

大豆蛋白-百里香酚纳米复合物处理对百香果采后包装贮藏品质的提升作用

孔念晴, 陈于陇, 叶明强, 王玲, 罗政, 张惠娜, 陈飞平

(广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)

摘要: 为探索一种更有效的延长百香果货架期的保鲜技术, 本实验以气调包装为对照, 研究了大豆蛋白-百里香酚纳米复合物浸泡除菌联合气调包装(复合处理组)对百香果在 25 °C、75% RH 贮藏条件下果实品质保持的效果。结果表明: 相比单一气调包装, 复合处理能够更好地维持百香果的贮藏品质, 在贮藏 15 d 时, 好果率仍保持在 100%, 同时能够维持果实硬度在 27.69 kg/cm²、可溶性固形物含量 11.82%、果皮花色苷 0.20 mg/g; 贮藏过程中能够抑制果实的呼吸作用, 使包装内气体氛围维持在一个较好水平(O₂: 8.91%~12.48%、CO₂: 2.43%~3.40%); 在贮藏后期加速了抗坏血酸的消耗, 使其下降到 163.53 mg/L, 同时提高过氧化氢酶活性至 76.18 U。这表明, 复合处理能够抑制果实腐烂发生, 更有效地抑制果实的呼吸作用, 延缓果实硬度、可溶性固形物、果皮花色苷含量的下降, 在贮藏后期能够加速抗坏血酸的消耗, 提高过氧化氢酶的活性。由此可见, 大豆蛋白-百里香酚纳米复合物处理能够进一步维持气调包装百香果的贮藏品质, 延长货架期。

关键词: 百香果; 大豆蛋白-百里香酚纳米复合物; 保鲜; 贮藏品质

文章编号: 1673-9078(2020)10-182-189

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.10.0367

Improvement Effects of Soy Protein-thymol Nanocomplexes Treatment on the Storage Quality of Passion Fruit after Harvest

KONG Nian-qing, CHEN Yu-long, YE Ming-qiang, WANG Ling, LUO Zheng, ZHANG Hui-na, CHEN Fei-ping
(Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China)

Abstract: In order to evaluate a more effective preservation technology for prolonging the shelf life of passion fruit, this work was undertaken to investigate the effects of soy protein-thymol nanocomplexes treatment combined with modified atmosphere packaging (MAP, complex treatment) on the quality of passion fruit stored at 25 °C and 75% RH, by using MAP as control. The results showed that the storage quality of passion fruit in composite treatment was better than that of single MAP treatment. After 15 days storage, the marketable fruit rate of composite treatment samples was maintained at 100%, while the firmness, the total soluble solids and the anthocyanin content in the peel of fruit were retained at 27.69 kg/cm², 11.82% and 0.20 mg/g, respectively. The respiration of fruit in composite treatment was inhibited more effectively than that of control during storage, while the gas atmosphere in the package was maintained at a better level (O₂ content:

引文格式:

孔念晴,陈于陇,叶明强,等.大豆蛋白-百里香酚纳米复合物处理对百香果采后包装贮藏品质的提升作用[J].现代食品科技,2020,36(10):182-189

KONG Nian-qing, CHEN Yu-long, YE Ming-qiang, et al. Improvement effects of soy protein-thymol nanocomplexes treatment on the storage quality of passion fruit after harvest [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(10): 182-189

收稿日期: 2020-04-22

基金项目: 广东省农业科学院创新基金项目(201901); 广东省基础与应用基础研究基金项目(2019A1515110382); 科技创新战略专项资金(高水平农科院建设)项目(R2017YJ-YB3010、R2018QD-087); 广东省重点领域研发计划(2019B020222001)

作者简介: 孔念晴(1997-), 女, 本科生, 研究方向: 果蔬采后保鲜

通讯作者: 陈飞平(1985-), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 生物材料及果蔬保鲜

8.91%~12.48%, CO₂ content: 2.43%~3.40%)。Moreover, the ascorbic acid content of fruit in composite treatment was rapidly consumed at the later stage of storage, falling to 163.53 mg/L, and the activity of catalase was improved up to 76.18 U. All these results indicated that the decay and respiration of fruit in composite treatment was inhibited more effectively, while the decrease of firmness, total soluble solids content and anthocyanin content in peel of fruit was delayed. Moreover, the consumption of ascorbic acid was accelerated at the later stage of storage, and the activity of catalase was increased. Thus, the storage quality and shelf life of passion fruit in MAP was improved by combining with soy protein-thymol nanocomplexes treatment. In conclusion, soy protein-thymol nanocomplexes treatment could further maintain the quality of passion fruit with MAP, and prolong their shelf life.

Key words: passion fruit; soy protein-thymol nanocomplexes; preservation; storage quality

百香果 (*Passiflora edulis* Sims), 又称西番莲、鸡蛋果, 原产于巴西, 多产于热带、亚热带地区。随着消费者的食用习惯越来越多样化, 百香果可整果销售, 也可制作成果汁和其他形式的产品^[1,2]。百香果因其浓郁的果香而深受人们喜爱, 据分析其含有 165 种香气成分, 并且具有丰富的营养价值, 包括含有人体必需的 17 种氨基酸、多种维生素及微量元素等 160 多种有益成分^[3,4], 以及富含 β -胡萝卜素、膳食纤维 (主要是果胶, 占总重 60%~80%) 等功效成分, 具有低脂肪、低热量的优点^[5]。百香果是呼吸跃变型水果, 采后呼吸作用强, 室温条件下 3 天果皮就会失水皱缩, 另外, 百香果采后品质劣变问题还有: 果肉易液化并出现异味、易受病菌侵染而腐烂、在低温条件下易发生冷害、高温条件下又易发生霉变等^[6]。目前, 国内外关于百香果采后贮藏保鲜技术主要有气调包装、低温储藏、热激处理、保鲜剂处理和涂膜处理^[7-9]等。

本团队^[10,11]前期研究发现气调包装能够有效维持百香果在货架温度贮藏下的品质, 明显抑制其皱缩和褐变的发生, 但后期果实仍会产生轻微的腐烂现象。那么, 联合抑菌剂处理是否能进一步提高百香果采后贮藏品质?

