

固载二氧化氯对南美白对虾的保鲜效果

罗自生¹, 黄皓¹, 王雪¹, 李莉¹, 茹巧美²

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江杭州 310058)

(2. 杭州万向职业技术学院环境健康与食品科技系, 浙江杭州 310023)

摘要: 为探究固载二氧化氯对南美白对虾的保鲜作用, 采用 10 mg/L 和 20 mg/L 的固载二氧化氯处理南美白对虾, 以未处理的南美白对虾作为对照, 检测的指标包括: 感官品质、黑变、质构、K 值、挥发性盐基氮 (TVB-N)、硫代巴比妥酸 (TBARS)、多酚氧化酶 (PPO) 活力和菌落总数 (TVC) 等。实验表明: 在 0 °C 的贮藏条件下, 用固载二氧化氯处理南美白对虾, 能够有效地维持南美白对虾在贮藏期间的感官品质, 减少南美白对虾表面黑变现象, 延缓其质构的劣变, 抑制其 K 值的上升, 有效地降低其 TVB-N 含量和 TBARS 值, 并且对抑制南美白对虾 PPO 活性以及减少其菌落总数均起到显著的作用 ($p < 0.05$)。而且, 20 mg/L 固载二氧化氯的保鲜效果优于 10 mg/L 固载二氧化氯。这表明固载二氧化氯对南美白对虾的保鲜效果良好, 为固载二氧化氯对南美白对虾的保鲜应用提供了参考。

关键词: 固载二氧化氯; 南美白对虾; 保鲜效果

文章篇号: 1673-9078(2017)5-148-154

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.5.024

Effect of Solid Chlorine Dioxide on Quality Preservation of *Penaeus vannamei*

LUO Zi-sheng¹, HUANG Hao¹, WANG Xue¹, LI Li¹, RU Qiao-mei²

(1. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

(2. Hangzhou Wanxiang Polytechnic, Department of Environment Health and Food Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: The present study was performed to investigate the effect of solid chlorine dioxide on the quality of *Penaeus vannamei*. These shrimp were treated with 10 or 20 mg/L solid chlorine dioxide and subsequently stored at 0 °C. The parameters used to assess the quality of *Penaeus vannamei* included sensory quality, melanosis, and texture properties. To this end, the K value, total volatile base-N (TVB-N), thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), activity of polyphenol oxidase (PPO), and total viable counts (TVC) were assessed in this study. The results indicated that solid chlorine dioxide was beneficial in retaining sensory quality, preventing melanosis, and delaying texture deterioration when *Penaeus vannamei* was stored at 0 °C. Furthermore, treatment with solid chlorine dioxide decreased the K value, TVB-N, and TBARS, suppressed PPO activity, and reduced TVC ($p < 0.05$). With respect to dosing, the beneficial effects of the 20 mg/L exposure was more prominent than the 10 mg/L dose. These results showed that solid chlorine dioxide could potentially preserve the quality of *Penaeus vannamei*. This research provides a basis for the application of solid chlorine dioxide in the preservation of *Penaeus vannamei*.

Key words: solid chlorine dioxide; *Penaeus vannamei*; freshness

南美白对虾 (*Penaeus vannamei*), 学名凡纳对虾, 是广温广盐性热带虾类。因其壳薄体肥, 肉质鲜美且营养丰富而深受消费者喜爱, 是一种不可多得的美食。但是南美白对虾水分和蛋白质含量高, 组织酶活性强, 死后易发生腐败变质, 导致品质快速下降, 甚至有可能引起食品安全问题。此外, 南美白对虾所含的酪氨酸或其衍生物易发生反应生成大分子的黑色物质导致

收稿日期: 2016-09-01

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0401201-1); 杭州市社会发展科研专项 (20150432B16); 浙江省公益技术研究农业项目 (2016C32001)

作者简介: 罗自生 (1972-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品科学

黑变, 会严重影响到南美白对虾的销售。因此, 延长南美白对虾的货架期, 维持南美白对虾在贮藏期间的品质, 对于提升其商品价值以及促进其销售产业的发展有着重要的作用。传统的保鲜方法主要为低温保鲜, 虽然低温保鲜方法应用广泛, 但是仍存在一定的不足。因此, 南美白对虾的保鲜剂一直是研究的热点。

近年来, 固载二氧化氯作为一种高效的保鲜剂受到广泛关注。固载二氧化氯, 指的是能够释放出二氧化氯气体的固体制剂, 是以一水对甲苯磺酸为固体酸, 硅藻土为钝化剂, 无水硫酸钠为吸湿剂, 应用亚氯酸钠与固体酸一水对甲苯磺酸反应生成二氧化氯气体,

