

桂枝及其复合涂膜 对‘新余蜜橘’常温贮藏效果的研究

陈玉环, 彭旋, 陈楚英, 高阳, 万春鹏, 陈金印*

(江西农业大学农学院, 江西省果蔬保鲜与无损检测重点实验室, 江西南昌 330045)

摘要:为延长‘新余蜜橘’常温贮藏时间, 维持其较好的果实品质, 以桂枝提取液及其复合涂膜保鲜剂对‘新余蜜橘’进行涂膜处理, 研究其常温贮藏条件下的果实生理及保鲜效果。结果表明, 与对照相比, 各处理均能有效地降低果实的失重率和腐烂率, 延缓果实可溶性固形物(TSS)、总糖及维生素C(V_C)含量峰值的到达及其含量的下降, 降低可滴定酸(TA)的降解速率; 各处理均能抑制丙二醛(MDA)的积累, 维持果实后期较高的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性, 延缓苯丙氨酸解氨酶(PAL)及多酚氧化酶(PPO)活性峰值的到达且均与对照差异显著。因此, 桂枝提取液及复合涂膜处理对‘新余蜜橘’果实保持了较好的贮藏品质, 延缓了果实的衰老进程, 且以桂枝提取液复合膜处理(处理1)效果最优, 桂枝复合膜在‘新余蜜橘’贮藏保鲜应用有较好的前景。

关键词:桂枝提取液, 复合涂膜, 新余蜜橘, 常温贮藏, 保鲜效果

Research of effects of *Ramulus cinnamomi* and combined coating on ‘Xinyu tangerine’ during ambient temperature storage

CHEN Yu-huan, PENG Xuan, CHEN Chu-ying, GAO Yang, WAN Chun-peng, CHEN Jin-yin*

(Jiangxi Agricultural University, College of Agronomy, Jiangxi Key Laboratory for Postharvest Technology and Non-destructive Testing of Fruits & Vegetables, Nanchang 330045, China)

Abstract: To keep a better quality and prolong the storage time of ‘Xinyu tangerine’. The preservation effects of ‘Xinyu tangerine’ during ambient temperature storage were conducted with *Ramulus cinnamomi* extracts and combined coating. In comparison with the control group, during the storage period, treatments with *Ramulus cinnamomi* or combined coating could decrease the weight loss and decay rate of fruit effectively, substantially delayed the reduction of total soluble solids (TSS), Vitamin C (V_C) and total sugar content, and reduce the degradation rate of titratable acidity (TA); those treatments also can obviously restrain the increasement of MDA content, keep higher activities of SOD, CAT and POD at the later storage period, delay the arrival of PAL and PPO top activity and present a significant difference with the control group. It suggested that treatments with plant extracts and coating had effects on the storage quality, delay senescence process and prolong the shelf life of ‘Xinyu tangerine’, and *Ramulus cinnamomi* extracts combined coating (treatment 1) present the best effect, which provided feasibility for the use of *Ramulus cinnamomi* extracts combined coating in the storage of ‘Xinyu tangerine’ as a kind of biological antistaling agent.

Key words: *Ramulus cinnamomi* extracts; combined coating; Xinyu tangerine; ambient temperature; preservation effects

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2016)11-0323-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.11.058

‘新余蜜橘’是江西新余科技工作者于1977年从‘黄岩本地早’群体中选育出来的优良品种, 具有良好的遗传稳定性, 结果早、品质优、抗寒且适应性

强等优良特性^[1], 深受消费者和业界人士的一致好评, 是继赣南脐橙、南丰蜜橘之后的第三大柑橘品牌, 种植面积和总产量不断扩增, 总产值颇丰, 已

收稿日期: 2015-11-19

作者简介: 陈玉环(1990-), 女, 在读硕士生, 主要从事果蔬采后生理与贮藏技术, E-mail: chenyh5207@126.com。

* 通讯作者: 陈金印(1962-), 男, 博士, 教授, 主要从事果蔬采后生理与贮藏技术, E-mail: jinyinchen@126.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目(31460533); 江西省教育厅科技落地计划项目(111); 江西省教育厅科技项目(GJJ-14287); 江西省博士后科研择优资助项目(2013KY31); 留学人员科技活动项目(人社厅函[2013]277号); 中国博士后科学基金第54批面上项目(2013M541870)资助。

成为广大果农发家致富的产业之一^[2]。但由于皮薄、酥脆、易碰伤等特点致其不耐贮藏,贮藏过程中易发生青霉病、绿霉病、蒂腐病及酸腐病等柑橘采后病害,严重影响果实的商品价值,造成很大的资源浪费和经济损失,极大地制约其相关产业的健康发展。因此,新型贮藏保鲜技术的研究对‘新余蜜橘’产业的发展具有一定的现实意义。

