

茶皂素和壳聚糖复合涂膜对余甘子采后冷藏效果的影响

陈雨欣^a, 江晓童^a, 张瑞敏^a, 许高铭^a, 刘峥^b, 胡位荣^a
(广州大学 a.生命科学学院 b.化学化工学院, 广州 510006)

摘要:目的 研究不同浓度茶皂素与壳聚糖复合涂膜处理对余甘子果实采后冷藏的保鲜效果。方法 以“仙油甘”余甘子为实验材料, 采用质量分数为 0.5%、1.0%、1.5%茶皂素分别与 2.0%的壳聚糖制备成复合保鲜剂涂膜处理余甘子果实, 以质量分数为 2.0%的壳聚糖单一涂膜为对照, 在 4 °C冷藏条件下, 研究果实质量损失率、色度值、可溶性糖、可滴定酸、V_C、木质素含量及 CAT、POD、SOD 活性等指标的变化。结果 与质量分数为 2.0%的壳聚糖单独涂膜相比, 茶皂素结合壳聚糖复合涂膜处理能更有效地减少果实水分损失, 抑制可溶性糖、可滴定酸和 V_C含量的减少, 延缓果实木质化程度和色泽劣变, 维持较高的 CAT、POD、SOD 等抗氧化酶活性。结论 1.5%茶皂素+2.0%壳聚糖复合涂膜对延缓冷藏余甘子果实衰老的效果最佳。

关键词: 余甘子; 茶皂素; 壳聚糖; 复合涂膜; 冷藏

中图分类号: S667.9 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)05-0083-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.05.011

Effect of Tea Saponin and Chitosan Composite Coating on Cold Storage Quality of *Phyllanthus emblica* Fruits

CHEN Yu-xin^a, JIANG Xiao-tong^a, ZHANG Rui-min^a, XU Gao-ming^a, LIU Zheng^b, HU Wei-rong^a

(a. School of Life Sciences b. School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effects of different concentrations of tea saponin and chitosan composite coating on the cold storage quality of *Phyllanthus emblica* fruits. With "Xianyougan" *Phyllanthus emblica* as experimental materials, mass fractions of 0.5%, 1.0%, 1.5% tea saponin and 2.0% chitosan were used to prepare compound preservative coating, and the single coating of 2.0% chitosan was used as the control. Under the storage condition of 4 °C, the changes of weight loss rate, chromaticity value, contents of titratable acid, V_C, soluble sugar and lignin, activities of CAT, POD and SOD were studied. The results showed that compared with 2.0% chitosan alone, tea saponin combined with chitosan composite coating treatment was more effective in reducing fruits water loss, inhibiting the reduction of soluble sugar, titratable acid and V_C content, delaying fruits lignification process and color deterioration, and maintaining higher antioxidant enzyme activities such as CAT, POD and SOD and good storage quality. The combination of 1.5% tea saponin +2.0% chitosan has the best effect on delaying the senescence of *Phyllanthus emblica* fruits.

KEY WORDS: *Phyllanthus emblica*; tea saponin; chitosan; composite coating; cold storage

收稿日期: 2022-03-29

基金项目: 2020年度广东省大学生创新训练项目(202011078038); 2020年广东省农村科技特派员项目(2020年)

作者简介: 陈雨欣(1999—), 女, 本科生, 主攻生物科学。

通信作者: 胡位荣(1966—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为果蔬采后生理与贮运技术。

余甘子 (*Phyllanthus emblica* L.) 是大戟科 (Euphorbiaceae) 叶下珠属的一种热带、亚热带落叶小乔木果树, 在我国广泛分布于东南沿海及西南等省区。余甘子鲜果富含营养物质和次生代谢活性物质, 酸脆微涩, 回味甘甜, 能清热利咽、润肺化痰、生津止渴, 具有一定的抗菌消炎、保肝健胃、调节血脂代谢、抗糖尿病等功效, 因而既被列入《中华人民共和国药典》药食两用名单, 又被联合国卫生组织指定为全世界推广种植的 3 种保健植物之一^[1-3]。余甘子果实含水量高且富含酚类物质, 采后易出现果实皱缩、褐变、腐烂等现象^[4]。对此, 前人研究了不同处理方法以提高余甘子果实贮藏保鲜效果。与常温贮藏相比, 5℃低温贮藏能够有效延缓余甘子感官品质的下降, 延长其贮藏期^[5]。Bajgai 等^[6]发现经场强为 430 kV/m 的高压电场处理后, 余甘子果实腐烂现象减少, 果皮保绿效果更好, 新鲜度优于未经处理的果实。宋国彬等^[7]采用冷激预处理结合真空包装贮藏余甘子, 在 4℃下可将果实贮藏至 70 d。蒋璇靓等^[8]通过使用酸性电解水浸泡余甘子, 能够提高果实贮藏品质, 120 mg/L 有效氯浓度的酸性电解水效果最显著。