制成的一种反应型固载二氧化氯粉剂^[1]。固载二氧化氯具有保鲜效果好、便于携带、方便运载、安全可靠等优点。本研究将以未经固载二氧化氯处理的南美白对虾为对照,采用固载二氧化氯处理南美白对虾。探究固载二氧化氯对南美白对虾的感官品质、理化指标(K值、TVB-N含量及TBARS值)、多酚氧化酶(PPO)活性及微生物指标(TVC)的影响,并对其保鲜效果做出科学的评价,旨在为南美白对虾的贮藏保鲜提供一定的理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

活体南美白对虾,杭州市城北商贸园温州村农贸市场。除去异常个体,挑选个体完整、色泽正常、大小接近的健康活虾。

1.2 仪器与设备

MIR-254 恒温试验箱,日本三洋电器集团;TA-XT2i 物性测试仪,英国 Stable Micro System 公司;320R 台式冷冻离心机,德国 Hettich 公司;UV-1750 紫外-可见分光光度计,日本岛津公司;LC2010A 高效液相色谱仪,日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 固载二氧化氯的制备

本实验采用的固载二氧化氯保鲜剂为反应型固载二氧化氯保鲜剂。原理为亚氯酸钠与酸反应生成气体

二氧化氯,反应式为: $5\text{NaClO}_2+4\text{H}^+=4\text{ClO}_2\uparrow+\text{NaCl}+2\text{H}_2\text{O}+4\text{Na}^+$ 。主剂为亚氯酸钠,固体酸化剂为一水对甲苯磺酸,钝化剂为硅藻土,吸湿剂为无水硫酸钠。主剂亚氯酸钠:钝化剂硅藻土:吸湿剂无水硫酸钠:固体酸一水对甲苯磺酸=1:3:1:3。

将亚氯酸钠、一水对甲苯磺酸、硅藻土和无水硫酸钠干燥后,研磨成粉末。按上述配比在亚氯酸钠中依次加入硅藻土、无水硫酸钠和一水对甲苯磺酸,混合均匀,每次混合的时间为5~8 min。

1.3.2 保鲜处理

挑选的活虾平均质量约13 g。将活虾浸在冰水混合物中约15 min致死,无菌水冲洗后于4℃沥干8~10 min。随机分成3组,装入常规塑料袋并密封保存,每袋装20只虾,实验设3个重复。参考姜松法等^[2]的方法略作调整,在预试验(10 mg/L、20 mg/L和30 mg/L)基础上,以在塑料袋封口处放置10 mg/L和20 mg/L固载二氧化氯保鲜剂的南美白对虾为处理组,未放置固载二氧化氯保鲜剂的南美白对虾为对照组。将三组南美白对虾置于0±1℃下贮藏8 d,每隔2 d抽样测量各指标。

1.3.3 感官评定

参考 Jeyasekaran 等^[3]的方法,对整虾的气味、外观和组织等感官性状进行评定。具体评价标准如表1所示。

1.3.4 黑变评定

由10名感官评定人员组成感官评定小组,取10人评分的平均分。具体评价标准见表2。

表1 南美白对虾的感官评定标准

Table 1 Standard of Sensory Evaluation of *Penaeus Vannamei*

分数	气味	外观	组织
10	特征性的海藻气味	躯体紧密,有鲜虾的特征色泽	躯体坚硬
9	新割的青草味	头尾结合紧密,具有特征色泽	轻微弹性,较坚硬
8	轻微的种类气味	躯体的色泽有所褪变	躯体与壳稍微变软
7	鲜虾味道减弱、气味平淡	躯体的色泽褪变	躯体与壳稍微变软
6	轻微的氨味	头尾出现黑变,壳轻微松散,头部轻微变红或变黑	躯体与壳稍微变软
5	轻微的腥臭味,尿素味	中等黑变,头部几乎全部变黑,轻微松弛	躯体与壳均变软
4	令人不悦的硫化氢味	严重黑变,头部松弛,出现轻微脱落,躯体呈现黑色	躯体与壳均变软
3	硫化氢味、氨味	严重黑变,头部从轻微脱落,头部和躯体完全变红或变黑	躯体呈海绵状柔软
2	较强的硫化氢味	严重黑变,头部从轻微脱落,头部和躯体完全变红或变黑	躯体呈海绵状柔软
1	强烈的硫化氢味、尿素等令人作呕的气味	极度黑变,头部脱落,头部和躯体完全变红或变黑	肌肉呈糊状,壳柔软

表2 南美白对虾的黑变评定标准

Table 2 Standard of Melanosis Sensory Evaluation of *Penaeus**Vannamei*

黑变分数	描述
0	没有出现黑点, 呈现出虾自然的颜色
2	个别对虾表面出现了细微可见的黑斑
4	多数对虾表面出现了轻微可见的黑斑
6	多数对虾表面出现了显著可见的黑斑
8	多数对虾表面出现了严重可见的黑斑
10	多数对虾表面极度黑变, 出现了不可接受的黑斑

