

丁香-肉桂提取液复合涂膜剂对辣椒的采后保鲜作用

易有金*, 何心, 罗程印, 黄娇丽, 周红丽, 曹熙

(湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南长沙 410000)

摘要: 为开发新型安全的植物源辣椒保鲜剂, 以“湘研 15 号”辣椒为实验材料, 在成膜剂中添加天然抑菌剂, 通过测定丁香-肉桂提取液复合涂膜剂对辣椒采后的失重率、腐烂率、呼吸强度、维生素 C、叶绿素、苯丙氨酸解氨酶 (Phenylalanine Ammonia Lyase, PAL)、过氧化物酶 (Peroxidase, POD)、多酚氧化酶 (Polyphenol Oxidase, PPO)、丙二醛 (Malondialdehyde, MDA)、过氧化氢酶 (Catalase, CAT)、总酚和类黄酮含量变化, 研究丁香-肉桂提取液复合涂膜剂对辣椒采后的保鲜效果。实验显示该复合涂膜剂能有效降低果实的失重率和腐烂率, 贮藏 20 d 后, 与 CK1 (清水) 和 CK2 (不做任何处理) 组相比, 其失重率分别降低了 31.20%、30.64% ($p < 0.05$); 腐烂率分别降低了 71.43%、68.07% ($p < 0.05$)。同时辣椒的防御体系酶的活性显著升高, 过氧化氢酶活性分别提高了 55.01%、44.69% ($p < 0.05$); 过氧化物酶活性分别提高了 37.50%、12.58% ($p < 0.05$); 苯丙氨酸解氨酶活性分别提高了 58.37%、34.14% ($p < 0.05$)。表明丁香-肉桂提取液复合涂膜剂能有效提高辣椒抗病性, 有利于防腐保鲜, 延长辣椒贮藏期, 为开发新型安全的植物源辣椒防腐保鲜剂提供理论支持。

关键词: 丁香; 肉桂; 复合涂膜; 保鲜; 辣椒采后

文章编号: 1673-9078(2022)10-140-147

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.10.1413

Preservation of Harvested Chili Peppers Using A Composite Coating Containing *Syzygium aromaticum* and *Cinnamomum cassia* Extracts

YI Youjin*, HE Xin, LUO Chengyin, HUANG Jiaoli, ZHOU Hongli, CAO Xi

(College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410000, China)

Abstract: To develop a safe plant-derived preservative for harvested peppers, two natural bacteriostatic agents were added to the film-forming agent placed on “Xiangyan No.15” peppers. The preservation effects of the composite coating containing extracts of *Syzygium aromaticum* and *Cinnamomum cassia* were evaluated by determining the differences in the rates of weight loss and decay; respiratory intensity; the activity levels of phenylalanine ammonia lyase (PAL), peroxidase (POD), polyphenol oxidase (PPO), malondialdehyde (MDA), and catalase (CAT); and the vitamin C, chlorophyll, total phenol, and flavonoid contents of the harvested chili peppers. The results showed that the composite coating effectively reduced the rates of weight loss and decay. Comparison of the composite coating-treated peppers to the clean water-treated (CK1) and untreated (CK2) peppers after 20 days of storage showed that the weight loss rate was reduced by 31.20% and 30.64%, respectively ($p < 0.05$); the decay rate was decreased by 71.43% and 68.07%, respectively ($p < 0.05$); and the activity levels of defense enzymes were significantly increased. In particular, CAT activity was increased by 55.01% and 44.69%, respectively ($p < 0.05$); POD activity was increased by 37.50% and 12.58%, respectively ($p < 0.05$); and PAL activity was increased by 58.37% and 34.14%, respectively ($p < 0.05$). These results indicate that a composite coating containing *Syzygium aromaticum* and *Cinnamomum cassia* extracts can effectively improve the disease resistance of chili peppers, which is beneficial for preservation, thereby prolonging their storage period. This study provides theoretical support for the development of new safe preservatives for peppers.

Key words: *Syzygium aromaticum*; *Cinnamomum cassia*; compound coating film; preservation; harvested pepper

引文格式:

易有金,何心,罗程印,等.丁香-肉桂提取液复合涂膜剂对辣椒的采后保鲜作用[J].现代食品科技,2022,38(10):140-147

YI Youjin, HE Xin, LUO Chengyin, et al. Preservation of harvested chili peppers using a composite coating containing *Syzygium aromaticum* and *Cinnamomum cassia* extracts [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(10): 140-147

收稿日期: 2021-12-15

基金项目: 湖南省重点研发计划项目 (2021NK2014); 长沙市自然科学基金资助项目 (kq2202224); 湖南农业大学第三批重大科研项目 (创新团队培育工程 2019); 湖南农业大学“双一流”学科建设项目 (SYL2019061)

作者简介: 易有金 (1968-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 微生物活性物质, E-mail: yiyoujin@163.com

