

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.08.005

壳聚糖协同次氯酸盐对采后北碚 447 锦橙质构及生理的影响^①

马雨熙^{1,2}, 宁晓强³, 张 玉^{1,2}, 冯西娅^{1,2}

1. 西南大学 食品科学学院, 重庆 400715;

2. 西南大学 食品科学与工程国家级教学示范中心, 重庆 400715; 3. 西南大学 附属中学, 重庆 400700

摘要: 探究壳聚糖协同次氯酸盐对北碚 447 锦橙贮藏期间酶活性及质构的影响. 以北碚 447 锦橙作为试验材料, 对贮藏过程中果实的果皮和果肉硬度、失重率、丙二醛(MDA)摩尔质量浓度、超氧化物歧化酶(SOD)活性和过氧化氢酶(CAT)活性变化进行了测定. 总体上, 在贮藏中后期, 各个壳聚糖处理组的果皮和果肉硬度, SOD 和 CAT 活性均高于对照组, MDA 摩尔质量浓度低于对照组; 贮藏第 30 d, 1%壳聚糖+200 mg/L Ca(ClO)₂ 组的果皮和果肉硬度, SOD 和 CAT 活性显著高于对照组($p < 0.05$), 其值分别为 706 ± 19.1 N/g, 203.5 ± 4.0 N/g, 249.8 ± 7.5 U/g, 310 ± 20 mg/(g·min); MDA 摩尔质量浓度显著低于对照组($p < 0.05$), 其值为 0.090 ± 0.02 $\mu\text{mol/g}$. 综合考虑, 得出 1%壳聚糖+200 mg/L Ca(ClO)₂ 处理组能维持较高的果实硬度, 降低 MDA 摩尔质量浓度, 提高 SOD 和 CAT 的活性, 有利于北碚 447 锦橙的贮藏保鲜.

关键词: 壳聚糖; 次氯酸盐; 北碚 447 锦橙; 酶活性; 质构

中图分类号: S379

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2018)08-0032-07

北碚 447 锦橙是 20 世纪 80 年代由中国农科院柑橘研究所、西南农业大学、四川省农科院果树研究所的有关专家先后经过 5 次鉴定得到的优良品种^[1]. 果实呈椭圆形, 果皮较细, 橙色, 有光泽, 蒂平, 果顶平, 因其囊瓣易分离, 囊壁薄, 果大皮薄, 果肉脆嫩化渣, 风味浓, 无核等优良性状被广泛种植并开发成多种多样的产品^[1]. 但是, 由于在贮藏过程中自身的呼吸代谢、蒸腾作用和成熟衰老过程的进行, 导致其果实品质会不断下降, 严重影响了果品质量和商品价值^[2-3]. 传统的果蔬保鲜方法多利用化学保鲜剂对果实进行处理, 以控制果实在贮藏过程中病害的发生及品质的下降^[3]. 但是, 随着化学保鲜剂对人们健康及自然环境所带来的危害慢慢显现, 如化学杀菌剂的长期和广泛使用所带来的农药残留、抗性菌株的产生以及环境污染等问题, 寻求一种无毒、无害、高效、环境友好型且对北碚 447 锦橙贮藏过程中品质的保持有良好效果的新型保鲜剂显得尤为重要^[4].

壳聚糖属于天然产物, 有良好的生物相容性和成膜性以及较强的抗菌保鲜防腐能力, 作为一种高效、无毒、成本较低天然保鲜剂受到越来越多的关注和应用^[5]. 赵宇瑛等研究了壳聚糖涂膜对绿竹笋采后保鲜效果的影响, 发现壳聚糖涂膜可显著延缓绿竹笋的硬度、纤维素和木质素增加的速率, 抑制苯丙氨酸酶和多酚氧化酶的活性, 保持笋肉的良好品质^[6]; 汪东风等研究了壳聚糖复合膜处理对蓝莓保鲜效果的影响, 发现壳聚糖复合膜能有效减少失重率, 保持果实的硬度, 提高其超氧化物歧化酶(SOD)的活性^[7]; 另

① 收稿日期: 2017-12-05

基金项目: 重庆市社会事业与民生保障科技创新专项(cstc2017shms-xdny80049); 重庆市北碚区集成示范计划项目(2014-68); 重庆市教学改革项目(153024); 西南大学科普创新项目; 公益性行业(农业)科研专项(201303076-7).

作者简介: 马雨熙(1994-), 女, 硕士研究生, 主要从事农产品贮藏的研究.