桂枝(*Ramulus cinnamomi*),原名牡桂,性温味辛,毛茛目(*Ranunculales*)樟科(*Cinnamomum*)常绿乔木植物肉桂(*Cinnamomum cassia Presl.*)的干燥嫩枝,具有较好的抑菌^[3-5]、抗病毒^[6]、抗氧化^[7]及抗炎、抗过敏^[8-9]等药理作用;其提取物在植物病虫害的防治上也有效果,对常见的植物病原菌有一定的抑制作用^[4]。目前,国内外对其组成及药理作用有很多的研究^[7,9],但在柑橘保鲜运用上鲜有报道。本文根据课题组前期桂枝抑菌活性、活体损伤接种防效实验的筛选结果,以‘新余蜜橘’为试材,研究桂枝提取液及其复合涂膜处理对其果实贮藏特性的影响,对比了单一膜和复合膜处理对‘新余蜜橘’果实采后品质及生理生化变化的差异,拟选出优良的保鲜方法,为今后‘新余蜜橘’在商业贮藏中的应用提供必要的理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

‘新余蜜橘’ 2013年10月26日采于江西省新余市罗坊镇蜜橘示范园,人工采果,采摘后立即装箱,并于当天运至江西省果蔬保鲜与无损检测重点实验室,发汗预贮2 d。选择八至九成熟、果型大小一致、色泽均匀且无病虫害和机械损伤的果实作为实验用果,经清水洗果后置于阴凉通风处晾干。

桂枝提取液:100 mg/mL(活体防效研究结果),参考课题组前期提取方法^[10];桂枝50~60℃烘干后粉碎,过40目筛,称取粉末,并加入95%乙醇溶液超声波辅助浸提,经旋转蒸发仪浓缩后制得1 g药材/mL的粗提液,4℃保存备用;海藻酸钠:1.5%,柠檬酸:700 mg/L,均参照课题组前期的筛选结果。

JY202 电子天平 上海浦春计量仪器有限公司; YB-1000A 型高速多功能粉碎机 上海力箭机械有限公司; KQ-500B 超声波清洗机 昆山超声仪器有限公司; R-3 旋转蒸发仪 瑞士 BUCHI; LX-300 冷却水循环机 北京长流科学仪器有限公司; AU220 电子分析天平 日本岛津公司; 723B 可见分光光度计 天津市普瑞斯仪器有限公司; HH-6 恒温数显水浴锅 国华电器有限公司; RA-250WE 数显折光仪 日本 Kyoto 电子有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 实验设计 本实验设计了四个处理(表1),每个处理500个果;其中300个果用于统计腐烂率,分3组,每组100个果;20个果依次编号用于统计失重率,其余果用于取样测定指标。处理3将果实浸没于桂枝提取液中,3 min后捞起,处理1和处理2用柔软的海绵刷蘸膜剂对果实进行涂膜处理,清水洗果为对照组,自然晾干后用聚乙烯薄膜袋($d=0.04$ mm)对其

进行单果套袋,按测定项目统计数量将果装于白框中,处理后的果实均置于常温(20 ± 1)℃,相对湿度80%~90%的条件下贮藏。每10 d统计腐烂率并记录编号果重量,另取样测定各指标,每个处理每次取果15~20个进行测定。

表1 膜配方参数

Table 1 Parameters of the coating

分组	制膜成分参数		
	海藻酸钠 (%)	柠檬酸 (mg/L)	桂枝 (mg/mL)
对照	0	0	0
处理1	1.5	700	100
处理2	1.5	700	0
处理3	0	0	100

1.2.2 测定项目和方法 失重率:随机选取20个果依次标号称重统计;失重率(%)=(贮前称重-贮后称重)/贮前称重 $\times 100$

腐烂率:300个果分3组,每组100个果用于统计;腐烂率(%)=烂果数/总果数 $\times 100$

总糖:蒽酮比色法^[11];可滴定酸(TA):酸碱滴定法^[11],结果以柠檬酸的量换算; V_c 含量:2,6-二氯酚酚滴定法^[11];MDA含量:硫代巴比妥酸法^[12];SOD活性:NBT还原法^[12];CAT活性:过氧化氢法^[12];PPO活性:邻苯二酚氧化法^[12];POD活性:愈创木酚氧化法^[12];PAL活性:主要参考M.J.Stadnik的方法^[13],并加以修改;可溶性固形物(TSS):用RA-250WE数显折光仪测定。每个指标测定重复3次。

1.3 数据处理

采用Excel 2003进行数据统计处理及作图,并用SPSS 17.0软件进行Duncan式差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 涂膜处理对果实贮藏效果的影响

