

# 土壤施钙对设施油桃贮藏期间果实抗氧化系统的影响

李中勇<sup>1,2</sup>,高东升<sup>2\*</sup>

(1. 河北农业大学 园艺学院,河北 保定 071001;

2. 山东农业大学 园艺科学与工程学院 作物生物学国家重点实验室,山东 泰安 271018)

**摘要:** 为合理调控设施油桃钙素营养,改善设施油桃果实贮藏品质,延长设施油桃果品货架期,以贮藏期间的设施曙光油桃为试材,研究了不同施钙水平对油桃果实抗氧化酶活性及膜透性的影响。结果表明,与不施钙肥(对照)相比,土壤施钙显著增强了贮藏期间设施油桃果实抗氧化酶超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)的活性,三者均在贮藏后第10天达到峰值,分别为55.4 U/g、5.27 U/(g·min)、26.7 U/g,其后随贮藏时间延长其活性呈下降趋势;随贮藏时间的延长,土壤施钙处理果实的相对质膜透性及丙二醛(MDA)含量呈上升趋势,至贮藏第30天达到最大值,分别为60%和6.17 mg/g,整个贮藏期间土壤施钙处理果实质膜透性及MDA含量( $P < 0.05$ )低于对照。采前土壤施钙可显著提高贮藏期间设施油桃的SOD、POD、CAT活性,并显著降低设施油桃果实的质膜透性及过氧化产物MDA的积累。

**关键词:** 钙; 贮藏; 设施栽培; 油桃; 抗氧化系统

中图分类号: S662.1 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2014)06-0116-04

## Effects of Applying Calcium in Soil on Fruit Antioxidant System of Nectarine under Protected Culture during Storage Period

LI Zhong-yong<sup>1,2</sup>, GAO Dong-sheng<sup>2\*</sup>

(1. College of Horticulture, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China;

2. College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University/

State Key Laboratory of Crop Biology, Taian 271018, China)

**Abstract:** The effects of applying calcium in soil on fruit physiology characteristics of nectarine (*Prunus persica* var. *nectarina* cv. Shuguang) under protected culture during storage period, so as to improve the the quality of the stored nectarine and prolong the storage time. The results showed that the application of calcium fertilizer in soil increased significantly the activity of SOD, POD, CAT of nectarine during storage period, and which reached the maximum value at the tenth day after storage with 55.4 U/g, 5.27 U/(g·min) and 26.7 U/g respectively, then the activity of SOD, POD, CAT declined with storage time. The application of calcium fertilizer in soil decreased significantly the membrane permeability and the content of MDA of nectarine during storage period, though the membrane permeability and the content of MDA of nectarine increased with storage time, and reached the maximum value at the 30th day after storage with 60.0% and 6.17 mg/g. Overall, the application of calcium fertilizer in soil increased significantly the activity of SOD, POD, CAT of nectarine, and decreased significantly the membrane permeability and the content of MDA of nectarine during storage period.

**Key words:** calcium; storage; protected culture; nectarine; antioxidant system

收稿日期:2013-11-29

基金项目:国家“863计划”项目(2001AA247041)

