

肉桂醛复合保鲜剂对南美白对虾贮藏品质的影响^{*}

穆宏磊 郜海燕 陈杭君 房祥军 毛金林

(浙江省农业科学院食品科学研究所, 杭州 310021)

【摘要】 为延长南美白对虾贮藏期,对8种天然化合物的抑菌和南美白对虾多酚氧化酶(PPO)抑制活性进行了对比试验,发现肉桂醛同时兼具抑菌和抑制多酚氧化酶活性的双重效果。经酶反应动力学分析,证明肉桂醛是多酚氧化酶的非竞争性抑制剂。采用正交试验,对肉桂醛、植酸和海藻酸钠进行复配比较,确定复合保鲜剂的最佳组分为:肉桂醛质量分数0.10%、植酸质量分数0.05%、海藻酸钠质量分数0.50%。复合保鲜剂处理可有效抑制虾体菌落总数的增加和挥发性盐基氮的积累;同时还可抑制贮藏过程中的脂肪氧化,对感官品质具有良好的保持作用,在(4±1)℃条件下贮藏期可达8~10 d,明显提高了南美白对虾贮藏过程中的品质和货架期。

关键词: 南美白对虾 肉桂醛 贮藏 微生物腐败 黑变

中图分类号: TS254.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)06-0161-06

Effects of Cinnamaldehyde-combined Preservative on Quality of Pacific White Shrimp during Storage

Mu Honglei Gao Haiyan Chen Hangjun Fang Xiangjun Mao Jinlin

(Food Science Institute, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

Abstract

The effects of eight natural compounds on quality and shelf life of Pacific white shrimps was investigated. Cinnamaldehyde exhibited both antimicrobial activity and inhibitory ability against polyphenol oxidase (PPO) activity to maintain the quality of the Pacific white shrimp during storage. The kinetic analysis showed that cinnamaldehyde was a noncompetitive inhibitor for PPO of the Pacific white shrimp. The combined preservative was optimized using orthogonal experiment and then the optimal combination was as follows: 0.10% cinnamaldehyde, 0.05% phytic acid and 0.50% sodium alginate. The aerobic plate counts (APC), total volatile bases nitrogen (TVB-N), thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) assay and sensory analyses were used to investigate the change in the quality of the Pacific white shrimps after applications of different treatments. Based on these studies, shrimps treated with the combined preservative exhibited the lowest APC, TVB-N, and TBARS value among the all treatments by the end of storage. The combined preservative could improve the sensory properties and prolong the shelf life of the Pacific white shrimps to 8~10 days.

Key words Pacific white shrimp, Cinnamaldehyde, Storage, Microbial spoilage, Melanosis

引言

南美白对虾(*penaeus vannamei*),又称凡纳滨对虾、白对虾,以其肉嫩、低脂肪、高蛋白等特点深受消费者欢迎。作为水产品的一般特性,南美白对虾在

贮藏过程中极易受细菌侵袭而腐败变质;另一方面,由于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^[1~2]。可见,南美白对虾保鲜技术的关键就是抑制捕捞后微生物的增长以及控制虾体的黑变。目前

收稿日期: 2011-02-12 修回日期: 2011-02-23

^{*} 浙江省面上农业项目(2009C32014)、浙江省自然科学基金资助项目(Y3080518)和浙江省农科院创新工程项目(2008R15Y01D05)

作者简介: 穆宏磊,助理研究员,主要从事农产品贮藏与加工研究,E-mail: mhljoe@163.com

通讯作者: 郜海燕,研究员,博士生导师,主要从事农产品贮藏与加工研究,E-mail: spsghy@163.com

南美白对虾保鲜常利用亚硫酸钠来控制其品质下降,但由于存在安全性的原因,美国、欧盟等大多数国家都已禁止使用亚硫酸盐。为减少亚硫酸盐的使用并开发其替代品,4-己基间苯二酚等^[3~4]已开始被应用到虾的贮藏保鲜中。寻找对人体安全高效的虾类天然保鲜剂已经成为国内外研究的热点^[5]。

