</sub>-冷海水能够较好地抑制微生物的繁殖,致使其分解 ATP 的作用减弱,从而延长了虾的货架期。

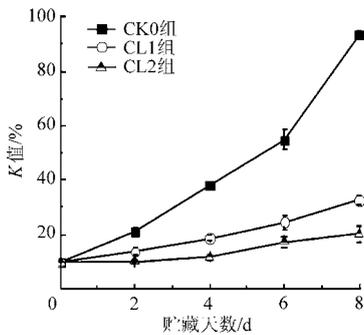


图 4 贮藏期间  $K$  值的变化曲线

Fig. 4 Changes of  $K$  value of shrimps during storage

### 2.3 PPO 酶活性

图 5 为虾体贮藏期间 PPO 相对酶活性的变化。由图 5 可知,与 CK0 组相比,贮藏 0~2 d 时 CL1 组和 CL2 组 PPO 相对酶活性下降较快( $p < 0.05$ )分别从 100% 下降到 34.7% 和 20.5%,而 CK0 组仅下降到 69.0%。贮藏前期,由于南美白对虾所处的环境酸性强,致使 CL2 组的 PPO 相对酶活性在 3 组中以最快的速度下降;同时 PPO 自身的自然降解也加速了 PPO 活性的显著下降。另外考虑到所处的环境为低 pH 值酸性溶液,低 pH 值能显著影响酶-底物络合物的结构和反应性,从而降低酶的活性和黑变程度<sup>[21]</sup>。这也说明与冷海水的抑酶作用相比,CO<sub>2</sub>-冷海水能够较好地抑制 PPO 活性,进而延缓虾内黑色素的形成。同时考虑到 PPO 被蛋白酶特别是巯基蛋白酶降解,致使酶失去活性<sup>[22]</sup>。这两方面的因素均加剧了实验组 PPO 酶活性的下降。

### 2.4 肌肉质地

#### 2.4.1 肌原纤维蛋白质抽提率

稳定的肌原纤维蛋白直接反映水产品的品

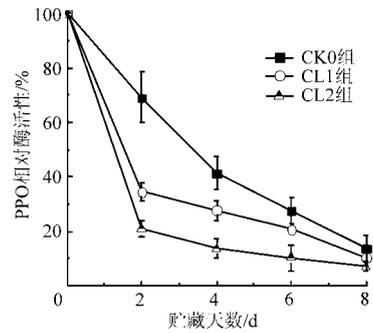


图 5 贮藏期间多酚氧化酶相对活性的变化曲线

Fig. 5 Changes of PPO relative activity of shrimps during storage

质<sup>[23]</sup>。图 6 为虾体贮藏期间肌原纤维蛋白质抽提率的变化。由图 6 可知,肌原纤维蛋白抽提率呈先上升再下降的趋势。贮藏 2 d 时肌原纤维蛋白稍有升高,可能是由于虾体解僵和盐离子效应使肌纤维膜降解以及肌原纤维肌节断裂引起的。贮藏 2 d 后,肌原纤维蛋白抽提率有不同程度下降是由于盐溶性蛋白进一步变性引起的。贮藏 8 d 时 CK0 组、CL1 组和 CL2 组虾体的肌原纤维蛋白质抽提率为 1.11 g/(100 g)、1.16 g/(100 g) 和 2.74 g/(100 g) 比贮藏 2 d 时分别下降了 79.7%、79.8% 和 52.5%。CL2 组的虾体在 4℃ 贮藏过程中肌动球蛋白降解速率较慢,有利于虾体保鲜。