辣椒采后病害主要从果柄部位开始发生,同时无病害症状的辣椒果实组织中有潜伏侵染的病菌存在,导致辣椒采收后容易腐烂,一直以来,传统的化学防腐保鲜剂在控制辣椒腐烂和延缓衰老方面应用广泛,而因其在辣椒上的残留危害人体健康,使病原菌产生抗药性并污染环境的问题引起消费者的担忧。辣椒采后贮藏品质在很大程度上受果实失水的影响,果实内部由于先天空腔,限制了它的蓄水能力^[1]。果实失水主要通过气孔、皮孔、角质层、蜡质层、花萼、果柄等^[2]。水分散失与果实成熟度、细胞膜离子渗透性、脂氧合酶的活性、表皮蜡质的数量、角质层的厚薄有关^[3]。水分的散失可引发和加速辣椒果实的衰老,过度的水分散失可进一步导致果实的软化和贮藏期的缩短。还有各种存在的真菌性和细菌性病害。Ili等^[4]研究发现 600.00 nL/L 1-甲基环丙烯能有效抑制常温贮藏中辣椒病害的产生,减少果实失重、维持果实硬度、推迟后熟进程,有利于维持辣椒贮藏期间品质,近年来,利用生物防治辣椒采后病害有较多报道,如对辣椒采后灰霉病^[5]、疫病^[6]、软腐病^[7]、炭疽病^[8]等的拮抗抑制。生物防治抑制病害机理涉及营养物质和空间的竞争、拮抗作用^[9]、铁载体的产生、溶解酶和系统抗性的诱导^[10]。诱抗保鲜剂可通过诱导采后果蔬自身抗性来抵御病原菌的侵染,这种抗性表现在果蔬自身形态结构和体内生理生化指标的变化和信号分子转导途径的激活。大多数植物提取物对果蔬采后病原菌均有抑制作用,它们的药效和安全性较明确,近年来,植物提取物在果蔬保鲜方面的研究较为广泛,如丁香、大黄^[11]、五味子、细辛、苦参、高良姜、桉木、白藓皮等。可食性涂膜剂能有效抑制果蔬采后水分散失和呼吸作用,但由于自身缺乏抑菌性而限制其进一步发展,以可食性涂膜剂为成膜基质,植物提取物为抑菌剂,实现优势互补制备植物提取物复合涂膜剂已成为保鲜领域的研究热点。本实验以“湘研 15 号”辣椒为实验材料,通过测定复合涂膜剂对辣椒采后的失重率、腐烂率、呼吸强度、Vc、叶绿素、苯丙氨酸解氨酶(PAL)、过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)、丙二醛(MDA)、过氧化氢酶(CAT)、总酚和类黄酮等含量变化,研究丁香-肉桂液复合涂膜剂对辣椒采后的保鲜效果。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

辣椒采摘于湖南农业大学实验基地,品种为“湘研 15 号”,选取大小、成熟度基本一致、无机械损伤、

无病虫害的果实为试材。

丁香、肉桂,均购于湖南农业大学养天和大药房;羧甲基纤维素钠(CMC)、普鲁兰多糖、海藻酸钠、刺槐豆胶、瓜尔豆胶,购于郑州市食代添骄化工产品有限公司;魔芋精粉(纯度 95%),购于成都市圣特蒙魔芋精粉有限责任公司;黄原胶,购于郑州市博研生物科技有限公司;果蔬保鲜剂(二氧化氯),购于山东临朐华威生物科技有限公司;2,6-二氯酚靛酚、二硫苏糖醇、聚乙烯吡咯烷酮、三氯乙酸、硫代巴比妥酸,均为分析纯,购于国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

YP-B-3002 电子天平,北京赛多利斯仪器系统有限公司;DK-S28 电热恒温水浴锅,上海精宏实验设备有限公司;GZ-400-GS II 智能人工气候箱,韶关市广智科技有限公司;JB50-D 增力电动搅拌机,上海标本模型厂;GZ-400-GS II 智能人工气候箱,韶关市广智科技有限公司;HR/T16M 台式高速冷冻离心机,湖南赫西仪器装备有限公司;UV9100 紫外分光光度计,北京莱伯泰科仪器有限公司;DDS-11A 数显电导率仪,上海雷磁-创益仪器仪表有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 成膜剂制备

分别称取 2.50 g 成膜剂,少量添加并一直搅拌,使其溶于 450 mL 蒸馏水中,80 °C 恒温 1 h,并不断搅拌(转速 300 r/min),待其溶解完全后,定容至 500 mL,超声脱气 15 min(频率 60 kHz,温度 40 °C),待其自然冷却至室温(25 °C)后备用,成膜剂浓度即为 0.50% (m/V)。

1.3.2 植物提取液制备

称量 50.00 g 过 40 目筛的肉桂、丁香材料,加入 250 mL 无水乙醇,60 °C 恒温 1.0 h,减压抽滤,收集滤液,10 000 r/min 离心 10 min,收集上清液,40 °C 蒸发浓缩至稀膏状,清水洗脱定容至 25 mL,即制成 2.00 g/mL 的植物提取液(1 mL 提取液中相当于含原植物材料 2.00 g),4 °C 保藏备用。

1.3.3 丁香-肉桂提取液复合涂膜剂制备

称取 1.88 g 瓜尔豆胶、0.62 g 普鲁兰多糖,使其溶于 450 mL 蒸馏水中,80 °C 恒温 1 h,利用搅拌器不断搅拌(转速 300 r/min),待其溶解完全后,分别加入 4.16 mL 丁香提取液、8.34 mL 肉桂提取液,搅拌均匀后定容至 500 mL 备用,即配方为 0.50% (瓜尔豆胶-普鲁兰多糖)(3:1, m/m)+丁香-肉桂提取液(1:2, V/V)。

1.3.4 处理方法

挑选大小一致、无病虫害、无机械损伤的新鲜辣椒,用无菌水冲洗3次,待其表面水分风干后,以清水为对照(CK1),以不做任何处理为空白对照(CK2),1% (m/V) 保鲜液果(蔬保鲜剂(二氧化氯))为阳性对照,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂为处理组,待辣椒表面处理液自然风干后,放进保鲜袋中,每袋20个辣椒,设三组平行,在20℃,相对湿度90%下贮藏,每隔5d取样进行失重率和腐烂率的统计。