人们越来越重视筛选安全高效、绿色环保的天然防腐保鲜剂用于果蔬贮运保鲜^[9]。复合涂膜既可以抑制果实的呼吸作用和蒸腾作用, 减少水分散失, 也可以减少外界机械损伤, 阻止病原菌入侵, 从而延长水果的贮藏时间, 是近年来保鲜领域研究热点^[10]。其中, 壳聚糖 (Chitosan, CT) 是以虾、蟹壳等为原料提取甲壳素, 再经脱乙酰化而得到的一种天然多糖类生物大分子, 因其具有安全无毒、优良的成膜性与抑菌性、可食用及可降解等优点, 已被广泛应用于果蔬涂膜保鲜剂原料^[11-12]。提取自油茶粕的茶皂素 (Tea Saponin, TS), 是一种性能良好的非离子型表面活性剂, 兼具抑菌、杀虫、抗氧化等生物活性, 也可应用于食品保鲜领域^[13-15]。鉴于目前茶皂素与壳聚糖复合涂膜对余甘子保鲜效果方面的研究还未见报道, 文中以“仙油甘”为试材, 研究不同浓度茶皂素结合壳聚糖涂膜对冷藏余甘子的品质和生理变化的影响, 以期余甘子贮藏保鲜新技术提供技术参考。

1 实验

1.1 材料和仪器

主要材料: “仙油甘”余甘子, 采自广东省普宁市商品性生产果园。

主要试剂: 壳聚糖 (脱乙酰度 ≥ 90%, 食品级), 生工生物工程上海股份有限公司; 茶皂素 (皂苷质量分数为 94.74%), 湖南汉青生物技术有限公司; 木质素含量检测试剂盒 (BC4205-100T/96S), 索莱宝生化试剂盒事业部; 超氧化物歧化酶活性检测试剂盒 (A001-1-2, 100T/96S), 南京建成生物工程研究所; L-抗坏血酸, 生工生物工程上海股份有限公司; 无水

乙醇, 天津市永大化学试剂有限公司; 无水乙酸, 成都市科龙化工试剂厂; 氢氧化钠、酚酞, 广州化学试剂厂; 草酸, 天津市福晨化学试剂厂; 碳酸氢钠, 上海晶纯试剂有限公司; 2,6-二氯靛酚钠, 合肥巴斯夫生物科技有限公司。以上试剂均为分析纯。

主要仪器: UV-1800PC 型紫外分光光度计, 上海美谱达仪器有限公司; 台式高速冷冻离心机, 广州得翔科技有限公司; 301P-01N 型台式 pH 计, 美国 Thermo orion 公司; LHS-150SC 型低温培养箱, 上海一恒科学仪器有限公司; DW-YL270 型低温保存箱, 中科美菱低温科技股份有限公司; SJH-bS 型恒温水浴锅, 宁波天恒仪器厂; 电子天平, 赛多利斯科学仪器 (北京) 有限公司; XB-M101 型磨粉机, 中山市领锐电器有限公司; 电热鼓风干燥箱, 重庆市永生实验仪器厂; 50 目标准检验筛, 镇江市海天化验设备有限公司; NR-3000 型手持色度计, Nippon Denshoku。

1.2 实验处理

“仙油甘”余甘子鲜果采后立即运回实验室, 挑选大小一致、无病虫害、无机械损伤的果实, 随机分为 4 组, 每组 68 个。为探讨加入不同浓度茶皂素复合后的保鲜效果是否优于壳聚糖单一涂膜, 本实验以质量分数为 2.0% 的 CT (简称为 2.0% CT) 为对照 (壳聚糖用体积分数为 1.0% 的醋酸溶解), 在已经配制好的 2.0% CT 溶液中加入茶皂素粉末, 充分搅拌均匀制成 2.0% CT+0.5% TS、2.0% CT+1.0% TS、2.0% CT+1.5% TS 的复合保鲜剂溶液各 3 L。将每组果实分别置于上述 4 组溶液中浸泡 1 min, 捞出后自然晾干, 分装于规格一致的塑料篮中, 外套一层 25 cm×35 cm 的聚乙烯 (PE) 保鲜袋 (聚乙烯保鲜袋厚度为 0.01 mm), 于温度为 4℃、相对湿度为 80% 的低温培养箱中贮藏。每组每隔 10 d 随机取果样观测相关生理生化指标。

1.3 指标测定

1.3.1 质量损失率的测定

每处理组固定 10 个余甘子果实采用称量法测定质量损失率, 取平均值。按照式 (1) 进行计算。

$$\text{质量损失率} = \frac{m_1 - m}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_1 为取样开始时 (0 d) 余甘子的质量, g; m 为贮藏期间取样当天的余甘子质量, g。

1.3.2 色度值的测定

使用 NR-3000 手持色度计在余甘子果实中心赤道面上相对的 2 个点处测定色度值。每组处理固定 3 个余甘子用于测定色度值。

1.3.3 可溶性糖含量的测定

参照曹建康等^[16]的蒽酮比色法, 以 100 μg/mL 葡萄糖标准溶液制备标准曲线, 以 620 nm 吸光度值为

纵坐标 (y)、葡萄糖含量 (μg) 为横坐标 (x), 得到回归方程为 $y=0.008x+0.0036$, $R^2=0.9997$ 。取 0.6 g 果样研磨, 加入 15 mL 蒸馏水, 煮沸 20 min, 冷却, 过滤, 定容至 100 mL。取 1.0 mL 待测样品液, 加入 5 mL 蒽酮试剂, 在 620 nm 处测定其吸光度值, 单位为 mg/g 。重复 3 次。