1.3.5 PPO 活力测定

参考 Nirmal 等^[4]的方法略作修改。将 15 mL 对虾碾磨液、400 mL、0.05 mol/L、pH 6.0 磷酸钠缓冲液、100 μ L 蒸馏水、600 μ L、0.015 mol/L L-DOPA 溶液和 100 μ L 酶液混合均匀。在 45 $^{\circ}$ C 条件下反应 3 min, 并于 475 nm 测定吸光度值的变化。以每分钟吸光值变化 0.001 为一个酶活力单位(U)。

1.3.6 质构评定

参考 Zeng^[5]的方法, 采用 TA-XT2i 质构分析仪, 对去头、壳的虾的第二节肌肉进行 2 次压缩质地多面剖析(TPA)模式测试。选取 6 个分析指标如下:

(1) 硬度: 第一次穿冲虾肉时的压力峰值。

(2) 弹性: 第二次压缩所测的虾肉回复高度与第一次形变量的比值, 用来反映虾肉经第一次压缩后能回复的程度。

(3) 胶性: 表示将半固体的虾肉破裂成吞咽时的稳定状态所需的能量, 等于硬度与凝聚性之积。

(4) 凝聚性: 表示虾肉经过第一次压缩变形后, 对第二次压缩的相对抵抗能力, 反映虾肉内部的黏合力。

(5) 回复性: 表示虾肉在第一次压缩过程中回弹的能力。

(6) 咀嚼性: 表示将半固体的虾肉咀嚼成吞咽时的稳定状态所需的能量, 等于胶性与弹性之积。

1.3.7 TVB-N 含量测定

参考 SC/T 3032-2007 《水产品中挥发性盐基氮的测定》方法略作修改, 利用半微量定氮器进行测定, 结果用 mg N/100 g 表示。

1.3.8 TBARS 测定

参考 Gomes 等^[6]的方法略作修改, TBARS 值计算公式:

$$\text{TBARS}(\text{mg MDA/kg}) = A_{532} \times 9.48.$$

1.3.9 K 值测定

采用 HPLC 方法进行测定, 新鲜度指标 K 值的计算公式:

$$K \text{ 值}(\%) = (\text{HxR} + \text{Hx}) / (\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP} + \text{IMP} + \text{HxR} + \text{Hx}) \times 100$$

式中 ATP、ADP、AMP、IMP、HxR 和 Hx 分别代表三磷酸腺苷、二磷酸腺苷、单磷酸腺苷、肌苷酸、次黄嘌呤核苷和次黄嘌呤。

1.3.10 菌落总数测定

参考 GB 4789.2-2010 《菌落总数测定》的方法, 采用平板菌落计数法测定。选择 3 个适宜的稀释度, 每个稀释度做两个平行。菌落总数结果表示为 lg 菌落数/g 样品。

1.4 数据分析

数据统计分析采用 DPS 数据处理系统, 在 0.05 水平进行最小显著差数法 (Least Significant Difference, 简称 LSD) 检测。用 Origin 9.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 固载二氧化氯对南美白对虾感官评定的影响

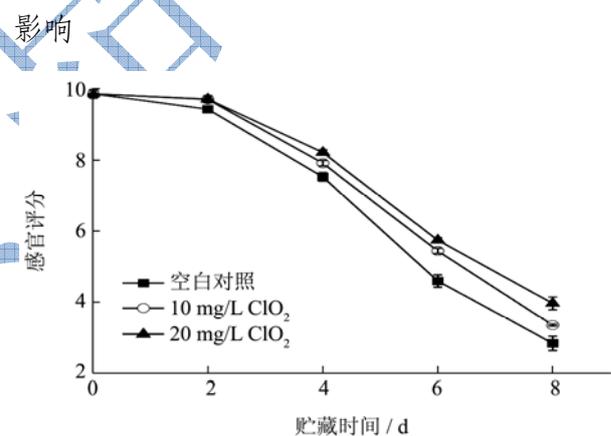


图1 固载二氧化氯对南美白对虾感官评分的影响

Fig.1 Effects of solid ClO₂ on the Sensory Score of *Penaeus**Vannamei*

如图 1 所示, 贮藏期间内, 各组南美白对虾的感官评分均呈现下降趋势。0~2 d, 各组评分均无明显差异。贮藏 2 d 之后, 对照组评分下降最快, 10 mg/L 固载二氧化氯处理组次之, 20 mg/L 固载二氧化氯处理组最慢。经过 6 d 的贮藏期, 10 mg/L 和 20 mg/L 固载二氧化氯处理组感官评分分别为 5.38 和 5.75, 而对照组感官评分为 4.68, 显著低于实验组 ($p < 0.05$)。此时对照组虾已基本腐败, 而实验组虾的感官品质仍处于可接受范围。上述结果表明固载二氧化氯处理有利于保持南美白对虾的感官品质, 且保持效果为较高浓度固载二氧化氯优于较低浓度固载二氧化氯。此外, 王强等^[7]的研究表明流化冰处理也可以保持南美白对虾的