作者简介:李中勇(1981-),男,山东陵县人,讲师,在读博士研究生,主要从事果树栽培生理研究。

E-mail: ylyzy@hebau.edu.cn

\*通讯作者:高东升(1967-),男,山东青州人,教授,博士,主要从事果树栽培生理研究。E-mail: www.dsgao@sdau.edu.cn

桃是设施果树栽培的主要树种之一,设施栽培桃成熟期一般在 4—5 月份,期间温室内高温多湿的环境易使桃在成熟期变软腐烂,且桃属典型的呼吸跃变型果实,采后极易腐烂,贮藏时间较短,大大影响了设施桃的销售货架期。钙素营养与果实品质密切相关,钙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<sup>[1]</sup>。有关钙与水果果实品质及贮藏特性关系的研究较多<sup>[2-9]</sup>,相关研究表明,果实钙含量低是果实发生生理性病害的主要原因<sup>[10]</sup>。但前人的研究多集中在果实采后补钙或采前外源喷钙对果实贮藏性的影响,且研究结果多提倡在果实幼果期针对果实喷钙补充营养<sup>[4,11]</sup>,但鉴于设施内桃幼果期低温高湿的生长发育环境,幼果期外源喷钙会造成设施内湿度增大,从而加大了果树感染病害的几率,不利于坐果及果实生长发育和品质的形成,因此,前人研究结果对指导设施果树生产具有一定的局限性。笔者前期的研究结果表明,土壤施钙可有效改善设施桃果实品质,增加果实钙含量<sup>[12]</sup>,但其对采后贮藏特性的影响尚不明确,鉴于此,探讨采前土壤施钙对设施桃果实贮藏期间果实衰老相关酶活性的影响,旨在为合理调控设施桃钙素营养、实现设施桃优质生产、减轻成熟期烂果损失、延长果实货架期提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设计

试验在山东农业大学果树站设施果树温室进行。试验田土层深厚,为褐土,其 pH 值 6.96,有机质含量 14.7 g/kg,速效氮 96.9 mg/kg,速效磷 48.4 mg/kg,速效钾 96.7 mg/kg,总钙 9.54 g/kg,交换性钙 5.02 g/kg。试材为设施栽培 5 年生曙光油桃,株行距为 1.5 m×2 m,树体生长健壮,整齐一致,常规管理。设施内桃树于 2011 年 12 月 20 日扣棚升温,单株小区,重复 3 次。

根据前期试验结果<sup>[12]</sup>,选出施钙处理中对果实产量和品质效果最佳的施肥浓度,即土壤施  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  120 g/株作为施钙处理,与不施钙肥(CK)作对比,分析采前土壤施钙对设施油桃采后贮藏生理特性的影响,钙肥分别于秋施基肥时(2011 年 9 月,施 2/3)和幼果期追肥时(2012 年 3 月,施 1/3) 2 次施入。

### 1.2 样品采集与处理

于果实商品成熟期采摘树冠外围生长势一致的果实 90 个,立即运回冷库[温度  $(0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ ]贮存,每隔 5 d 取样 1 次(10 个)测定果实抗氧化生理特

性,直至果实不具商品性。取果实时,先用去离子水加洗涤剂冲洗 2 遍,再用去离子水冲洗 3 遍,用吸水纸擦干,用于各项指标测定。

### 1.3 测定项目与方法

果实采后生理特性测定参照赵世杰<sup>[14]</sup>的方法进行,超氧化物歧化酶(SOD)活性以抑制 NBT 光化还原的 50% 为 1 个酶活性单位(U);过氧化物酶(POD)活性以每克鲜样光密度每分钟增加 0.01 为 1 个酶活单位(U);过氧化氢酶(CAT)活性以每克鲜样光密度每分钟降低 0.01 为 1 个酶活单位(U);膜透性用相对电导度表示;以  $C_{\text{MDA}}(\mu\text{mol/L}) = 6.45(D_{532} - D_{600}) - 0.56D_{450}$  求得植物样品中提取液中丙二醛(MDA)的浓度,根据植物组织的质量计算样品中 MDA 的含量。

数据采用 DPS 2.0 软件处理,并用 LSD 法进行显著性方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤施钙对设施油桃果实贮藏期间 SOD 活性的影响

由图 1 可知,贮藏前期,对照与处理果实内 SOD 活性均有 1 个明显上升过程,分别在第 5 天(52.0 U/g)和第 10 天(55.4 U/g)达到生理活性高峰,其后二者 SOD 活性总体表现为下降趋势;施钙处理油桃果实在贮藏期间 SOD 活性明显高于对照果实,且峰值比对照推迟 5 d 出现,尤其在贮藏第 10 天之后,施钙处理油桃果实 SOD 活性显著高于对照果实( $P < 0.05$ )。