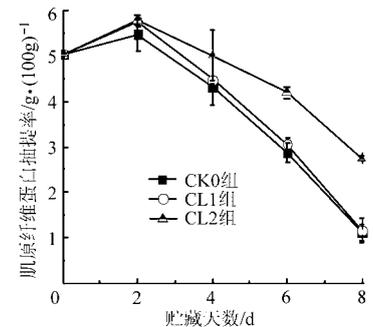


图 6 贮藏期间肌原纤维蛋白质抽提率的变化曲线

Fig. 6 Changes of myofibril extractability of shrimp during storage

#### 2.4.2 pH 值

图 7 为虾体贮藏期间 pH 值的变化。由图 7 可知,随着贮藏时间的增加,CK0 组、CL1 组和 CL2 组的 pH 值都呈逐渐上升的趋势,新鲜的南美白对虾 pH 值为 6.92,而在贮藏第 8 天后 CK0 组、CL1 组和 CL2 组分别达到 7.71、7.56 和 7.37。这是由于对虾体内的微生物代谢和酶解反应生成了某些化合物引起的<sup>[24]</sup>。但 CL1 组和 CL2 组的上升趋势明显小于 CK0 组。这是由于实验组的 CO<sub>2</sub>-冷海水技术抑制了对虾菌落总数的上升和 TVB-N 的上升,两方面的共同作用减缓了虾体内碱性物质的产生。此外,从图 7 中可以看出 CL1 组的 pH 值略大于 CL2 组,

考虑到  $\text{CO}_2$ -冷海水呈酸性,而冷海水呈中性,这使得 CL2 组的 pH 值要相应地小于 CL1 组。

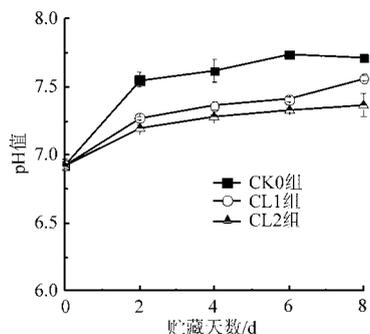


图7 贮藏期间 pH 值的变化曲线

Fig.7 Changes of pH value of shrimps during storage

### 2.4.3 肌肉剪切力

图8为虾体贮藏期间剪切力变化。由图8可知,在0 d时CK0组、CL1组和CL2组的剪切力为21.30 N,随着贮藏时间的增加,CL1组和CL2组虾体剪切力均比CK0组低,而两者无显著性差异( $p > 0.05$ )。研究表明,对照组的剪切力下降是与内源性微生物蛋白酶和胶原酶造成的水解有关<sup>[25]</sup>;而CL1组和CL2组虾的剪切力下降是由于一直浸泡于冷海水或  $\text{CO}_2$ -冷海水中,造成虾肉部分软化。

### 2.5 感官质量评价

表1为虾体贮藏期间感官质量的变化。从表1看出,在4℃贮藏条件下,随着贮藏时间的延长不同

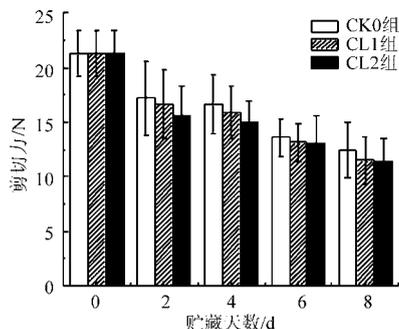


图8 贮藏期间剪切力的变化规律

Fig.8 Changes of shear force of shrimps during storage

处理方式的南美白对虾感官品质均呈现下降趋势。从外观变化来看,CK0组、CL1组在第4天表面失去光泽,而CL2组一直保持良好的外观特征,直到贮藏末期仍有较好的体表颜色。CK0组、CL1组在第4天出现异味,第8天恶臭味明显,气味是由于虾体内的微生物在生长代谢过程中产生  $\text{H}_2\text{S}$ 、挥发性氨以及胺类等小分子物质造成的。CL2组虾体贮藏8 d才有少量异味产生。在色泽变化中,CK0组、CL1组第4天头部开始出现黑变,第4天虾体、虾尾也出现了少量的黑斑;而CL2组第8天虾头出现轻微黑变现象。就组织变化而言,CK0组、CL1组贮藏4 d后头部与身体连接有所松动,6 d后虾壳变软变薄;CL2第8天虾壳感观良好,肌肉依然洁白鲜亮,富有弹力。

