

生长期喷钙提高锦橙果实品质及延长贮藏期

温明霞^{1,2}, 石孝均^{2*}

(1. 浙江省柑桔研究所, 台州 318020; 2. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716)

摘要: 探讨钙对柑橘果实贮藏品质及衰老的影响, 为合理调控柑橘钙素营养、延长果实的贮藏保鲜期提供理论和技术支撑。通过在北碚 447 锦橙 (*Citrus sinensis* Osbeck cv. Jincheng) 生长的不同时期进行树体补钙, 研究钙对果实贮藏品质及酶活性的影响。结果表明, 在锦橙的生长期喷钙能提高果实钙含量, 抑制果实贮藏过程中维生素 C 等物质的氧化分解, 提高果实可溶性固形物含量和糖酸比, 改善果实品质。不同时期喷钙均能提高果实中抗氧化酶 (CAT、SOD) 活性, 降低细胞壁水解酶 (PG、CX)、过氧化物酶 (POD) 活性, 减轻脂质过氧化程度, 果胶的分解转化速度减慢, 丙二醛、可溶性果胶的含量明显降低, 从而维持果皮具有一定的强度, 延缓了果实的衰老, 降低烂果的发生率, 延长了果实的贮藏保鲜期。其中以幼果期喷钙在提高果实钙含量、延长贮藏期等方面的效果较好, 其次是果实膨大期喷钙, 成熟期喷钙效果最差。在幼果期和果实膨大期喷钙是提高果实品质、延长采后果实贮藏保鲜期的重要措施。

关键词: 钙, 水果, 贮藏, 品质, 衰老, 柑橘

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.05.036

中图分类号: S666

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-05-0274-08

温明霞, 石孝均. 生长期喷钙提高锦橙果实品质及延长贮藏期[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 274-281.

Wen Mingxia, Shi Xiaojun. Improve fruit quality and prolong storage time of Jincheng orange by calcium sprayed in growth period[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(5): 274-281. (in Chinese with English abstract)

0 引言

钙素营养与果实品质形成密切相关, 可以调节果实的生理代谢过程, 影响果实贮藏期多种生理病害的发生及贮藏寿命。探讨钙对果实品质及衰老的影响, 对于优质果品生产, 减轻烂果损失, 延长果实贮藏期等具有十分重要的意义。国内外关于钙与果实品质及贮藏性的关系进行了一些研究, 国外主要集中在苹果^[1-2]、蕃茄^[3]、草莓^[4]等果实上的研究, 而国内则主要集中在苹果梨^[5]、桃^[6]、杨梅^[7]、枇杷^[8]等果实上的研究, 众多研究表明, 果实中钙含量较低是果实发生生理性病害的主要原因^[9], 外源钙可以增加果实的钙含量, 使果实具有一定的硬度, 提高果实中可溶性固形物含量和糖酸比, 抑制果实内维生素 C 等物质的转化降解, 降低果实中果胶酸的含量, 增加果胶钙的含量, 减轻果实细胞膜透性的变化, 从而减轻烂果率, 提高果实的贮藏性

能^[10]。关于钙对柑橘的影响, 主要研究结果表明, 成熟期补钙利于贡柑贮藏期间果实品质的保持^[11]; 采后适宜浓度的钙剂处理可以减轻红江橙果实的烂果率, 抑制果皮电导率的升高, 减轻膜脂过氧化作用, 增加其贮藏性能^[12]; 在脐橙上的研究结果表明次氯酸钙可以保持贮藏期间果实的风味, 抑制霉菌对果品的侵染^[13], 且采后补钙可以减轻脐橙贮藏期间褐斑病的发生^[14], 延长其贮藏寿命等等; 但也有研究报道认为, 果实中钙含量的大小与果实品质没有直接相关性^[15], 说明钙对果实品质及贮藏性的影响尚没有一致的认识。另外, 目前的大量研究均是通过果实采后或采摘前在成熟期补钙来研究钙对果实呼吸强度, 果皮电导率以及细菌性病害的抑制作用等来探讨钙对果实贮藏性的影响, 关于果实生长期补钙对果实内在品质及贮藏性的影响目前尚缺乏报道。因此本文通过在柑橘生长的不同时期进行喷钙处理, 研究钙对果实的贮藏品质与果实衰老相关酶类活性的影响等, 旨在明确钙对柑橘果实贮藏品质及衰老的影响, 为合理调控柑橘钙素营养提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 田间试验设计

试验在重庆市北碚区歇马镇卫星村锦橙柑橘

收稿日期: 2012-12-03 修订日期: 2013-01-25

基金项目: 农业部公益性行业科研专项“最佳养分管理技术研究与应用 (201103003)”

作者简介: 温明霞 (1975—), 女, 博士, 助理研究员, 主要从事植物营养生理研究。台州 浙江省柑桔研究所, 318020。

Email: wenmx198@126.com

*通信作者: 石孝均 (1964—), 女, 博士, 研究员, 主要从事植物营养及养分资源管理研究。重庆 西南大学资源环境学院, 400716。

Email: shxj@swu.edu.cn

园进行。供试品种为北碚 447 锦橙 (*Citrus sinensis* Osbeck, Beibei447 orange), 砧木为枳砧, 7 年生。供试果园土壤肥力基本状况: 土壤 pH 值为 4.34, 有机质为 20.3 g/kg, 碱解 N 89.5 mg/kg, 有效 P 27.3 mg/kg, 速效 K 136 mg/kg, 有效 Ca 150.3 mg/kg。