研究证明许多植物提取物、植物精油,具有比较广谱的抗菌防腐作用以及抗氧化等方面的活性,引起国内外研究人员的极大兴趣,被认为是化学保鲜剂的天然替代品^[6~7]。Amalaradjou^[8]等报道肉桂醛用于抑制苹果汁和苹果酒中大肠杆菌的活性,起到保鲜作用。目前利用天然植物精油抑制食品微生物的研究已有报道,但用于虾保鲜以及抑制虾多酚氧化酶的研究在国内外很少见报道;因此,筛选出同时具有抑菌和抑制多酚氧化酶活性双重功效的天然化合物具有重要的学术价值和实际意义。

本文针对南美白对虾贮藏过程中易腐败黑变的问题,经过筛选复配,研制以肉桂醛为主要成分的天然复合保鲜剂。

1 材料与方法

1.1 材料和仪器

南美白对虾,购于杭州惠民养殖场,捕捞后加冰迅速运回实验室。

实验用试剂包括 L-多巴、肉桂醛、麝香草酚、丁香酚、槲皮素、姜黄素、亚硫酸钠、4-己基间苯二酚、L-半胱氨酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、磷酸二氢钾、氢氧化钠等,均为分析纯;普通营养琼脂,上海生物工程有限公司。

实验用仪器包括 Me2 型酶标仪、JJ-1 型数显电动搅拌器、DI-360 型数控超声波清洗器、Cintra-20 型紫外分光光度计、BS110S 型电子天平、Kjeltec2300 型凯氏定氮仪。

1.2 试验方法

1.2.1 不同活性成分抑菌能力测定

挑选个体大小为 (15 ± 5) g 的虾,用碎冰使其体

克失活,并用清水冲洗。分别将虾与质量分数 0.10% 不同化合物的水溶液按质量比 1:4 浸泡 15 min,未处理的为对照组。每 20 只虾为一组,置于塑料盒中,在 (4 ± 1) °C 下贮藏。测定贮藏 4 d 后的菌落总数。

1.2.2 多酚氧化酶提取

南美白对虾 PPO 的提取参考 Nirmal 等^[9]的方法,PPO 活力的测定以 15 mmol/L 的 L-多巴为底物(pH 值为 7.2)。

1.2.3 不同活性成分 IC₅₀ 值测定

不同活性成分 IC₅₀ 值的测定参照 Qiu 等^[10]的方法。

1.2.4 肉桂醛对 PPO 抑制类型判断

肉桂醛对南美白对虾 PPO 抑制类型的判断参考 Qiu 等^[10]的方法,测活体系中固定酶的浓度而改变底物 L-多巴浓度,测定不同浓度抑制剂对酶活力的影响,以酶反应的初速度对底物浓度作图。酶抑制作用机理通过 Lineweaver-Burk 双倒数作图,比较酶催化反应的动力学参数,确定抑制剂的作用类型。

1.2.5 复合保鲜剂组分正交试验

以南美白对虾为试验对象,选用不同质量分数的肉桂醛、植酸、海藻酸钠为保鲜剂组分,采用三因素三水平 $L_9(3^4)$ 进行正交试验(表 1),以 (4 ± 1) °C 条件下贮藏 8 d 后感观评分作为评定指标,由 5 人组成的评定小组成员,依据虾体的气味、色泽、肉质给予综合分数,感官评定标准见表 2,总分在 9 分(极新鲜)和 0 分(完全腐败)之间。根据分析结果得到复合保鲜剂组分最佳配比。

表 1 正交试验因素水平表			
Tab.1 Design of orthogonal experiment			
水平	因素		
	肉桂醛	植酸	海藻酸钠
	质量分数 A	质量分数 B	质量分数 C
1	0.010	0.010	0.100
2	0.050	0.025	0.500
3	0.100	0.050	1.000

表 2 感官鉴定标准				
Tab.2 Standard of sensory evaluation				
项目	3 分	2 分	1 分	0 分
肉质	肌肉纹理清晰有弹性,肉与壳连接紧密	肌肉略有弹性,不变色,肉与壳连接稍松弛	肌肉弹性较差,肉与壳连接松弛	肌肉组织松软,肉质发黄
色泽	体表有光泽,头胸甲与体节间紧密连接	壳有轻微红色或黑色,头尾部出现黑斑	肌体无固有色泽,体表出现大面积黑斑	体表色泽灰暗,甲壳与虾体分离
气味	具有海虾固有气味	略有异味	异味较强	强烈异味

