

廖亚运, 张斌斌, 马瑞娟, 等. 采前喷钙对金陵黄露桃钙吸收及细胞超微结构的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(5): 1171-1176.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.05.034

采前喷钙对金陵黄露桃钙吸收及细胞超微结构的影响

廖亚运^{1,2}, 张斌斌², 马瑞娟², 俞明亮²

(1. 南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095; 2. 江苏省农业科学院园艺研究所·江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 江苏 南京 210014)

摘要: 以鲜食黄肉桃品种金陵黄露为材料, 在盛花后 30 d(幼果期)、55 d(果实膨大期)、80 d(成熟前期), 分 3 次对果实和叶片喷施不同形态的钙, 研究了喷钙对叶片、果皮、果肉钙含量及果肉细胞超微结构的影响。结果表明, 采前喷钙增加了金陵黄露桃叶片、果皮、果肉的钙含量, 整个发育期以幼果期喷钙效果最为显著, 0.015 mol/L 螯合钙处理在 3 个测定时期(花后 55 d、80 d、87 d)钙含量最高。此外, 在果实贮藏 25 d 后, 观察其果肉细胞超微结构, 发现经喷钙处理的果肉细胞中钙主要分布于细胞壁、细胞膜、液泡膜, 而且细胞结构较清晰完整, 0.020 mol/L 和 0.015 mol/L 螯合钙处理的清晰程度较好; 而喷施清水对照的果肉细胞中仅发现少量的钙, 其细胞壁扭曲变形、断裂, 细胞分室作用消失, 细胞结构异常, 细胞膜系统的结构和功能受到损伤。可见, 在桃生长发育过程中叶片和果实表面喷施不同浓度的钙溶液能增加果实钙含量, 使细胞结构和功能得到有效保护, 其中以 0.015 mol/L 螯合钙处理效果较为明显。

关键词: 桃; 钙含量; 细胞; 超微结构

中图分类号: S662.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)05-1171-06

Calcium absorption and cell ultrastructure of Jinlinghuanglu peach in response to pre-harvest calcium solutions spraying

LIAO Ya-yun^{1,2}, ZHANG Bin-bin², MA Rui-juan², YU Ming-liang²

(1. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Institute of Horticulture, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China)

Abstract: Influence of calcium spraying on calcium content in leaf, pericarp, flesh as well as flesh cell ultrastructure of Jinlinghuanglu peach was studied at 30 d (young fruit period), 55 d (fruit expanding period) and 80 d (fruit maturing period) after full blossom. Calcium spraying increased the calcium content in leaf, pericarp and flesh, especially at young fruit period. The highest level of calcium content was observed in 0.015 mol/L chelated calcium treatment. Calcium was mainly distributed in cell wall, cell membrane and tonoplast of flesh after 25-d storage. What's more, calcium was accumulated in tonoplast and the cell structure was clear and intact in 0.020 mol/L and 0.015 mol/L chelated calcium

treatments. Little calcium was found in control fruit flesh and the cell wall was distort, cell compartment disappeared and abnormal cell structure was observed. In addition, structure and function of cell membrane system were injured. It was concluded that calcium spraying on leaf and fruit could increase fruit calcium content and protect structure and function of cell. The most effective treatment was 0.015 mol/L chelated calcium.

Key words: peach; calcium content; cell; ultrastructure

收稿日期: 2016-02-01

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目 [CX(15)1020]; 现代农业产业技术体系建设专项基金项目 (CARS-31)