感官品质,且南美白对虾感官品质的变化趋势与本研究结果基本一致。

2.2 固载二氧化氯对南美白对虾黑变指数和

PPO 活性的影响

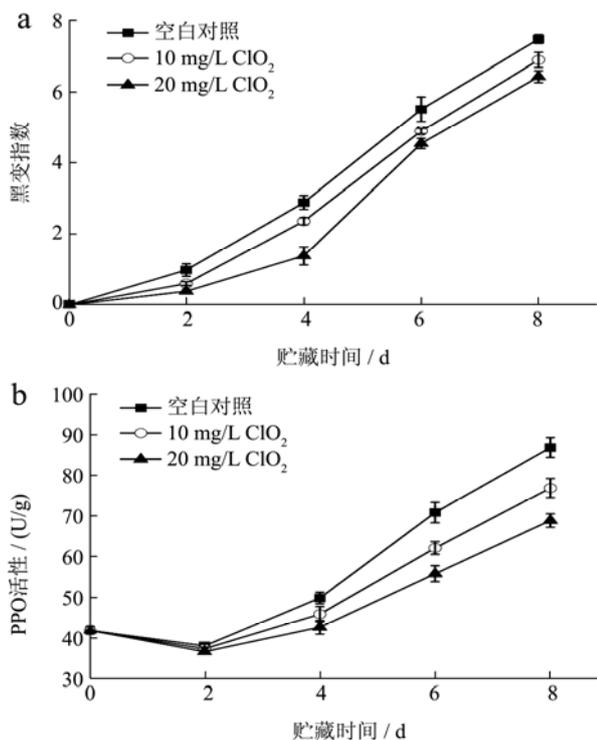


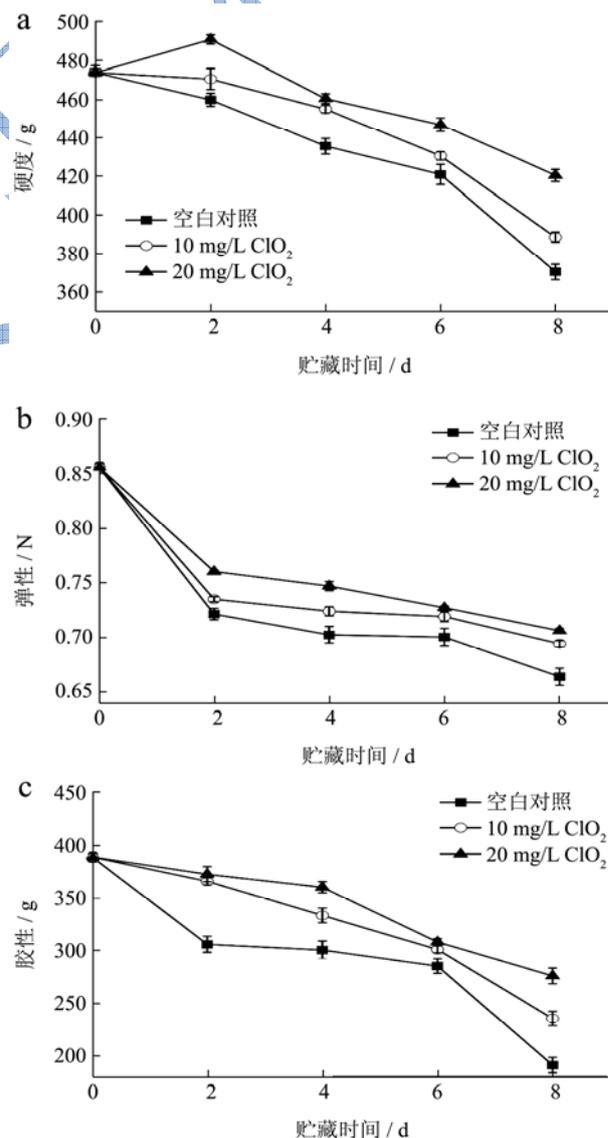
图2 固载二氧化氯对南美白对虾黑变指数和 PPO 活性的影响

Fig.2 Effects of solid ClO₂ on the melanosis score and PPO activity of *Penaeus Vannamei*

如图 2a 所示,贮藏期间内,各组南美白对虾的黑变指数均呈现上升趋势,而固载二氧化氯处理组的黑变指数要低于对照组。经过 8 d 的贮藏期,10 mg/L 和 20 mg/L 固载二氧化氯处理组南美白对虾的黑变指数分别为 7.21 和 6.70,而对照组的黑变指数为 7.73,显著高于处理组($p < 0.05$)。上述结果表明,固载二氧化氯可有效抑制南美白对虾的黑变现象,且较高浓度固载二氧化氯的抑制效果优于较低浓度固载二氧化氯。南美白对虾的黑变程度会直观地表现出来,因此影响着对南美白对虾的感官评分。对比图 1 和图 2a,我们不难发现南美白对虾的感官评分与黑变指数具有一定的相关性。随着黑变指数的增大,感官评分下降,且变化的趋势相近,两者的相关系数为-0.9981。