1.2.6 分组处理

分别将虾与质量分数 0.10% 肉桂醛、复合保鲜剂水溶液按 1.2.1 节中步骤处理。隔天测定菌落总数 (APC)、挥发性盐基氮 (TVB - N)、硫代巴比妥酸反应物 (TBARS) 和感官评分指标。

1.2.7 菌落总数测定

菌落总数按 GB 4789.2—2008^[11] 食品卫生微生物学检验菌落总数测定, 选择 3 个合适的稀释度, 每个稀释度做 3 个平行样。

1.2.8 挥发性盐基氮测定

利用 GB/T 5009.457—2003^[12] 半微量定氮法原理测定, 结果以 mg/(100 g) 表示。

1.2.9 TBARS 值测定

参考 Khan 等^[13] 方法测定, TBARS 值以 mg/kg 表示。

1.2.10 统计

本试验数据为 3 次重复的平均值和相应的标准偏差。采用 SPSS 13.0 软件进行数据统计和差异显著性分析。

2 试验

2.1 南美白对虾天然保鲜剂筛选

2.1.1 不同化合物抑菌效果

虾类捕捞后在贮藏过程中, 微生物腐败是影响虾品质的主要因素。保鲜剂抑菌能力的大小直接决定了南美白对虾的贮藏品质和贮藏期。首先对麝香草酚、肉桂醛、丁香酚、槲皮素、姜黄素、亚硫酸钠、乳酸链球菌素、L-半胱氨酸天然活性成分的抑菌效果进行研究, 经 (4 ± 1) °C 贮藏 4 d 后虾体菌落总数分别为 3.83、4.24、5.07、5.35、5.56、5.78、5.84、6.13 lgCFU/g, 对照组菌落总数 6.19 lgCFU/g。可以看出, 麝香草酚具有最强的抑菌效果, 肉桂醛具有良好的抑菌能力, 虾体菌落总数远小于国标规定的水产品微生物标准; 而槲皮素、姜黄素、乳酸链球菌素、丁香酚也具有一定的抑菌能力, 但效果不如麝香草酚和肉桂醛。麝香草酚和肉桂醛对一些引起食品腐败的霉菌、细菌具有较好的抑制效应。研究认为细菌的细胞膜结构是由两层磷脂分子组成, 麝香草酚和肉桂醛具有较强的表面活性和脂溶性, 能迅速穿入细胞膜, 使其结构发生变化, 引起膜的扩张和不稳定, 增加膜的流动性, 从而破坏细胞的生理代谢, 抑制微生物正常的生理活动^[14]。

2.1.2 不同化合物抑制 PPO 效果

PPO 抑制剂抑制能力的强弱可采用酶活性抑制 50% 时的抑制剂浓度 (IC₅₀) 作为对比指标。以 L-多巴为底物, L-半胱氨酸、肉桂醛、亚硫酸钠、槲皮素、

姜黄素对 PPO 的 IC₅₀ 值分别为 0.036、0.058、0.320、0.670、1.430 mmol/L, 而麝香草酚、丁香酚、乳酸链球菌素没有抑制活性。可以看出肉桂醛、L-半胱氨酸具有较好的 PPO 抑制能力, 具有替代亚硫酸钠潜力。

根据抑菌能力和对 PPO 活性抑制的对比试验, 综合考虑发现, 肉桂醛兼具抑菌和抑制 PPO 活性的双重能力。肉桂醛是肉桂中提取出来的一种具有抗菌、抗氧化活性的天然化合物, 被美国 FDA 定为 GRAS (generally regarded as safe) 分子^[15], 具有较高的安全性, 被广泛用于食品中。因此, 根据上述试验结果, 选取肉桂醛作为南美白对虾天然保鲜剂的主要成分, 研究其对南美白对虾贮藏品质的影响。