作者简介: 廖亚运 (1990-), 男, 江苏淮安人, 硕士研究生, 主要从事桃育种和栽培研究。(E-mail) 1060075214@qq.com

通讯作者: 俞明亮, (Tel) 13601588855; (E-mail) mly1008@aliyun.com

多数桃栽培品种果实色泽鲜艳、肉质细腻、营养丰富,并具有一定的保健价值,因此深受国内外消费者的欢迎。但由于一些品种肉软、皮薄、汁多,属于不耐贮运的类型,极易出现果实软化、果肉褐变、腐烂变质和风味变淡等现象,极大地限制了桃的异地销售^[1-2]。因此,桃的贮运保鲜日益受到研究者的重视。国内外对桃的采后生理与贮藏保鲜技术进行了大量的研究。关于桃贮藏方法和技术,除了常见的冷藏和气调贮藏外,还包括热处理^[3-4]、电离辐射^[5-7]、防腐保鲜剂保鲜^[8-9]等。钙处理也是果实采后处理常用的方法之一,有资料^[10-11]显示,钙能延长果实的贮藏时间,减少贮藏期间营养成分的消耗,但这些钙处理的研究多以 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 和 CaCl_2 等离子钙为主,而关于其他形式的钙,比如螯合形态的钙对桃贮藏效果的研究鲜有报道,喷钙后对桃果实中钙含量、贮藏期间细胞超微结构等的研究也未见报道。因此,本试验以金陵黄露桃为材料,采用螯合钙、 CaCl_2 等不同形态的钙,在幼果期、膨大期和成熟前期喷施,研究其对桃贮藏品质、果实钙形态及细胞超微结构的影响,以期筛选最适宜桃发育期使用的钙制剂,为延长桃果实货架期提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料处理

供试品种为鲜食黄肉桃金陵黄露,6月下旬成熟,树形为三主枝自然开心形,树体健壮,生长势基本一致,行株距 $5.0\text{ m} \times 3.0\text{ m}$,按常规栽培措施管理。试验于2015年在江苏省农业科学院溧水植物科学基地进行,于盛花后30 d(幼果期)、55 d(果实膨大期)、80 d(成熟前期)进行喷钙处理,试验共设置6个处理,每个处理选择长势基本一致的9株树,挂牌标记,3次重复,每重复3株树。在晴天上午对叶面和果面分别喷施 0.06 mol/L CaCl_2 (含0.1%体积分数的 Tween 20) 和 0.005 mol/L 、 0.010 mol/L 、 0.015 mol/L 、 0.020 mol/L 的螯合钙肥,以清水喷施叶和果实作为对照。在盛花后55 d(喷施前)、80 d(喷施前)、87 d(采收时)采集树冠外围中部果实。每次采样后用去离子水将果面、叶面冲洗干净,晾干,同时将果皮和果肉分离,果肉去除果核切成片,置于 $105\text{ }^\circ\text{C}$ 下杀青30 min,然后在 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 下烘干至恒质量,用于钙含量测定。盛花后87 d(采收时)选成熟度一致、大小适中、无机械伤及病虫害、发育正常

的桃果实,放入垫有海绵纸的塑料筐中,迅速将果心温度预冷至 $4\text{ }^\circ\text{C}$,然后放至温度为 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 $80\%\sim 85\%$ 的冷库中贮藏。盛花后87 d果实的采收日记为低温贮藏第0 d,在贮藏至25 d时,取不同处理的果实用钙固定液固定后用于超微结构观察。

1.2 超微结构观察

观察方法参考周卫等^[12]和陈见晖等^[13]的方法。取果实皮下同一部位果肉用刀片切成 $0.5\sim 1.0\text{ mm}^2$ 小块,迅速投入盛有2%戊二醛固定液的离心管中,盖紧后用注射器抽气直到样品沉入底部,于 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 下固定24 h,磷酸缓冲液清洗3次后,用1%、 $\text{pH } 7.2$ 的锇酸在 $0\sim 4\text{ }^\circ\text{C}$ 下进行固定2 h,再用磷酸缓冲液清洗3次,固定好的样品经 $50\%\rightarrow 70\%\rightarrow 80\%\rightarrow 90\%\rightarrow 100\%$ 乙醇梯度脱水,每次15 min,100%环氧丙烷浸泡30 min,15 min 更换1次溶液,1/2 环氧丙烷+1/2 Epon812 树脂浸泡3 h,1/4 环氧丙烷+3/4 Epon812 树脂浸泡3 h,用100% Epon812 树脂浸透包埋20 h,分别升温聚合24 h,包埋块经 LK-BV 型超薄切片机切片,醋酸双氧铀、柠檬酸铅双染色,在 H-7650 透射电镜下观察并拍照。