百里香酚 (thymol, C₁₀H₁₄O) 已被欧盟 (EU) 和美国食品药品监督管理局 (FDA) 列入食品添加剂 GRAS (一般公认安全) 名单, 也是我国允许使用的食品添加剂。它是一种疏水性酚类物质, 可导致病原菌细胞膜损伤, 产生抑菌作用^[12], 且抑菌活性优于香芹酚、丁香酚等其他植物精油^[13]。近年来, 关于百里香酚在果蔬采后保鲜中的应用也见报道。初丽君^[14]研究发现, 包埋了百里香酚的壳聚糖纳米保鲜微粒能显著抑制板栗表面细菌及真菌的生长, 从而降低板栗的霉变率。潘怡丹^[15]等研究发现, 利用百里香酚抗菌包装结合低温贮藏能够显著抑制蓝莓的腐烂, 并无不良的影响。可见, 百里香酚可作为一种天然的抑菌剂, 然而, 百里香酚的水溶性差、易分解、易挥发等特性, 限制了其作为天然抑菌剂的产业化应用。例如, 荷载百里香酚的抗菌包装虽然能够抑制果实腐烂, 但百里香酚

在抗菌膜制备过程中损失严重, 保留率低于 50%^[16]。植物精油在实际应用中往往需要较大的剂量, 而大剂量的植物精油对果蔬的外观品质, 尤其是色泽会产生负面影响^[17]。因此, 探索更有效的百里香酚增溶增效技术是其能够在食品和农产品保鲜中广泛应用的前提。本团队在前期研究中采用大豆蛋白复合包埋技术, 构建了一类平均粒径 100 nm 左右的大豆蛋白-百里香酚纳米复合物, 实现了百里香酚的水溶化和稳定化, 而且该复合物溶液处理可有效降低菜心的细菌菌落总数, 效果与游离百里香酚无显著差异, 但可避免游离百里香酚对菜心外观品质的损伤。那么, 采用该水溶化百里香酚对百香果进行浸泡除菌处理, 是否可提高气调包装百香果的贮藏品质, 从而进一步延长其货架期? 基于此, 本论文以百香果为对象, 通过水溶化百里香酚 (大豆蛋白-百里香酚纳米复合物) 处理后, 采用气调包装 (MP20 袋) 研究其在 25 °C、75% RH 环境中贮藏的品质变化。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

百香果为紫色的百香果, 大小均一, 无病虫害, 表面光滑无机械损伤的成熟期果实, 用泡沫箱运至实验室, 用剪刀剪去果柄。

百里香酚, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司; 商用大豆分离蛋白, 山东禹王集团有限公司; 乙酸钠、硼酸、邻苯二酚、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠 (均为分析纯), 福晨 (天津) 化学试剂有限公司; 邻苯二胺 (分析纯), 国药集团化学试剂有限公司; 无水乙醇 (分析纯), 天津市富宇精细化工有限公司; 过氧化氢 (分析纯), 广州化学试剂厂; 浓盐酸。

1.2 仪器与设备

恒温恒湿箱 CTHI-150B, 施都凯仪器设备 (上海) 有限公司; JJ1000 电子秤, 常熟市双杰测试仪器厂; JW-1042 低速离心机, 安徽嘉文仪器装备有限公司;

TA-XT plus 质构分析仪, 英国 Stable Micro System 公司; Cary Eclipse 荧光分光光度计, 美国 Agilent 公司; Checkpoint 手持气体分析仪, 丹麦 PBI-Dansensor 公司; UV-2450 型紫外/可见分光光度计, 日本 Shimadzu 公司; Millipore Elix 纯水仪, 德国 MerckMillipore 公司; JY88-II 超声波细胞破碎机, 宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 大豆蛋白-百里香酚纳米复合物制备

称取 90 g 商用大豆分离蛋白加入 1.5 L 水溶解, 磁力搅拌 1 h 后, 用 200 W 超声波处理 5 min, 5000 r/min 离心 10 min, 取上清液按体积比 5:100 加入百里香酚-乙醇溶液 (0.4 g/mL), 搅拌 1 h 后于 5000 r/min 离心 10 min, 取上清液。上清液稀释 5 倍后, 取 40 μ L 加入 0.2 mL 水和 4 mL 正己烷, 混匀静置萃取 30 min, 于 276 nm 测定吸光度值。代入标准曲线 $y=0.0139x-0.0076$, $R^2=0.9992$ 中计算百里香酚的浓度。