2.2 肉桂醛对 PPO 抑制类型判断

为了明确肉桂醛对南美白对虾 PPO 的抑制类型, 进而判断其与 PPO 的作用机理, 对肉桂醛抑制 PPO 动力学进行研究。图 1 为以 L-多巴为底物, 在不同肉桂醛浓度下酶活力随底物浓度变化的 Lineweaver-Bark 双倒数图, 图中 v^{-1} 为反应速度的倒数, c^{-1} 为 L-多巴浓度的倒数。研究结果说明肉桂醛抑制南美白对虾 PPO 机理表现为非竞争性抑制, 减小了 $V_{\max}$ 值, 但是对米氏常数没有影响。根据对抑制类型的判断, 表明肉桂醛能够与酶以及酶-底物同时作用。在肉桂醛分子中存在一个与苯环共轭的醛基。醛基是一个亲核基团, 能够与氨基反应生成席夫碱。因此, 肉桂醛能够通过自身的醛基与 PPO 中氨基等位点作用, 从而产生抑制效果。Kubo^[16] 报道一系列的 α, β -不饱和醛通过非竞争性抑制作用抑制蘑菇 PPO 催化氧化 L-多巴的反应, 醛基与酶的氨基形成的席夫碱起到了主要的抑制作用。同时, α, β -不饱和醛的结构又能增加席夫碱的稳定性, 增加了抑制效果。因此, 肉桂醛在抑制南美白对虾 PPO 作用中起到了类似的作用。结果进一步证实肉桂醛对南美白对虾具有良好的 PPO 抑制作用。

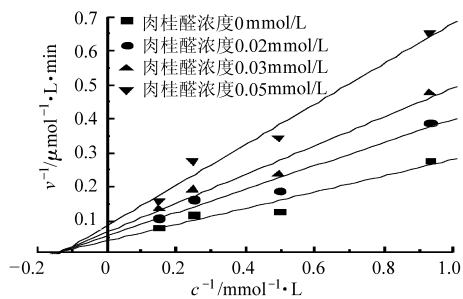


图 1 肉桂醛对南美白对虾 PPO 酶抑制类型判断

Fig. 1 Determination of the inhibitory type of cinnamaldehyde on PPO

2.3 天然复合保鲜剂的复配

将肉桂醛与植酸、海藻酸钠复配, 以获得更好的

保鲜效果。复合保鲜剂组分正交试验结果如表 3 所示。从表中的极差 R 可以得出 $R_A > R_B > R_C > R_D$ ，在所选的 3 种物质中，其保鲜效果大小顺序依次为： A 、 B 、 C ，其中肉桂醛对南美白对虾的品质有显著性影响。结合实际生产考虑，确定复合保鲜剂组分最佳配比为 $A_3B_3C_2$ ，即肉桂醛质量分数 0.10%、植酸质量分数 0.05%、海藻酸钠质量分数 0.50%。

表 3 正交试验结果					
Tab. 3 Results of orthogonal experiment					
试验号	A	B	C	D (空列)	感官得分
1	1	1	1	1	3.9
2	1	2	2	2	4.4
3	1	3	3	3	4.8
4	2	1	2	3	4.9
5	2	2	3	1	5.1
6	2	3	1	2	5.3
7	3	1	3	2	5.4
8	3	2	1	3	5.3
9	3	3	2	1	5.9
k_1	4.367	4.733	4.833	4.967	
k_2	5.100	4.933	5.067	5.033	
k_3	5.533	5.333	5.100	5.000	
R	1.166	0.600	0.267	0.066	

2.4 不同处理对南美白对虾贮藏品质的影响

2.4.1 菌落总数

在虾类产品贮藏过程中，菌落总数是反映虾鲜度的一个重要指标。在 $(4 \pm 1)^\circ\text{C}$ 贮藏过程中，不同处理组间菌落总数变化如图 2 所示。在贮藏期内菌落总数呈现上升的趋势。对照组初始菌落总数为 4.18 lgCFU/g，贮藏 4 d 后，菌落总数增加到 5.97 lgCFU/g，达到可接受的极限值。采用质量分数 0.10% 肉桂醛以及复合保鲜剂处理的虾体菌落总数均低于对照组。由于肉桂醛具有较好的抑菌效果，起始 2 d 内的菌落总数有所下降。经质量分数 0.10% 肉桂醛处理后的样品第 10 天的菌落总数为