1.3.5 测定指标和方法

失重率与腐烂率分别按以下公式(1)和公式(2)进行计算:

$$X_1 = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

X_1 ——失重率, %;

m_0 ——贮藏前质量, g;

m_1 ——贮藏后质量, g。

$$X_2 = \frac{A_1}{A_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

X_2 ——腐烂率, %;

A_1 ——腐烂果数;

A_0 ——总果数。

采用静置法测定^[12]呼吸强度;采用电导率仪测定^[12]细胞膜通透性;采用Arnon法测定^[12]叶绿素;采用2,6-二氯酚靛酚滴定法测定^[12]维生素C;采用硫代巴比妥酸法测定^[12]丙二醛(MDA);采用紫外吸收法测定^[12]过氧化氢酶(CAT);采用紫外吸收法测定^[12]苯丙氨酸解氨酶(PAL);采用紫外吸收法测定^[12]总酚;采用紫外吸收法测定^[12]类黄酮;采用愈创木酚法测定^[13]过氧化物酶(POD);采用邻苯二酚比色法测定^[14]多酚氧化酶(PPO)。

1.4 数据分析

数据统计分析采用SPSS 18.0进行单因素方差分析,作图采用Origin 8.0,差异显著性采用Duncan法。

2 结果与讨论

2.1 辣椒贮藏过程中的外观性状观察

由图1可知,辣椒贮藏20d后,各组出现较为明显的差异。CK1与CK2组辣椒逐步变成黄褐色,并呈水浸状凹陷,后期凹陷处伴有白色绒毛状菌丝长出,果柄部位最先生成白色菌丝并逐渐失水萎缩,后期病斑周围呈同心环状并有黑色小点长出,接着病斑继续

扩大,辣椒果实腐烂严重并伴有汁液流出,腐烂周围部位有菌丝及黑色小球状孢子囊出现。丁香-肉桂复合涂膜剂处理组与阳性对照组辣椒颜色变化不明显,阳性对照组果柄部位生成少量白色菌丝,后期出现少量黑色病斑,丁香-肉桂复合涂膜剂处理组不生成白色菌丝,但后期也出现少量黑色病斑,病斑不扩张,周围无腐烂现象。



图1 辣椒贮藏20d后的外观性状对比图

Fig.1 Comparison of appearance and properties of pepper after 20 days of storage

注: a、a'组为丁香-肉桂复合涂膜剂处理组; b、b'组为保鲜剂阳性对照组; c、c'组为不做任何处理组(CK2); d、d'组为清水对照组(CK1)。

2.2 丁香-肉桂提取液复合涂膜剂对辣椒失重率和腐烂率的影响

由图2可知,随着贮藏时间的延长,辣椒失重率与腐烂率逐渐升高。在整个贮藏期间,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组和保鲜液组失重率上升幅度与腐烂率均低于CK1和CK2组。

果蔬在采收后由于蒸腾和呼吸过程往往会失水减重^[15],可能与辣椒采后果实自身呼吸作用、蒸腾失水和病原菌感染导致腐烂失水有关。由图2a可知,第20d时,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组辣椒失重率为6.88%,与保鲜液组(7.71%)、CK1(10.01%)、CK2(9.92%)组相比分别降低了10.77%、31.27%和30.65%,均呈显著性差异($p < 0.05$)。可能由于丁香-肉桂提取液复合涂膜剂涂膜辣椒后,表面会形成薄膜,能抑制果实的呼吸作用和失水,从而降低其失重率。

由图2b可知,贮藏10d内,四组腐烂率均上升缓慢,各组腐烂率均低于5.00%,相互之间并无显著性差异($p > 0.05$),可能在贮藏初期,由于辣椒果实衰老程度低,以及自身的抗病性抑制了病原菌的侵染^[16]。贮藏15d时,CK1、CK2组腐烂率分别上升至

13.33%、11.67%，与丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组（3.33%）、保鲜液组（5.00%）呈显著性差异（ $p < 0.05$ ），可能由于果实的后熟衰老、高 CO_2 伤害、低 O_2 伤害和病原菌侵染等共同作用下造成腐烂率的急剧上升^[17]。贮藏 20 d 时，丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组腐烂率（13.30%）均低于其它三组，与保鲜液组（18.33%）、CK1 组（46.67%）和 CK2 组（41.67%）相比分别降低了 27.28%、71.44%和 68.01%。表明丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组能抑制辣椒采后病原菌的生长，防腐效果良好。

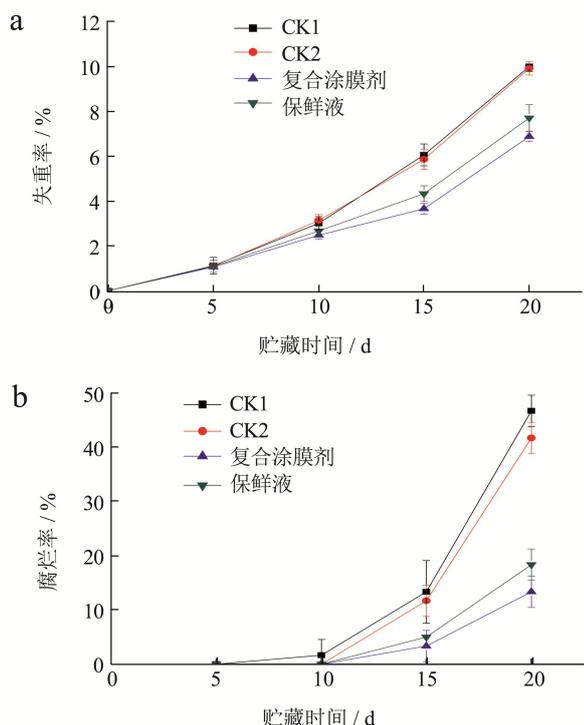


图2 丁香-肉桂提取液复合涂膜剂对辣椒失重率和腐烂率的影响
Fig.2 Effects of clove-cinnamon extract composite coating agent on weight loss rate and rot rate of pepper