1.3 钙含量的测定

称取烘干的果皮、果肉、叶片干样 1.0 g ,放入马弗炉,在 $550\text{ }^\circ\text{C}$ 下灰化4 h,待冷却后加入1 ml 酸液 ($\text{HNO}_3:\text{HClO}_4=5:1$) 硝化,再用去离子水定容至25 ml,用原子吸收法测定钙含量,每次测定重复3次。

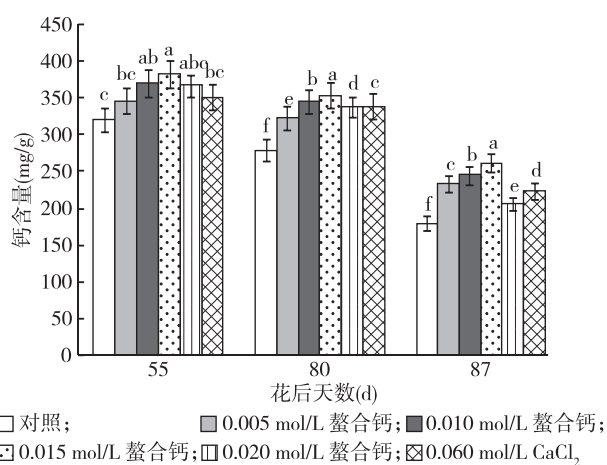
2 结果与分析

2.1 采前喷钙对金陵黄露桃叶片钙吸收的影响

由图1可见,不同处理的金陵黄露桃叶片钙吸收变化在盛花后55~80 d呈缓慢下降趋势,在盛花后80~87 d急剧下降;随叶片生长发育时间的延长,对照的下降幅度显著高于其他喷钙处理,降幅为44.10%。与盛花后80 d、87 d相比,在盛花后55 d叶片对钙吸收最大,其中以浓度为 0.015 mol/L 和 0.010 mol/L 螯合钙处理较好,比对照分别提高19.25%、15.52%。在盛花后80 d和87 d,不同钙处理的叶片钙含量均显著高于对照,而以 0.015 mol/L 螯合钙处理的最高, 0.01 mol/L 螯合钙处理的次之,说明采前喷钙对提高金陵黄露桃叶片钙含量有显著作用。

2.2 采前喷钙对金陵黄露桃果皮钙吸收的影响

由图2可见,在盛花后55~87 d内不同处理的金陵黄露桃果皮钙的吸收均呈下降趋势;在盛花后55



不同小写字母表达差异达 0.05 显著水平。

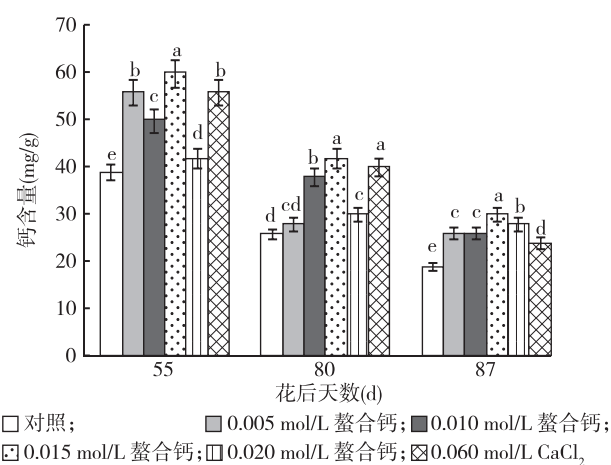
图 1 采前喷钙对金陵黄露桃叶片钙含量的影响

Fig. 1 Effect of pre-harvest calcium solution spraying on calcium content in the leaves of Jinlinghuanglu peach