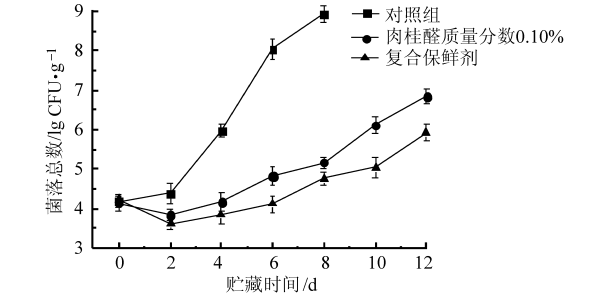


图 2 不同处理对南美白对虾菌落总数影响
Fig. 2 Effect of different treatments on APC values of Pacific white shrimp

6.13 lgCFU/g，而采用复合保鲜剂处理后的样品第 12 天的菌落总数为 5.92 lgCFU/g，达到可接受的极限；贮藏末期各处理组间存在显著差异 ($P < 0.05$)。可以看出，经复配以后，植酸和海藻酸钠具有一定的增效作用。而单独使用肉桂醛也具有良好的抑菌效果。研究认为肉桂醛具有一定的疏水性，可与细胞膜相互作用，使细胞膜的透过性增强；同时肉桂醛中的醛基可与细菌中的蛋白以及酶作用，破坏细菌正常的生理代谢，起到抑菌效果^[17-18]。

2.4.2 挥发性盐基氮

挥发性盐基氮 (TVB-N) 是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；是衡量肉制品及水产品新鲜度的重要指标^[19]。图 3 为在 $(4 \pm 1)^\circ\text{C}$ 贮藏条件下，不同处理组 TVB-N 的变化。在整个贮藏期内，南美白对虾 TVB-N 呈现增长的趋势，变化幅度大小随处理方式的不同而改变。南美白对虾起始 TVB-N 值为 8.2 mg/(100 g)，经过 4 d 的贮藏，对照组的 TVB-N 值为 31.4 mg/(100 g)，达到了国标规定的标准。两种处理的南美白对虾 TVB-N 值均低于对照组。质量分数 0.10% 肉桂醛处理组贮藏 8 d 后的 TVB-N 值为 30.9 mg/(100 g)，复合保鲜剂处理组贮藏 10 d 后的 TVB-N 值为 31.5 mg/(100 g)。贮藏末期各处理组间存在显著差异 ($P < 0.05$)。处理组 TVB-N 值低于对照组的结果与菌落总数的结果基本一致，说明肉桂醛对南美白对虾贮藏过程中菌落总数和 TVB-N 值的控制都有所帮助。Nirmal^[5] 研究报道了南美白对虾采用阿魏酸处理能够有效降低虾体的 TVB-N 值。植酸和海藻酸钠复配以后对肉桂醛抑制 TVB-N 的增加具有一定的增效作用。

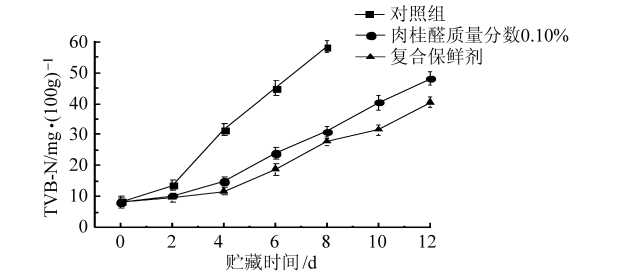


图 3 不同处理对南美白对虾 TVB-N 影响
Fig. 3 Effects of different treatments on TVB-N values of Pacific white shrimp

2.4.3 TBARS 值

南美白对虾中含有多种不饱和脂肪酸，因此，在贮藏过程中容易发生氧化。TBARS 值反映了脂肪的二级氧化分解产物，是肉类制品在贮藏过程中氧化劣变的直接指标。

图 4 为不同处理组在 $(4 \pm 1)^\circ\text{C}$ 贮藏条件下的

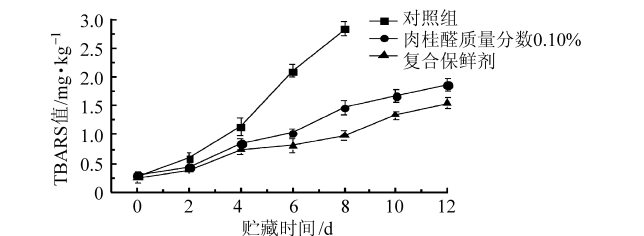


图4 不同处理对南美白对虾 TBARS 值的影响
Fig.4 Effects of different treatments on TBARS values of Pacific white shrimp