PPO 是南美白对虾黑变的主要原因,因此抑制 PPO 活性可有效抑制南美白对虾的黑变^[8]。此外,研究表明在南美白对虾体内存在 PPO 激活系统,该系统与南美白对虾的黑变程度有着显著的相关性^[9]。Bris 等^[10]则发现对虾黑变是由多种 PPO 发生反应引起的,

每一种 PPO 的反应都会影响黑变的结果。如图 2b 所示,贮藏期间内,各组南美白对虾的 PPO 活性均呈现先下降后上升趋势,而固载二氧化氯处理组南美白对虾的 PPO 活性始终低于对照组。新鲜南美白对虾的 PPO 活性为 41.85 U/g。贮藏至第 2 d 时,其值略有下降,推测为 0 °C 的低温环境对 PPO 的活性有一定抑制作用。经过 8 d 的贮藏期,各组 PPO 的活性均逐渐上升,10 mg/L 和 20 mg/L 固载二氧化氯处理组的 PPO 活性值分别为,而对照组 PPO 活性为。此时,10 mg/L 和 20 mg/L 固载二氧化氯处理组南美白对虾的 PPO 活性均低于对照组。说明固载二氧化氯可有效抑制南美白对虾 PPO 活性,且较高浓度固载二氧化氯效果优于较低浓度固载二氧化氯。因此,固载二氧化氯可以通过抑制 PPO 的活性来抑制南美白对虾的黑变,且抑制效果显著。Qian 等^[11]利用腐败菌抑制南美白对虾的 PPO 活性,进而抑制其黑变,实验结果与本研究基本一致。



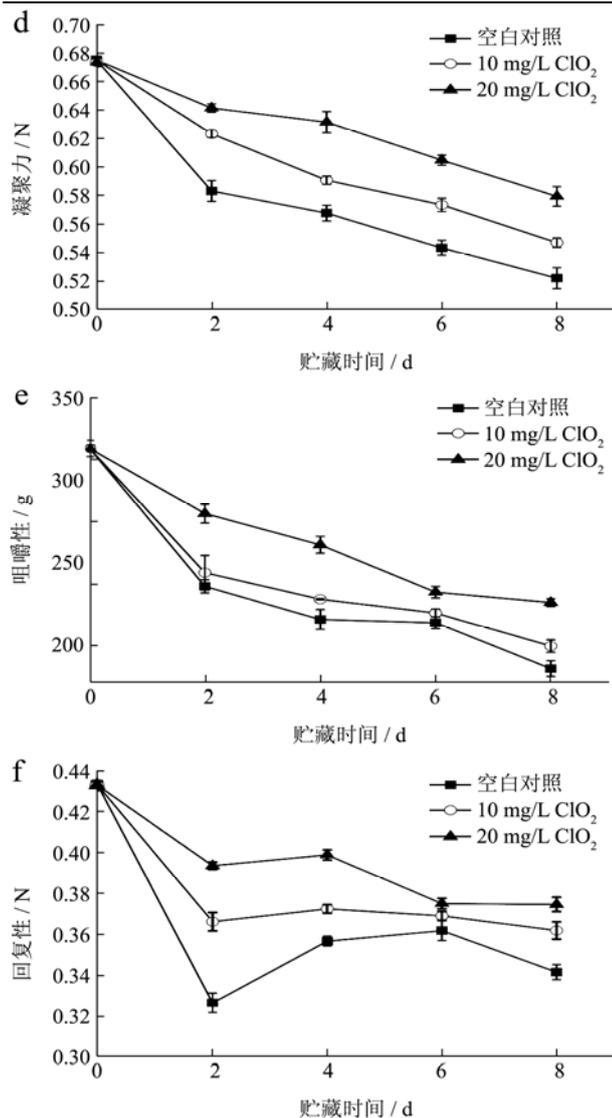


图3 固载二氧化氯对南美白对虾质构特性的影响

Fig.3 Effects of solid ClO₂ on the texture properties of *Penaeus Vannamei*

2.3 固载二氧化氯对南美白对虾质构的影响

在贮藏过程中, 由于虾体内源酶和外界微生物的共同作用, 肌肉组织被破坏, 使得虾体的硬度、弹性、凝聚性、咀嚼性、胶性、回复性等特性发生改变。

如图3所示, 贮藏期间内, 除20 mg/L固载二氧化氯处理组的硬度在第2 d时较第0 d略有升高外, 各组的硬度均呈现下降趋势。20 mg/L固载二氧化氯处理组虾肉的硬度在第2 d时高于第0 d, 可能的原因是南美白对虾仍处于尸僵期, 硬度有所增加。经过8 d的贮藏期, 10 mg/L和20 mg/L固载二氧化氯处理组虾肉的硬度分别为388.56和420.35, 而对照组硬度为370.33, 显著低于处理组($p < 0.05$)。说明固载二氧化氯能够保持南美白对虾的硬度, 且较高浓度固载二氧化氯的保持效果优于较低浓度固载二氧化氯。此外, 虾