果蔬中的水分主要用于维持其新鲜度、脆度以及口感,采后贮藏过程中果实水分容易散失。由图1A可以看出,随着贮藏时间的延长,四个处理组果实的失重率都呈上升趋势,贮藏60 d,对照组失重率为7.38%,处理1、2、3分别为4.36%、4.71%和4.75%,各处理失重率均明显低于对照组,与对照组差异显著($p < 0.05$),说明经涂膜处理可以有效抑制水分的散失,以桂枝复合膜(处理1)处理的效果最优,且处理1与处理2、3差异明显,处理2和处理3无显著差异。

由图1B可看出,涂膜处理的果实腐烂率明显低于对照组,常温贮藏60 d,对照组腐烂率高达20.67%,而处理1、处理2和处理3的腐烂率分别为12.67%、15.67%和14.33%,各处理组与对照组均呈显著性差异($p < 0.05$),且桂枝复合膜(处理1)与对照组差异达极显著水平($p < 0.01$),说明涂膜处理能明显降低果实腐烂情况,其中桂枝复合膜剂能更好抑制烂果的发生,有效提高贮藏效果。

2.2 涂膜处理对果实主要品质成分的影响

如图2A所示,贮藏期间,各处理果实的TSS变

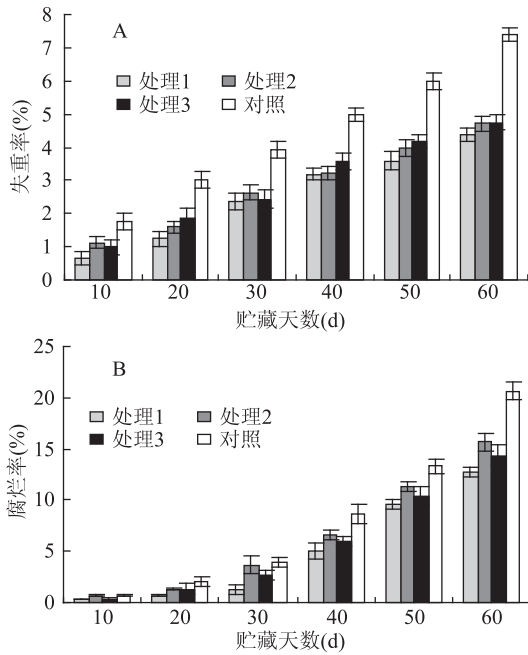


图1 桂枝及其复合膜处理对‘新余蜜橘’失重率(A)和腐烂率(B)的影响
Fig.1 Effects of *Ramulus cinnamomi* and combined coating on weight loss(A) and decay rate(B) of ‘Xinyu tangerine’

化趋势都是先升高后下降。贮藏前期, TSS 含量较低, 为 10.98%, 随着贮藏时间延长, TSS 的含量缓慢上升, 对照组在贮藏的第 20 d 达到峰值, 而其它组在 30 d 达到峰值, 之后含量均逐渐下降, 各处理组与对照组都存在显著差异 ($p < 0.05$)。

常温贮藏期间果实总糖含量变化如图 2B 所示, 变化趋势与 TSS 含量基本一致, 亦先逐渐上升后缓慢下降。处理 1、处理 2 和处理 3 均在贮藏 30 d 达到最大值, 而对照组则在贮藏 20 d 达到峰值, 峰值分别为 11.43%、11.24%、11.25% 和 11.16%。贮藏后期, 各处理组的总糖含量均高于对照组, 处理 1 与对照组达极显著差异水平 ($p < 0.01$), 说明复合桂枝提取液涂膜能更有效地推迟‘新余蜜橘’果实总糖含量峰值的达到且在后期维持较高的糖含量。

从图 2C 可以看出, 随着贮藏时间的延长, 各处理组果实的可滴定酸含量逐渐下降, 在果实整个贮藏期间, 涂膜处理组的 TA 含量高于对照组, 说明各处理对‘新余蜜橘’果实可滴定酸的降解有一定的抑制作用, 而该抑制作用以桂枝提取液的复合膜处理表现较明显。

维生素 C 会随果蔬的成熟衰老而逐渐被氧化分解。由图 2D 可知, 贮藏期间果实 V_c 含量是先上升后下降, 各处理在贮藏 30 d 达到最高值, 而对照组在 20 d 达到峰值。贮藏 60 d, 处理 1、处理 2 和处理 3 的 V_c 含量均高于对照组, 每 100 g 果肉中含 V_c 量分别为 17.85、17.26、17.38 和 16.98, 处理 1 与对照组和处理 2 差异极显著 ($p < 0.01$), 与处理 3 差异显著 ($p < 0.05$), 说明桂枝提取液复合涂膜处理能更好延缓‘新余蜜橘’果实中 V_c 的氧化分解。