通信作者: 张 玉, 博士, 副教授.

外,壳聚糖处理在‘早红考密斯’梨和鲜切苹果等果蔬贮藏品质的保持方面也有较为明显的效果^[8-9].但单独使用壳聚糖保鲜果蔬仍存在一些不足,有研究表明壳聚糖与其他物质复合保鲜效果更好^[10-12].Maqbool 等研究发现 10% 的阿拉伯胶与 1.0% 的壳聚糖复合涂膜能降低香蕉果实的失重率和可溶性固形物,延缓果实色泽变化并降低其呼吸速率,从而延长香蕉的货架期至 33 d. Zhang 等研究表明壳聚糖复合水杨酸能有效提高黄瓜贮藏过程中 SOD 和 CAT 等抗氧化酶的活性,抑制丙二醛摩尔质量浓度、电解质渗漏及内源水杨酸浓度的增加.吴雪莹等人研究发现壳聚糖与 SiO_x 复合能显著抑制脐橙果实贮藏期间硬度的下降^[12].近年来,次氯酸钙、次氯酸钠处理提高果蔬保鲜效果的研究已有报道^[13-15],但是单独使用次氯酸盐进行果蔬保鲜,次氯酸盐很难长时间保留在果皮表面,达不到理想的保鲜效果.如果将次氯酸盐与成膜性较好的材料进行复合使用就能解决以上问题.

因此,本研究以北碚 447 锦橙为试验材料,研究壳聚糖协同次氯酸盐对北碚 447 锦橙果实贮藏期间果皮和果肉硬度、失重率、MDA 摩尔质量浓度、SOD 和 CAT 活性的影响,以探究壳聚糖协同次氯酸盐对锦橙果实贮藏品质的影响,并为其作为新型保鲜剂在锦橙贮藏方面的应用提供一定的理论基础.

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 试验材料

北碚 447 锦橙,于 2014 年 12 月 15 日采于重庆市北碚区歇马镇,挑选外观整洁、大小适中、无病虫害和机械损伤的果实作为试验材料.

1.1.2 药品与试剂

壳聚糖(分子质量 1600D),山东济南海得贝海洋生物工程公司;次氯酸钙(分析纯),成都市科龙化工试剂厂;次氯酸钠(分析纯),成都市科龙化工试剂厂;其他试剂均为分析纯.

1.2 仪器与设备

CT3 质构仪, BROOKFIELD(博勒飞)公司;数显恒温水浴锅, HH-8 国华电器有限公司; LG10-2.4A 高速离心机,北京医用离心机厂; 722 可见分光光度计,上海菁华科技仪器有限公司; MP4001 电子天平,上海恒平科学仪器有限公司.

1.3 处理方法

果品运到实验室后,先用清水将果实清洗干净,取出晾干水分后再用 2% 的次氯酸钠溶液浸泡 1 min,取出清洗干净,再次晾干水分.然后将果品分为 4 组(每组 50 个果实)进行以下 4 种处理:

对照组:清水,浸渍 2 min;处理组 1:1% 壳聚糖+200 mg/L 次氯酸钙,浸渍 2 min;处理组 2:1% 壳聚糖+200 mg/L 次氯酸钠,浸渍 2 min;处理组 3:1% 壳聚糖,浸渍 2 min.按照上述处理后将果实自然晾干,用 0.02 mm 聚乙烯塑料袋包扎,在 25 °C 条件下贮藏,贮藏期间每隔 5 d 取样一次进行各项指标的测定,每次每组取 8 个果实.

1.4 测试指标

1.4.1 失重率的测定

$$\text{果实失重率} / \% = \frac{\text{贮藏果实的原始质量} - \text{贮藏后果实质量}}{\text{贮藏果实的原始质量}} \times 100$$

1.4.2 硬度的测定

果皮硬度的测定:用 CT3 质构仪对果实赤道部分进行测定.参数设定值:目标:4.0 mm;触发点负载:20 g;测试速度:1.00 mm;返回速度:1.0 mm;循环次数:2.0;探头:TA39;负载单位:25 000 g.

果肉硬度的测定:从果实赤道位置将果实横切成两半,用质构仪对横切部分的果肉进行测定.参数设定值:目标:8.0 mm;触发点负载:3 g;测试速度:1.00 mm;返回速度:1.0 mm;循环次数:2.0;探头:TA44;负载单元:25 000 g.