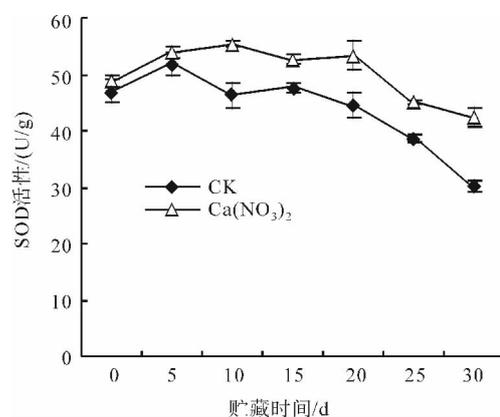


图 1 土壤施钙对设施油桃贮藏期间 SOD 活性的影响

### 2.2 土壤施钙对设施油桃果实贮藏期间 POD 活性的影响

由图 2 可知,对照与施钙处理油桃果实 POD 活性均呈先升后降的变化趋势,在贮藏前期,二者 POD 活性均显著升高,分别在贮藏后第 5 天

[5.12 U/(g·min)] 和第 10 天 [5.27 U/(g·min)] 达到峰值, 这可能与油桃果实从室温到低温贮藏受到的冷胁迫有关; 施钙处理果实明显推迟了 POD 活性高峰出现的时间 (推迟 5 d), 并且在贮藏后期其 POD 活性除在第 15 天与对照差异不大外, 其余时间均显著高于对照果实 ( $P < 0.05$ )。

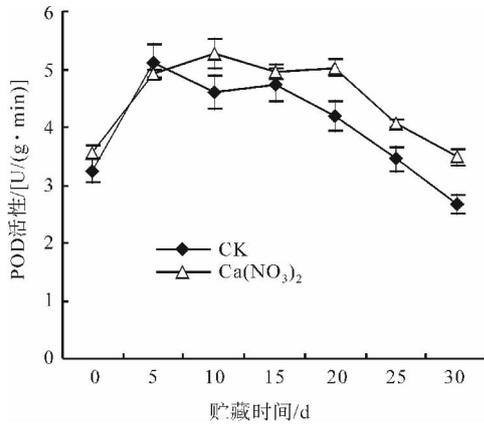


图 2 土壤施钙对设施油桃贮藏期间 POD 活性的影响

### 2.3 土壤施钙对设施油桃果实贮藏期间 CAT 活性的影响

由图 3 可以看出, 总体上对照与施钙处理果实 CAT 活性呈先升后降的变化趋势, 分别在贮藏后第 5 天 (22.4 U/g) 和第 10 天 (26.7 U/g) 达到峰值, 采前施钙处理果实在第 20 天又有 1 个 CAT 活性高峰 (24.5 U/g), 但二者 CAT 活性总体呈下降趋势, 特别在贮藏后期, 二者 CAT 活性均迅速下降; 在整个贮藏期间, 除 0~5 d 二者 CAT 活性差异不显著外, 其余时间均表现为施钙处理果实 CAT 活性显著高于对照果实 ( $P < 0.05$ )。

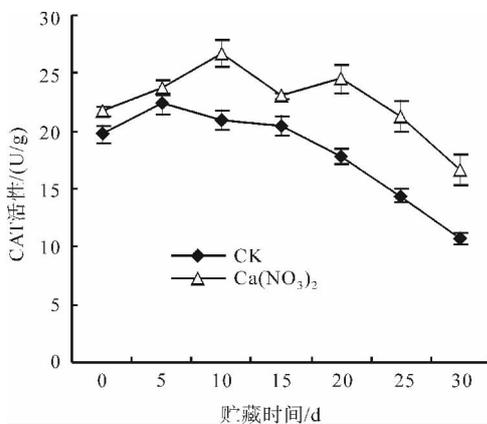


图 3 土壤施钙对设施油桃贮藏期间 CAT 活性的影响

### 2.4 土壤施钙对设施油桃果实贮藏期间相对膜透性的影响

由图 4 可以看出, 对照与采前施钙处理油桃果实的相对膜透性在贮藏前期均相对稳定, 二者分别

在第 10~15 天和第 15~20 天有一个明显上升的过程, 分别上升了 39.4% 和 30.5%, 随后二者相对膜透性快速增加; 施钙处理油桃果实相对膜透性在贮藏期间低于对照果实, 特别是在贮藏的中后期, 前者相对膜透性显著低于后者 ( $P < 0.05$ )。