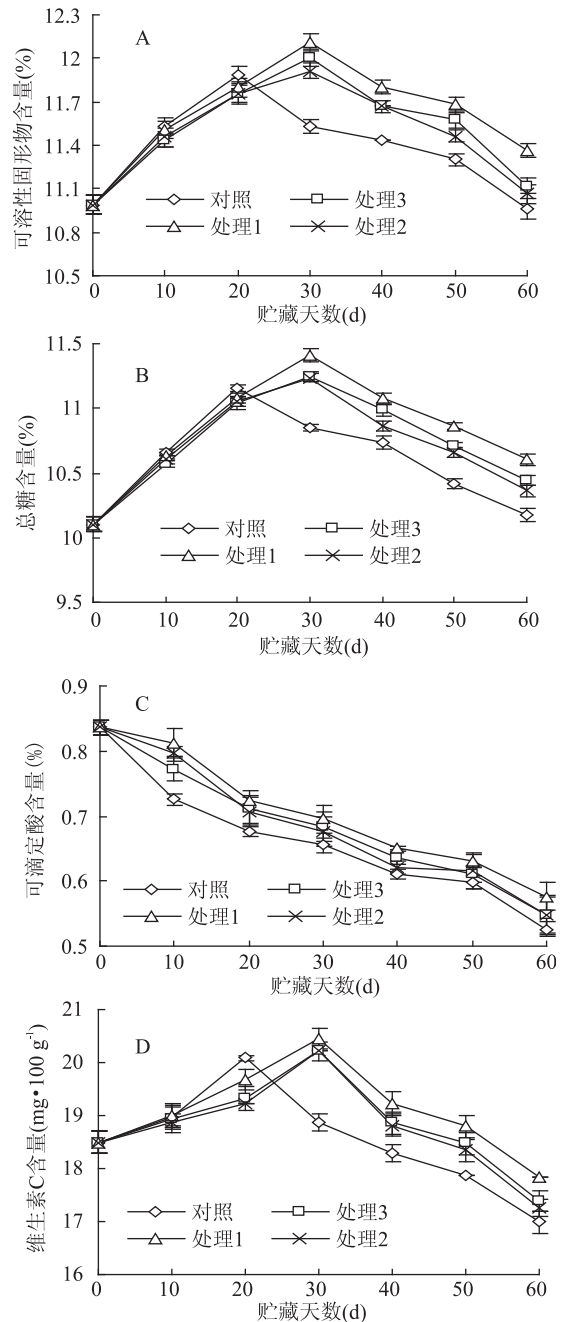


图2 桂枝及其复合膜对‘新余蜜橘’可溶性固形物(A)、总糖(B)、可滴定酸(C)和 V_c (D) 含量的影响
Fig.2 Effects of *Ramulus cinnamomi* extracts and combined coating on TSS(A), total sugar(B), titratable acidity(C) and Vitamin C(D) content of ‘Xinyu tangerine’

2.3 涂膜处理对果实 MDA 含量和抗氧化酶活性的影响

丙二醛 (MDA) 是膜脂过氧化过程中的终产物, 其含量的高低可以反映出植物遭受逆境伤害的程度, MDA 含量越高, 则反映果实伤害程度越大。由图 3A 可以看出, 整个贮藏过程期间, 果实 MDA 含量逐步上升, 各处理组的含量都低于对照组, 且处理 1 一直维持较低水平, 至贮藏后期, 处理 1 与对照组差异显著 ($p < 0.05$), 说明桂枝提取液复合涂