1.4.3 丙二醛(MDA)摩尔质量浓度的测定

采用硫代巴比妥酸比色法,参考董树刚等^[16]的方法.取 1.0 g 果肉,加入 2 mL 10% 的三氯乙酸

(TCA) 和少量石英砂, 研磨至匀浆, 再加入 7 mL TCA 进一步研磨, 转入离心管, 以 2 500 r/min 离心 10 min, 上清液为样品提取液; 取上清液(对照空白管加入 2.0 mL 10% TCA 溶液代替提取液)加入 2.0 mL 0.6% 硫代巴比妥酸比色法(TBA)混合后在沸水浴中煮沸 10 min, 取出冷却后再离心 10 min, 分别测定上清液在 532 nm, 600 nm 波长处的吸光度值, 每种处理做 3 组平行测定, 并按下式计算 MDA 的摩尔质量浓度:

$$\text{丙二醛}(\mu\text{mol/g}) = \frac{(A_{532} - A_{600}) \times V_{\text{总}}}{155 \times L \times W \times V_{\text{样}}}$$

式中: A_{532} , A_{600} 分别为 532 nm, 600 nm 处的吸光度值; W 为样品鲜质量; L 为比色杯厚度(cm); $V_{\text{总}}$ 为上清液总体积; $V_{\text{样}}$ 为测定时所用样品提取液体积; 155 为 1 mL 三甲川在 532 nm 处的吸光系数。

1.4.4 超氧化物歧化酶(SOD)活力的测定

参照 GB/T5009.171-2003 保健食品中超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定。

1.4.5 过氧化氢酶(CAT)活性的测定

采用碘量法测定, 具体步骤如下: 1) 称取 10 g 样品放入研钵, 加入 0.2 g CaCO_3 和少量水进行研磨, 将研磨后的匀浆转入 100 mL 容量瓶中, 并用蒸馏水洗涤研钵并入容量瓶, 定容至 100 mL, 用棉花和纱布过滤定容后的酶液备用; 2) 取 100 mL 三角瓶 4 个, 分别编号, 向各瓶中准确加入制备的酶液 10 mL, 立即向 3, 4 号瓶中加入 5 mL 3.6 mol/L H_2SO_4 , 以终止酶活性, 作为空白测定; 将各瓶放入 20 °C 水浴中保温 8 min 后, 向各瓶准确加入 0.1 mol/L H_2O_2 5 mL, 摇匀, 立即将各瓶放回 20 °C 水浴中, 开始计时; 让酶作用 5 min 后, 迅速取出, 在 1, 2 号瓶中加入 5 mL 3.6 mol/L H_2SO_4 以终止酶的活性; 向 4 个瓶中加入 1 mL 20% KI 和 3 滴钼酸铵, 用 0.2 mol/L NaS_2O_3 滴定至淡黄色后, 再加入 5 滴淀粉指示剂, 再用 NaS_2O_3 滴定至蓝色消失, 记录 NaS_2O_3 消耗的总量, 每种处理做 3 组平行测定, 并按下式计算 CAT 活性:

$$\text{被分解的 } \text{H}_2\text{O}_2 \text{ 量}(\text{mg}) = [\text{空白滴定值 } V_1(\text{mL}) - \text{样品滴定值 } V_2(\text{mL})] \times M \times 17.17$$

$$\text{CAT 酶活性} = \frac{\text{被分解 } \text{H}_2\text{O}_2(\text{mg}) - \text{酶溶液的稀释倍数}}{\text{样品质量 } m(\text{g}) \times \text{反应时间 } t(\text{min})}$$

式中: M 为 NaS_2O_3 的摩尔浓度; 17.17 为 H_2O_2 的质量转化数。

1.5 数据分析

应用 Excel 2010 统计分析所有数据, 计算标准误并绘制图; 应用 SPSS 18.0 软件对数据进行单因素方差分析和差异显著性分析($p < 0.05$, 表示差异有统计学意义)。