d, 以 0.005 mol/L 和 0.015 mol/L 螯合钙以及 0.060 mol/L CaCl_2 处理果皮钙含量显著高于对照, 分别提高了 43.11%、53.85%、40.21%。与盛花后 55 d 相比, 在盛花后 80 d 不同处理桃果皮对钙吸收显著降低, 但此时喷钙处理的果皮钙含量仍高于对照, 其中以 0.015 mol/L 螯合钙处理最高, 0.060 mol/L CaCl_2 处理次之; 在盛花后 87 d 果皮对钙的吸收量最低, 但不同处理 (0.005 mol/L 螯合钙、0.010 mol/L 螯合钙、0.015 mol/L 螯合钙、0.020 mol/L 螯合钙、0.060 mol/L CaCl_2) 与对照相比果皮钙含量分别提高了 36.84%、36.84%、57.89%、47.37%、26.32%。另外不同钙处理的金陵黄露桃果实整个发育过程中果皮钙含量均高于对照, 说明采前喷钙对提高金陵黄露桃果实果皮钙含量具有明显的作用。

2.3 采前喷钙对金陵黄露桃果肉钙吸收的影响

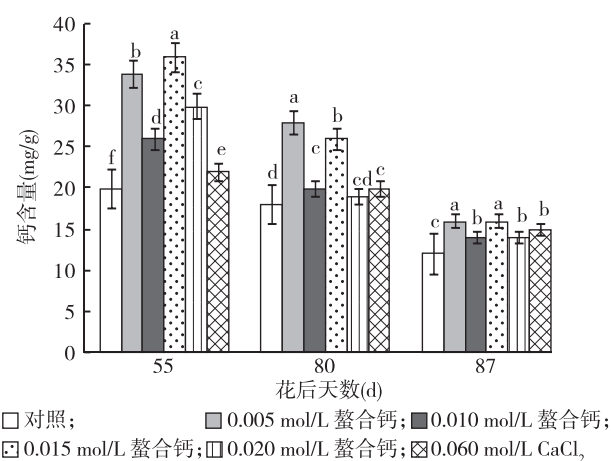
不同处理金陵黄露桃果实果肉钙含量均随生长发育时间的延长呈下降的趋势, 其中对照和 0.060 mol/L CaCl_2 处理下降趋势与其他处理相比较为平缓, 其降幅分别为 10% 和 9% (图 3)。在盛花后 55 d 和 87 d, 钙处理的果肉钙含量均高于对照 ($P < 0.05$), 其中经 0.015 mol/L 螯合钙处理的果肉钙含量最高, 0.005 mol/L 螯合钙处理次之 ($P < 0.05$)。在盛花后 80 d, 钙处理果肉钙含量也显著高于对照, 但不同处理相比较, 以 0.005 mol/L 螯合钙处理的果肉钙含量最高, 而 0.015 mol/L 螯合钙处理次之。说明采前喷钙对促进金陵黄露桃果肉对钙的吸收具



不同小写字母表达差异达 0.05 显著水平。

图 2 采前喷钙对金陵黄露桃果皮钙含量的影响

Fig. 2 Effect of pre-harvest calcium solution spraying on calcium content in the pericarp of Jinlinghuanglu peach



不同小写字母表达差异达 0.05 显著水平。

图 3 采前喷钙对金陵黄露桃果肉钙含量的影响

Fig. 3 Effect of pre-harvest calcium solution spraying on calcium content in the flesh of Jinlinghuanglu peach