膜能有效抑制果实膜脂过氧化程度,减少组织伤害。

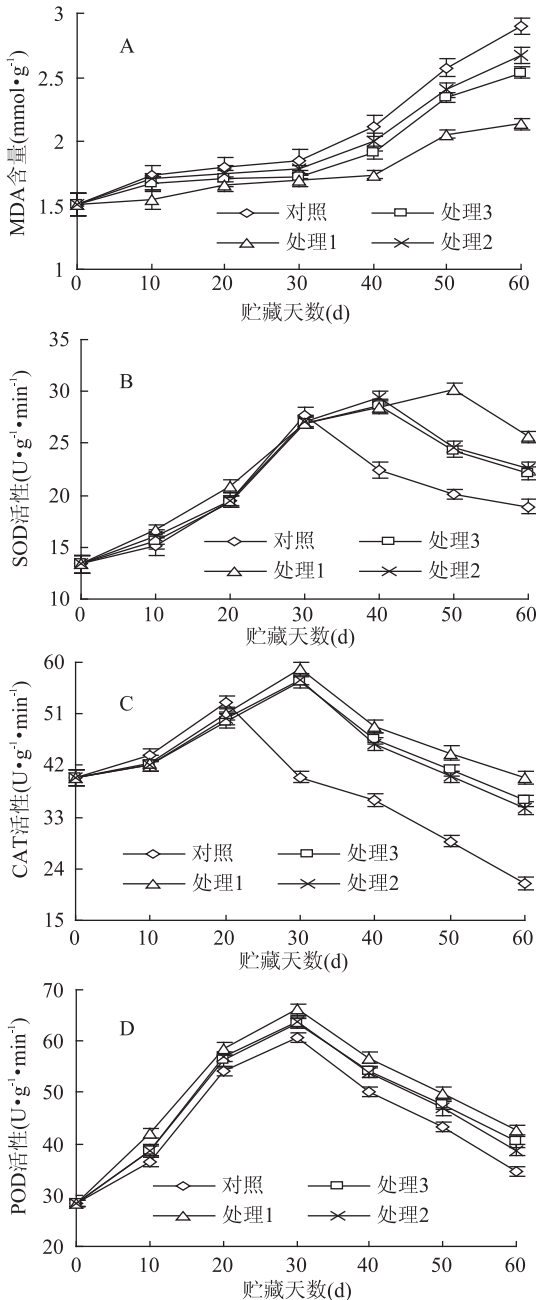


图3 桂枝及其复合膜对‘新余蜜橘’MDA含量(A)、SOD(B)、CAT(C)和POD(D)活性的影响

Fig.3 Effects of *Ramulus cinnamomi* and combined coating on MDA content (A), SOD (B), CAT (C) and POD (D) activity of ‘Xinyu tangerine’

超氧化物歧化酶(SOD)是生物体内普遍存在的一种参与氧代谢的金属酶,该酶与植物的衰老及抗逆性密切相关,是一种重要的保护酶。从图3B可知,SOD活性先缓慢上升后缓慢下降,对照组在贮藏30 d达峰值,为 $27.75 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$,而处理2和处理3在贮藏40 d达最大,分别为 $29.46 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 和 $28.63 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$,处理1在贮藏50 d达峰值,为 $30.26 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 。贮藏60 d,处理1的SOD活性明显高于其它各组,并呈极显著差异($p < 0.01$)。

如图3C所示,贮藏期间,CAT活性的变化趋势为先升后降。对照组在贮藏20 d达最大值,而各处理组较对照组晚10 d达到峰值;贮藏后期,各处理组CAT活性均高于对照组,且达显著水平($p < 0.05$),处理1与对照呈极显著差异($p < 0.01$),说明桂枝提取液复合涂膜处理能有效维持较高的CAT活性,减少组织的氧化程度。

过氧化物酶(POD)是植物体内一种重要的氧化还原酶,与果蔬的成熟衰老过程、抗病、抗逆境等过程有密切关系。由图3D可以看出,贮藏过程中,四个处理组样品的POD活性均为先上升后下降的趋势,在30 d都达到峰值;贮藏60 d,处理1的活性值明显高于其它各组,且与对照组差异极显著($p < 0.01$),处理2与处理3差异不显著。

2.4 涂膜处理对果实抗病性酶活性的影响

苯丙氨酸解氨酶(PAL)和多酚氧化酶(PPO)与植物抗病性的关系已被广泛研究,二者在植物次生代谢产物的形成过程中以及抗病代谢中发挥重要的作用,其活性高低控制着植物体内多种抗菌物质的合成,主要包括酚类代谢系统中的苯丙素、木质素、香豆素及醌类等抗菌次生代谢产物的形成而发挥植物抗病作用。由图4A可知,PAL活性变化在贮藏过程中是先增加后降低,对照组比处理组先达到活性峰值,各处理组在贮藏50 d达最大,贮藏后期,各处理组与对照组均呈极显著差异($p < 0.01$),说明涂膜处理能有效地延缓PAL活性峰值的到达及贮藏后期酶活性的下降速率。

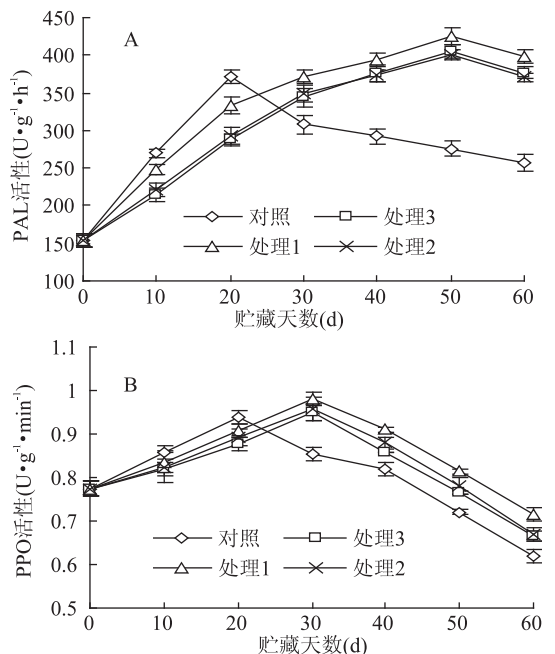


图4 桂枝及其复合膜对‘新余蜜橘’PAL(A)和PPO(B)活性的影响

Fig.4 Effects of *Ramulus cinnamomi* and combined coating on PAL (A) and PPO (B) activity of ‘Xinyu tangerine’