2.3 丁香-肉桂提取液复合涂膜剂对辣椒细胞膜通透性与丙二醛含量的影响

由图 3 可知，贮藏期间，四组的相对电导率与辣椒果实中 MDA 含量总体呈上升趋势。由图 3a 可知，丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组和保鲜液组的相对电导率的上升幅度一直低于 CK1 组和 CK2 组。贮藏第 10 天，丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组和保鲜液组相对电导率分别为 33.50%、31.32%，CK1 和 CK2 的相对电导率分别为 38.67%、35.53%，丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组和保鲜液组相对电导率相差不大（ $p > 0.05$ ），但与 CK1、CK2 组呈显著性差异（ $p < 0.05$ ）。贮藏第

20 天时，丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组的相对电导率（38.71%）比保鲜液组（36.22%）高 6.87%，但分别比 CK1（50.04%）、CK2（45.37%）组低 22.64%、14.68%，并呈显著性差异（ $p < 0.05$ ）。整个贮藏期间，CK1 组和 CK2 组差别不大（ $p > 0.05$ ）。结果表明丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组和保鲜液组能使相对电导率的增速减缓，减轻了细胞质膜的过氧化，使细胞膜透性降低，从而延缓辣椒采后的衰老速度^[18]。

由图 3b 可知，贮藏第 5 天，丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组（0.46 nmol/g）辣椒果实中 MDA 含量与保鲜液组（0.43 nmol/g）相差不大（ $p > 0.05$ ），但与 CK1 组（0.61 nmol/g）和 CK2 组（0.63 nmol/g）呈显著性差异（ $p < 0.05$ ）。贮藏第 20 天，丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组中辣椒果实 MDA 含量分别比 CK1 组、CK2 组低 26.29%、27.08%。在整个贮藏期内，丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组和保鲜液组中辣椒果实的 MDA 含量上升幅度一直低于 CK1 组和 CK2 组，而 CK1 组和 CK2 组之间并无显著性差异（ $p > 0.05$ ）。结果表明丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组能减少 MDA 含量的积累，减缓细胞膜损伤程度和膜通透性的增加，维持细胞膜的完整性，更有利于辣椒贮藏期的延长^[19]。

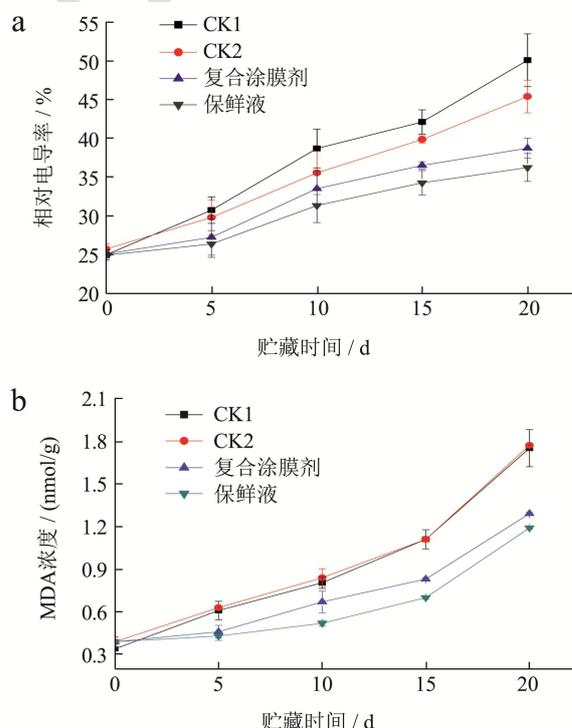


图3 丁香-肉桂提取液复合涂膜剂对辣椒电导率与丙二醛含量的影响
Fig.3 Effects of clove-cinnamon extract composite coating agent on electrical conductivity and malondialdehyde content of pepper

2.4 丁香-肉桂提取液复合涂膜剂对辣椒呼吸强度与 Vc 的影响

由图 4 可知,在贮藏期间,辣椒采后呼吸强度与 Vc 含量总体呈下降趋势。由图 4a 可知丁香-肉桂复合涂膜剂组和保鲜液组呼吸强度始终低于 CK1 和 CK2 组,贮藏第 5 d,丁香-肉桂提取液复合涂膜组、保鲜液组呼吸强度分别为 6.89、6.88 mg/(kg·h),显著小于 CK1 的呼吸强度 8.22 mg/(kg·h)和 CK2 的呼吸强度 7.96 mg/(kg·h) ($p < 0.05$)。贮藏第 20 d,丁香-肉桂提取液复合涂膜组的呼吸强度 4.38 mg/(kg·h)略高于保鲜液组 4.17 mg/(kg·h),但分别比 CK1 组 5.0 mg/(kg·h)、CK2 组 4.71 mg/(kg·h)呼吸强度低 13.61%、7.01%,与 CK1 组差异显著 ($p < 0.05$)。结果表明丁香-肉桂提取液复合涂膜组能抑制辣椒采后的呼吸作用^[20]。