体的硬度也是感官评分的一个方面, 该结果与之前感官评分的结果保持一致。

贮藏期间内, 各组南美白对虾的弹性均呈下降趋势。弹性在贮藏的前2 d下降速度较快, 2 d后至贮藏末期下降速度较慢。经过8 d的贮藏期, 10 mg/L和20 mg/L固载二氧化氯处理组的弹性分别比初始值下降了19.77%和17.44%, 而对照组下降了22.35%, 显著高于处理组($p < 0.05$)。说明固载二氧化氯能够保持南美白对虾的弹性, 且较高浓度固载二氧化氯的保持效果优于较低浓度固载二氧化氯。

贮藏期间内, 各组的胶性、咀嚼性、凝聚性和回复性均呈现下降趋势。经过8 d的贮藏期, 10 mg/L和20 mg/L固载二氧化氯处理组的凝聚性分别为0.55和0.58, 而对照组的凝聚性为0.52, 低于处理组。综上所述, 固载二氧化氯可延缓虾肉质构特性的劣变。冯家敏等^[12]研究表明, 二氧化氯能够通过杀死微生物并控制其代谢物产生, 对南美白对虾质构特性的保持起到良好的作用, 与本研究结果基本相符。

2.4 固载二氧化氯对南美白对虾 TVB-N 含量和 TBARS 值的影响

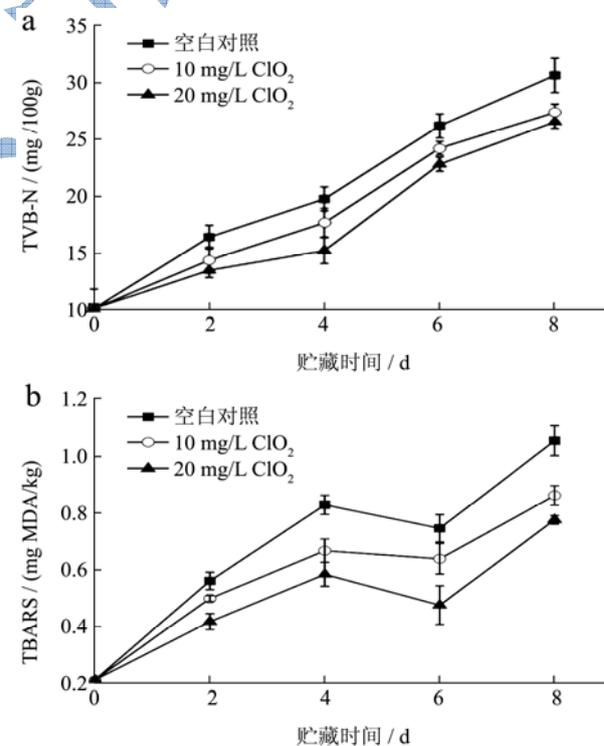


图4 固载二氧化氯对南美白对虾 TVB-N 和 TBARS 的影响

Fig.4 Effects of solid ClO₂ on the TVB-N and TBARS of *Penaeus Vannamei*

水产行业标准 SC 3113-2002 规定, TVB-N 值 (mg/100 g) ≤ 20 为一级鲜度, ≤ 30 为二级鲜度, > 30 为

腐败级。而根据 TBARS 值,则可推测南美白对虾脂肪被氧化的程度。TBARS 值越大,脂肪被氧化的程度越大,产品越不新鲜。

如图 4a 所示,贮藏期间内,各组南美白对虾的 TVB-N 值均呈现上升趋势,而固载二氧化氯处理组的 TVB-N 值低于对照组。经过 8 d 的贮藏期,10 mg/L 和 20 mg/L 固载二氧化氯处理组的 TVB-N 值分别为 27.32 mg/100 g 和 26.49 mg/100 g,仍处于二级鲜度范围。而对照组 TVB-N 值达 30.61 mg/100 g,显著高于处理组($p<0.05$),而且已经超过 30 mg/100 g,为腐败级。说明固载二氧化氯处理南美白对虾可延缓 TVB-N 值的上升趋势,保持南美白对虾的鲜度,且较高浓度固载二氧化氯处理效果优于较低浓度固载二氧化氯。

如图 4b 所示,贮藏期间内,各组南美白对虾的 TBARS 值均呈现上升趋势,而固载二氧化氯处理组的 TBARS 值低于对照组。新鲜南美白对虾的 TBARS 值为 0.21 g MDA/kg。经过 8 d 贮藏期,10 mg/L 和 20 mg/L 固载二氧化氯处理组的 TBARS 值分别上升至 0.86 g MDA/kg 和 0.78 g MDA/kg,而对照组上升至 1.05 g MDA/kg,显著高于处理组($p<0.05$)。这说明固载二氧化氯可有效延缓南美白对虾 TBARS 值的上升趋势,且较高浓度固载二氧化氯处理效果优于较低浓度固载二氧化氯。上述结果表明,固载二氧化氯能够将南美白对虾的 TVB-N 值和 TBARS 值保持在一个较低的水平。Zhang 等^[13]发现用弱酸性电解水结合气调包装能够有效抑制南美白对虾 TVB-N 值和 TBARS 值的上升,两者的变化趋势与本研究基本一致。