各组果实的PPO活性变化如图4B所示,贮藏期间酶活性值先上升到峰值后再缓慢下降,对照组在

20 d 达峰值,而各处理组均在贮藏 30 d 达峰值,贮藏后期,各处理组的 PPO 活性值均高于对照组,且与对照组差异显著($p < 0.05$),处理 1 与对照组差异极显著($p < 0.01$),处理 2 与处理 3 无显著性差异。

3 讨论与结论

涂膜和浸果处理是果蔬贮藏辅助技术中涂膜保鲜手段,涂膜保鲜主要根据微气调理论,果蔬涂抹上膜剂,风干后形成半透膜可覆盖表面的孔隙,从而抑制果蔬的呼吸和蒸腾作用,降低贮藏期间果蔬的失重率,延长果蔬的货架期^[4]。中药桂枝除了在医学上有良好的药理及临床作用,其醇提取液在植物病害上也有较好的抑菌效果,能有效阻止微生物的入侵和滋生,减少烂果现象发生,从而可以有效延长果蔬的贮存时间^[4];而海藻酸钠是一种具有抑菌和保湿性能的多糖类成膜剂,可在果蔬表面形成一个半透性薄膜,阻碍果蔬的蒸腾作用,减少果蔬水分的流失,对贮藏间的果蔬亦有保鲜效果^[15-16];柠檬酸是抗氧化剂,能延缓果蔬的衰老以及品质的恶化^[17]。实验结果中,各涂膜处理的失重率和腐烂率皆低于对照组,且以复合桂枝提取液的效果更佳,这与陈楚英、丘苑新等^[18-19]涂膜研究结果相一致;结果还显示,与对照组相比,桂枝提取液复合涂膜处理果实能维持着较高的糖、酸、 V_c 及 TSS 值。

植物在逆境条件下遭受的伤害或衰老,与活性氧积累诱发的膜脂过氧化作用密切相关,MDA 是膜脂过氧化的重要产物之一,其含量的高低反应出伤害程度。贮藏期间,物理伤害(恶劣的环境如过高或过低的温度,机械损伤)、生理作用(自身呼吸作用等生理衰败)都能造成果蔬采后损失,但果蔬腐烂最主要还是受致病微生物的侵染(自带病原微生物以及外来病原微生物的侵染)。本研究发现,对照组在整个过程中都保持着高含量的 MDA,涂膜处理能有效降低 MDA 的积累,维持低水平的 MDA 含量以减缓各种因素对植物组织造成的伤害。

SOD 作为果蔬体内一种保护酶,在过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)的协同下,可以清除细胞自由基,减少自由基对膜的损伤,从而延缓细胞衰老。实验中,三者的变化趋势都是先上升后下降,在后期,各处理组的活性高于对照组,说明涂膜处理能延缓各酶活性下降,维持贮藏后期较高的活性值。

PAL 是参与植物体内苯丙烷代谢途径的关键酶,控制多种次生酚类化合物、类黄酮植色素及木质素等物质合成;PPO 能与酚类物质氧化从而形成对病菌毒性较高的醌类化合物,并参与木质素的合成。采后贮藏期间,各处理组都维持较高的 PAL 活性,延缓 PPO 活性峰值的增加并保持后期较高水平,以桂枝提取液复合涂膜的效果更为显著,说明中草药植物提取液复合涂膜能有效增强植物组织的抗病能力,抵御病菌入侵。

综合各项结果表明,常温贮藏条件下,涂膜及复合桂枝提取液涂膜处理均能显著降低‘新余蜜橘’果实的失重率和腐烂率,延缓 TSS、总糖、TA 及 V_c 含量

的降解,维持各抗性酶较高的活性水平,抑制 MDA 含量的积累,从而延缓果实贮藏过程中衰老和腐烂等现象的发生,复合其它抗性成分如抗氧化剂、植物源抗菌剂等的处理效果更佳,实验以处理 1 即桂枝提取液复合膜效果最好,因此桂枝提取液复合涂膜对柑橘特别是‘新余蜜橘’保鲜具有良好的推广价值。