2 结果与分析

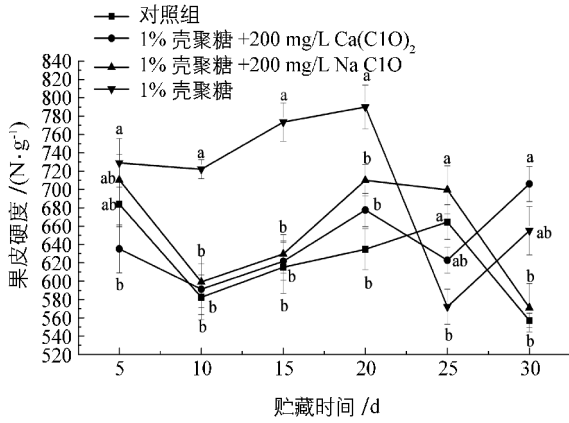
2.1 不同处理对北碚 447 锦橙贮藏期间硬度的影响

2.1.1 不同处理对 447 锦橙贮藏期间果皮硬度的影响

硬度与果实软化密切相关, 是果实采后品质的重要参数^[10]。图 1 显示, 447 锦橙果实在贮藏期间果皮硬度总体呈下降趋势。第 10 d 和 15 d, 1% 壳聚糖组果皮硬度显著高于对照组及另外两试验组($p < 0.05$)。贮藏第 30 d, 3 组壳聚糖试验组的果皮硬度均高于对照组(557 ± 8 N/g), 且 1% 壳聚糖 + 200 mg/L $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 组果皮硬度显著高于对照组($p < 0.05$), 为 706 ± 19.1 N/g。

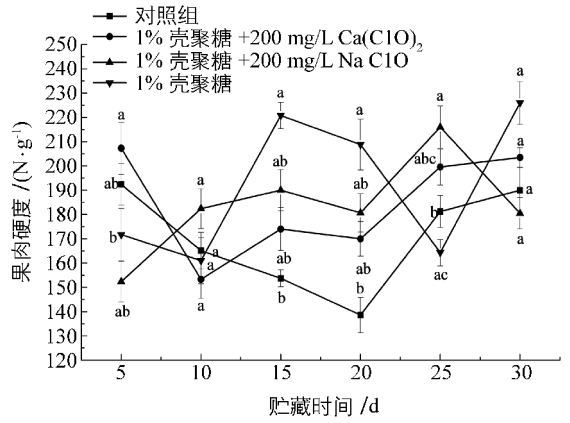
2.1.2 不同处理对 447 锦橙贮藏期间果肉硬度的影响

图 2 表明, 贮藏第 15 d 到第 30 d, 1% 壳聚糖 + 200 mg/L $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 组果肉硬度均高于对照组; 1% 壳聚糖 + 200 mg/L NaClO 组果肉硬度从贮藏第 15 d 到第 25 d 均高于对照组。贮藏第 30 d, 1% 壳聚糖 + 200 mg/L $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 组和 1% 壳聚糖组果实果肉硬度均高于对照组(187 ± 9.3 N/g)。结合图 1 和图 2 可知, 1% 壳聚糖 + 200 mg/L $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 组和 1% 壳聚糖组均能有效抑制北碚 447 锦橙果实在贮藏期间果皮和果肉硬度的下降, 这是因为涂膜阻塞了果实表皮的气孔, 从而减少水分蒸发, 保持了果实的硬度。其中, 1% 壳聚糖 + 200 mg/L $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 的作用效果最显著, 且主要表现在贮藏末期。



小写字母不同表示 $p < 0.05$, 差异有统计学意义。

图 1 不同处理对 447 锦橙贮藏期间果皮硬度的影响



小写字母不同表示 $p < 0.05$, 差异有统计学意义。

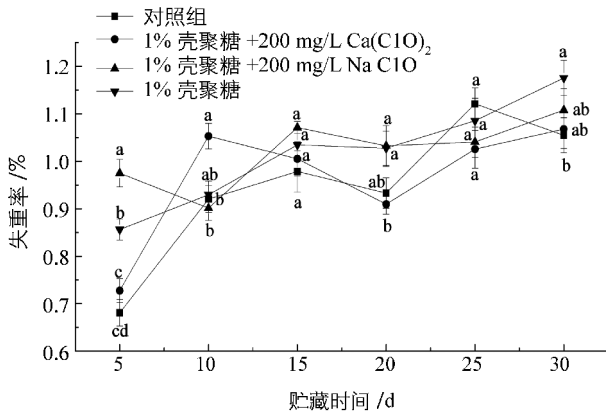
图 2 不同处理对 447 锦橙贮藏期间果肉硬度的影响

2.2 不同处理对北碚 447 锦橙贮藏期间失重率的影响

失重率是决定果实贮藏寿命和采后质量的最重要的参数之一^[10]。由图 3 可知,随着贮藏时间的增加,各组果实的失重率逐渐增加。在贮藏第 20 d 和第 25 d, 1%壳聚糖+200 mg/L $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 组果实失重率均低于对照组;在贮藏第 30 d, 1%壳聚糖+200 mg/L $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 组果实失重率略高于对照组,但两者差异无统计学意义($p > 0.05$)。贮藏第 30 d, 对照组果实失重率为 $(1.06 \pm 0.04)\%$, 相比贮藏第 5 d 增加了 55.9%, 而 1%壳聚糖+200 mg/L $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 组果实的失重率仅增加了 44.5%。由此可见, 1%壳聚糖+200 mg/L $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 处理组在各试验组中对果实失重率的保持效果最佳。