试验设 5 个处理: CK; 花前期喷钙; 幼果期喷钙; 果实膨大期喷钙; 果实成熟期喷钙。重复 3 次, 每 10 棵树为一个重复, 分别在以上各个时期喷施 0.5% 硝酸钙, 每棵树的喷施量为 2 500 mL 左右, 每 10 d 喷施一次, 连续喷 3 次。每次按喷施浓度配好后, 着重喷施叶片和果实, 以叶片和果面滴水为限。

1.2 样品采集及采后处理

2010 年 11 月 25 日果实成熟后, 各处理 10 棵树上的果实全部采摘, 采后分别挑选成熟度一致、大小均匀、无损伤、无病虫害的正常果实 400 个进行室温贮藏 (贮藏期间温度范围为 5~15℃, 相对湿度 85% 左右), 在贮藏 120 d 后调查烂果数, 按照公式计算好果率: 好果率 (%) = (贮藏果总数 - 烂果数) × 100 / 总果数, 测定果实中糖、酸、维生素 C、可溶性固形物含量, 并分别在贮藏 0 (采摘当天)、7、14、30、60、90、120d 取 15 个果, 测定果实中过氧化物酶 (peroxidase, POD)、过氧化氢酶 (catalase, CAT)、超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD)、多聚半乳糖醛酸酶 (polygalacturonase, PG)、纤维素酶 (cellulase, CX) 活性以及丙二醛 (malonaldehyde, MDA)、原果胶 (protopectin, PP)、可溶性果胶 (soluble pectin, SP) 的含量。果皮和果肉的酶活性及丙二醛、果胶含量的变化趋势基本一致, 因此在结果分析中仅列出了果皮的试验结果。

1.3 样品的测定方法

样品干灰化后用稀酸溶解, 然后用原子吸收分光光度法测定钙含量, 具体测定方法见《土壤农化分析》^[16]; 果实品质的具体测定方法参照 GB 8210-1987^[17]: 总糖用斐林氏滴定法; 可溶性固形物用手持糖量计测定; 总酸用氢氧化钠中和滴定法; 维生素 C 用 2,6-二氯酚酚滴定法, 糖酸比值用总糖和总酸结果进行计算。果实中 POD (peroxidase)、SOD (superoxide dismutase)、PG (polygalacturonase)、CX (cellulase)、CAT (catalase) 活性以及 MDA (malonaldehyde)、SP (soluble pectin)、PP (protopectin) 含量的测定方法见《果蔬采后生理生化实验指导》^[18], POD 酶活性以每分钟吸光度变化值为 1 来表示一个酶活性单位 (U); SOD 活性以抑制光还原氮蓝四唑 50% 为一个酶活性单位 (U); CAT 酶活性用 1min 内分解 1 mg H₂O₂ 表示

一个酶活性单位 (U); PG 酶活性以 1 h 内产生 1 μg 半乳糖醛酸表示一个酶活性单位 (U); CX 酶活性以 1 h 内产生 1 μg 还原糖来表示一个酶活性单位 (U)。

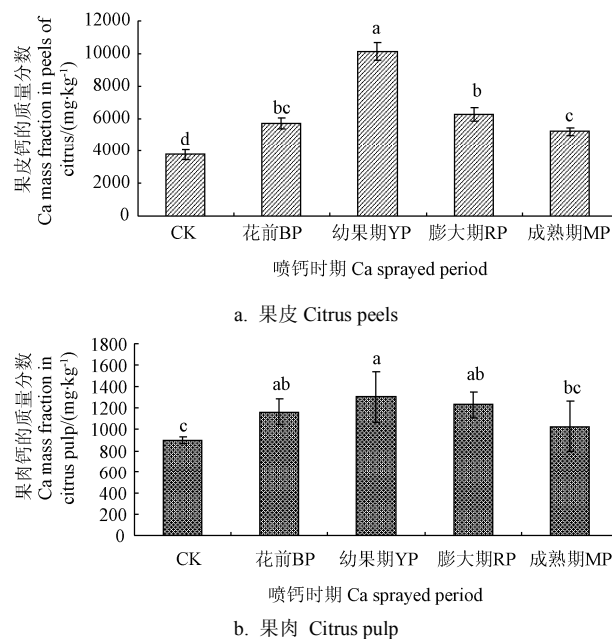
1.4 数据分析

采用 EXCEL 和 DPS 软件进行相关分析和差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同时期喷钙对锦橙果实钙质量分数的影响

不同时期喷钙均可增加成熟期果实钙的质量分数 (如图 1 所示), 以幼果期喷钙的增加作用效果最好, 果皮和果肉钙的质量分数分别比对照高 170% 和 46%; 其次是果实膨大期喷钙处理, 果皮、果肉钙的质量分数分别比对照高 68% 和 37%; 第三是花前期喷钙处理, 果皮、果肉钙的质量分数分别比对照高 52% 和 30%; 成熟期喷钙处理效果最差, 果皮、果肉钙的质量分数分别比对照高 39% 和 15%。另外, 从图 1 中可以看出, 果皮钙的质量分数远远高于果肉。



注: CK, BP, YP, RP, MP 分别代表对照、花前期、幼果期、膨大期、成熟期喷钙处理, 不同字母代表 5% 水平的差异显著性, 下同。
Notes: CK, BP, YP, RP, MP stand for control, spraying Ca during before-flower period, young fruit period, fruit rapid-growth period, mature period respectively, different letters indicate significant difference at 5% level, the same as below.