1.3.4 可滴定酸含量的测定

参照曹建康等^[16]的方法, 采用标准 NaOH 溶液中和滴定法。混合取 5.0 g 果样, 匀浆后定容、过滤, 以 0.1 mL 质量分数为 1% 的酚酞为指示剂, 用 0.25 mol/L NaOH 滴定至出现微红色, 且保持 15 s 不褪色为滴定终点, 以苹果酸折算值 0.067 计算可滴定酸含量 (质量分数), 单位为 %。重复 3 次。

1.3.5 Vc 含量的测定

采用 2,6-二氯酚靛酚法测定 Vc 含量^[16], 混合取 5.0 g 果样, 加入 3 mL 质量分数为 2% 的草酸, 迅速匀浆, 静置, 四层纱布过滤, 滤液用 2% 的草酸定容至 50 mL。取滤液 10 mL 于三角瓶中, 用质量分数为 0.02% 的 2,6-二氯酚靛酚钠滴定至出现微红色, 且保持 15 s 不褪色为滴定终点。单位为 %。重复 3 次。

1.3.6 木质素含量的测定

按照木质素含量检测试剂盒说明书进行测定, 单位为 mg/g 。重复 3 次。

1.3.7 过氧化氢酶 (CAT) 活性的测定

参照李小方等^[17]的方法, 反应液于 240 nm 处测定吸光值, 以每分钟吸光值变化 0.1 为 1 个酶活单位 (U), 单位为 $\text{U}/(\text{g}\cdot\text{min})$ 。重复 3 次。

1.3.8 过氧化物酶 (POD) 活性的测定

采用愈创木酚法^[17]测定过氧化物酶活性。取 3 mL 反应混合液与 1 mL 酶液于 470 nm 波长下比色, 以每分钟吸光值的变化表示酶活性大小, 单位为 $\text{U}/(\text{g}\cdot\text{min})$ 。重复 3 次。

1.3.9 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的测定

根据超氧化物歧化酶活性检测试剂盒说明书进行测定。以每克组织在 1 mL 反应液中 SOD 抑制率达 50% 的酶量为一个酶活力单位 (U), 检测结果的单位为 U/g 。重复 3 次。

1.4 数据处理

利用 Excel 2010 和 Origin 2019b 整理数据和绘制图表, 使用 SPSS 26.0 多重比较法分析实验数据的差异显著性, $P < 0.05$ 为差异显著, $P > 0.05$ 为差异不显著。

2 结果与分析

2.1 复合涂膜对余甘子质量损失率的影响

水分是维持水果鲜度和嫩度的重要因素。如图 1

所示, 随贮藏时间延长, 余甘子质量损失率呈上升趋势, 冷藏前 10 天余甘子的质量损失率增加较快。在贮藏期内, 复合涂膜处理的果实质量损失率始终低于 2.0% CT 组, 可能是因为壳聚糖在果实表面覆盖成膜, 阻止了果实水分蒸腾作用的失水和呼吸作用的消耗, 同时因为茶皂素的抑菌性, 抑制了霉菌的侵染, 进一步延缓了果实的质量损失。其中 2.0% CT+1.0% TS 处理的果实质量损失率上升最缓慢, 贮藏 50 d 时果实质量比采摘时的仅减少了 10.54%, 效果更佳。2.0% CT+1.5% TS 处理组的效果不如其他处理组的, 可能是由于茶皂素为表面活性剂, 其浓度越高, 会使溶液表面张力越小, 起泡性增高, 会导致果子表面的薄膜出现气泡, 使部分液面变薄, 成膜不均匀^[15,18-19]。