1.3.2 百香果处理

将上述制得的大豆蛋白-百里香酚纳米复合物溶液稀释成百里香酚浓度为 2.5 mg/mL 的工作液, 浸泡果实 2 min, 同时对照组用清水浸泡 2 min, 一同放置通风处晾干。使用 MP20 袋 (30 cm \times 39 cm, 氧气透过率 8259 cm³/m²·24 h·0.1 MPa、水蒸气透过率 23.19 g/m²·24 h、厚度 20 μ m) 包装, 每袋 5 个, 前者记为复合处理组, 后者记为对照组。样品放入 25 $^{\circ}$ C、75% RH 的恒温箱中贮藏, 每隔 3 天取样 1 次, 先测定袋内的气体成分, 然后观察果实的好果率、测定硬度, 最后用果肉分析可溶性固形物和抗坏血酸含量, 果皮用液氮粉碎后保存于 -80 $^{\circ}$ C 冰箱用于分析花色苷含量和过氧化氢酶活性。

1.3.3 好果率

观察每袋百香果是否出现腐烂现象, 计算腐烂果实个数。

$$\text{好果率} / \% = (\text{总果数} - \text{病果数}) \div \text{总果数} \times 100\%$$

1.3.4 气体成分

采用 Checkpoint 手持气体分析仪测定包装内的 CO₂ 和 O₂ 的百分含量。重复三次实验, 进行记录。

1.3.5 硬度

参考杨腾达^[18]的方法并加以修改, 采用 TA-XT 质构分析仪, 利用 P50 探头, 设置探头测前速度 1.00 mm/s, 测后速度 5.00 mm/s, 测定深度 5 mm, 围绕百香果果实赤道位置, 在距离相等的三个部位上测量果实的硬度, 单位为 kg/cm², 取平均值。

1.3.6 可溶性固形物

用勺子将果肉挖出来, 再用 4 层滤布挤压出果汁, 采用数显糖度计对果汁进行测定。

1.3.7 抗坏血酸

采用荧光法测定 Vc 的含量, 并作适当修改^[19]。量取百香果果汁 8 mL, 加入 0.3 g 经处理过的活性炭, 充分震荡, 5000 r/min 离心 5 min 后过滤。取滤液稀释 5 倍后向 A 管 (样品管) 和 B 管 (样品空白管) 中分别加入 1 mL。往 A 管中加入 1 mL 250 g/L 乙酸钠, B 管中加入 1 mL 30 g/L 硼酸-250 g/L 乙酸钠, 震荡摇匀, 于暗处静置 20 min。往 A、B 管中加入 1 mL 0.2 g/L 邻苯二胺溶液, 摇匀后于暗处静置 40 min。在激发波长 355 nm, 发射波长 425 nm, 两端狭缝均为 5 nm, 测定各管的荧光强度, 样品荧光强度-样品空白管荧光强度 = 测定样品荧光强度。代入标准曲线 $y=2.11x+1.164$, $R^2=0.999$ 中计算得到抗坏血酸浓度, 单位 mg/L。

1.3.8 花色苷

参考冯贵涛^[20]的方法, 并加以修改。称取 1 g 百香果果皮冻样粉末, 加入 5 mL 1% 盐酸-85% 乙醇, 震荡混匀后超声提取 10 min, 5500 r/min 离心 5 min 取上清液, 沉淀再用 5 mL 1% 盐酸-85% 乙醇超声提取 10 min, 离心和上述上清液合并, 重复直至上清液呈无色 (提取 4 次)。提取完毕后加 1% 盐酸-85% 乙醇定容至 25 mL, 混匀。取 2 mL 提取液两份, 分别加入 2 mL pH 1.0 的 0.025 mol/L KCl 溶液和 2 mL pH 4.5 的 0.4 mol/L 的乙酸钠溶液, 避光静置 15 min, 测定 510 nm 和 700 nm 处的吸光值。

然后再按式 (1) 计算出花色苷含量:

$$\text{花色苷含量}(\text{mg/L}) = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\epsilon \times l} \quad (1)$$

式中: A 为最终吸光值, $A=(A_{510}-A_{700})_{\text{pH}1.0}-(A_{510}-A_{700})_{\text{pH}4.5}$; MW 为矢车菊素-3-葡萄糖苷的相对分子质量 449.2 g/mol; DF 为稀释倍数; ϵ 为 26900 L/cm; l 表示光径为 1 cm 的比色皿。

1.3.9 过氧化氢酶活性

参考王学奎^[21]的方法, 并加以修改。称取 0.5 g 百香果果皮冻样, 加入 3 mL 预冷的 pH 7.0 的 0.05 mol/L 的磷酸缓冲溶液, 混匀, 于 4 $^{\circ}$ C、12000 r/min 离心 20 min, 收集上清液立即用于 CAT 酶活测定。吸取 1.9 mL 水、1 mL 3% H₂O₂ 和 0.15 mL 酶液, 充分混匀, 于 240 nm 处测定吸光度值。以每分钟每毫克蛋白引起 A₂₄₀ 变化 0.1 表示 1 个酶活单位。

1.4 数据处理与分析

每个实验重复 3 次, 采用 Excel 2010 处理数据和

origin 软件作图。采用 SPSS 软件对数据进行显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 外观品质



图1 不同处理百香果贮藏 15 d 后的外观品质

Fig.1 Comparison of the appearance of different groups of passion fruit after 15 days storage