图 1 不同喷钙处理果实钙的质量分数

Fig.1 Mass fraction of Ca in citrus fruit under different treatments

2.2 不同时期喷钙对锦橙贮藏 120 d 后果实品质的影响

不同处理锦橙果实贮藏 120 d 后, 好果率的结

果表明(如表1所示),幼果期和膨大期喷钙处理的好果率明显高于对照,其好果率分别比对照高23.4%和13.4%;花前和成熟期喷钙处理的好果率与对照之间没有明显差异。由此说明幼果期和膨大期喷钙对减少果实贮藏期间的烂果率有一定的作用,以幼果期喷钙效果最好,而花前和成熟期喷钙处理对果实腐烂的影响没有显著差异。

表1 不同喷钙处理对柑橘贮藏120 d后品质的影响
Table 1 Effects of different treatments of Ca spraying on quality of oranges stored for 120 d

喷钙时期 Ca sprayed time	好果率 Normal fruit rate/%	维生素C Vc/ (mg·kg ⁻¹)	可溶性固 形物 TSS/%	总糖 Total sugar/%	总酸 Total acid/%	糖/酸 Sugar/ acid
CK	45.0± 1.4c	307.0± 0.9d	9.4± 0.1d	9.17± 0.07e	0.73± 0.02c	12.65± 0.13c
花前 BP	43.2± 1.6c	415.2± 1.1bc	9.9± 0.2c	9.73± 0.04c	0.79± 0.01a	12.39± 0.03c
幼果期 YP	68.4± 2.3a	431.7± 1.2a	10.9± 0.3a	10.82± 0.08a	0.69± 0.03d	15.80± 0.09a
膨大期 RP	58.4± 2.4b	423.9± 0.9b	10.3± 0.1 b	10.63± 0.08b	0.70± 0.01d	15.26± 0.32b
成熟期 MP	44.2± 1.1c	405.9± 9.5 c	10.1± 0.4bc	9.38± 0.01d	0.75± 0.02b	12.57± 0.14c

注:同一列中的不同字母分别代表在5%水平下的差异显著性,下同。
Notes: Different letters in the same column indicate significant difference at 5% level, the same as below.

幼果期喷钙处理的锦橙果实在贮藏120 d后,维生素C的质量分数为431.7 mg/kg,显著高于其他处理,膨大期喷钙处理次之,而其他处理之间的差异不显著。

各喷钙处理果实中可溶性固形物的含量均显著高于对照,其中幼果期喷钙处理的可溶性固形物含量最高,为10.9%,其次是果实膨大期喷钙处理,花前喷钙和成熟期喷钙处理的可溶性固形物含量较低,且二者之间差异不显著。

各处理之间总糖含量的差异较大,均达到了显著水平,它们的大小顺序为:幼果期喷钙>果实膨大期喷钙>花前喷钙>成熟期喷钙>CK,可能与果实中钙含量多少有关。

柑橘果实贮藏120 d后,总酸的含量以花前喷钙处理最高,其次是成熟期喷钙处理,二者显著的高于其他处理,幼果期喷钙和膨大期喷钙处理中酸的含量较低,且显著低于对照,二者之间没有差异显著性,说明幼果期和果实膨大期喷钙对果实贮藏期间酸味的减少有明显效果。

柑橘果实贮藏120 d后,各处理中糖/酸的大小顺序为:幼果期喷钙>果实膨大期喷钙>CK>成熟期喷钙>花前期喷钙,其中幼果期喷钙处理和膨大期喷钙处理显著的高于其他处理,二者之间也呈显著性差异,其他处理之间差异不显著,说明幼果期和果实膨大期喷钙对贮藏期间果实糖酸比的保持效果较好,尤以幼果期喷钙处理效果最佳。

2.3 不同时期喷钙对贮藏期果实丙二醛及相关酶活性的影响

2.3.1 丙二醛

丙二醛是膜脂过氧化作用的主要产物,与细胞的衰老密切相关。如图2所示,果实中丙二醛的质量分数随着贮藏时间的增加而呈增加的趋势,说明在整个贮藏期间,细胞的膜脂化程度在不断增加,到贮藏120 d时维持在较高的水平。贮藏末期各处理(对照,花前期,幼果期,果实膨大期,成熟期喷钙)果皮中丙二醛的质量分数分别比采收时增加46.7%、62.3%、65.0%、72.3%和43.4%。整个贮藏期中,各喷钙处理果皮中丙二醛的质量分数均低于对照,幼果期喷钙处理果皮中丙二醛的质量分数最低,在整个贮藏期中均显著的低于对照($p<0.05$),其次是膨大期喷钙处理,花前期和成熟期喷钙对果皮中丙二醛的质量分数影响较小。可见,幼果期喷钙能较好的抑制丙二醛质量分数的升高,延缓衰老。

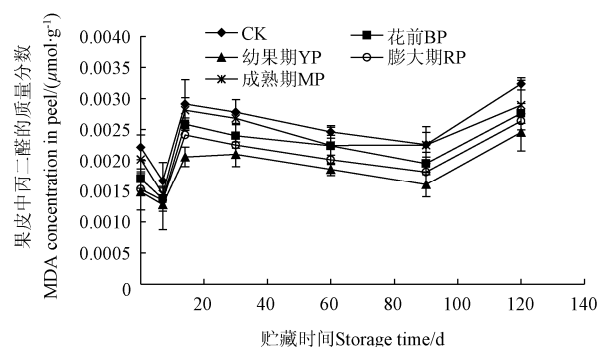


图2 贮藏期间果皮中丙二醛质量分数的动态变化
Fig.2 Dynamic changes of MDA mass fraction in peels of citrus during storage

2.3.2 过氧化氢酶(CAT)活性

由图3可以看出,不同处理果皮中过氧化氢酶(CAT)活性在整个贮藏期中的变化动态为:先降后升,贮藏30 d时达到最高,之后又逐渐降低,贮藏90 d后,CAT基本上稳定在较低的水平上不再