表1 贮藏期间感官的变化

Tab.1 Sensory analysis of shrimps during storage

| 评分内容  | CK0组 |     |     |     |     | CL1组 |     |     |     |     | CL2组 |     |     |     |     |
|-------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
|       | 0 d  | 2 d | 4 d | 6 d | 8 d | 0 d  | 2 d | 4 d | 6 d | 8 d | 0 d  | 2 d | 4 d | 6 d | 8 d |
| 外观    | E    | A   | B   | B   | C   | E    | A   | B   | B   | C   | E    | A   | A   | A   | A   |
| 气味    | E    | A   | B   | B   | C   | E    | A   | A   | B   | B   | E    | A   | A   | A   | B   |
| 整体完整性 | E    | A   | B   | B   | C   | E    | A   | B   | B   | C   | E    | A   | A   | B   | C   |
| 褐变性   | E    | A   | B   | B   | C   | E    | E   | A   | B   | B   | E    | E   | A   | A   | B   |
| 总分    | E    | A   | B   | B   | C   | E    | A   | A   | B   | B   | E    | E   | A   | A   | B   |

表2为虾体贮藏期间感官质量的变化。由表2可知,随着时间的延长,CK0组、CL1组虾头的  $L^*$  呈现降低趋势,可能是由于虾体逐渐腐败,虾体内的PPO酶溶解出来,使虾体特别是虾头黑变严重,  $L^*$  也随之降低;而CL2由于显著抑制PPO酶活力,褐变程度不明显。CK0组贮藏期间虾身  $b^*$  逐渐变大,CL1组、CL2组的  $b^*$  却先减小后略有增大,可能与对照组虾青素在贮藏过程中逐渐被空气中的  $\text{O}_2$  氧化成虾红素,使虾体变黄变红有关。而CL1组、CL2组的虾由于处于无氧保鲜状态,虾青素的氧化受到抑制,被还原成虾青素血蓝质,因而虾体表面色泽的红色略微减弱,蓝度增加,从而  $b^*$  减小。

### 3 结论

(1) 经  $\text{CO}_2$ -冷海水处理的CL2组比经冷海水处理过的CL1组及对照组CK0有更好的保鲜作用,  $\text{CO}_2$ -冷海水能更有效地抑制菌落总数、大肠杆菌数、嗜冷菌及产硫细菌的生长,同时显著降低贮藏过程中的TVB-N和K值。

(2)  $\text{CO}_2$ -冷海水处理可有效抑制虾内PPO的活性,延缓虾体在贮藏期的褐变程度及蛋白质变性程度;虾体感官品质明显提升,而  $\text{CO}_2$ -冷海水对于虾体的质构没有明显影响。

(3) 与对照组CK0及冷海水组CL1组相比,经

表 2 贮藏期间色差的变化  
Tab.2 Color changes of shrimps during storage

| 时间/d | 色差 | 虾头           |              |              | 虾身           |              |              |
|------|----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|      |    | CK0 组        | CL1 组        | CL2 组        | CK0 组        | CL1 组        | CL2 组        |
| 0    | L* | 41.74 ± 3.46 | 41.74 ± 3.46 | 41.74 ± 3.46 | 32.89 ± 2.03 | 32.89 ± 2.03 | 32.89 ± 2.03 |
|      | a* | -0.31 ± 0.61 | -0.31 ± 0.61 | -0.31 ± 0.61 | 1.03 ± 0.37  | 1.03 ± 0.37  | 1.03 ± 0.37  |
|      | b* | 5.68 ± 1.30  | 5.68 ± 1.30  | 5.68 ± 1.30  | -0.48 ± 0.80 | -0.48 ± 0.80 | -0.48 ± 0.80 |
| 4    | L* | 41.47 ± 2.52 | 45.93 ± 4.08 | 46.63 ± 2.74 | 42.62 ± 0.94 | 54.02 ± 2.70 | 46.55 ± 1.20 |
|      | a* | 1.48 ± 1.66  | 3.73 ± 2.43  | 5.50 ± 4.82  | -0.47 ± 0.50 | -0.50 ± 0.86 | -0.13 ± 0.59 |
|      | b* | 5.47 ± 2.02  | 5.50 ± 1.53  | 10.01 ± 3.95 | 2.28 ± 1.92  | -1.21 ± 1.29 | -0.73 ± 1.09 |
| 8    | L* | 45.49 ± 1.79 | 46.68 ± 2.84 | 48.36 ± 2.70 | 47.29 ± 1.42 | 48.14 ± 2.78 | 44.09 ± 3.32 |
|      | a* | 5.14 ± 2.73  | 9.07 ± 4.27  | 11.44 ± 6.22 | 1.52 ± 1.17  | 0.15 ± 0.78  | 0.84 ± 1.08  |
|      | b* | 8.39 ± 1.72  | 12.46 ± 6.08 | 15.47 ± 6.91 | 4.49 ± 1.73  | 0.70 ± 1.85  | 1.82 ± 1.30  |