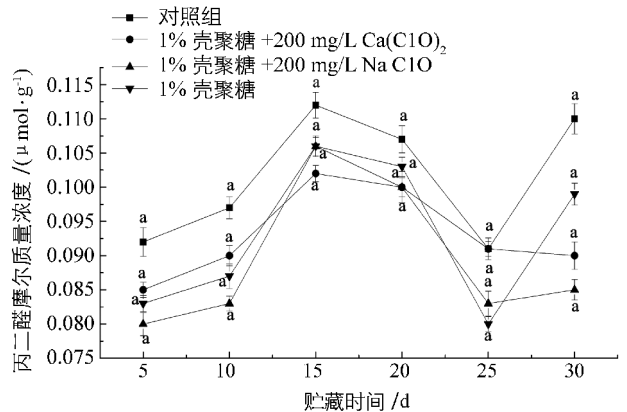
2.3 不同处理对 447 锦橙贮藏期间丙二醛(MDA)摩尔质量浓度的影响

MDA 是膜脂氧化的产物,其摩尔质量浓度的高低是衡量膜脂氧化反应程度的重要指标^[17]。由图 4 可知,随着贮藏期的延长,各试验组果实 MDA 的摩尔质量浓度均呈先上升后下降再上升的趋势,对照组果实 MDA 摩尔质量浓度在整个贮藏期内均处于较高水平, 1%壳聚糖+200 mg/L $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 组在贮藏前期处于较低水平。在贮藏第 30 d, 对照组 MDA 摩尔质量浓度最高,为 $0.110 \pm 0.002 2 \mu\text{mol/g}$, 而 1%壳聚糖+200 mg/L NaClO 组果实 MDA 摩尔质量浓度最低,为 $0.085 \pm 0.001 5 \mu\text{mol/g}$ 。由此可见,各试验组均能有效抑制北碚 447 锦橙果实贮藏期间 MDA 摩尔质量浓度的上升,减缓膜脂氧化反应的进程,其中, 1%壳聚糖+200 mg/L NaClO 处理效果最好。