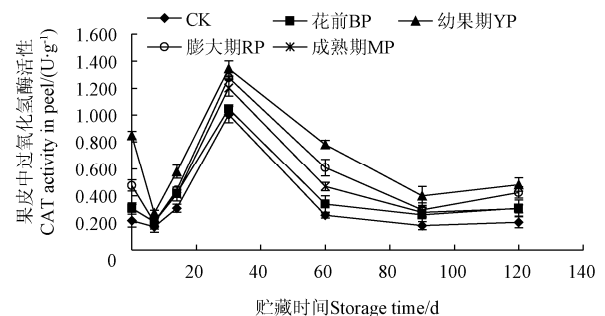


图3 贮藏期间果皮中过氧化氢酶活性的动态变化
Fig.3 Dynamic changes of CAT activity in peels of citrus during storage

发生大幅度的变化。喷钙处理的 CAT 活性在整个贮藏期间均高于对照，说明喷钙对贮藏期果皮中 CAT 活性有一定的促进作用。其中幼果期喷钙处理的 CAT 活性始终保持在较高的水平，均显著高于对照 ($p < 0.05$)，膨大期喷钙处理次之，说明在提高贮藏期果皮中 CAT 活性方面，幼果期喷钙的效果较好。

2.3.3 超氧化物歧化酶 (SOD) 酶活性

超氧化物歧化酶 (SOD) 是植物细胞中重要的保护酶，在正常情况下能使活性氧的产生和消除处于平衡状态。本试验研究结果表明 (图 4)，果皮中 SOD 活性在贮藏过程中总体来说呈增加趋势，在贮藏 120 d 时达到了较高的水平，与果实的衰老密切相关。在柑橘生长期的不同时期喷钙均能使贮藏期果皮中的 SOD 维持较高的活性，减缓果实衰老，延长贮藏期，其中幼果期喷钙处理果皮中 SOD 活性最高，果实贮藏 120 d 时，果皮中 SOD 活性显著的高于对照 ($p < 0.05$)，比对照高 25.8%，其次是果实膨大期喷钙处理，果皮中 SOD 活性比对照高 20.9%，果实成熟期喷钙效果最差，果皮中 SOD 活性比对照高 1.0%，原因可能在于成熟期的果实基本上已经停止了对外源钙素的吸收，而果皮中较少的钙素抑制了 SOD 的活性。

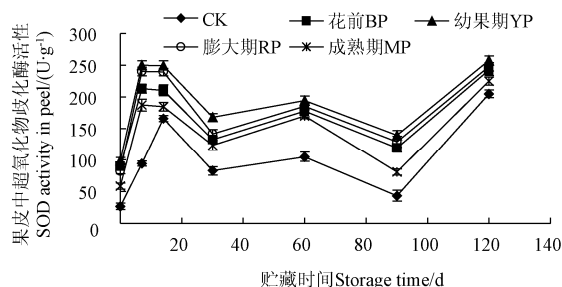


图 4 贮藏期间果皮中超氧化物歧化酶活性的动态变化
Fig.4 Dynamic changes of SOD activity in peels of citrus during storage

2.2.4 过氧化物酶 (POD) 酶活性

如图 5 所示，贮藏期柑橘果皮中 POD 活性呈“M”变化，分别在贮藏 7 和 60 d 达到峰值，在采收时、采后 14、120 d 时活性较低。所有施钙处理果皮中 POD 活性均低于对照，原因可能在于果皮中较多的钙抑制了 POD 的活性，或者是钙影响了细胞内的酸碱度从而影响酶活性的发挥。其中幼果期和果实膨大期喷钙处理果皮中的 POD 活性在贮藏期间均显著的低于对照 ($p < 0.05$)，说明在这 2 个时期喷钙均可以抑制果皮中 POD 活性的发挥，幼果期喷钙的效果最好。

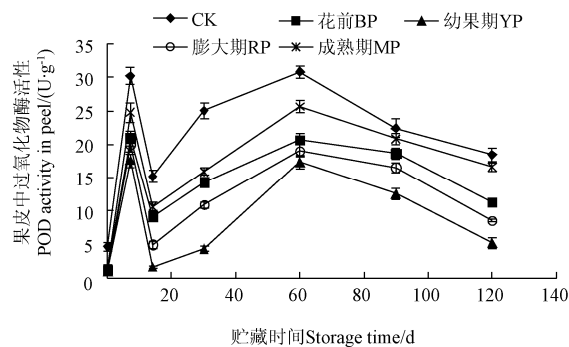


图 5 贮藏期间果皮中过氧化物酶活性的动态变化
Fig.5 Dynamic changes of POD activity in peels of citrus during storage

2.4 不同时期喷钙对贮藏期果皮中果胶及相关酶活性的影响

2.4.1 原果胶

如图 6 所示，随着贮藏时间的延长，果皮中原果胶的质量分数呈下降趋势，贮藏前期含量较高，后期较低，说明贮藏期间果皮中的原果胶不停地进行着分解和转化，随着分解和转化的进行，原果胶的质量分数也逐渐降低。不同处理原果胶质量分数的变化趋势基本一致，且表现出一致的规律：幼果期喷钙 > 膨大期喷钙 > 花前喷钙 > 成熟期喷钙 > CK，其中幼果期喷钙处理果皮中原果胶的质量分数在贮藏期间显著高于对照 ($p < 0.05$)，其他处理与对照之间的差异不显著。果胶是细胞壁的结构物质之一，各喷钙处理果皮中原果胶含量的高低与细胞维持固有形状密切相关，从而决定了贮藏性能的高低。