百香果采后容易发生皱缩、腐烂现象，从而影响其商品价值。本实验结果发现，在 25 °C、75% RH 贮藏条件下，未包装百香果 3 d 即开始皱缩，到 15 d 时，皱缩严重，而 MP20 包装可以明显抑制百香果采后皱缩和腐烂的发生，同样 Owino W O 等^[22]发现经气调包装处理的百香果在第 18 d 仍能明显抑制果实的皱缩。在贮藏 12 d 后，两组处理百香果依然维持了 100% 好果率且没有出现皱缩现象，但第 15 d，对照组的百香果出现了腐烂的现象，而复合处理组的依然是 100% 的好果率（图 1）。两组处理百香果在贮藏 15 d 后，外果皮均保持鲜亮的紫红色，外观品质无明显差异，然而，将果实切开，我们可明显看到，对照组中几乎所有果实都出现了不同程度的外果皮和内果皮分离现象，而复合处理组所有果实内外果皮几乎没有分离现象；另外复合处理组和对照组的果实的失重率分别为 1.41% 和 1.52%，有研究表明^[23]水分散失一般发生在果皮而不是果肉，而从两组果实的外观来看，果皮表面并无发生任何皱缩，因此，我们猜测是由于水分的散失而导致内果皮首先发生皱缩，而外果皮没有，从而使果实的外果皮和内果皮分离。Nancy Robledo^[24]等研究发现百里香酚-藜麦蛋白壳聚糖涂膜处理的百香果的失重率与藜麦蛋白壳聚糖涂膜处理的相似；Mansoureh Saki^[25]等认为百里香酚-壳聚糖涂膜能够明显抑制新鲜无花果的失重。因此可以认为不同水果经百里香酚纳米复合物涂膜处理，其失重率不同。因此，大豆蛋白-百里香酚纳米复合物处理可进一步减缓百香果的失水现象，与 MP20 气调包装协同作用，可更好的保持百香果贮藏品质。

2.2 大豆蛋白-百里香酚纳米复合物处理对包装袋内气体成分的影响

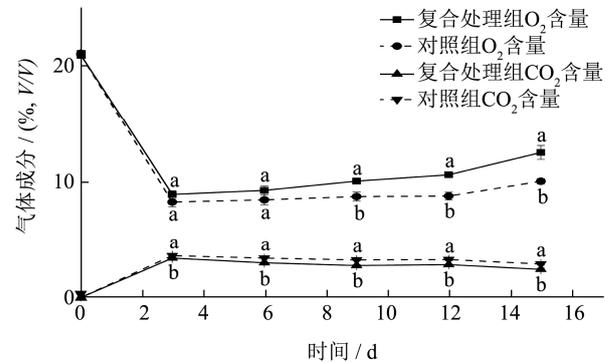


图2 大豆蛋白-百里香酚纳米复合物对百香果包装内气体成分的影响

Fig.2 Effect of soy protein-thymol nanocomplexes on gas composition in packaging of passion fruit

注：图中字母 a、b 表示 $p < 0.05$ 时同一指标下不同处理间的显著性差异，下同。

包装袋内的 CO_2 和 O_2 的含量可以反映出果实采后的呼吸情况， O_2 消耗越多，表明呼吸作用越强，而呼吸作用越强代表果实生理代谢活动越强，不利于果实的采后贮藏^[14]。由图 2 可知，在整个贮藏阶段中复合处理组的 CO_2 含量均比对照组的低、 O_2 含量均比对照组的高。对照组的 CO_2 含量在 3 d 时由 0 增加到 3.61%， O_2 含量由 21.00% 下降到 8.26%，在 3~15 d 时， CO_2 含量逐渐减少到 2.90%， O_2 含量逐渐上升至 10.03%；同样，在 3 d 时，复合处理组的 CO_2 含量由 0 迅速上升到 3.40%， O_2 含量由 21.00% 下降到 8.91%，随后在 3~15 d 内， CO_2 含量逐渐下降至 2.43%， O_2 含量逐渐上升至 12.49%。经过统计学分析，两组的 O_2 含量在第 6 d 开始出现显著性差异，而 CO_2 含量则一直具有显著性差异 ($p < 0.05$)。

贮藏前期 O_2 含量急剧下降， CO_2 含量急剧上升的现象可能是由于果实的呼吸强度大所导致的。而后期 O_2 含量缓慢上升， CO_2 含量缓慢下降可能是由于包装材料是属于透气性材质，在贮藏的过程中与外界出现了气体交换。但由于对照组的 CO_2 含量始终比复合处理组的高， O_2 含量始终比复合处理组的低。Maniwaru, P.^[23]发现百香果经气调包装处理后，在两周内，不同气调包装的 CO_2 含量均先升后降、 O_2 含量均先降后升。包装内的 CO_2 、 O_2 含量均保持在与本实验相似的水平 (CO_2 : 4%~5%、 O_2 : 12%~16%)。由此可看出，大豆蛋白-百里香酚纳米复合物处理可进一步抑制百香果的呼吸作用，使呼吸底物消耗缓慢，延长商品期。