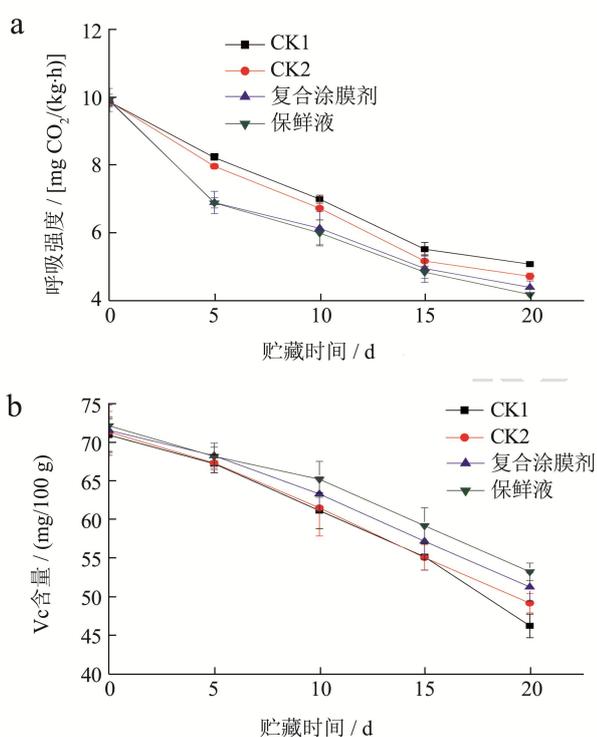


图4 丁香-肉桂提取液复合涂膜剂对辣椒呼吸强度与 Vc 的影响
Fig.4 Effects of clove-cinnamon extract composite coating agent on respiration intensity and Vc of pepper

由图 4b 可知,随着贮藏期的延长,辣椒中 Vc 含量一直下降。但丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组的下降幅度一直低于 CK1 组和 CK2 组。贮藏第 10 天内,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组与保鲜液组、CK1 组、CK2 组之间的 Vc 含量相差不大 ($p > 0.05$)。贮藏第 20 天时,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组的 Vc 含量 (51.34 mg/100 g) 略低于保鲜液组 (53.31 mg/100 g),但分别比 CK1 组 (46.32 mg/100 g)、CK2 组 (49.25 mg/100 g) 的 Vc

含量高 10.87%、4.08%,并呈显著性差异 ($p < 0.05$)。贮藏 15 d 内,CK1 组和 CK2 组的 Vc 含量相差不大 ($p > 0.05$),但贮藏第 20 天,CK1 组和 CK2 组的 Vc 含量呈显著性差异 ($p < 0.05$),表明经清水浸泡后的辣椒 Vc 含量下降速率更快。Vc 是辣椒果实中重要的营养品质指标,可以清除活性氧自由基,而丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组能有效减缓辣椒果实 Vc 的降解速率,保持果蔬细胞壁的完整性,延缓果实内部 Vc 分解^[21],保持其营养品质。

2.5 丁香-肉桂提取液复合涂膜剂对辣椒叶绿素、总酚、类黄酮含量的影响

由图 5a 可知,随着贮藏时间的延长,四组的叶绿素含量总体呈下降趋势,但丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组的下降幅度最大。贮藏前 5 d,各组之间无显著性差异 ($p > 0.05$)。贮藏第 10 d,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组的叶绿素含量下降至 0.049 mg/g,与保鲜液组 (0.059 mg/g)、CK1 组 (0.053 mg/g)、CK2 组 (0.055 mg/g) 呈显著性差异 ($p < 0.05$)。第 20 d 时,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组的叶绿素含量分别比保鲜液组、CK1 组、CK2 组低 35.06%、14.92%、17.57%,可能由于丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组中的丁香-肉桂提取液会在一定程度上促进叶绿素的分解。在整个贮藏期间,CK1 组和 CK2 组之间叶绿素含量相差不大,并无显著性差异 ($p > 0.05$)。由此表明保鲜液组对辣椒有一定的护绿效果,而丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组会在一定程度上促进叶绿素的降解,其原因有待进一步研究。

由图 5b 可知,整个贮藏期间,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组总酚含量均高于其余三组,贮藏第 10 天,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组的总酚含量为 0.48 mg/g,分别与保鲜液组、CK1 组和 CK2 组的 0.31、0.28、0.32 mg/g 差异显著 ($p < 0.05$),贮藏第 15 天,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组总酚含量达到最大值,分别比保鲜液组、CK1 组、CK2 组高 25.25%、52.38%和 30.61%,并呈显著性差异 ($p < 0.05$),而保鲜液组和 CK1 组、CK2 组相差不大 ($p > 0.05$),整个贮藏期间,CK1 组和 CK2 组的总酚含量相差不大 ($p > 0.05$),表明丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组能诱导辣椒果实中总酚含量的升高,减缓酚类物质的消耗,从而减缓褐变的发生速率,延缓衰老病变速度^[22]。

由图 6 可知,贮藏 10 d 内,四个处理组的类黄酮含量上升缓慢,差异不显著 ($p > 0.05$)。随后各处理组类黄酮含量上升较快。黄酮类物质具有抑菌、抗氧化

等功能,从植物中提取生理活性成分应用于肉类及果蔬的保鲜,既能延长产品货架期又对人体无副作用^[23]。贮藏第20 d,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组和保鲜液组的类黄酮含量分别为1.32、1.05 mg/g,均与CK1组和CK2组的0.95、1.18 mg/g 差异显著 ($p < 0.05$)。丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组辣椒果实的类黄酮含量分别比保鲜液组、CK1组、CK2组高25.71%、38.95%、11.86%。整个贮藏期间,CK1组和CK2组的类黄酮含量无显著性差异 ($p > 0.05$)。结果说明丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组能有效诱导辣椒果实类黄酮含量的提高,增强抗病性^[24],从而延长贮藏期。