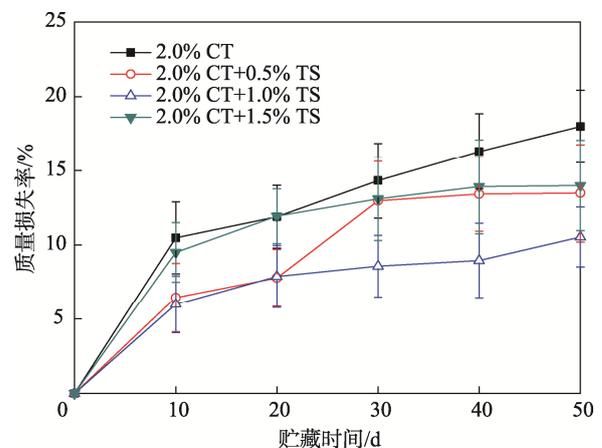


图 1 复合涂膜对余甘子果实质量损失率的影响

Fig.1 Effect of composite coating on weight loss rate of *P. emblica*

2.2 复合涂膜对余甘子色度值的影响

果实色泽是判断果实新鲜程度的重要指标, 色度值 a^* 表示红绿方向, b^* 表示黄蓝方向, L^* 值表示明亮度。采后贮藏期间, 余甘子果实表皮由明亮绿色向黄绿色变化, 贮藏中后期色泽亮度不断减弱, 至后期变为暗淡的褐黄色^[9]。由图 2 可知, 余甘子的 a^* 值随贮藏时间延长呈上升趋势, 在贮藏期间, 复合保鲜剂处理组 a^* 值均低于 2.0% CT 组, 表明复合涂膜处理在余甘子贮藏初期能有效保持余甘子的绿色。余甘子的 b^* 值在贮藏期内呈先上升后下降的趋势, 即随着果实后熟, 果皮逐渐变黄, 之后黄色变浅; 贮藏期间, 2.0% CT+1.5% TS 及 2.0% CT+0.5% TS 组的 b^* 值始终高于 2.0% CT 组的, 表明复合涂膜能较好地维持余甘子果皮的黄色, 且 2.0% CT+1.5% TS 处理效果最佳。冷藏过程中余甘子的 L^* 值整体呈下降趋势, 表明余甘子在贮藏后期发生了不同程度的褐变。贮藏 20~50 d, 复合保鲜剂处理组的 L^* 值均高于 2.0% CT 组, 即复合保鲜剂能够有效维持余甘子明亮的浅绿色泽, 减缓果皮褐变进程, 其中 2.0% CT+1.5% TS 处理效果最佳。

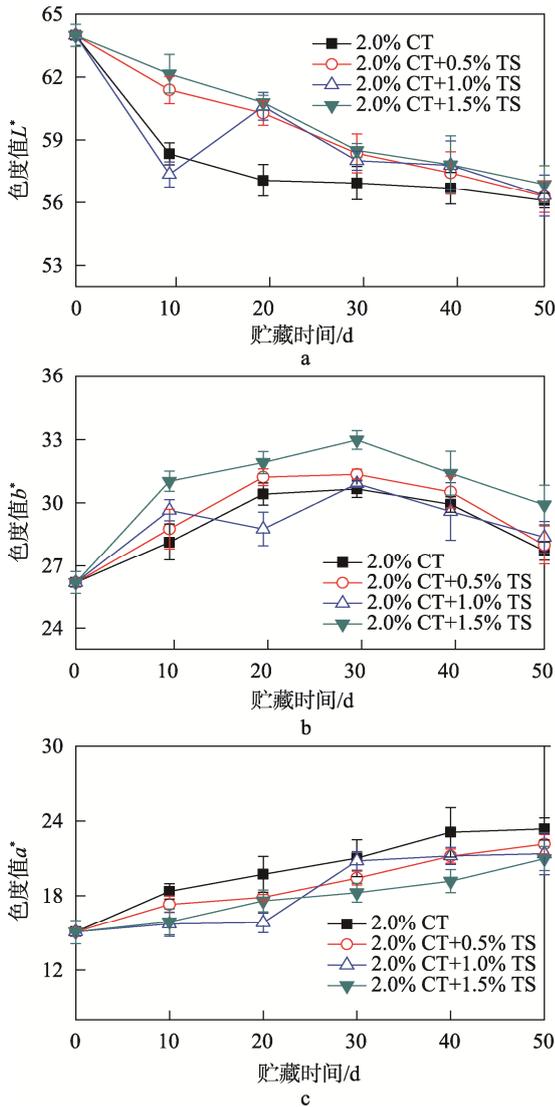


图2 复合涂膜对余甘子色度值 a^* 、 b^* 、 L^* 的影响
Fig.2 Effect of composite coating on chromaticity values a^* , b^* and L^* of *P. emblica*

2.3 复合涂膜对余甘子果实营养品质的影响

2.3.1 可溶性糖含量

作为能量来源和结构组分,糖含量是决定果实品质的重要因子,反映果实的成熟度和耐贮藏性。如图3所示,余甘子果实在刚转入4℃低温时,可溶性糖含量下降,可能是果实为了维持正常生命活动,促使淀粉转化为可溶性糖,为果实呼吸作用提供能量;而贮藏10d后,可溶性糖含量整体上维持较高水平。2.0% CT与其他组合相比,贮藏20~30d时,2.0% CT+1.0% TS处理明显延迟了可溶性糖含量的升高,其中第20天时显著低于2.0% CT组的 ($P < 0.05$)。贮藏10~50d,2.0% CT+1.5% TS组的可溶性糖含量始终显著高于2.0% CT组的 ($P < 0.05$),可能是因为复合保鲜剂涂膜减弱了果实的呼吸代谢强度,减少了对能量的消耗,使得可溶性糖含量维持在相对较高水平。

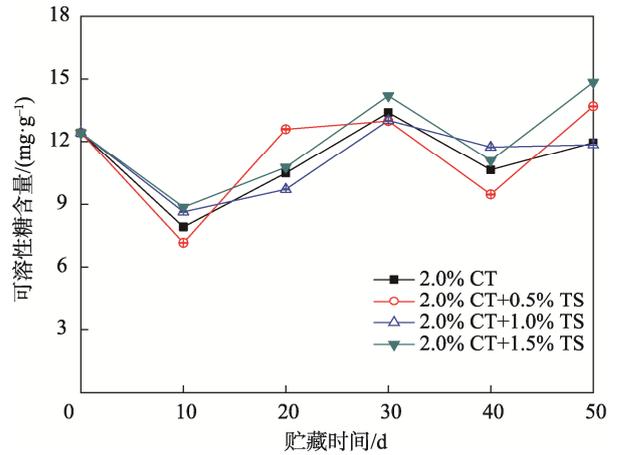


图3 复合涂膜对余甘子可溶性糖含量的影响
Fig.3 Effect of composite coating on soluble sugar content of *P. emblica*