2.3 大豆蛋白-百里香酚纳米复合物处理对百

香果硬度的影响

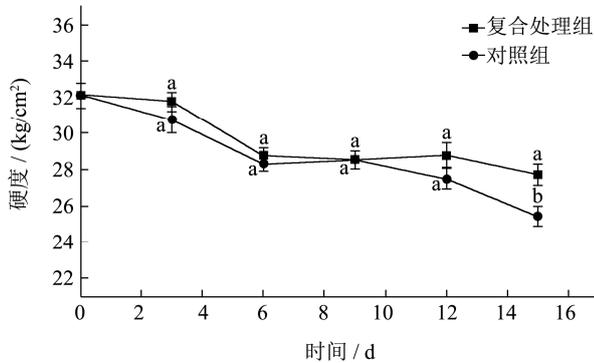


图3 大豆蛋白-百里香酚纳米复合物对百香果硬度的影响

Fig.3 Effect of soy protein-thymol nanocomplexes on firmness of passion fruit

硬度是评价果实贮藏品质的一种重要指标,与果实的货架期密切相关。由图3可知,两组的百香果硬度均呈现下降的趋势。在整个贮藏阶段,对照组的百香果硬度由32.08 kg/cm²下降到25.42 kg/cm²,复合处理组的百香果硬度由32.08 kg/cm²下降到27.69 kg/cm²,复合处理组果实硬度保留率显著高于对照组(86.32% vs 79.24%)。且经过统计学分析,在贮藏的后期两组百香果的硬度有统计学差异($p < 0.05$)。许丽^[26]认为用百里香酚处理水蜜桃能够显著延缓其硬度的下降;陈敬鑫^[27]等发现经百里香酚-海藻酸钠涂膜组的茄梨硬度比海藻酸钠涂膜组的高,可以认为对百里香酚进行包埋后处理果实仍可以延缓果实的软化。由此可得,大豆蛋白-百里香酚纳米复合物处理能够更有效地维持果实硬度。

2.4 大豆蛋白-百里香酚纳米复合物处理对百

香果可溶性固形物(TSS)的影响

可溶性固形物是反应果实的成熟程度和商品的品质的指标之一。由图4可知,随着贮藏时间的增加,两组的百香果的可溶性固形物都呈现下降的趋势。对照组的可溶性固形物由13.77%下降到11.55%,而复合处理组的百香果可溶性固形物由13.77%下降到11.82%,且差异显著($p < 0.05$)。潘怡丹^[15]认为百里香酚/聚乳酸包装能够延缓蓝莓可溶性固形物的下降,这与本实验结果一致。因此,说明长期贮藏时用大豆蛋白-百里香酚纳米复合物处理能够明显地延缓可溶性固形物作为呼吸底物被消耗的速度,这一结果与上述气体成分的结果相符。

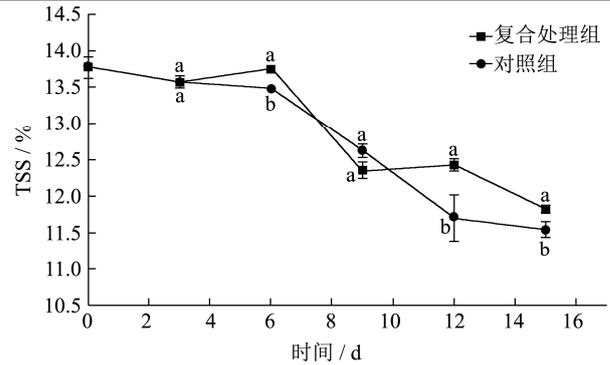


图4 大豆蛋白-百里香酚纳米复合物对百香果可溶性固形物含量的影响

Fig.4 Effect of soy protein-thymol nanocomplexes on total soluble solid (TSS) content of passion fruit

2.5 大豆蛋白-百里香酚纳米复合物处理对百

香果抗坏血酸含量的影响

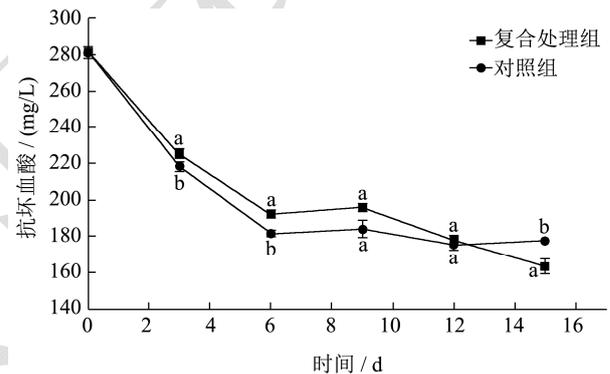


图5 大豆蛋白-百里香酚纳米复合物对百香果抗坏血酸含量的影响

Fig.5 Effect of soy protein-thymol nanocomplexes on ascorbic acid content of passion fruit

抗坏血酸,又称维生素C,具有抗氧化、延缓衰老的作用,是衡量果蔬过程中的保鲜效果的一个重要指标。随着贮藏时间的延长,抗坏血酸性质不稳定,易受加工过程、pH、水分活度等因素的影响而降解,导致抗坏血酸含量的下降^[28]。由图5可知,在整个贮藏阶段中,两组百香果的抗坏血酸的含量均呈现下降的趋势。在0~12 d时,对照组的抗坏血酸含量由281.56 mg/L下降到174.81 mg/L,复合处理组的抗坏血酸含量由281.56 mg/L下降到177.70 mg/L,且在此期间,复合处理组的抗坏血酸含量始终比对照组的高,0~6 d的抗坏血酸含量差异显著($p < 0.05$),但6~12 d的抗坏血酸含量差异并不显著($p > 0.05$)。到15 d时,对照组的为177.11 mg/L,复合处理组的抗坏血酸含量降至163.54 mg/L,且两组的抗坏血酸含量具有显著性差异($p < 0.05$)。产生这种现象的原因可能是在贮藏前期,