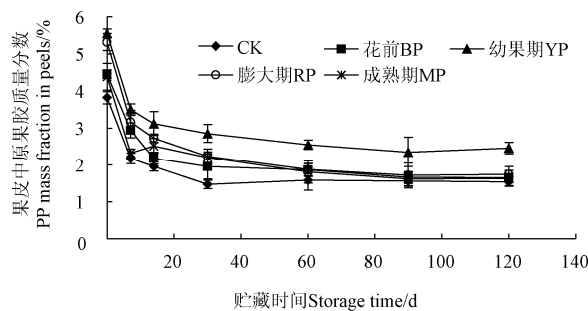


图 6 贮藏期间果皮中原果胶质量分数的动态变化
Fig.6 Dynamic changes of PP mass fraction in peels of citrus during storage

2.4.2 可溶性果胶

果皮中可溶性果胶的质量分数变化与原果胶正好相反 (如图 7)，前期含量较低，随着贮藏时间的延长，可溶性果胶的质量分数不断增加，后期质量分数较高，说明随着原果胶的分解转化，质量分数在逐渐增加，后期维持在较高的水平。可溶性果胶是果实衰老的指标之一，其质量分数的增加预

示着果实贮藏性能逐步变差。各喷钙处理果皮中可溶性果胶的质量分数均低于对照, 其中幼果期喷钙处理在贮藏后期显著低于对照 ($p < 0.05$), 其他处理与对照差异不显著, 说明喷钙有减缓果胶分解转化, 增加果实的贮藏性能的趋势, 幼果期喷钙处理效果较优。

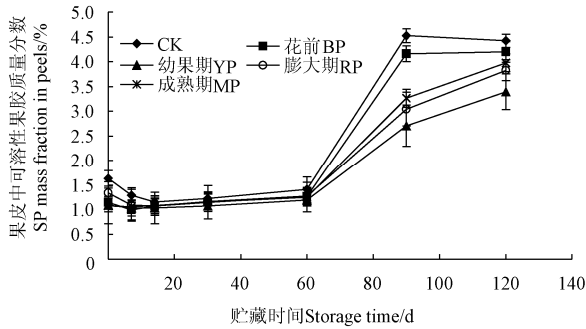


图7 贮藏期间果皮中可溶性果胶质量分数的动态变化
Fig.7 Dynamic changes of SP mass fraction in peels of citrus during storage

2.4.3 多聚半乳糖醛酸酶 (PG) 活性的变化

如图8所示, 果皮中PG活性表现为: 在贮藏前7 d呈降低趋势, 之后逐渐升高, 到贮藏60 d后达到峰值, 之后有所降低, 但变化趋于缓慢, 基本稳定在较低的水平, 说明果实贮藏在前2个月是PG活动频繁的时期, 果实内部的果胶类物质发生了较大的变化, 该时期是果实贮藏性能维持的重要时期。这与果胶含量的变化趋势相一致, 随着多聚半乳糖醛酸酶活性的增强, 原果胶的分解速度加快, 从而使原果胶的含量逐渐变低。不同喷钙处理中果皮的PG活性均低于对照, 但各处理之间的差异不显著, 幼果期喷钙处理PG活性最低, 说明幼果期喷钙对贮藏期果皮的PG活性有降低作用, 抑制了果皮内果胶类物质转变, 从而对延长果实贮藏期起到了一定的作用。

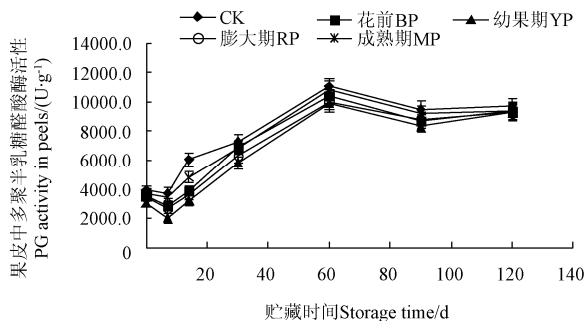


图8 贮藏期间果皮中多聚半乳糖醛酸酶活性的动态变化
Fig.8 Dynamic changes of PG activity in peels of citrus during storage

2.4.4 纤维素酶 (CX) 活性的变化

果皮中纤维素酶活性在前14 d呈上升趋势(图

9), 之后迅速下降, 到90 d之后基本稳定在较低的水平, 变化趋于稳定; 各喷钙处理果皮中纤维素酶的活性均低于对照, 且表现出一致的规律, 不同时期各处理中纤维素酶活性大小顺序总体上表现为: CK > 花前喷钙 > 成熟期喷钙 > 膨大期喷钙 > 幼果期喷钙, 各喷钙处理果皮中纤维素酶活性在贮藏后期均显著的低于对照 ($p < 0.05$), 幼果期喷钙处理显著低于其他处理, 对降低果皮中纤维素酶活性的效果最佳。

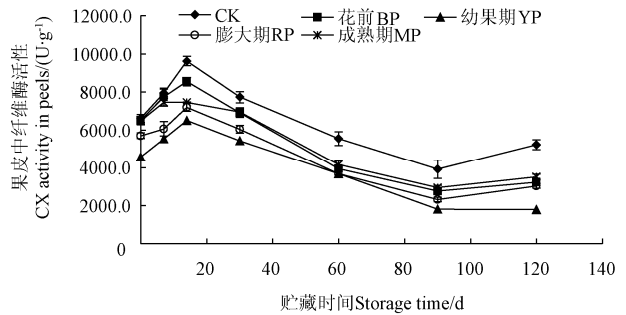


图9 贮藏期间果皮中纤维酶活性的动态变化
Fig.9 Dynamic changes of CX activity in peels of citrus during storage