CO<sub>2</sub>-冷海水处理的南美白对虾的一级鲜度保鲜期可延长 2 d;二级鲜度保鲜期可延长 4 d,这为延长南美白对虾的货架期,提高其市场价值提供了理论依

据;这也说明 CO<sub>2</sub>-冷海水也将成为一种新型的保鲜技术。

#### 参 考 文 献

- 廖泽芳,宁凌.全球对虾贸易与出口竞争力分析[J].世界农业,2009(4):37~42.
- Taoukis P S, Labuza T P, Lillemo J H, et al. Inhibition of shrimp melanosis (black spot) by ficin [J]. Journal of Food Science and Technology, 1990, 23(1): 52~54.
- 边涛,赵艳,张虹,等.凡纳滨对虾在不同冷藏条件下的品质变化研究[J].水产科学,2009,28(9):493~497.  
Bian Tao, Zhao Yan, Zhang Hong, et al. Changes in quality of white leg shrimp *Litopenaeus vannamei* stored under different cooling conditions[J]. Fisheries Science, 2009, 28(9): 493~497. (in Chinese)
- Goncalves A C, Lopez-Caballero M E, Nunes M L. Quality changes of deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*) packed in modified atmosphere[J]. Journal of Food Science, 2003, 68(8): 2 586~2 590.
- Martínez L, Djenane D, Cilla I, et al. Effect of different concentrations of carbon dioxide and low concentration of carbon monoxide on the shelf-life of fresh pork sausages packaged in modified atmosphere[J]. Meat Science, 2005, 71(3): 563~570.
- 闫根柱,王春生,赵迎丽,等.罗氏沼虾的气调保鲜[J].上海水产大学学报,2001,10(3):248~251.  
Yan Genzhu, Wang Chunsheng, Zhao Yingli, et al. Preservation of giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* with modified atmosphere packaging[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2001, 10(3): 248~251. (in Chinese)
- 刁恩杰,李向阳.高压二氧化碳处理对橙汁货架期的影响[J].农业工程学报,2009,25(2):298~301.  
Diao E J, Li X Y. Effect of high pressure carbon dioxide treatment on the shelf life of orange juice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(2): 298~301. (in Chinese)
- Erikson U, Hultmann L, Steen J E. Live chilling of *Atlantic salmon* (*Salmo salar*) combined with mild carbon dioxide anaesthesia I. Establishing a method for large-scale processing of farmed fish[J]. Aquaculture, 2006, 252(2~4): 183~198.
- Mastromatteo M, Danza A, Conte A, et al. Shelf life of ready to use peeled shrimps as affected by thymol essential oil and modified atmosphere packaging[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 144(2): 250~256.
- Arvanitoyannis I S, Vasiliki K, Bouletis A D, et al. Study of changes in physicochemical and microbiological characteristics of shrimps (*Melicertus kerathurus*) stored under modified atmosphere packaging[J]. Anaerobe, 2011, 17(6): 292~294.
- Yokoyama Y, Sakaguchi M, Kawai F, et al. Changes in concentration of ATP-related compounds in various tissues of oyster during ice storage[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1992, 58(11): 2 125~2 136.
- 丁玉庭,陈艳,邹礼根,等.猪 PSE 肉与正常肉肌原纤维蛋白质抽提率和持水性的比较研究[J].中国食品学报,2004,4(2):62~65.  
Ding Y T, Chen Y, Zou L G, et al. Comparative studies on the extractability and water-holding capacity of myofibrillar protein from PSE and normal pork[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2004,4(2): 62~65. (in Chinese)
- Munasinghe D M S, Sakai T. Sodium chloride (0.8 M) as a better protein extractant for fish meat quality assessments [J].