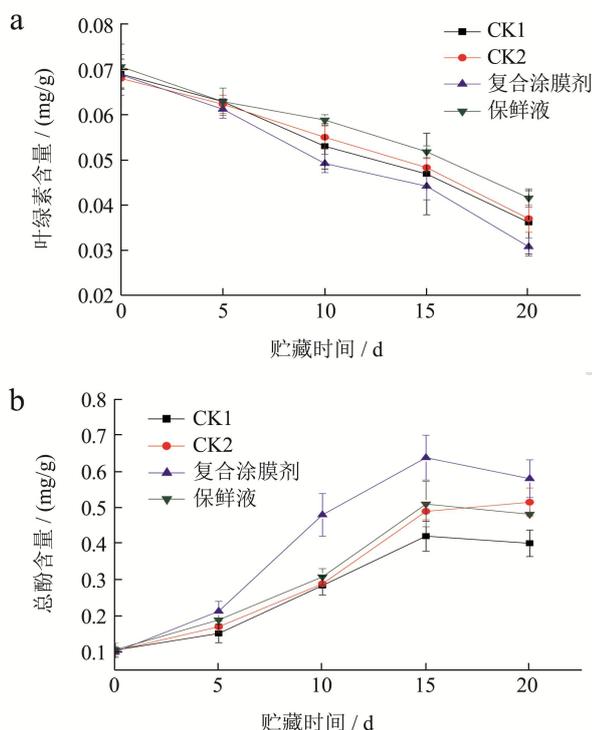


图5 丁香-肉桂提取液复合涂膜剂对辣椒叶绿素、总酚含量的影响

Fig.5 Effects of clove-cinnamon extract composite coating agent on chlorophyll and total phenolic content of pepper

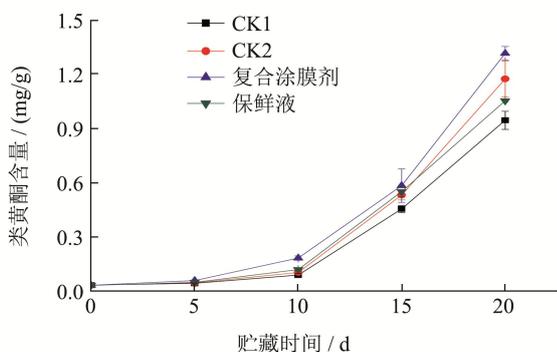


图6 丁香-肉桂提取液复合涂膜剂对辣椒类黄酮的影响

Fig.6 Effects of clove-cinnamon extract composite coating agent on capsicum flavonoids

2.6 丁香-肉桂提取液复合涂膜剂对辣椒相关酶活性的影响

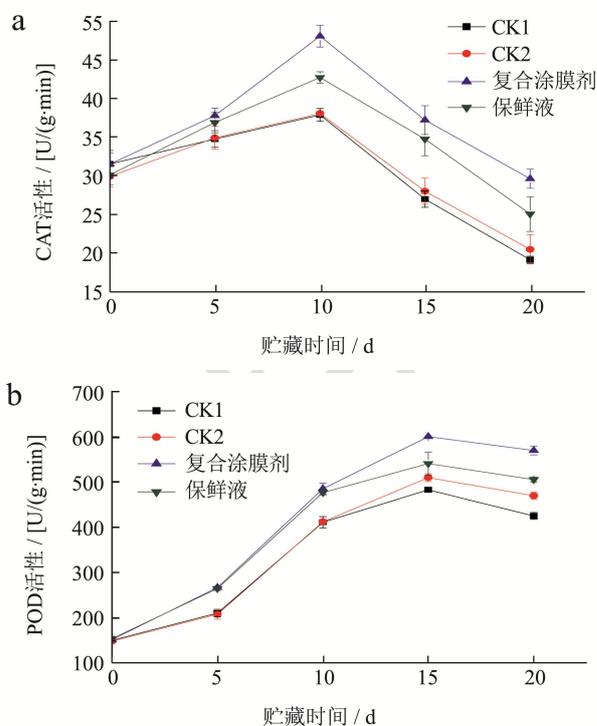


图7 丁香-肉桂提取液复合涂膜剂对辣椒CAT与POD的影响

Fig.7 Effects of clove-cinnamon extract composite coating agent on CAT and POD of pepper

由图7a可知,贮藏期间,辣椒果实的CAT活性呈先上升后下降的变化,各组的CAT活性峰值均出现在第10天。CAT能清除活性氧化自由基,维持活性氧自由基平衡,其活性能作为判断果实耐藏性与衰老的标志^[25,26]。整个贮藏期间,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组辣椒果实的CAT活性均高于另外三组,贮藏第10天时,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组、保鲜液组、CK1组和CK2组的CAT活性分别为48.00、42.67、37.82、38.00 U/(g·min),丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组和保鲜液组、CK1组、CK2组的CAT活性呈显著性差异 ($p < 0.05$)。贮藏10天后,各组辣椒果实中CAT活性呈下降趋势,但丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组的CAT活性下降幅度低于保鲜液组、CK1组、CK2组。贮藏第20 d时,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组辣椒果实CAT活性分别比保鲜液组、CK1组、CK2组高18.33%、54.93%和44.69%,并呈显著性差异 ($p < 0.05$)。整个贮藏期间CK1组和CK2组的CAT酶活性差异不显著 ($p > 0.05$)。结果表明丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组能诱导辣椒果实中CAT活性的提高,与刘珣^[27]研究结论一致,增强果实的抗氧化防御