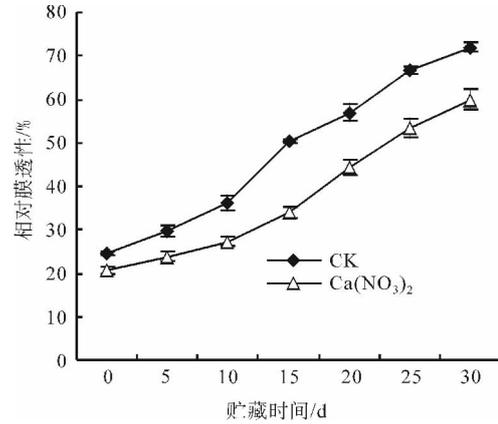


图 4 土壤施钙对设施油桃贮藏期间相对膜透性的影响

### 2.5 土壤施钙对设施油桃果实贮藏期间 MDA 含量的影响

由图 5 可以看出, 随贮藏时间的逐渐延长, 对照与采前施钙处理油桃果实内 MDA 含量均呈贮藏前期增长缓慢, 中后期增长迅速的趋势; 在整个贮藏期间, 施钙处理果实 MDA 含量显著低于对照 ( $P < 0.05$ )。表明果实内  $Ca^{2+}$  可有效抑制 MDA 的积累, 减弱果实细胞膜的伤害, 有利于果实贮藏时间的延长和品质的保证。

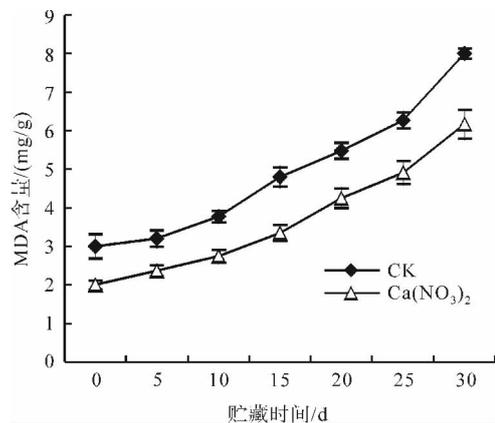


图 5 土壤施钙对设施油桃贮藏期间 MDA 含量的影响

## 3 结论与讨论

果实的贮藏特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<sup>[15]</sup>, 正常情况下活性氧的产生和清除处于平衡状态, 但是在缺钙导致果实生理失调过程中, 活性氧代谢系统的平衡被破坏, 自由基生成量增加, 而清除能力下降, 过多的活性氧

可攻击蛋白质、脂类及 DNA 碱基,引发膜脂过氧化,导致生物膜系统破坏和代谢紊乱<sup>[16]</sup>。本研究结果表明:与对照相比,采前土壤施硝酸钙处理可显著提高并维持设施油桃贮藏期间果实 SOD、POD、CAT 活性,这可能是土壤施钙增加了设施油桃果实  $\text{Ca}^{2+}$  含量<sup>[12]</sup>,而 SOD 和 POD 活性受介质  $\text{Ca}^{2+}$  直接调节,果实补钙有利于贮藏果实维持正常氧化代谢,延缓果实衰老<sup>[2]</sup>。梁国庆等<sup>[17]</sup>研究也表明,苹果外源补钙通过在分子水平上调 SOD 和 CAT1 基因表达量来激活 SOD 和 CAT 活性,有效减少体内活性氧积累,确保果实生理代谢平衡。