TBARS 值变化图。对照组的 TBARS 值随贮藏时间增加而增加,说明在南美白对虾贮藏过程中发生了脂肪氧化;贮藏 8 d 后为 2.84 mg /kg,明显高于处理组 ($P < 0.05$)。贮藏 12 d 时,采用质量分数 0.10% 肉桂醛和复合保鲜剂处理,南美白对虾的 TBARS 值分别为 1.87、1.75 mg/kg。可以看出,单独使用肉桂醛处理能够抑制虾脂肪氧化的发生,而复合保鲜剂处理起到了更好的作用,海藻酸钠涂膜以后能够阻止虾体与空气的接触,减少了氧化的发生。Singh 等^[20]研究发现肉桂油和肉桂醛具有很好的抗氧化能力,比如清除 DPPH 自由基、羟基自由的能力,能够有效地降低芥菜油的一级、二级氧化产物。

2.4.4 感官评分

感官评定是产品可被消费者接受的程度,是气味、外观和组织评分的综合体现。从图 5 可以看出,在(4±1)℃贮藏条件下,随着贮藏时间的延长,不同处理南美白对虾的感官品质均呈现下降趋势。对照组在第 4 天出现异味,第 6 天恶臭味明显。气味是由于白对虾体内的微生物在生长代谢过程中产生 H₂S、挥发性氨以及胺类等小分子物质造成的。经过复合保鲜剂处理的南美白对虾到第 8 天几乎没有异味产生。在色泽变化中,对照组第 2 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。经复合保鲜剂处理的南美白对虾在第 3 天虾头出现轻微黑变,到第 7 天虾头黑变较严重;但是虾体一直到贮藏末期无黑变产生,外观优于对照组。就组织变化而言,对照组贮藏 3 d 后头部与身体连接有所松动,6 d 后虾壳变软变薄。复合保鲜剂处理组在第

8 天虾壳感观良好,肌肉依然洁白鲜亮,富有弹性。以综合评定的分值达到 5 分作为白对虾不可接受的界限,不同处理组分别在 4 d、8 d、10 d 达到这一水平。结合菌落总数、TVB-N 等指标综合判断,经过肉桂醛复合保鲜剂处理的南美白对虾贮藏期大约在 8~10 d,明显延长了货架期,能够很好的控制南美白对虾贮藏过程中品质劣变,达到保鲜的目的。

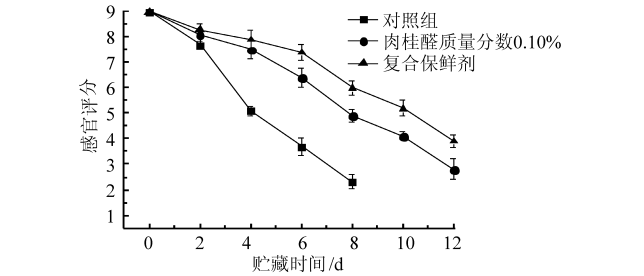


图5 肉桂醛对南美白对虾感观评分的影响
Fig.5 Effects of different treatments on sensory score of Pacific white shrimp

3 结论

- (1) 对 8 种天然化合物的抑菌活性以及抑制南美白对虾 PPO 活性能力进行了比较研究,通过菌落总数以及 IC₅₀的测定结果,发现肉桂醛同时兼具防黑变和抑菌的双重功效。根据 Lineweaver-Burk 双倒数作图法,证明了肉桂醛通过非竞争性抑制作用起抑制作用。
- (2) 采用肉桂醛、植酸以及海藻酸钠进行复配,通过正交试验确定了复合保鲜剂的组成为:肉桂醛质量分数 0.10%、植酸质量分数 0.05%、海藻酸钠质量分数 0.50%。
- (3) 采用肉桂醛以及复合保鲜剂对南美白对虾进行处理,比较了贮藏效果。通过对菌落总数、TVB-N、TBARS 值、感官评分的测定,表明复合保鲜剂具有明显的保鲜效果,在 4℃ 条件下贮藏期达 8~10 d,菌落总数、TVB-N 指标均在国标要求的范围内。单独使用肉桂醛也能有效抑制南美白对虾贮藏过程中的微生物腐败以及黑变的产生,具有良好的保鲜效果。