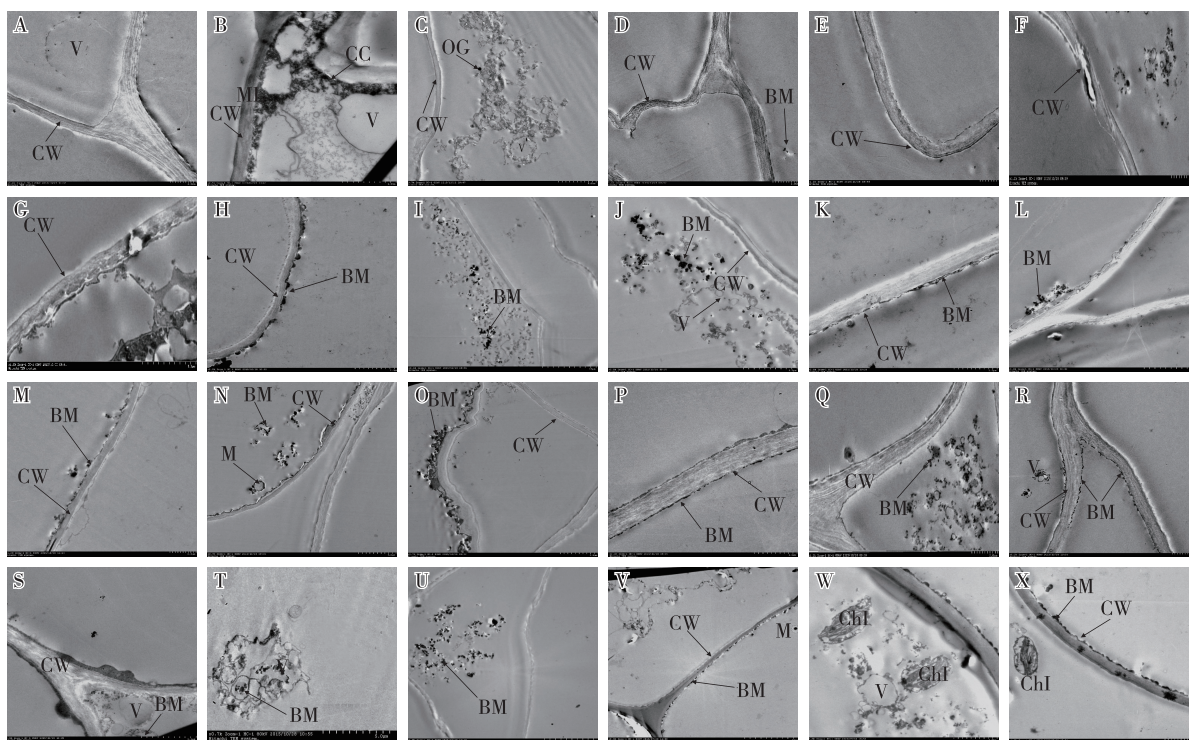
有显著的效果。

2.4 采前喷钙对贮藏后桃果实细胞超微结构的影响

对照细胞的细胞壁、细胞膜等系统内仅发现少量钙, 部分细胞膜系统清晰 (图 4A、4B、4C、4D、4F、4G), 而另一部分比较模糊, 甚至消失, 有降解的倾向 (图 4A、4C), 并且细胞壁出现厚度不均, 细胞物质降解, 液泡及细胞器内含物与原生质互溶, 细胞壁溶解酶促使微纤丝松懈呈絮状物降解, 致使细胞内出现黑色絮状物 (图 4A、4B)。此外细胞超微结构照片还显示对照的细胞结构部分受到破坏, 少部分

细胞有收缩的现象(图 4C),细胞壁断裂、扭曲变形(图 4F、4G),细胞壁中胶层溶解,电子密度降低,微纤丝散落到细胞中(图 4C、4D、4E)。在 CaCl_2 处理的果实细胞中发现有钙聚集在细胞壁(图 4H)以及细胞膜、液泡膜中(图 4I、4J)。从细胞超微结构照片可以看到部分细胞器已经溶解,但依然可以清晰地看到部分细胞器和液泡膜(图 4J)。经 0.005 mol/L 和 0.010 mol/L 螯合钙处理的果实在细胞壁上也发现有钙的聚集(图 4K、4L、4M、4P)。随着贮藏时间延长在细胞内可以看出有部分钙分布在细胞膜、线粒体周围(图 4N),细胞壁发生收缩,细胞壁厚度不均,细胞壁与细胞之间出现间隙(图 4N、