3 讨论

柑橘果实品质形成的生理代谢过程比较复杂, 环境条件如光、温、水、肥等均可能对果实品质的形成产生重要影响, 矿质营养及其相互平衡的作用也不可忽视^[19]。本试验是在缺钙土壤上进行的, 通过树体补钙增加了果实的钙素营养, 并且可能改善了果实营养元素之间的相互平衡^[20], 协调了果实发育过程中的生理代谢, 从而提高了果实的品质, 这与梁和等^[21]的试验结果相一致, 原因可能在于, 果实中的钙可以提高果实成熟发育过程中的中性转化酶活性, 促进果实中有机酸的转化和糖分的积累, 有利于改善果实品质^[22]。与对照相比, 贮藏120 d后喷钙处理的果实品质较优, 烂果率较低, 说明钙对果实品质的维持有较好的作用, 不同时期喷钙的作用效果存在差异, 其中幼果期喷钙能显著改善果实的贮藏品质, 原因在于, 不同时期喷钙对果实中钙含量的增加效果不同, 而钙对果实品质的维持作用与果实中钙含量的大小密切相关^[23-24], 幼果期喷钙能显著增加果实中钙的含量, 因而对改善果实贮藏品质的效果较优, 其机理在于钙可能参与多种调节细胞代谢的活动, 同时有减轻果实发生生理性的病害的作用^[25]。

果实的贮藏性与果实衰老过程密切相关, 而果实的衰老是受控的氧化过程^[26], 与果实内产生与清除氧自由基的动态平衡有关, 该平衡一旦遭到破坏, 就可能加剧膜脂过氧化作用, 加速衰老, 而氧

自由基的消除主要由抗氧化系统来完成, 主要包括抗氧化酶系统(CAT、SOD等)和抗氧化剂系统(抗坏血酸和多酚类物质等)^[27]。本试验中喷钙处理果实的CAT和SOD活性在整个贮藏过程中均高于对照, 抗坏血酸含量也高于对照, 说明钙可以促进氧自由基保护酶和抗氧化剂系统发生作用, 延缓果实衰老。

多聚半乳糖醛酸酶和纤维素酶在果实贮藏期间均表现为喷钙处理的酶活性低于对照, 而果皮中的可溶性果胶含量则表现为喷钙处理低于对照, 说明果皮中的钙抑制了果实中PG和CX活性的提高^[28], 使果胶的分解转化速度减慢, 维持果皮具有一定的强度, 保持了一定的好果率。另外, PG活性在果实贮藏60d时达到高峰, 此后果皮中原果胶的含量一直维持在较低的水平, 而可溶性果胶的含量则持续增加, 之后维持在较高的含量水平, 说明贮藏60d后随着可溶性果胶含量的增多, 果实硬度及细胞强度随之降低, 果实好果率也逐渐减少, 贮藏性能日益降低。

不同形态的钙在果实细胞内所起的作用存在差异, 因而果实品质的形成及保持不仅与果实中的钙含量有关, 还与果实中钙的分布及形态转化有关^[29]。本研究缺乏对柑橘果实中不同形态的钙进行分级和测定, 关于它们在果实贮藏过程中的相互转化及对贮藏性的影响等都需要进一步深入研究。

本试验结果表明, 在幼果期和果实膨大期对树体补钙可以改善果实的贮藏品质, 减缓果实衰老, 补钙方式简单, 只用钙肥溶液即可达到补钙效果, 成本较低, 对缺钙土壤的缺钙树体补钙有望收到较好的效果, 在工业上可以采用微机化研究, 或者肥水一体化工程来进一步简化补钙措施, 结合实时监测系统实现灌溉与喷钙系统的自动化^[30], 关于该应用方面的研究有待于深入和加强。

4 结 论

锦橙生长期喷钙能显著抑制果实贮藏过程中维生素C等物质的氧化分解, 提高果实的可溶性固形物含量和糖酸比, 改善了果实品质, 以幼果期和果实膨大期喷钙效果较佳; 不同时期喷钙均能提高抗氧化酶(CAT、SOD)活性, 降低水解酶(PG、CX)活性, 减轻了脂质过氧化程度, 果胶的分解转化速度减慢, 丙二醛和可溶性果胶的含量明显降低, 维持果皮具有一定的强度, 延缓了果实的衰老, 降低烂果的发生率, 延长了果实的贮藏性。以幼果期喷钙的综合表现较好, 其次是果实膨大期喷钙, 成熟期喷钙效果最差。

[参 考 文 献]