2.3.2 可滴定酸含量

果实中的有机酸可通过呼吸代谢被消耗或转化为糖,其含量变化可反映果实营养物质损耗的程度和口感风味下降的速度。如图4所示,余甘子的可滴定酸含量在贮藏过程中波动下降,可能是因为采后果实仍具有较高的生理活性和呼吸强度,可滴定酸作为呼吸基质之一而被消耗。贮藏至20d时,各组间可滴定酸含量差异不显著 ($P > 0.05$)。贮藏30~40d时,2.0% CT组的可滴定酸含量显著低于2.0% CT+1.0% TS组的 ($P < 0.05$)。结果表明,茶皂素复合保鲜剂能够在一定时间内抑制果实可滴定酸含量的下降,保持余甘子独特的风味和品质。

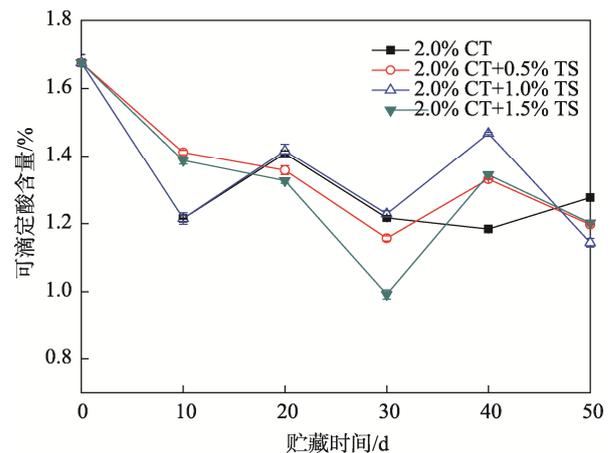


图4 复合涂膜对余甘子可滴定酸含量的影响
Fig.4 Effect of composite coating on titratable acid content of *P. emblica*

2.3.3 V_c 含量

V_c 既是果蔬营养品质的重要指标之一,也是一种天然的抗氧化物。如图5所示,余甘子在贮藏过

程中果实 V_C 含量呈先增后减的趋势, 其中冷藏 30~40 d 时, 复合保鲜剂处理组的 V_C 含量始终显著高于 2.0% CT 组的 ($P < 0.05$)。40 d 时, 各组间差异显著 ($P < 0.05$), 以 2.0% CT+1.0% TS 组的 V_C 含量最高, 是 2.0% CT 处理组的 1.54 倍, 表明复合保鲜剂能够在一定时间内延缓余甘子 V_C 含量的下降速率。以上结果与茶皂素-壳聚糖复合天然保鲜剂对树仔菜 V_C 的影响结果一致^[15]。

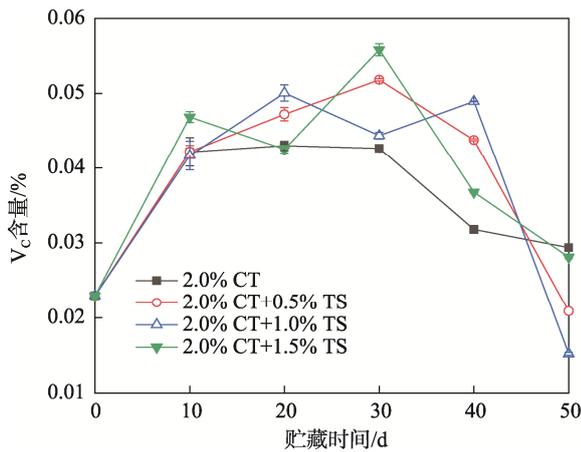


图 5 复合涂膜对余甘子 V_C 含量的影响

Fig.5 Effect of composite coating on V_C content of *P. emblica*

2.3.4 木质素含量

木质素是构成植物细胞壁的一种次生代谢产物, 果肉组织木质化加重会导致营养成分流失、质地僵硬、少汁、褐变等一系列劣变现象^[20]。余甘子果实采后木质素含量在冷藏期间维持在较高水平(图 6)。各组余甘子转入低温环境 10 d 后, 果实木质化程度急剧加快, 2.0% CT 组的木质素含量达到 132.07 mg/g, 显著高于 2.0% CT+1.0% TS 及 2.0% CT+1.5% TS 处理的 ($P < 0.05$)。贮藏 10~50 d, 2.0% CT+1.5% TS 组的木质素含量一直显著低于其他组的 ($P < 0.05$)。结果说明, 复合保鲜剂能抑制余甘子木质素的合成, 从而延缓果实木质化进程, 降低褐变程度, 并且 2.0% CT+1.5% TS 组的效果最佳。

2.4 复合涂膜对余甘子果实抗氧化酶活性的影响

2.4.1 CAT 活性

CAT 主要存在于过氧化物酶体和乙醛酸循环系统中, 催化 H_2O_2 生成 H_2O 和 O_2^- 以抵御细胞被毒害^[21]。如图 7 所示, 当余甘子转入低温环境贮藏 0~20 d, CAT 活性因低温响应应激下降。贮藏 20 d 后, 余甘子缓慢成熟衰老, 果实内活性氧逐渐积累, 引起 CAT 活性上升。2.0% CT 组的 CAT 活性在 30 d 达到最大