系统能力,有利于提高果实的抗病性,从而延缓果实的衰老进程。

由图 7b 可知,POD 活性总体呈先上升后下降的趋势,这与前人对果蔬保鲜的研究上已得到论证^[28]。在整个贮藏期间,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组辣椒果实的 POD 活性均高于 CK1 和 CK2。且在第 5 天,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组和 CK1 组、CK2 组差异显著 ($p < 0.05$)。贮藏第 15 天,各组的辣椒果实中 POD 活性均出现峰值。复合涂膜剂组、保鲜液组、CK1 和 CK2 组的 POD 活性分别为 598.45、540.95、482.98、509.89 U/(g·min),丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组和其余三组 POD 活性呈显著性差异 ($p < 0.05$)。贮藏第 20 天,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组辣椒果实中 POD 活性分别比保鲜液组、CK1 组、CK2 组高 11.59%、32.74%、20.12%,并呈显著性差异 ($p < 0.05$)。结果表明丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组能显著诱导辣椒果实中 POD 活性,增强辣椒采后果实的抗病性,从而减少腐烂率,有利于辣椒贮藏期的延长。

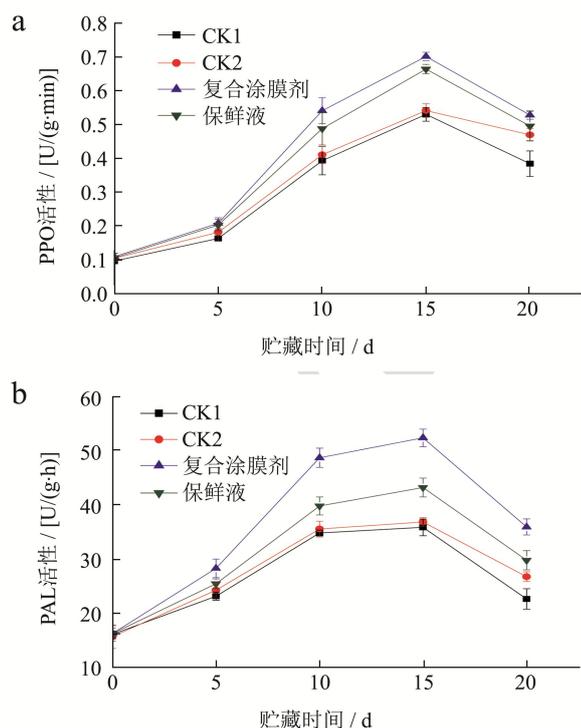


图 8 丁香-肉桂提取液复合涂膜剂对辣椒 PPO 与 PAL 的影响

Fig.8 Effects of clove-cinnamon extract composite coating agent on PPO and PAL of pepper

由图 8a 可知,在整个贮藏期间,辣椒采后果实 PPO 活性呈先升高后下降的趋势。丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组 PPO 活性均高于保鲜液组、CK1 组和 CK2 组。且在第 10 天,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组和 CK1 组、CK2 组差异显著 ($p < 0.05$)。贮藏第 15 天,各组均达到峰值,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组 PPO

活性分别比 CK1 组和 CK2 组高 32.07%和 29.63%,并呈显著性差异 ($p < 0.05$)。在整个贮藏期间,CK1 组和 CK2 组 PPO 活性无显著性差异 ($p > 0.05$)。表明丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组能诱导辣椒果实中 PPO 活性的提高,PPO 催化酚类化合物氧化形成相应的醌类化合物,可能与果蔬的抗病性相关^[29],从而增强其抗病性,延长辣椒果实的贮藏期。

由图 8b 可知,整个贮藏期间,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组辣椒果实的 PAL 活性均高于保鲜液组、CK1 组和 CK2 组,且在第 10 天,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组和保鲜液组、CK1 组、CK2 组呈显著性差异 ($p < 0.05$)。贮藏第 15 d,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组、保鲜液组、CK1 组和 CK2 组的辣椒 PAL 活性分别上升至 52.82、43.21、35.88、36.86 U/(g·h),且丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组 PAL 活性与其余三组差异显著 ($p < 0.05$)。贮藏第 20 天,丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组辣椒果实的 PAL 活性分别比保鲜液组、CK1 组和 CK2 组高 20.60%、56.78%和 34.14%,并呈显著性差异 ($p < 0.05$)。PAL 作为酚类物质合成的第一关键酶,而 PPO 和 POD 以消耗酚类物质的方式发生酶促反应^[30],丁香-肉桂提取液复合涂膜剂组能诱导辣椒果实 PAL 活性的提高,从而增强其抗病性。

3 结论

在本实验中,随着贮藏期延长,辣椒采后的失重率和腐烂率均呈上升趋势,但经丁香-肉桂提取液复合涂膜处理的辣椒的失重率和腐烂率在贮藏 20 d 时均显著低于 CK1 组和 CK2 组,且在贮藏期间丁香-肉桂复合涂膜剂处理后的辣椒果实中防御体系酶活性一直高于 CK1 组和 CK2 组,减缓了细胞脂过氧化程度,增强辣椒的抗病性,从而延缓了辣椒的后熟衰老。另外丁香-肉桂提取液复合涂膜剂可在辣椒表面形成一层薄膜,从而增强表皮的防护作用,调节阻湿性,抑制辣椒果实表面病原菌的生长以及呼吸作用,减少水分的蒸腾,降低辣椒的失重率,从而达到提高果实保鲜效果的作用。

参考文献

- [1] 高伦江,曾小峰,贺肖寒,等.辣椒采后贮藏生理及保鲜技术研究进展[J].南方农业,2019,13(1):96-100
- [2] Ramjattan Rabindra, Umaharan Pathmanathan. Interrelationships between yield and its components in hot pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) [J]. Scientia Horticulturae, 2021, 287: 110254
- [3] Kasampalis Dimitrios S, Tsouvaltzis Pavlos, Ntouro