参 考 文 献

- 1 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.
- 2 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)
- 3 凌萍华, 谢晶. 涂膜及气调保鲜对南美白对虾品质的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 368 ~ 374.
Ling Pinghua, Xie Jing. Effects of film-forming combined with modified atmosphere packaging on qualities of Pacific white shrimp[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 368 ~ 374. (in Chinese)

- 4 徐丽敏,薛长湖,李兆杰,等. 水溶性壳聚糖对南美白对虾品质及腐败菌相变化的影响[J]. 食品工业科技, 2008, 29(6): 107 ~ 110.
Xu Limin, Xue Changhu, Li Zhaojie, et al. Influence of water-soluble chitosan on the changes of quality and spoilage microflora of *Penaeus vannamei*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 29(6): 107 ~ 110. (in Chinese)
- 5 Nirmal N P, Benjakul S. Effect of ferulic acid on inhibition of polyphenoloxidase and quality changes of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during iced storage [J]. Food Chemistry, 2009, 116(1): 323 ~ 331.
- 6 毛巧芝,赵忠,马希汉,等. 苦杏仁木醋液抑菌活性和化学成分分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(2): 164 ~ 170.
Mao Qiaozhi, Zhao Zhong, Ma Xihan, et al. Preparation, toxicity and components for bitter almond shell wood vinegar[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(2): 164 ~ 170. (in Chinese)
- 7 Corbo M R, Giulio S D, Conte A, et al. Thymol and modified atmosphere packaging to control microbiological spoilage in packed fresh cod hamburgers[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2009, 44(8): 1 553 ~ 1 560.
- 8 Baskaran S A, Amalaradjou M A R, Hoagland T. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in apple juice and apple cider by trans-cinnamaldehyde[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 141(2): 126 ~ 129.
- 9 Nirmal N P, Benjakul S. Melanosis and quality changes of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) treated with catechin during iced storage[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(9): 3 578 ~ 3 586.
- 10 Qiu L, Chen Q H, Zhuang J X. Inhibitory effects of a-cyano-4-hydroxycinnamic acid on the activity of mushroom tyrosinase[J]. Food Chemistry, 2009, 112(3): 609 ~ 613.
- 11 GB 4789.2—2008. 食品卫生微生物学检验——菌落总数测定 [S].
- 12 GB 2733—2005. 鲜冻动物性冰产品卫生标准[S].
- 13 Khan M A, Parrish C C, Shahidi F. Quality indicators of cultured Newfoundland blue mussels (*Mytilus edulis*) during storage on ice: microbial growth, pH, lipid oxidation, chemical composition characteristics, and microbial fatty acid contents[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(18): 7 067 ~ 7 073.
- 14 Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods-a review [J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 94(3): 223 ~ 253.
- 15 Adams T B, Cohen S M, Doull J, et al. The FEMA GRAS assessment of cinnamyl derivatives used as flavor ingredients[J]. Food and Chemical Toxicology, 2004, 42(2): 157 ~ 185.
- 16 Kubo I, Hori K I. Tyrosinase inhibitory activity of the olive oil flavor compounds [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(11): 4 574 ~ 4 578.
- 17 Sikkema J. De Bont J A M, Poolman, B. Interactions of cyclic hydrocarbons with biological membranes[J]. Journal of Biological Chemistry, 1994, 269(11): 8 022 ~ 8 028.
- 18 Wendakoon C N, Sakaguchi M. Inhibition of amino acid decarboxylase activity of enterobacter aerogenes by active components in spices [J]. Journal of Food Protection, 1995, 58(3): 280 ~ 283.
- 19 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 CSAE, 2008, 24(12): 230 ~ 237. (in Chinese)
- 20 Singh G, Maurya S. A comparison of chemical, antioxidant and antimicrobial studies of cinnamon leaf and bark volatile oils, oleoresins and their constituents [J]. Food and Chemical Toxicology, 2007, 45(9): 1 650 ~ 1 661.