相对电导率的高低表示细胞膜透性的大小,质膜透性增大是果实衰老的重要原因。而果实的衰老软化与膜脂的过氧化密切相关,MDA 是膜脂过氧化的产物之一,其含量的多少标志着膜脂过氧化的程度,它的积累会对生物体细胞产生毒害作用,其可与蛋白质分子结合,引起蛋白质分子内和分子间交联,使膜结构和功能受到破坏<sup>[18]</sup>。有关研究表明,钙可与膜磷脂分子的极性头部相连接,发生交联作用,从而使膜脂双分子层中的蛋白质和磷脂结合紧密,降低膜透性,保证膜的稳定性<sup>[19-20]</sup>。本研究结果表明,与对照相比,采前土壤施硝酸钙可显著降低设施油桃贮藏期间果实的质膜透性和 MDA 含量,说明  $\text{Ca}^{2+}$  含量的增加有利于维持采后果实的膜结构的完整性,减少底物与酶的接触,降低膜脂过氧化对细胞膜结构的破坏。与施钙处理可提高果实内 SOD、POD、CAT 活性,降低质膜透性,说明采前土壤施钙显著增加了果实内  $\text{Ca}^{2+}$  含量,对于改善设施油桃的贮藏品质,提高贮藏性能具有显著效果。

#### 参考文献:

- [1] 关军锋, Max saure. 果树钙素营养与生理[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] 周卫, 张新生, 何萍, 等. 钙延缓苹果果实后熟衰老作用的机理[J]. 中国农业科学, 2000, 33(6): 73-79.
- [3] Shah A, Javid U, Tariq A. Effect of calcium chloride coating applied under vacuum on the physio-chemical characteristics of apple Kingstar stored at ambient conditions[J]. Sarhad Journal of Agriculture, 2004, 20(4): 627-634.
- [4] 刘剑锋. 梨果实钙的吸收、运转机制及影响因素研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2004.
- [5] 闫师杰, 马照春, 刘铁玲. 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.
- [6] 翟忠琴. 施钙对提高葡萄果实品质和耐贮性的影响[J]. 天津农业科学, 2003, 9(4): 8.
- [7] 白英, 郑国宏. 壶瓶枣果含钙量与裂果的关系[J]. 山西农业科学, 2014, 42(1): 23-24.
- [8] 叶国平, 李浩宇, 翁雪芳. 叶面肥在柑桔上的肥效试验研究[J]. 现代农业科技, 2010(14): 261.
- [9] 刘铁铮, 赵习平, 付雅丽, 等. 外源钙对杏果实裂果的影响研究[J]. 华北农学报, 2009, 24(B12): 187-189.
- [10] Peter K H. Calcium: A central regulator of plant growth and development[J]. Plant Cell, 2005, 17(8): 2142-2156.
- [11] 周卫, 李书田, 林葆. 喷钙对苹果果实生理特性的影响[J]. 土壤肥料, 2000(6): 25-28.
- [12] 李中勇, 高东升, 王闯, 等. 土壤施钙对设施栽培油桃果实钙含量及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(1): 191-196.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] 赵世杰. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2004.
- [15] 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.
- [16] Picchioni G A, Watada A E, Conway W S, et al. Post-harvest calcium infiltration delays membrane lipid catabolism in apple fruit[J]. J Agric Food Chem, 1998, 46: 2452-2457.
- [17] 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.
- [18] Chaoui A, Mazhoudi S, Ghorbal M H. Calcium and zinc induction of lipid peroxidation and effects on antioxidant enzyme activities in bean[J]. Plant Sci, 1997, 127: 139-147.
- [19] Knight H, Trethewey A J, Knight M R. Calcium signalling in *Arabidopsis thaliana* responding to drought and salinity[J]. The Plant, 1997, 12: 1067-1078.
- [20] Poovaiah B W, Reddy A S N. Calcium and signal transduction in plants[J]. Critical Review of Plant Science, 1993, 12: 185-221.