小写字母不同表示 $p < 0.05$, 差异有统计学意义。

图 3 不同处理对 447 锦橙贮藏期间失重率的影响



小写字母不同表示 $p < 0.05$, 差异有统计学意义。

图 4 不同处理对 447 锦橙贮藏期间丙二醛(MDA)摩尔质量浓度的影响

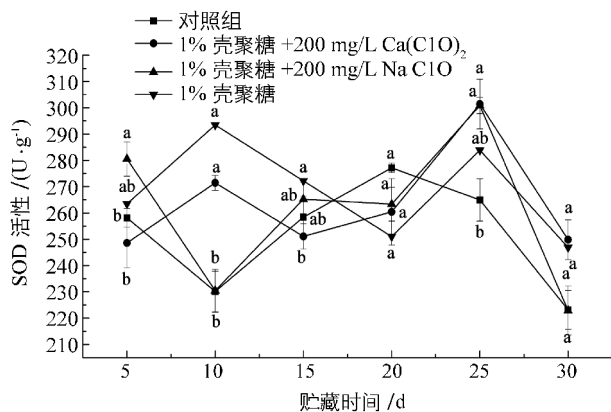
2.4 不同处理对北碚 447 锦橙贮藏期间超氧化物歧化酶(SOD)活力的影响

SOD 是果实成熟衰老过程中的保护性酶类,可清除植物体内过量的超氧化物自由基,从而降低自由

基对细胞膜的损伤, 延缓细胞的衰老, 对果实有一定的保护作用^[18-19]. 图 5 表明, 在贮藏第 10 d, 1% 壳聚糖+200 mg/L $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 组和 1% 壳聚糖组果实 SOD 活力均显著高于对照组 ($p < 0.05$); 第 25 d, 各试验组的果实 SOD 活力均高于对照组, 且与对照组相比, 差异有统计学意义 ($p < 0.05$); 在整个贮藏过程中, 1% 壳聚糖+200 mg/L $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 组和 1% 壳聚糖组果实 SOD 活力出现 2 次波峰, 1% 壳聚糖+200 mg/L NaClO 组推迟了波峰的出现; 第 30 d, 1% 壳聚糖+200 mg/L $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 组果实 SOD 活力最高, 为 $249.8 \pm 7.5 \text{ U/g}$, 高于对照组果实 SOD 活力 ($220.2 \pm 7.3 \text{ U/g}$). 由此可见, 各处理均能提高北碚 447 锦橙果实贮藏期间 SOD 的活力, 延缓果实的衰老, 且以 1% 壳聚糖+200 mg/L $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 处理效果最佳.

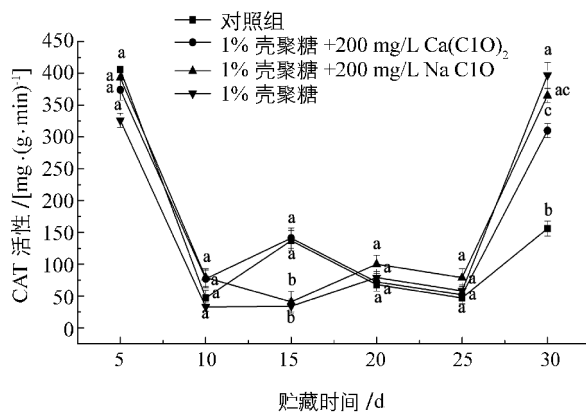
2.5 不同处理对北碚 447 锦橙贮藏期间过氧化氢酶(CAT)活性的影响

CAT 能在逆境或植物衰老过程中清除体内的活性氧, 从而维持植物体内氧代谢平衡, 抑制果蔬的衰老^[21]. 由图 6 可知, CAT 的活性随着贮藏时间的延长先下降后上升, 这与赵丰云等^[22]的研究结果相似. 贮藏前期, 试验组与对照组的 CAT 活性均迅速下降. 在贮藏后期, 试验组果实的 CAT 活性又迅速上升, 且在贮藏第 30 d 时, 1% 壳聚糖组, 1% 壳聚糖+200 mg/L $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 组和 1% 壳聚糖+200 mg/L NaClO 组果实 CAT 活性分别为 $397 \pm 11 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$, $310 \pm 20 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 和 $365 \pm 13 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$. 均显著高于对照组 [$156 \pm 12 \text{ mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$] ($p < 0.05$). 由此可见, 各试验组均能显著提高北碚 447 锦橙果实贮藏期间 CAT 活性, 利于贮藏保鲜.



小写字母不同表示 $p < 0.05$, 差异有统计学意义.

图 5 不同处理对 447 锦橙贮藏期间超氧化物歧化酶(SOD)活力的影响



小写字母不同表示 $p < 0.05$, 差异有统计学意义.

图 6 不同处理对锦橙贮藏期间过氧化氢酶(CAT)活性的影响

3 讨论与结论

本研究表明, 壳聚糖协同次氯酸盐能有效抑制北碚 447 锦橙贮藏期间果皮和果肉硬度的下降以及贮藏中后期果实失重率的上升, 保持果实硬度, 缓解果实软化. 其原因可能与壳聚糖的成膜性有关, 壳聚糖在锦橙果实表面形成低 O_2 和高 CO_2 的微环境, 在一定程度上起到了微气调的作用, 且阻塞了果实表皮的气孔, 因而对锦橙果实在贮藏期间水分的散失和呼吸作用有一定的抑制作用, 从而抑制了贮藏过程中的失重率的上升及硬度的下降^[23-24].

通过本研究还可以得出, 壳聚糖协同次氯酸盐可显著降低北碚 447 锦橙贮藏期间 MDA 摩尔质量浓度的积累, 提高了 447 锦橙贮藏期间 SOD 和 CAT 的活性, 延缓了果实的衰老, 其变化趋势与其他研究结果基本一致^[9, 25-26], 其中, 1% 壳聚糖+200 mg/L $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 效果最好. 这可能是由于涂膜处理阻碍了氧气进入果实内部, 降低活性氧的形成, 使脂质过氧化反应受到抑制, 从而减少 MDA 的生成和积累^[27]; 另有研究表明, 钙能通过阴离子半乳糖醛酸之间形成交联结构, 从而提高细胞壁结构和中间层的稳定性, 强化细胞壁结构, 有效抑制果实的呼吸速率, 果实硬度的下降和失重率的上升, 延缓果实软化进程^[28-30]; 同时, 外源补充钙可以在分子水平上调节 SOD 和 CAT 基因表达量来激活 SOD 和 CAT 酶的活性^[31], SOD