- Konstantinos, et al. Nutritional composition changes in bell pepper as affected by the ripening stage of fruits at harvest or postharvest storage and assessed non-destructively [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2021, 102(1): 445-454
- [4] Zoran Ilić, Radmila Trajković, Yaacov Perzelan, et al. Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on postharvest storage quality in green bell pepper fruit [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2012, 5(7): 2758-2767
- [5] Manish Kumar, Kambham Madhavi Reddy, Subbaraman Sriram, et al. Inheritance of resistance in chilli against root and collar rot caused by *Phytophthora capsici* [J]. *Journal of Plant Pathology*, 2021, 103: 769-775
- [6] Nadia Jabeen, Arshad Javaid, Amna Shoaib, et al. Management of southern blight of bell pepper by soil amendment with dry biomass of *Datura metel* [J]. *Journal of Plant Pathology*, 2021, 103: 901-913
- [7] 祁腾. *Lactobacillus paracasei* WX322 产细菌素的挖掘、异源表达及其对辣椒细菌性软腐病的控制研究[D]. 重庆: 西南大学, 2021
- [8] 任璐, 周建波, 刘慧平, 等. 辣椒炭疽病菌 *Colletotrichum gloeosporioides* 对啞氧菌酯的敏感基线及抗性突变体生物学性状[J]. *植物保护*, 2017, 43(6): 29-37
- [9] Kreider Jan J, Pen Ido, Kramer Boris H. Antagonistic pleiotropy and the evolution of extraordinary lifespans in eusocial organisms [J]. *Evolution Letters*, 2021, 5(3): 178-186
- [10] 田潇潇, 姜秉政, 曹振木, 等. 中国辣椒 (*Capsicum chinense*) 对象耳豆根结线虫的抗性鉴定及机理研究[J]. *热带作物学报*, 2022, 1: 165-172
- [11] 王麟, 陈伟, 刘文涛. 基于黄芩/大黄提取液的聚乙烯醇薄膜制备及其对圣女果的保鲜效果[J]. *湖南包装*, 2021, 36(2): 18-21, 34
- [12] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 6
- [14] 王博宇, 郭红莲, 李喜宏, 等. 采后青椒黑斑病的抗病性诱导初步研究[J]. *食品科技*, 2009, 34(1): 57-59
- [15] Duong Van Hung, Shengnan Tong, Fumihiko Tanaka, et al. Controlling the weight loss of fresh produce during postharvest storage under a nano-size mist environment [J]. *Journal of Food Engineering*, 2011, 106(4): 325-330
- [16] 李楠. 脂类和脱落酸提高采后绿辣椒抗冷性的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2020
- [17] 李忠, 常雪花, 郭铁群. 青椒长久贮藏的技术研究[J]. *食品工业*, 2015, 36(9): 140-142
- LI Zhong, CHANG Xuehua, GUO Tiejun. Study on long-term storage technology of green pepper [J]. *Food Industry*, 2015, 36(9): 140-142
- [18] 曹婷婷, 张萌, 程紫薇, 等. 高湿贮藏对茄子冷害及抗氧化系统的影响[J]. *核农学报*, 2021, 35(9): 2075-2082
- [19] Ali, Esmat F, Hassan, et al. Impact of chitosan nanoparticles edible coating on shelf-life extension and postharvest quality of coriander herb [J]. *Food Processing and Preservation*, 2021, 46(2): 16238
- [20] Morteza Soleimani Aghdam, Samad Bodbodak. Physiological and biochemical mechanisms regulating chilling tolerance in fruits and vegetables under postharvest salicylates and jasmonates treatments [J]. *Scientia Horticulturae*, 2013, 156: 73-85
- [21] Gao H, Zhang Z K, Chai H K, et al. Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 118: 103-110
- [22] 张晓宇, 王艳颖, 王红岩, 等. 间歇升温对采后辣椒冷害发生及生理变化的影响[J]. *现代园艺*, 2019, 21: 16-18
- [23] 李阳, 曹婷, 安琪, 等. 柑橘中黄酮类化合物的提取技术、功能特性及应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2022, 9: 439-446
- [24] XIAO Yanhui, ZHANG Jieli, JIANG Yuanyuan, et al. Cinnamic acid treatment reduces the surface browning of fresh-cut taro [J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 291: 110613
- [25] Meng Zan, Wang Tong, Malik Aman Ullah, et al. Exogenous isoleucine can confer browning resistance on fresh-cut potato by suppressing polyphenol oxidase activity and improving the antioxidant capacity [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2021, 184: 111772
- [26] CHEN Chuying, CAI Nan, WAN Chunpeng, et al. Carvacrol delays phomopsis stem-end rot development in pummelo fruit in relation to maintaining energy status and antioxidant system [J]. *Food Chemistry*, 2021, 372: 131239-131239
- [27] 刘珣. 辣椒采后生理及贮藏保鲜技术研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2008
- [28] GAO Zhe, ZHANG Ruichang, XIONG Bo. Management of postharvest diseases of kiwifruit with a combination of the biocontrol yeast *Candida oleophila* and an oligogalacturonide [J]. *Biological Control*, 2021, 156: 104549
- [29] Zehra Andleeb, Raytekar Namita Anant, Meena Mukesh, et al. Efficiency of microbial bio-agents as elicitors in plant defense mechanism under biotic stress: a review [J]. *Current Research in Microbial Sciences*, 2021, 2: 100054
- [30] Jiang M, Pang X, Liu H, et al. Iturin A induces resistance and improves the quality and safety of harvested cherry tomato [J]. *Molecules*, 2021, 26(22): 6905

现代食品科技