2.5 固载二氧化氯对南美白对虾 K 值和菌落总数的影响

K 值是以分析肌肉中 ATP 及其降解产物的含量为基础,通过进一步计算求得的相对值,能够反映水产品低温贮藏前期鲜度变化的化学指标。而 TVC 表示的是微生物指标,可以反映贮藏过程中南美白对虾的新鲜程度。按 GB 2741-94 规定, TVC 值 $\leq 10^5$ CFU/g 为一级新鲜度, TVC 值 $\leq 5 \times 10^5$ CFU/g 为二级新鲜度, TVC 值 $> 10^6$ CFU/g 为腐败。

如图 5a 所示,贮藏期间内,各组南美白对虾的 K 值均呈现上升趋势,而对照组的 K 值高于处理组。新鲜南美白对虾的 K 值为 0.80%,经过 8 d 贮藏期,10 mg/L 和 20 mg/L 固载二氧化氯处理组的 K 值分别为 16.37%和 13.02%,而对照组的 K 值为 23.91%,显著高于处理组($p<0.05$)。说明固载二氧化氯处理南美白对虾,可有效抑制 K 值的增加,维持贮藏期间较高的鲜

度,且较高浓度固载二氧化氯的保鲜效果优于较低浓度的固载二氧化氯。

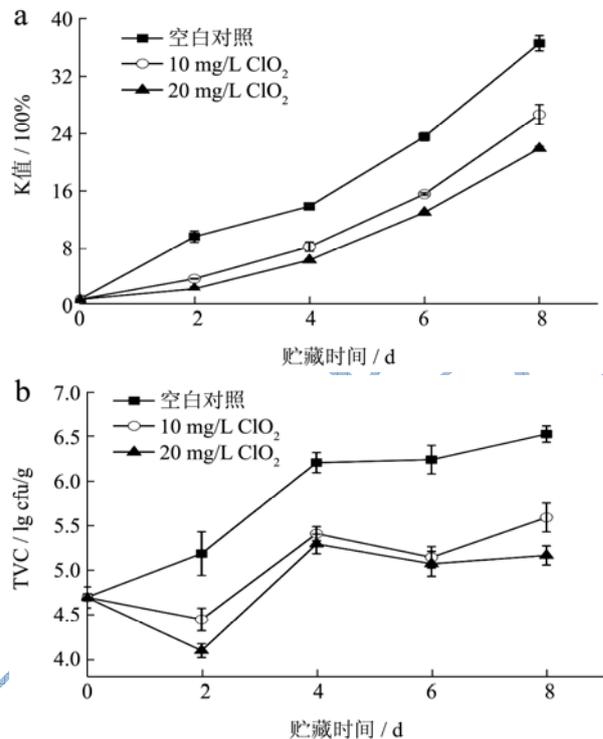


图5 固载二氧化氯对南美白对虾 K 值和 TVC 值的影响
Fig.5 Effect of solid ClO_2 on the K value and TVC of *Penaeus Vannamei*

如图 5b 所示,贮藏期间内,南美白对虾菌落总数呈现上升趋势。前 2 d,固载二氧化氯处理组的 TVC 呈下降趋势,这可能是由于二氧化氯具有杀菌作用;而对照组的 TVC 呈缓慢上升趋势,这可能是由于冷藏初期的低温延缓了微生物的生长。至贮藏 4 d 时,各组 TVC 值均有明显的增加,其中对照组增加幅度最大。经过 6 d 的贮藏期,对照组 TVC 值为 6.34 lgCFU/g,处于腐败级别,而此时 10 mg/L 和 20 mg/L 固载二氧化氯处理组的 TVC 值分别为 5.14 lgCFU/g 和 5.07 lgCFU/g,显著低于对照组($p<0.05$),且均处于二级鲜度范围。经过 8 d 的贮藏期,10 mg/L 和 20 mg/L 固载二氧化氯处理组 TVC 值仍显著低于对照组($p<0.05$)。综上,说明固载二氧化氯可有效的抑制微生物的增长,且较高浓度固载二氧化氯的抑制效果优于较低浓度固载二氧化氯。Andrews 等^[14]用二氧化氯溶液处理虾和小龙虾,结果菌落总数明显减少。姜松法等^[2]则采用稳定态二氧化氯溶液浸泡南美白对虾,发现二氧化氯具有良好的防腐抑菌作用,且浓度越高,效果越好,实验结果与本研究相符。