和 CAT 作为植物抗氧化保护酶类,其活性的增强有效地提高了清除组织细胞中活性氧的速率,抑制脂质过氧化反应的发生及其所产生的有害代谢产物如 MDA,从而更有效地延缓了果实的衰老,利于北碚 447 锦橙的贮藏保鲜。

参考文献:

- [1] 李谋英,熊晓山,余书琴,等.北碚 447 号锦橙的选育及丰产栽培技术要点 [J].中国柑桔,1992,21(2):14-15.
- [2] 汪开拓,廖云霞,阚建全,等.杨梅采后低温贮藏期间蔗糖代谢酶活性与果实花色苷合成关系的研究 [J].西南大学学报(自然科学版),2014,36(12):1-7.
- [3] 邓丽莉,黄艳,周玉翔,等.采前壳寡糖处理对柑橘果实贮藏品质的影响 [J].食品科学,2009,30(24):428-432.
- [4] TRIPATHI P, DUBEY N K. Exploitation of Natural Products as an Alternative Strategy to Control Postharvest Fungal Rotting of Fruit and Vegetables [J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 32(3): 235-245.
- [5] 阳元娥,罗发兴,谭伟.新型的天然食品保鲜剂—壳聚糖 [J].武汉工业学院学报,2002,21(3):22-25.
- [6] 赵宇瑛,郑小林.壳聚糖涂膜对绿竹笋采后保鲜效果的影响 [J].保鲜与加工,2015,15(3):33-37.
- [7] 汪东风,张一妹,徐莹,等.壳聚糖复合膜处理对蓝莓保鲜效果的影响 [J].现代食品科技,2014,30(2):62-65.
- [8] 王宝刚,侯玉茹,李文生,等.壳聚糖处理对‘早红考密斯’梨果皮病抑制和贮藏品质的影响 [J].中国农业科学,2013,46(16):3424-3431.
- [9] 范林林,李萌萌,冯叙桥,等.壳聚糖涂膜对鲜切苹果贮藏品质的影响 [J].食品科学,2014,35(22):350-355.
- [10] MAQBOOL M, ALI A, ALDERSON P G, et al. Effect of a Novel Edible Composite Coating Based on Gum Arabic and Chitosan on Biochemical and Physiological Responses of Banana Fruits During Cold Storage [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(10): 5474-5482.
- [11] ZHANG Y, ZHANG M, YANG H. Postharvest Chitosan-g-Salicylic Acid Application Alleviates Chilling Injury and Preserves Cucumber Fruit Quality During Cold Storage [J]. Food Chemistry, 2015, 174: 558-563.
- [12] 吴雪莹,屈立武,周雅涵,等.壳聚糖和 SiO₂ 处理对采后脐橙果实硬度的影响 [J].食品科学,2015,36(2):204-209.
- [13] 胡佳羽,刘亚敏,李鹏霞,等.次氯酸钙对贮藏脐橙膜脂过氧化和保护酶活性的影响 [J].食品科学,2009,30(14):292-295.
- [14] 杨小胡,梁丽松,王贵禧.采后次氯酸钠水浴处理对板栗气调贮藏品质的影响 [J].农业工程学报,2006,22(9):215-218.
- [15] MARTIN-DIANA A B, RICO D, FRIAS J M, et al. Calcium for Extending the Shelf Life of Fresh Whole and Minimally Processed Fruits and Vegetables: a Review [J]. Trends Food Sci Tech, 2007, 18(4): 210-218.
- [16] 董树刚,吴以平.植物生理学实验技术 [M].青岛:中国海洋大学出版社,2006.
- [17] 曹明明,阎瑞香,冯叙桥,等.热处理对鲜切玫瑰香葡萄抗氧化活性及生理生化品质的影响 [J].食品科学,2012,33(8):279-284.
- [18] 王春红,孟泉科,刘兴华,等.1-MCP 处理对猕猴桃中抗坏血酸含量及其品质、生理的影响 [J].中国食品学报,2014,14(5):134-141.
- [19] 王晓飞,杨艳青,任小林,等.1-MCP 对‘粉红女士’苹果果实采后生理及其品质的影响 [J].食品科学,2014,35(18):219-223.
- [20] 刘峰,陈明,陈金印.壳聚糖处理时间对脐橙的保鲜效果 [J].食品与发酵工业,2010,36(7):183-187.
- [21] 李江阔,曹森,张鹏,等.1-MCP 采前处理对葡萄采后相关酶活性与品质的影响 [J].食品科学,2014,35(22):270-275.
- [22] 赵丰云,于坤,郁松林,等.采前喷施壳聚糖、壳寡糖对红地球葡萄贮藏品质和防御酶活性的影响 [J].食品科技,2012,37(5):31-35.
- [23] DU J M, GEMMA H, IWAHORI S. Effect of Chitosan-Coating on the Storage of Peach, Japanese Pear and Kiwifruit [J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 1997, 66(1): 15-22.
- [24] KUMAR M N R. A Review of Chitin and Chitosan Applications [J]. React Funct Polym, 2000, 46(1): 1-27.
- [25] 王炜,李鹏霞,黄开红,等.次氯酸钙处理对红富士苹果防御酶活性的影响 [J].江西农业学报,2009,21(1):48-50.
- [26] 张娜娜,马丽,张辉,等.壳聚糖-改性纳米 SiO₂ 复合涂膜对沪产哈密瓜生理生化品质影响的研究 [J].核农学报,2014,28(11):2031-2037.