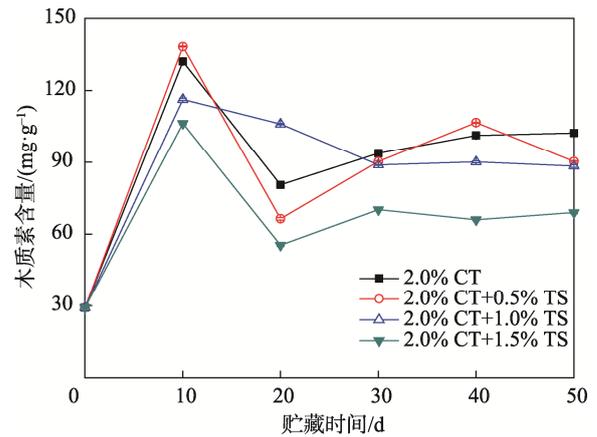


图 6 复合涂膜对余甘子木质素含量的影响

Fig.6 Effect of composite coating on lignin content in *P. emblica*

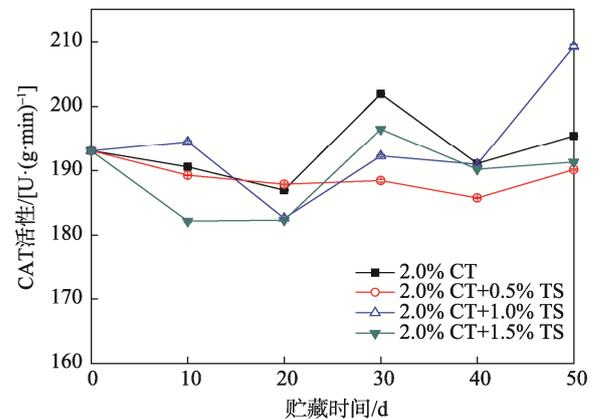


图 7 复合涂膜对余甘子 CAT 活性的影响

Fig.7 Effect of composite coating on CAT activity of *P. emblica*

值, 较 20 d 时上升了 15.0 $U/(g \cdot min)$ 。2.0% CT+1.0% TS 组的 CAT 活性在 50 d 时达到最大值, 显著高于各对照组 ($P < 0.05$), 且较 20 d 时上升了 26.7 $U/(g \cdot min)$ 。结果表明, 茶皂素复合保鲜剂能维持余甘子果实 CAT 较高的生理活性, 从而减轻了自由基对果肉组织的伤害, 延缓果实衰老进程。

2.4.2 POD 活性

贮藏过程中, POD 前期与 CAT 相互协调清除植物体内的 H_2O_2 , 后期参与果实的衰老, 其活性升高反映果实逐渐衰老, 并可与酚类物质发生反应形成褐色素使果皮褐变^[20]。由图 8 可知, 3 种复合保鲜剂处理组的 POD 活性分别在贮藏至 30、30、40 d 时达到最大值 1.50、0.78 和 1.40 $U/(g \cdot min)$, 显著高于对照组 2.0% CT 处理的 ($P < 0.05$), 可能是余甘子果实活性氧积累引起, 这与 CAT 活性变化趋势相符。贮藏 50 d 后, 2.0% CT 组的 POD 活性才明显增加 ($P < 0.05$)。

可见,复合保鲜剂能在冷藏中期明显提高了 POD 活性,与 CAT 协同,避免 H_2O_2 过度积累影响余甘子果实正常的生理调控和代谢。

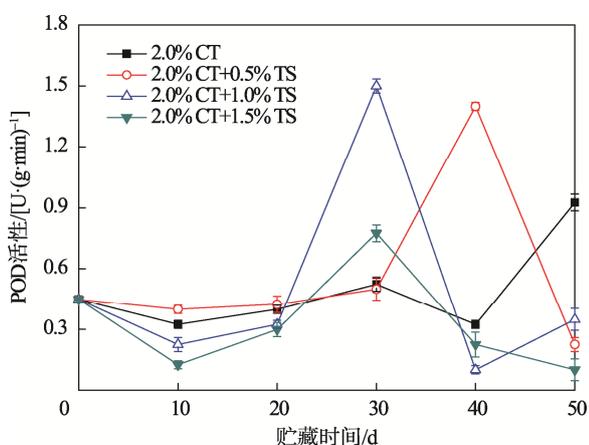


图 8 复合涂膜对余甘子 POD 活性的影响

Fig.8 Effect of composite coating on POD activity of *P. emblica*

2.4.3 SOD 活性

如图 9 所示,余甘子转入低温环境时 SOD 活性降低,随贮藏时间延长,SOD 活性上升至高峰后下降。贮藏 40 d 时,复合保鲜剂处理组的 SOD 活性显著高于 2.0% CT 组的 ($P < 0.05$),即复合涂膜能够保持果实的抗氧化能力,减轻采后余甘子的氧化损伤。贮藏 50 d 时,2.0% CT+1.5% TS 组的 SOD 活性高于其他组的,可能有利于余甘子果实内活性氧的消除。