果实损伤较轻,大豆蛋白-百里香酚纳米复合物处理能够较好地延缓抗坏血酸消耗的速度。而在贮藏后期包装内 O₂ 含量增加,使得果实产生较多的氧自由基和过氧化氢,果实损伤加重。在植物细胞中,最重要的过氧化氢解毒底物是抗坏血酸,当水果抵抗外界因素的损伤时可能会激活一种防御机制,从而使抗坏血酸的含量降低^[29,30]。大豆蛋白-百里香酚纳米复合物对百香果产生保护作用,使果实激活这种防御机制,从而有效延缓果实的衰老。另一原因可能是在贮藏后期,大豆蛋白-百里香酚纳米复合物抑制百香果的呼吸作用,使得包装内的 O₂ 含量较高而促进了抗坏血酸的氧化,同时,对照组的高浓度的 CO₂ 可能有助于延缓抗坏血酸相关氧化酶的活性。且发现 Maniwaru, P.^[23]使用 MAP-1、MAP-2 包装 (CO₂ 含量: MAP-1<MAP-2, O₂ 含量: MAP-1>MAP-2) 百香果,其抗坏血酸的含量变化与本实验结果一致。在贮藏前期,MAP-1 包装的果实抗坏血酸含量较 MAP-2 包装的高,而到了贮藏后期,抗坏血酸加速消耗,最终比 MAP-2 包装袋的少。

2.6 大豆蛋白-百里香酚纳米复合物处理对百

香果花色苷的影响

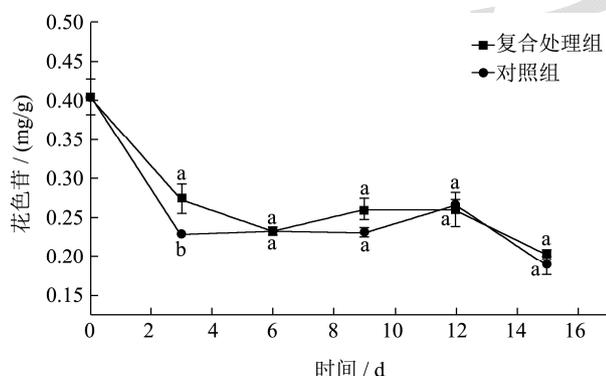


图 6 大豆蛋白-百里香酚纳米复合物对百香果花色苷含量的影响

Fig.6 Effect of soy protein-thymol nanocomplex on anthocyanin content of passion fruit

花色苷是与抗氧化相关的活性成分,也是与果皮褐变相关的指标。由图 6 可知,经对照组的百香果果皮中的花色苷在 0~3 d 呈现减少的趋势,由 0.40 mg/g 下降到 0.22 mg/g;在 3~15 d 时花色苷含量先升后降,最终下降到 0.18 mg/g。同时,在 0~6 d,复合处理组的花色苷含量由 0.40 mg/g 下降到 0.23 mg/g,在 6~15 d,其花色苷含量也先升后降,最终达到了 0.20 mg/g。经过统计学分析,两组百香果的花色苷含量无显著性差异 ($p>0.05$)。所以大豆蛋白-百里香酚纳米复合物

能够延缓百香果果皮中花色苷的分解,但效果不显著。潘怡丹^[15]认为百里香酚/聚乳酸抗菌包装的蓝莓花色苷含量比 PE 包装下降的少,但总体来看变化不明显,这与本实验结果一致。

2.7 大豆蛋白-百里香酚纳米复合物处理对百香果果皮过氧化氢酶活性的影响

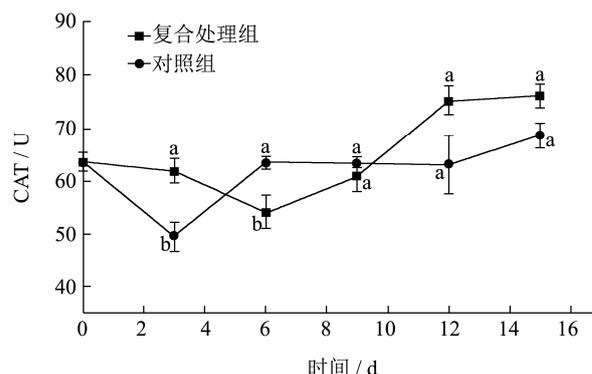


图 7 大豆蛋白-百里香酚纳米复合物对百香果过氧化氢酶活性的影响

Fig.7 Effect of soy protein-thymol nanocomplex on catalase (CAT) activity of passion fruit

过氧化氢酶 (catalase, CAT),是将过氧化氢分解为水和氧气的酶。生物体内广泛存在活性氧爆发现象,导致自由基增多,使细胞膜产生过氧化,导致细胞膜的破坏和损伤,而过氧化氢酶能够减少超氧自由基等对果实的氧化作用^[31]。由图 7 可知,对照组的 CAT 酶活性在 0~3 d 呈缓慢下降的趋势,由 63.60 U 下降到 49.50 U,3~15 d 有所上升,逐渐上升到 68.64 U;复合处理组 0~6 d 的 CAT 酶活性呈现下降趋势,由 63.60 U 下降到 54.20 U,6~15 d 呈现缓慢上升的趋势,上升到 76.18 U。在 6 d 后,两组果实的 CAT 酶活性均呈逐渐上升的趋势,且复合处理组的 CAT 酶活性增加量明显比对照组的大 (21.98 U vs 5.13 U)。根据研究表明,过氧化氢酶是植物抵抗外界迫害的至关重要的酶之一,与抗坏血酸过氧化物酶有着相似的作用^[32]。上述的抗坏血酸结果中,表明复合处理组的百香果的抗氧化的能力较高,而且复合处理组百香果的过氧化氢酶活性较对照组的高,这一结果与上述抗坏血酸含量的结果相符。潘怡丹^[15]等认为百里香酚/聚乳酸抗菌包装能够显著提高蓝莓 CAT 酶活性,但其变化趋势与本实验结果不一致,可能是由于贮藏方式与水果品种不一致所导致的。本实验表明大豆蛋白-百里香酚纳米复合物能够提高 CAT 酶活性,使果实细胞免于遭受过氧化氢的侵害,维持果实内自由基代谢的稳定性。