- Journal of Food Science, 2003, 68(3): 1059 ~ 1062.
- 14 Montero P, Avalos A, Pérez-Mateos M. Characterization of polyphenoloxidase of prawns (*Penaeus japonicus*). Alternatives to inhibition additives and high-pressure treatment[J]. Food Chemistry, 2001, 75(3): 317 ~ 324.
  - 15 Brauer J M E, Leyva J A S, Alvarado L B, et al. Effect of dietary protein on muscle collagen, collagenase and shear force of farmed white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. European Food Research and Technology, 2003, 217(4): 277 ~ 280.
  - 16 Sallam K I. Antimicrobial and antioxidant effects of sodium acetate, sodium lactate, and sodium citrate in refrigerated sliced salmon[J]. Food Control, 2007, 18(5): 556 ~ 575.
  - 17 常耀光,李兆杰,薛长湖,等.超高压处理对南美白对虾在冷藏过程中贮藏特性的影响[J].农业工程学报,2008,24(12):230 ~ 237.  
Chang Yaoguang, Li Zhaojie, Xue Changhu, et al. Effects of ultra high pressure treatment on storage characteristics of white shrimp in cold storage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(12): 230 ~ 237. (in Chinese)
  - 18 Martínez-Alvarez O, López-Caballero M E, Gómez-Guillén M C, et al. The effect of several cooking treatments on subsequent chilled storage of thawed deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*) treated with different melanosis-inhibiting formulas[J]. LWT – Food Science and Technology, 2009, 42(8): 1335 ~ 1344.
  - 19 Bono G, Badaluco C V, Cusumano S, et al. Toward shrimp without chemical additives: a combined freezing-MAP approach [J]. LWT – Food Science and Technology, 2012, 46(1): 274 ~ 279.
  - 20 Uchiyama H, Kakuda K. A simple and rapid method for measuring *K* value, a fish freshness index[J]. Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish, 1984, 50(2): 263 ~ 267.
  - 21 天津轻工业学院,无锡轻工大学.食品生物化学[M].北京:中国轻工业出版社,1999:216 ~ 229.
  - 22 Wang Z B, Taylor K D A, Yan X J. Further studies on the roles of proteases in the activation of phenolase from Norway lobster (*Nephrops norvegicus*) [J]. Food Chemistry, 1994, 51(1): 99 ~ 103.
  - 23 Rodríguez Ó, Barros-Velázquez J, Piñeiro C, et al. Effects of storage in slurry ice on the microbial, chemical and sensory quality and on the shelf life of farmed turbot (*Psetta maxima*) [J]. Food Chemistry, 2006, 95(2): 270 ~ 278.
  - 24 López-Caballero M E, Martínez-Alvarez O, Gómez-Guillén M D, et al. Quality of thawed deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*) treated with melanosis-inhibiting formulations during chilled storage[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2007, 42(9): 1029 ~ 1038.
  - 25 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.

(上接第 196 页)

- 8 Demanet L, Ying L X. Wave atoms and sparsity of oscillatory patterns[J]. Applied and Computational Harmonic Analysis, 2007, 23(3): 368 ~ 387.
- 9 Easley G, Labate D, Lim W. Sparse directional image representations using the discrete shearlet transform[J]. Applied and Computational Harmonic Analysis, 2008, 25(1): 25 ~ 46.
- 10 张强,郭宝龙.一种基于非下采样 Contourlet 变化红外图像与可见光图像融合算法[J].红外与毫米波学报,2007,26(6):476 ~ 480.  
Zhang Qiang, Guo Baolong. Fusing of infrared and visible light images based on non-subsampled Contourlet transform[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2007, 26(6): 476 ~ 480. (in Chinese)
- 11 Donoho D. Compressed sensing[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2006, 52(4): 1289 ~ 1306.
- 12 Candes E, Wakin M. An introduction to compressive sampling[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2008, 25(2): 21 ~ 30.
- 13 Wan T, Canagarajah N, Achim A. Compressive images fusion[C]//15th IEEE International Conference on Image Process, 2008: 1308 ~ 1311.
- 14 Li X, Qin Y. Efficient fusion for infrared and visible images based on compressive sensing principle[J]. IET Image Process, 2011, 5(2): 141 ~ 147.
- 15 张强,郭宝龙.基于非采样 Contourlet 变换的遥感图像融合算法[J].光学学报,2008,28(1):74 ~ 80.  
Zhang Qiang, Guo Baolong. Remote sensing image fusion based on the non-subsampled Contourlet transform[J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28(1): 74 ~ 80. (in Chinese)
- 16 Jorge Nocedal, Stephen J Wright. Numerical optimization[M]. New York: Springer-Verlag, 2006.