3 结论

本文以南美白对虾为研究对象,探究了固载二氧

化氯对南美白对虾的保鲜效果。综合感官评定、理化指标以及微生物指标,结果表明,在 0℃的贮藏温度下,固载二氧化氯能够有效地保持南美白对虾的感官品质,降低黑变程度,延缓质构劣变,控制 pH 值、K 值、TVB-N 值和 TBARS 值的变化,降低体内 PPO 活性,有利于维持南美白对虾贮藏期间的鲜度。而且二氧化氯作为一种广谱杀菌剂可有效抑制细菌的增长,有利于南美白对虾的贮藏保鲜。浓度为 20 mg/L 的固载二氧化氯保鲜效果优于 10 mg/L,且在低于 20 mg/L 的浓度范围内适当增加固载二氧化氯的浓度,可提高其保鲜作用。因此,将固载二氧化氯应用于南美白对虾的保鲜中,可有效保持南美白对虾在贮藏期间的鲜度,对于南美白对虾的贮藏、运输及销售具有积极的作用。

参考文献

- [1] 李建瑞,晋日亚,程仕勇. 固体二氧化氯的研究现状与应用 [J]. 化工中间体, 2012, 9(1): 44-47
LI Jian-rui, JIN Ri-ya, CHENG Shi-yong. Research status and application of solid chlorine dioxide [J]. Chemical Intermediate, 2012, 9(1): 44-47
- [2] 姜松法,陈学威,傅丹青,等. 稳定态二氧化氯对南美白对虾防腐保鲜效果评价[J]. 中国公共卫生, 2009, 25(1): 110-111
JIANG Song-fa, CHEN Xue-wei, FU Dan-qing, et al. Study on preservative effect of stable ClO₂ on shelled penaeus shrimp [J]. Chinese Journal of Public Health, 2009, 25(1): 110-111
- [3] Jeyasekaran G, Ganesan P, Anandaraj R, et al. Quantitative and qualitative studies on the bacteriological quality of Indian white shrimp (*Penaeus indicus*) stored in dry ice [J]. Food Microbiology, 2006, 23(6): 526-533
- [4] Nirmal N P, Benjakul S. Effect of catechin and ferulic acid on melanosis and quality of pacific white shrimp subjected to freeze-thawing prior refrigerated storage [J]. Food Control, 2010, 21(9): 1263-1271
- [5] Zeng Q Z, Thorarinsdottir K A, Olafsdottir G. Quality changes of shrimp (*Pandalus borealis*) stored under different cooling conditions [J]. Journal of Food Science, 2005, 70(7): 459-466
- [6] Gomes H D A, Silva E N D, Fukuma H T. Evaluation of the 2-thiobarbituric acid method for the measurement of lipid oxidation in mechanically deboned gamma irradiated chicken meat [J]. Food Chemistry, 2003, 80(3): 433-437
- [7] 王强,张宾,马路凯,等. 流化冰保鲜对冰鲜南美白对虾品质的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(10): 134-140
WANG Qiang, ZHANG Bin, MA Lu-kai, et al. Effect of slurry ice treatment on the quality of fresh *Litopenaeus vannamei* [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(10): 134-140
- [8] Nirmal N P, Benjakul S. Inhibition kinetics of catechin and ferulic acid on polyphenoloxidase from cephalothorax of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. Food Chemistry, 2012, 131(2): 569-573
- [9] 徐德峰,李彩虹,孙力军,等. 冷藏南美白对虾丝氨酸蛋白酶活力与黑变相关性研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(2): 100-104
XU De-feng, LI Cai-hong, SUN Li-jun, et al. The melanosis, serine protease activity and their correlation of *Litopenaeus vannamei* during cold storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(2): 100-104
- [10] Bris C L, Cudennec B, Dhulster P, et al. Melanosis in *Penaeus monodon*: involvement of the laccase-like activity of hemocyanin [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2016, 64: 663-670
- [11] Qian Y F, Xie J, Yang S P, et al. *In vivo*, study of spoilage bacteria on polyphenoloxidase activity and melanosis of modified atmosphere packaged Pacific white shrimp [J]. Food Chemistry, 2014, 155(11): 126-31
- [12] 冯家敏,张宾,蒋林珍,等. 流化冰结合防黑剂、抑菌剂对南美白对虾的保鲜效果[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 244-249
FENG Jia-min, ZHANG Bin, JIANG Lin-zhen, et al. Quality preservation of fresh shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by employment of slurry Ice in combination with bacteriostatic agent and melanosis inhibitor [J]. Food Science, 2016, 37(2): 244-249
- [13] Zhang B, Ma L K, Deng S G, et al. Shelf-life of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as affected by weakly acidic electrolyzed water ice-glazing and modified atmosphere packaging [J]. Food Control, 2015, 51: 114-121
- [14] Andrews L S, Key A M, Martin R L, et al. Chlorine dioxide wash of shrimp and crawfish an alternative to aqueous chlorine [J]. Food Microbiology, 2002, 19(4): 261-267