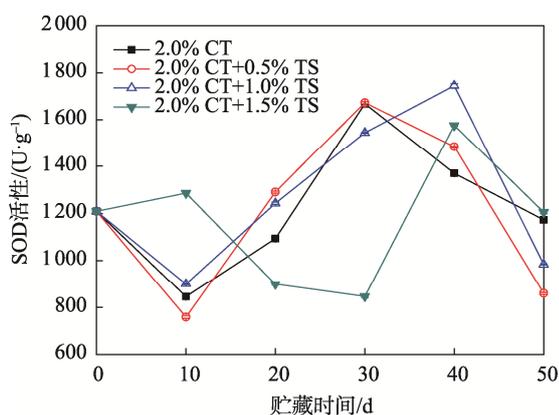


图 9 复合涂膜对余甘子 SOD 活性的影响

Fig.9 Effect of composite coating on SOD activity of *P. emblica*

3 结语

余甘子果实为小型核果,多呈扁球形,富含酚类、黄酮类、 V_C 、SOD 等物质,采后不耐贮藏,常温下 3~4 d 即腐烂变质。本实验中,茶皂素良好的生物活性和表面

活性,结合壳聚糖的成膜特性,在余甘子果实表面形成了一层膜,可有效抑制果实的水分损失和呼吸强度,在 4 °C 冷藏 50 d 期间,有效降低了果实的质量损失率,减轻果皮色泽劣变;同时减缓了果实可溶性糖、可滴定酸和 V_C 等营养物质的消耗,延缓了果实木质素含量的增加,较好地维持了余甘子采后的外观内质。

采后果蔬仍保持着必要的生理代谢以维持正常的生命活动,但随着贮藏时间的延长,果蔬出现呼吸代谢紊乱、能量供应匮乏和生物膜功能受损,积累了过量的活性氧,当清除活性氧的氧化酶活性变化不协同,易引发氧化胁迫而加速果蔬品质劣变进程。本研究中,余甘子果实转入低温环境时,相较于 2.0% CT 对照组,2.0% CT+1.0% TS 组的 CAT 活性明显升高,贮藏 20~40 d 期间复合保鲜剂处理组的 POD 和 SOD 活性增加并维持在较高水平,从而较好地减轻了质膜过氧化作用,延缓了余甘子果实的衰老。

本研究选用质量分数为 0.5%、1.0%、1.5% 的茶皂素分别与质量分数为 2.0% 的壳聚糖制备成复合保鲜剂涂膜处理“仙油甘”余甘子果实,于 4 °C 低温贮藏 50 d,定期观测了果实的质量损失率、色度值、可溶性糖、可滴定酸、 V_C 、木质素含量及 CAT、POD、SOD 活性等指标的变化。结果表明,1.5% 的茶皂素结合 2.0% 的壳聚糖涂膜处理能有效减少果实质量损失,抑制可溶性糖、可滴定酸和抗坏血酸含量的减少,延缓果实木质化进程和色泽劣变,维持较高的 CAT、POD、SOD 等抗氧化酶活性,从而延缓余甘子果实衰老。过低或过高的茶皂素质量分数用量会降低壳聚糖涂膜对余甘子果实的保鲜效果。

参考文献:

- [1] 陈智毅,刘学铭,吴继军,等.余甘子生物学特性及营养成分[J].中国南方果树,2003,32(6):71-73.
CHEN Zhi-yi, LIU Xue-ming, WU Ji-jun, et al. Biological Characteristics and Nutritional Components of *Phyllanthus Emblica*[J]. South China Fruits, 2003, 32(6): 71-73.
- [2] GANTAIT S, MAHANTA M, BERA S, et al. Advances in Biotechnology of *Emblca Officinalis* Gaertn. Syn. *Phyllanthus Emblica* L.: A Nutraceuticals-Rich Fruit Tree with Multifaceted Ethnomedicinal Uses[J]. 3 Biotech, 2021, 11(2): 62.
- [3] GAO Qian, LI Xue-mei, HUANG Hai-tao, et al. The Efficacy of a Chewing Gum Containing *Phyllanthus Emblica* Fruit Extract in Improving Oral Health[J]. Current Microbiology, 2018, 75(5): 604-610.
- [4] 陈军,陈洪彬,蒋璇靓,等.余甘子贮藏与加工研究进展[J].食品工业科技,2021,42(11):342-347.
CHEN Jun, CHEN Hong-bin, JIANG Xuan-jing, et al. Research Progress on Storage and Processing of *Phyllanthus Emblica*[J]. Science and Technology of Food