- [1] Beavers W B, Sam C E. Calcium source affects calcium content, firmness, and degree of injury of apples during storage[J]. Hort Science, 1994, 29(1): 152.
- [2] Shah Alam, Javid Ullah, Tariq Ahmad. Effect of calcium chloride coating applied under vacuum (270-300 mmHg) on the physio-chemical characteristics of apple Kingstar stored at ambient conditions[J]. Sarhad Journal of Agriculture, 2004, 20(4): 627-634.
- [3] Garcia J M, Baliesteros J M, Albi M A. Effect of foliar applications of CaCl₂ on tomato stored at different temperatures[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1995(43): 9-12.
- [4] Nogata Y, Ohta H, Voragen A G J. Polygalacturonase in strawberry fruit[J]. Phytochemistry, 1993, 34(3): 617-620.
- [5] 杨林先, 王姐, 曲柏宏. 钙处理对苹果梨叶子钙调蛋白含量及过氧化物酶、多酚氧化酶活性的影响[J]. 河南农业科学, 2010(2): 74-76.
Yang Linxian, Wang Da, Qu Baihong. Effect of calcium treatments on CaM content and POD, PPO activity of apple-pear leaves[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2010(2): 74-76. (in Chinese with English abstract)
- [6] 闫师杰, 马照春, 刘铁玲, 等. 钙处理对中华寿桃采后生理的影响[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(2): 183-186.
Yan Shijie, Ma Zhaochun, Liu Tieling, et al. Effect of Ca treatment on the physiology of Zhonghuashoutao peach fruit after harvest[J]. Food Research and Development, 2010, 31(2): 183-186. (in Chinese with English abstract)
- [7] 谢培荣, 马小华, 欧阳菊英. 采前钙处理对木洞杨梅果实采后品质和延缓衰老的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(7): 82-85.
Xie Peirong, Ma Xiaohua, Ouyang Juying. The effects of calcium treatment on the pre-harvest mudong red bayberry's quality and anti-aging[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(7): 82-85. (in Chinese with English abstract)
- [8] 郑国华. 钙处理对枇杷果实采后生理特性的研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(11): 117-122.
Zheng Guohua. Research on the Calcium treatment on physiological characteristics of postharvest loquat fruit[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(11): 117-122. (in Chinese with English abstract)
- [9] 马小焕, 彭良志, 淳长品, 等. 脐橙果皮内裂发生的解剖结构和矿质营养元素变化[J]. 园艺学报, 2011, 38(10): 1857-1864.
Ma Xiaohuan, Peng Liangzhi, Chun Changpin, et al. Changes in Albedo microstructures and macroelement content in peels of peel pitting 'Navel' oranges[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(10): 1857-1864. (in Chinese with English abstract)

- [10] 吴友根, 蒋依辉, 陈金印. 钙与果品贮藏关系的研究进展[J]. 江西农业大学学报, 2001, 23(3): 396—400. Wu Yougen, Jiang Nonghui, Chen Jinyin. Advances of research on effects of calcium and fruit storage[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2001, 23(3): 396—400. (in Chinese with English abstract)
- [11] 柳建良, 丘苑新, 郭建华, 等. 不同钙源采前处理对贡柑采后果实品质和贮藏性能的影响[J]. 广东农业科学, 2008(2): 71—73. Liu Jianliang, Qiu Yuanxin, Guo Jianhua, et al. Effect of different Ca on fruit quality and storage property Gonggan Guangdong Agricultural Sciences, 2008(2): 71—73. (in Chinese with English abstract)
- [12] 夏杏洲, 吴雪彪, 梁振全, 等. 钙处理对红江橙采后生理的影响[J]. 热带作物学报, 2009, 30(10): 1462—1467. Xia Xingzhou, Wu Xuebiao, Liang Zhenquan, et al. Effect of postharvest calcium treatments on physiological changes of hongjiang orange fruit[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2009, 30(10): 1462—1467. (in Chinese with English abstract)
- [13] 胡佳羽. 次氯酸钙对脐橙果实贮藏保鲜效果研究[D]. 重庆: 西南大学硕士学位论文, 2009. Hu Jiayu. Study on the effects of calcium hypochlorite in Newhall navel oranges (*Citrus sinensis* 'Newhall') storage[D]. Chongqing: Master dissertation of Southwest University, 2009. (in Chinese with English abstract)
- [14] 袁陵, 李正国, 杨迎伍, 等. 采后钙处理对奉节脐橙褐变及膜脂过氧化作用的影响[J]. 热带作物学报, 2010, 31(2): 207—211. Yuan Ling, Li Zhengguo, Yang Yingwu, et al. Effects of calcium treatment on the post-harvest peel pitting and membrane lipid peroxidation of 'Fengjie' Navel orange [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2010, 31(2): 207—211. (in Chinese with English abstract)
- [15] Zaragoza S. Effectiveness of calcium nitrate and GA₃ on the control of peel-pitting of 'Fortune' mandarin[J]. Journal of Horticultural Science, 1996, 71(2): 321—326.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 264—271.
- [17] 出口柑桔鲜果检验方法[S]. GB 8210—1987.
- [18] 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: 84—155.
- [19] 秦焯南, 王宁. 营养平衡与代谢对锦橙裂果的影响[J]. 西南农业大学学报, 1996, 18(1): 34—39. Qin Xuannan, Wang Ning. Effects of nutrient balance and nutrient metabolism on fruit split in Jincheng orange (*Citrus sinensis* Osbeck). Journal of Southwest Agricultural University, 1996, 18(1): 34—39. (in Chinese with English abstract)
- [20] 王静, 苏淑钗, 刘万平, 等. 钙肥对板栗幼苗三大基本营养元素吸收的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(17): 10345—10347. Wang Jing, Su Shuchai, Liu Wanping, et al. Effects of calcium on absorption of three basic nutrients about chestnut seedlings[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(17): 10345—10347. (in Chinese with English abstract)
- [21] 梁和, 马国瑞, 石伟勇. 硼钙营养对胡柚果实品质的影响[J]. 广东微量元素科学, 2001, 8(7): 12—16. Liang He, Ma Guorui, Shi Weiyong, et al. Effects of boron and calcium on fruit quality of Huyou [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.][J]. Guangdong Microelement Science, 2001, 8(7): 12—16. (in Chinese with English abstract)
- [22] 梁和, 马国瑞, 石伟勇, 等. 硼钙营养对不同品种柑桔糖代谢的影响[J]. 土壤通报, 2002, 33(5): 376—380. Liang He, Ma Guorui, Shi Weiyong, et al. Influence of boron and calcium on metabolism of sugar in different variety of citrus[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2002, 33(5): 376—380. (in Chinese with English abstract)
- [23] 边少敏, 孙建设, 张继光, 等. 柠檬酸钙对红富士苹果果实中钙含量及品质影响研究[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(3): 37—40. Bian Shaomin, Sun Jianshe, Zhang Jiguang, et al. Study on the effects of citrate calcium on the quality and calcium concentrations of red Fuji apples[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2002, 25(3): 37—40. (in Chinese with English abstract)
- [24] 黄虹心, 杨昌鹏, 刘柳姣. 采前喷钙对杨桃果实贮藏品质及相关酶活的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(12): 2546—2548. Huang Hongxin, Yang Changpeng, Liu Liujiao. Effects of pre-harvest calcium spraying on the quality and related enzymatic activity of averrhoa carambola during storage[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2012, 51(12): 2546—2548. (in Chinese with English abstract)
- [25] 赵晓梅, 叶凯, 李文慧, 等. 采前喷钙对库尔勒香梨贮藏效果的影响[J]. 新疆农业科学, 2011(6): 47—53. Zhao Xiaomei, Ye Kai, Li Wenhui, et al. Preliminary report of the effect of preharvest calcium spray on pyrus Bretschneideri Rehd(Korla Fragrant Pear) in storage[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2011(6): 47—53. (in Chinese with English abstract)
- [26] 黄仁华, 夏仁学, 陆云梅, 等. 红肉脐橙果实发育过程中抗氧化系统与活性氧产生速率的变化[J]. 园艺学报, 2006, 33(6): 1287—1290. Huang Renhua, Xia Renxue, Lu Yunmei, et al. Changes in antioxidant system and active oxygen species in flesh of cara cara (*Citrus sinensis*) during development[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2006, 33(6): 1287—1290. (in Chinese with English abstract)
- [27] 吴彩娥, 王文生, 寇晓虹. 果实成熟衰老与保护酶系统的关系[J]. 保鲜与加工, 2000(5): 5—8. Wu Cai'e, Wang Wensheng, Kou Xiaohong. Relationship between ripening and senescence of fruits and antioxidase[J].