3 结论

3.1 在本实验中,未包装果实在第3 d就开始果皮皱缩,到第15 d皱缩严重,而MP20袋包装果实不到15 d开始腐烂,大豆蛋白-百里香酚纳米复合物处理联合MP20袋包装百香果则能够在第15 d依然保持较好的品质。由此可见,在25℃、75% RH的条件下,大豆蛋白-百里香酚纳米复合物处理联合MP20袋包装在一定程度上对百香果采后贮藏保鲜起到了一定的协同增效作用,可能的原因有以下几点:一、百里香酚具有较好的抑菌作用,抑制了腐败微生物的生长。同时复合物处理能够较好地抑制果实的呼吸作用,延缓可溶性固形物作为呼吸底物被消耗的速度,延缓果实采后成熟衰老的过程。二、大豆蛋白-百里香酚纳米复合物处理可提高百香果CAT酶活性,在贮藏阶段后期果实损伤加重时,使得抗坏血酸作为抗氧化的底物而被消耗得更多,从而能够减轻膜过氧化的过程,维持果实内自由基代谢的稳定性,能够较好地保护果实。

3.2 综上所述,大豆蛋白-百里香酚纳米复合物可以有效地延缓果实腐烂,延长保质期,维持较高的果实硬度、可溶性固形物含量,延缓花色苷的降低,果实损伤加重时可加快抗坏血酸作为抗氧化底物的消耗,提高CAT酶活性。可见,大豆蛋白-百里香酚纳米复合物在百香果采后保鲜方面有较好的应用前景。

参考文献

- [1] Natália S Janzanti, Magali Monteiro. Changes in the aroma of organic passion fruit (*Passiflora edulis* Sims *f. flavicarpa* Deg.) during ripeness [J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 59(2): 612-620
- [2] Shinjiro Shiomi, Leonard S. Wamochi, Stephen G Agong. Ripening characteristics of purple passion fruit on and off the vine [J]. Postharvest Biology and Technology, 1996, 7(1-2): 161-170
- [3] 付雅丽,康欣娜,刘铁铮.百香果的营养保健价值及无公害栽培技术[J].河北果树,2005,3:35-35
FU Ya-li, KANG Xin-na, LIU Tie-zheng. Nutritional and health value of passion fruit and its pollution-free cultivation technology [J]. Hebei Fruits, 2005, 3: 35-35
- [4] 邓博一,申铨日,邓用川.海南百香果、莲雾、青枣营养成分的比较分析[J].食品工业科技,2013,34(12):335-338, 343
DENG Bo-yi, SHEN Xuan-ri, DENG Yong-chuan. Analysis of nutritional ingredients of Hainan *Passiflora edulis* Sims, *Syzygium samarangense* and *Ziziphus muarritiana* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(12): 335-338,

343

- [5] Rúbia C G Corrêa, Rosane M Peralta, Charles W I Haminiuk, et al. The past decade findings related with nutritional composition, bioactive molecules and biotechnological applications of *Passiflora* spp. (passion fruit) [J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 58: 79-95
- [6] 杨少栓.西番莲-热带水果保鲜技术[J].保鲜与加工,2005,6: 54-55
YANG Shao-hui. Passion fruit-fresh keeping technology of tropical fruits [J]. Storage and Process, 2005, 6: 54-55
- [7] Kishore Kundan, Pathak K A, Shukla Rohit, et al. Effect of storage temperature on physico-chemical and sensory attributes of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). [J]. Journal of Food Science and Technology, 2011, 48(4): 484-488
- [8] 陈美花,熊拯,庞庭才.气调包装对百香果贮藏品质的影响[J].食品科学,2016,37(20):287-292
CHEN Mei-hua, XIONG Zheng, PANG Ting-cai. Effects of modified atmosphere packaging on quality of passion fruit during storage [J]. Food Science, 2016, 37(20): 287-292
- [9] 蒋海峰.不同保鲜剂对百香果品质影响的研究进展[C]//中国食品科学技术学会第十六届年会暨第十届中国食品业高层论坛论文摘要集.中国食品科学技术学会, 2019:451-452
JIANG Hai-feng. Research progress on the effect of different preservatives on the quality of passion fruit[C] // Abstracts of the 16th annual meeting of China food science and technology association and the 10th China food industry forum. Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019: 451-452
- [10] 徐雪莹.西番莲贮藏特性及保鲜技术研究[D].湛江:广东海洋大学,2015
XU Xue-ying. Storage characteristics and preservation methods of passion fruit [D]. Zhanjiang: Guang Dong Ocean University, 2015
- [11] 于茂兰,陈于陇,徐玉娟,等.气调包装对带叶荔枝褐变及品质的影响[J].现代食品科技,2014,30(1):108-114
YU Mao-lan, CHEN Yu-long, XU Yu-juan, et al. Effect of high oxygen atmospheric packaging on the browning and quality of litchi fruits with leaves [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(1): 108-114
- [12] Falcone P M, Mastromatteo M, Nobile M A, et al. Evaluating *in vitro* antimicrobial activity of thymol toward hygiene-indicating and pathogenic bacteria [J]. Journal of Food Protection, 2007, 70: 425-431