- Industry, 2021, 42(11): 342-347.
- [5] 张福平, 王惠敏, 郑道序, 等. 温度对余甘子采后贮藏期间感官及营养品质的影响[J]. 南方农业学报, 2014, 45(7): 1248-1252.
- ZHANG Fu-ping, WANG Hui-min, ZHENG Dao-xu, et al. Effects of Storage Temperature on Sensory and Nutritional Quality of *Phyllanthus Emblica* Fruit during Storage[J]. Journal of Southern Agriculture, 2014, 45(7): 1248-1252.
- [6] BAJGAI T R, HASHINAGA F, ISOBE S, et al. Application of High Electric Field (HEF) on the Shelf-Life Extension of Emblic Fruit (*Phyllanthus Emblica* L.)[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 74(3): 308-313.
- [7] 宋国彬, 郑华, 冯颖, 等. 温度和处理方式对余甘子果理化性质影响[J]. 林业科学研究, 2014, 27(4): 514-520.
- SONG Guo-bin, ZHENG Hua, FENG Ying, et al. Effects of Temperature and Treatment on Physicochemical Properties of *Phyllanthus Emblica* L[J]. Forest Research, 2014, 27(4): 514-520.
- [8] 蒋璇靓, 赵迅, 陈洪彬, 等. 酸性电解水处理对余甘子采后生理及品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(20): 168-173.
- JIANG Xuan-jing, ZHAO Xun, CHEN Hong-bin, et al. The Effect of Acidic Electrolyzed Water Treatment on Postharvest Physiology and Quality of *Phyllanthus Emblica* Fruit[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(20): 168-173.
- [9] KHETABI A E, LAHLALI R, EZRARI S, et al. Role of Plant Extracts and Essential Oils in Fighting Against Postharvest Fruit Pathogens and Extending Fruit Shelf Life: A Review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2022, 120: 402-417.
- [10] 王锋, 赵旗峰, 张晓萍, 等. 壳聚糖-纳米 ZnO-褪黑素复合涂膜对黄瓜冷害的影响及其机制研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(9): 201-207.
- WANG Feng, ZHAO Qi-feng, ZHANG Xiao-ping, et al. Effect of Chitosan-Nano-ZnO-Melatonin Composite Coating on Cucumber Chilling Injury and Mechanism[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(9): 201-207.
- [11] 刘顺枝, 孙茹, 江月玲, 等. 壳聚糖涂膜对延缓菜心采后衰老效果的研究[J]. 食品科技, 2012(10): 43-47.
- LIU Shun-zhi, SUN Ru, JIANG Yue-ling, et al. Effects of Chitosan Coatings on Retard Senescence of *Brassica Chinensis* Var. Tsai-Tai during Cold Storage[J]. Food Science and Technology, 2012(10): 43-47.
- [12] DU Yu-hang, YANG Fang-wei, YU Hang, et al. Fabrication of Novel Self-Healing Edible Coating for Fruits Preservation and Its Performance Maintenance Mechanism[J]. Food Chemistry, 2021, 351: 129284.
- [13] 郝卫宁, 李辉, 杨柳, 等. 茶皂素和噻菌灵混配对沙糖橘采后青绿霉菌的防治效果及品质的影响[J]. 果树学报, 2011, 28(2): 348-352.
- HAO Wei-ning, LI Hui, YANG Liu, et al. Control Efficacy Against Citrus Green and Blue Mold and Effects on Postharvest Storage Quality of Shatang Mandarin Fruit by Tea Saponin Combined with Triabendazole[J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(2): 348-352.
- [14] YU Zhi-liang, WU Xue-hui, HE Jun-hua. Study on the Antifungal Activity and Mechanism of Tea Saponin from *Camellia oleifera* Cake[J]. European Food Research and Technology, 2022, 248(03): 783-795.
- [15] 钟芳洁, 周炳贤, 冯棋琴, 等. 复合天然保鲜剂制备及对树仔菜保鲜效果研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(3): 308-316.
- ZHONG Fang-jie, ZHOU Bing-xian, FENG Qi-qin, et al. Study on Preparation of Compound Natural Preservative and Its Effect on Preservation of *Sauropus Androgynus*(L.) Merr[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(3): 308-316.
- [16] 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.
- CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Guidance on Postharvest Physiological and Biochemical Experiments of Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [17] 李小方, 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 5版. 北京: 高等教育出版社, 2016.
- LI Xiao-fang, ZHANG Zhi-liang. Experimental Instruction of Plant Physiology[M]. 5th ed. Beijing: Higher Education Press, 2016.
- [18] 杜志欣, 严玲, 万端极. 茶皂素的表面活性研究[J]. 湖北工业大学学报, 2015, 30(5): 28-30.
- DU Zhi-xin, YAN Ling, WAN Duan-ji. Surface Activity of Tea Saponins[J]. Journal of Hubei University of Technology, 2015, 30(5): 28-30.
- [19] ZHU Zhen-bao, WEN Ying, YI Jian-hua, et al. Comparison of Natural and Synthetic Surfactants at Forming and Stabilizing Nanoemulsions: Tea Saponin, Quillaja Saponin, and Tween 80[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2019, 536: 80-87.
- [20] 张坤, 张翼翔, 叶洪, 等. 热处理对采后琯溪蜜柚果实汁胞粒化的影响及其与细胞壁代谢的关系[J]. 食品科学, 2021, 42(11): 17-25.
- ZHANG Shen, ZHANG Yi-xiang, YE Hong, et al. Effect of Heat Treatment on Juice Sac Granulation of Harvested Guanxi Honey Pumelo(*Citrus Grandis*(L.) Osbeck) Fruit and Its Association with Cell Wall Metabolism[J]. Food Science, 2021, 42(11): 17-25.
- [21] MHAMDI A, NOCTOR G, BAKER A. Plant Catalases: Peroxisomal Redox Guardians[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2012, 525(2): 181-194.