参考文献

- [1] 黎小军,陈慧,简晓维.新余蜜桔的种植历史、现状及对策[J].农村经济与科技,2010,21(8):126-128.
- [2] 徐章彬,胡林英,饶兵英.从新余蜜桔产业看江西果业发展方向[J].现代园艺,2007,12(3):2-3.
- [3] 万里江,范正达,唐凤雷,等.桂枝挥发油的提取及抗菌实验的考察[J].海峡药学,2008,20(12):32-34.
- [4] 周梦娇,万春鹏,陈金印.桂枝提取物抑菌活性研究[J].食品工业科技,2014,35(12):96-98.
- [5] 万春鹏,周梦娇,刘洋,等.桂枝抑制柑橘采后两种病原菌活性物质研究[J].江西农业大学学报,2014,36(2):319-325.
- [6] 刘蓉,何婷,陈恬,等.桂枝挥发油抗甲型流感病毒作用[J].中药药理与临床,2012,28(2):76-79.
- [7] LIANG MingTsai, YANG ChengHong, LI ShunTai. Antibacterial and antioxidant properties of ramulus cinnamomi using supercritical CO₂ extraction [J].European Food Research and Technology,2008,227(5):1387-1396.
- [8] 聂奇森,滕建文,黄丽,等.桂枝中抗过敏活性成分的研究[J].时珍国医国药,2008,19(7):1594-1596.
- [9] CHENYong, LI Xiaoru, ZHAO Jun. Chemical component analysis of volatile oil in drug pair herba ephedrae - ramulus cinnamomi by GC-MS and CRM [J].Journal of Central South University of Technology,2007,14(9):509-513.
- [10] 曾荣,陈金印,张阿珊.植物提取液对柑橘采后青霉、绿霉抑菌活性的研究[J].江西农业大学学报,2010,32(6):1142-1145.
- [11] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006:239-265.
- [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,2007:133-139.
- [13] Stadnik M J, Buchenauer H. Inhibition of phenylalanine ammonia - lyase suppresses the resistance induced by benzothiadiazole in wheat to blumeria graminis f. Sp. Triticici [J]. Physiological and Molecular Plant Pathology, 2000, 57 (1): 25-34.
- [14] Kanatt SR, Rao MS, Chawla SP. Active chitosan - polyvinyl alcohol films with natural extracts [J]. Food Hydrocolloids 2012; 29(2):290-297.
- [15] 胡晓亮,周国燕.海藻酸钠和溶菌酶复合涂膜对马陆葡萄贮藏的保鲜效果[J].食品科学,2011,32(20):271-276.
- [16] Jiang Tianjia. Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (Agaricus bisporus) under a high oxygen modified atmosphere [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 76(0):91-97.
- [17] Shuai yang Wang, Junli Ren, Weiying Li. Properties of

(下转第 366 页)

24(7):844-847.

[8]王敏,马玉龙,马琳,等.高效液相色谱法同时检测药渣中四环素及其衍生物[J].湖北农业科学,2014,53(6):1411-1414.

[9]Teixeira L d S,Grasso A N,Monteiro A M,et al.Enhancement on the Europium emission band of Europium chlortetracycline complex in the presence of LDL[J].Analytical Biochemistry,2010,400(1):19-24.

[10]宋斯贞.四环素-辅与卵磷脂的相互作用及卵磷脂的测定[J].分析实验室,2008,27(5):109-111.

[11]文志刚,钟才宁,柏任流.盐酸四环素-Zn(II)配合物与DNA的相互作用研究[J].分析实验室,2009,28(5):101-104.

[12]Wrzesinski J,Brzezowska M,Szczepanik W,et al.Inhibition of the catalytic activity of trans-acting antigenomic δ ribozyme by selected antibiotics and their Cu^{2+} complexes[J].Biochemical and Biophysical Research Communications,2006,349(4):1394-1400.

[13]Chopra I,Roberts M.Tetracycline Antibiotics: Mode of Action, Applications, Molecular Biology, and Epidemiology of Bacterial Resistance[J].Microbiology and Molecular Biology Reviews,2001,65(2):232-260.

[14]Khan M A,Mustafa J,Musarrat J.Mechanism of DNA strand breakage induced by photosensitized tetracycline-Cu(II) complex[J].Mutation Research-Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis,2003,525(1-2):109-119.

[15]Guerra W,de Andrade Azevedo E,de Souza Monteiro A R,et al.Synthesis, characterization, and antibacterial activity of three palladium(II) complexes of tetracyclines[J].Journal of Inorganic Biochemistry,2005,99(12):2348-2354.

[16]Guru P.Microbial Studies on some Coordination Compound of Metals with Tetracycline[J].International Journal of ChemTech Research,2009,1(2):291-297.