- [13] Olasupo N, Fitzgerald D, Gasson M, et al. Activity of natural antimicrobial compounds against *Escherichia coli* and *Salmonella enterica* serovar Typhimurium [J]. Letters in Applied Microbiology, 2003, 37: 448-451
- [14] 初丽君.百里香酚纳米级保鲜剂的制备及其在板栗保鲜中的应用[D].杨凌:西北农林科技大学,2017
CHU Li-jun. Preparation of thymol nanoparticle and its application in keeping Chinese chestnut fresh [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2017
- [15] 潘怡丹,郜海燕,陈杭君,等.麝香草酚/聚乳酸抗菌包装对蓝莓保鲜效果的影响[J].核农学报,2018,32(4):715-722
PAN Yi-dan, GAO Hai-yan, CHEN Hang-jun, et al. Effect of antibacterial packaging of thymol/PLA on preservation of blueberry [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2018, 32(4): 715-722
- [16] Boonruang K, Kerddonfag N, Chinsirikul W, et al. Antifungal effect of poly (lactic acid) films containing thymol and R-(-)-carvone against anthracnose pathogens isolated from avocado and citrus [J]. Food Control, 2017, 78: 85-93
- [17] Serrano M, Martínez-Romero D, Castillo S, et al. The use of natural antifungal compounds improves the beneficial effect of MAP in sweet cherry storage [J]. Innovative Food Science and Technologies, 2005, 6: 115-123
- [18] 杨腾达,陈飞平,陈于陇,等.桑叶菜采后商品化处理前的品质变化规律[J].食品与发酵工业,2019,45(22):124-129
YANG Teng-da, CHEN Fei-ping, CHEN Yu-long, et al. Changes of quality of mulberry leaf after harvest and before commercialization [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(22): 124-129
- [19] 逯家辉,赵航,蒋朝军,等.荧光分光光度法测定蔬菜中Vc含量[J].食品科技,2005,2:85-86,98
LU Jia-hui, ZHAO Hang, JIANG Chao-jun, et al. Determination of Vc in vegetables with fluorescence spectroscopy [J]. Food Science and Technology, 2005, 2: 85-86, 98
- [20] 冯贵涛,彭黔荣,杨敏,等.响应面法优化蓝莓花青素超声提取工艺[J].中国调味品,2016,41(8):128-134
FENG Gui-tao, PENG Qian-rong, YANG Min, et al. Optimization of ultrasonic extraction technology of blueberry anthocyanin by response surface method [J]. China Condiment, 2016, 41(8): 128-134
- [21] 王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社(第2版),2005
WANG Xue-kui. Plant Physiological Biochemical Experiment Principle and Technology (Second Edition) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2005
- [22] Owino W O, Yumbya P, Shibairo S, et al. Efficacy of Activebag® packaging on postharvest quality of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) [J]. Acta Horticulturae, 2016, 1120: 85-90
- [23] Maniwaru P, Boonyakiat D, Poonlarp P B, et al. Changes of postharvest quality in passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) under modified atmosphere packaging conditions [J]. International Food Research Journal, 2015, 22(4): 1596-1606
- [24] Nancy Robledo, Luis López, Andrea Bunge, et al. Effects of antimicrobial edible coating of thymol nanoemulsion/quinoa protein/chitosan on the safety, sensorial properties, and quality of refrigerated strawberries (*Fragaria×ananassa*) under commercial storage environment [J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11(8): 1566-1574
- [25] Mansoureh Saki, Babak ValizadehKaji, Ahmadreza Abbasifar, et al. Effect of chitosan coating combined with thymol essential oil on physicochemical and qualitative properties of fresh fig (*Ficus carica L.*) fruit during cold storage [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2019, 13(2): 1147-1158
- [26] 许丽,尹京苑,姚良辉,等.麝香草酚处理对水蜜桃采后保鲜的影响[J].食品与发酵工业,2011,37(2):218-223
XU Li, YIN Jing-yuan, YAO Liang-hui, et al. Effect of thymol treatment on postharvest preservation of peach [J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(2): 218-223
- [27] 陈敬鑫,吴安康,孟坤,等.百里香酚/海藻酸钠膜对茄梨贮藏品质的影响[J].食品工业科技,2020,41(4):229-233,241
CHEN Jing-xin, WU An-kang, MENG Kun, et al. Effect of thymol/sodium alginate coating on the storage quality of Clapp favonite pear fruit [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(4): 229-233, 241
- [28] ZHANG Li-Ping, XIE Jing, WANG Tai, et al. Study of physicochemical properties of Chinese small cabbage (*Brassica chinensis L.*) stored at four temperatures [J]. Advanced Materials Research, 2013, 690-693: 1275-1281
- [29] Esther Pinto, Irene Lentheric, Miguel Vendrell, et al. Role of fermentative and antioxidant metabolisms in the induction of core browning in controlled-atmosphere stored pears [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2001, 81(3): 64-370

(下转第 283 页)