- [27] 杨雪梅,尹燕雷,陶吉寒,等.采前涂膜对‘泰山红’石榴采后贮藏品质的影响[J].食品科学,2014,35(24):337-342.
- [28] HERNANDEZ-MUNOZ P, ALMENAR E, VALLE V D, et al. Effect of Chitosan Coating Combined with Postharvest Calcium Treatment on Strawberry (*Fragaria* × *Ananassa*) Quality During Refrigerated Storage [J]. Food Chemistry, 2008, 110(2): 428-435.
- [29] 沈奇,孙娅,张维敏,等.钙处理对双孢菇贮藏期间品质的影响[J].食品科学,2013,34(12):331-335.
- [30] 蒋依辉,易干军,孟祥春,等.钙处理结合壳聚糖涂膜对芒果贮藏品质的影响[J].食品科学,2009,30(22):369-372.
- [31] 梁国庆,孙静文,周卫,等.钙对苹果果实超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性及其基因表达的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(2):438-444.

Effects of Chitosan Combined with Hypochlorite on Post-Harvest Texture and Physiology of Citrus (*Citrus sinensis* L. Osbeck cv. Jincheng 447) Fruit

MA Yu-xi^{1,2}, NING Xiao-qiang³, ZHANG Yu^{1,2}, FENG Xi-ya^{1,2}

1. School of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Food Science and Engineering Teaching Demonstration Center at the National Level, Southwest University, Chongqing 400715, China;

3. High School Affiliated to Southwest University, Chongqing 400700, China

Abstract: This study was made to investigate the effects of chitosan combined with hypochlorite on the post-harvest physiology and texture of citrus (*Citrus sinensis* L. Osbeck cv. Jincheng 447) fruit. Chitosan treatments were applied to the harvested citrus fruit, and indexes including firmness of peel and pulp, and malondialdehyde (MDA) content, and activities of superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) were analyzed. Generally, during the middle and later periods of storage, the peel and pulp firmness of chitosan-treated groups and their SOD and CAT activities were higher than those of the control group, and MDA content were lower than those of the control group. Determined on the 30th day, the treatment of 1% chitosan in combination with 200 mg/L Ca(ClO)₂ showed significant differences from the control group and its the peel firmness, pulp firmness, SOD and CAT were higher than those of the control, being 706 ± 19.1 N/g, 203.5 ± 4.0 N/g, 249.8 ± 7.5 U/g and 310 ± 20 mg/(g · min), respectively. Its MDA content were lower than those of the control, being 0.090 ± 0.02 μmol/g. 1% Chitosan used in combination with 200 mg/L Ca(ClO)₂ helped to maintain the peel and pulp firmness of citrus fruit, enhance its activities of SOD and CAT and reduce its MAD content, and its good for citrus (*Citrus sinensis* L. Osbeck cv. Jincheng 447) fruit storage.

Key words: chitosan; hypochlorite; Beibei 447 glorious orange; enzyme activity; texture

责任编辑 周仁惠