[17]Jung Y, Kim Y M.Evaluation of Cellulose Xanthate-Metal-Tetracycline Complexes as a Polymeric Antibacterial Agent with Prolonged Antibacterial Activity[J].Drug Delivery,2008,15(1):31-35.

[18]Palm G J, Lederer T, Orth P, et al. Specific binding of divalent metal ions to tetracycline and to the Tet repressor/tetracycline complex[J].JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry,2008,13(7):1097-1110.

[19]Werten S, Dalm D, Palm G J, et al. Tetracycline Repressor Allosteric Does Not Depend on Divalent Metal Recognition[J].Biochemistry,2014,53(50):7990-7998.

[20]Zhang Y, Boyd S A, Teppen B J, et al. Role of Tetracycline Speciation in the Bioavailability to Escherichia colifor Uptake and Expression of Antibiotic Resistance[J].Environmental Science & Technology,2014,48(9):4893-4900.

[21]Gu Y, Walker C, Ryan M E, et al. Non-antibacterial

tetracycline formulations: clinical applications in dentistry and medicine[J].Journal of Oral Microbiology,2012,4(0):1-14.

[22]Nelson M L. Chemical and biological dynamics of tetracyclines[J].Advances in Dental Research,1998,12(2):5-11.

[23]王茜,杜珍武,马青山,等.四环素调控 HSV-tk 基因在 HeLa 细胞内表达及抗肿瘤作用[J].中国实验诊断学,2014,9):1396-1398.

[24]Silva P P, Guerra W, Silveira J N, et al. Two New Ternary Complexes of Copper(II) with Tetracycline or Doxycycline and 1, 10 - Phenanthroline and Their Potential as Antitumoral: Cytotoxicity and DNA Cleavage[J].Inorganic Chemistry,2011,50(14):6414-6424.

[25]Zhang Y, Cai X, Lang X, et al. Insights into aquatic toxicities of the antibiotics oxytetracycline and ciprofloxacin in the presence of metal: Complexation versus mixture [J]. Environmental Pollution,2012,166:48-56.

[26]Chen Y, Li H, Wang Z, et al. Photolysis of Chlortetracycline in aqueous solution: Kinetics, toxicity and products[J].Journal of Environmental Sciences,2012,24(2):254-260.

[27]Wammer K H, Slattery M T, Stemig A M, et al. Tetracycline photolysis in natural waters: Loss of antibacterial activity [J]. Chemosphere,2011,85(9):1505-1510.

[28]Lu X, Gao Y, Luo J, et al. Interaction of veterinary antibiotic tetracyclines and copper on their fates in water and water hyacinth (Eichhornia crassipes) [J]. Journal of Hazardous Materials,2014,280:389-398.

[29]Pulicharla R, Das R K, Brar S K, et al. Toxicity of chlortetracycline and its metal complexes to model microorganisms in wastewater sludge[J].Science of The Total Environment,2015,532:669-675.

[30]赵斌,王凤贺,包健,等. Cd^{2+} 和 Pb^{2+} 对四环素超声降解性能的影响[J].环境工程学报,2015,9(4):1599-1605.

[31]宋现财.四环素类抗生素在活性污泥上的吸附规律及其机理研究[D].天津:南开大学,2014.

[32]Zhao Y, Tan Y, Guo Y, et al. Interactions of tetracycline with Cd(II), Cu(II) and Pb(II) and their cosorption behavior in soils [J].Environmental Pollution,2013,180(0):206-213.

[33]Zhao Y, Gu X, Gao S, et al. Adsorption of tetracycline (TC) onto montmorillonite: Cations and humic acid effects [J]. Geoderma,2012,183-184(0):12-18.

[34]Duan L, Li L, Xu Z, et al. Adsorption of tetracycline to nano-NiO: the effect of co-existing Cu(ii) ions and environmental implications [J]. Environmental Science: Processes & Impacts, 2014,16(6):1462-1468.

[35]Xing W, Ni L, Liu X, et al. Effect of metal ion (Zn^{2+} , Bi^{3+} , Cr^{3+} , and Ni^{2+}) - doped CdS/halloysite nanotubes (HNTs) photocatalyst for the degradation of tetracycline under visible light [J].Desalination and Water Treatment,2013,53(3):794-805.

(上接第327页)

polyvinyl alcohol/xylan composite films with citric acid [J]. Carbohydrate Polymers,2013,103(3):94-99.

[18]陈楚英,韩舒睿,周梦娇,等.凤仙透骨草提取液复合涂膜对‘新余蜜橘’常温保鲜效果的影响[J].果树学报,2014,31

(3):468-476.

[19]丘苑新,曾晓房,高苏娟,等.壳聚糖涂膜处理对紫金春甜桔采后保鲜效果的影响[J].食品工业科技,2013,3(49):328-331.