- Storage and Process, 2000(5): 5—8. (in Chinese with English abstract)
- [28] 温明霞, 石孝均. 锦橙裂果的钙素营养生理及施钙效果研究[J]. 中国农业科学, 2012, 45(6): 1127—1134. Wen Mingxia, Shi Xiaojun. Influence of calcium on fruit cracking of Jincheng orange and its physiological mechanism[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(6): 1127—1134. (in Chinese with English abstract)
- [29] 肖家欣, 彭抒昂. 柑橘果实发育中果胶酸钙、草酸钙和果胶动态的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 254—259. Xiao Jiabin, Peng Shuang. Study on dynamics of calcium pectate, calcium oxalate and pectin during citrus fruit development[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(2): 254—259. (in Chinese with English abstract)
- [30] 李光林, 李晓东, 曾庆欣. 基于太阳能的柑桔园自动灌溉与土壤含水率监测系统研制[J]. 农业工程学报, 2012, 28(12): 146—152. Li Guanglin, Li Xiaodong, Zeng Qingxin. Development of automatic irrigation and soil moisture monitoring system based on solar energy in citrus orchard[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(12): 146—152. (in Chinese with English abstract)

Improve fruit quality and prolong storage time of Jincheng orange by calcium sprayed in growth period

Wen Mingxia^{1,2}, Shi Xiaojun^{2*}

(1. Zhejiang Citrus Research Institute, Taizhou, 318020, China;

2. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: Calcium (Ca), as an important nutrition, can regulate the physiological metabolic process and is closely related to fruit quality, the shelf life of fruit and physiological diseases during storage time. It is meaningful to study the relation of Ca nutrition and fruit quality and senescence for producing fruit with high quality, alleviating economic loss from rotten fruit and prolonging the fruit storage time. At present, there were some reports about Ca nutrition and fruit quality but many reported the effect of Ca on storage property of fruit by studying the respiration intensity and electric conductivity of fruits supplementing Ca solution on fruit during maturing stage or harvest time, few reported the effect of Ca on the inherent quality and the shelf life of fruits supplying Ca nutrition during fruit growing period. In order to make clear the effect of Ca nutrition sprayed on citrus trees in different growing periods on citrus fruit quality and senescence during storage time and propose comprehensive management measures for Ca nutrition of citrus orchards, the effect of Ca on fruit quality including vitamin C, total sugar, acid, total soluble solid (TSS), some enzymes and materials related to fruit senescence including peroxidase(POD), catalase(CAT), superoxide dismutase(SOD), polygalacturonase(PG), cellulose(CX), malonaldehyde(MDA), protopectin(PP) and soluble pectin(SP) were studied in this paper. The effects of Ca on quality and enzyme activities of citrus fruits were studied by spraying calcium nitrate in different growth periods on Beibei-447 Jincheng orange (*Citrus sinensis* Osbeck, Beibei-447 orange). The results showed that Ca mass fraction in citrus fruits increased significantly, the oxygenolysis of vitamin C was restrained, total soluble solid (TSS), the ratio of sugar and acid increased and the fruit quality were maintained during storage by spraying Ca on citrus trees in different growth periods. The activities of polygalacturonase (PG), cellulase (CX) and peroxidase (POD) of different Ca treatments decreased but those of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) increased because of high Ca mass fraction in fruits. The structure of cell was protected and lipid peroxidation was alleviated so that the mass fraction of malonaldehyde (MDA) and soluble pectin decreased, the senescence of fruit was postponed and the fruit was eventually kept in good during storage. The best effect on prolonging storage time of citrus fruit was to spray Ca on citrus trees in young fruit period, then spraying Ca on citrus trees in fruit rapid growth period and the worst was in fruit mature period. Spraying Ca on citrus trees in young fruit period and fruit rapid growth period were important measures to keep citrus fruit in good quality during storage.

Key words: calcium, fruits, storage, quality, senescence, citrus