4O),细胞壁溶解酶促使微纤丝松懈,呈絮状物降解,细胞内出现黑色絮状物(图 4Q)。经 0.015 mol/L、0.020 mol/L 螯合钙处理的果实细胞壁、细胞膜、液泡膜上有钙的累积,以及细胞膜和细胞壁的间隙中也有一定量的钙累积,尤其在细胞壁上分布居多,且有随机分布的黑色颗粒堆积(图 4R、4S、4T、4U、4V、4W、4X)。以 0.020 mol/L 螯合钙处理的细胞膜系统完整,细胞分室较为清晰,可以看到叶绿体、线粒体等细胞器,细胞壁结构致密、光滑、均匀,细胞质及其内含物紧贴细胞壁,但细胞外壁开始有少许微纤丝松懈(图 4W、4X)。



A~G: 对照; H~J: 0.060 mol/L CaCl_2 处理; K~M: 0.005 mol/L 螯合钙处理; N~Q: 0.010 mol/L 螯合钙处理; R~T: 0.015 mol/L 螯合钙处理; U~X: 0.020 mol/L 螯合钙处理。CW: 细胞壁; ML: 中胶层; Chl: 叶绿体; BM: 钙; M: 线粒体; V: 液泡; S: 淀粉粒; CC: 细胞内含物质; OG: 溶酶体颗粒。

图 4 采前喷钙处理对金陵黄露桃果肉细胞超微结构的影响

Fig.4 Effect of pre-harvest calcium solutions spraying on flesh cell ultrastructure of Jinlinghuangli peach

3 讨论

本研究结果表明采前喷钙显著提高了金陵黄露桃叶片、果皮、果肉中钙的含量,在盛花后 55 d 果皮、果肉对钙吸收量最大,说明在盛花后 30 d (幼果期)对果实、叶片进行喷钙处理的效果显著,可能此

时果实处于细胞分裂期,果实对钙素的吸收比较活跃^[14],果实钙素吸收迅速且量大。而与盛花后 55 d 相比,盛花后 80 d 对钙的吸收呈下降趋势,可能此时果实正值膨大期,植物由营养生长转为生殖生长,果实生长旺盛,果实吸收钙的速率较果实膨大速度慢,导致钙含量相对降低。在盛花后 87 d 果实吸钙

量最低,可能因为此时各个器官已建成,果实代谢低,所以对钙的吸收比较少。说明在盛花后 80 d (成熟前期)对果实、叶片喷钙对果实叶片钙含量的影响较小。有研究结果表明在果实发育后期,果实钙含量的多少对果实品质形成及采后贮藏和运输具有重要影响^[15-19]。林葆等^[20]认为,幼果期将钙直接补充到果实上十分重要,而且钙肥的施用也应注意施用时期。彭抒昂等^[21]发现,在受精初期,钙就通过导管进入果实,幼果期越早越有利于钙的吸收。本研究结果表明采前喷钙对提高金陵黄露桃果实、果皮、果肉钙含量具有明显的作用,在果实成熟期以 0.015 mol/L 螯合钙处理的果肉、果皮的钙含量高,这有利于提高果实的耐贮性,延长贮藏时间。

叶片对钙的吸收与果皮和果肉对钙的吸收都集中在盛花后 55 d,可能由于果实快速生长的同时叶片也正快速生长,生活力强、代谢快导致对营养吸收需求加大。而在盛花后 87 d,随着果实的营养生长、生殖生长完成,对营养的需求量低,加之叶片的衰老,对钙的吸收降低。有研究结果表明,叶片喷施适宜浓度的钙化合物,一般不会对果实品质产生不利影响^[22-30]。张华云等^[31]的研究结果表明,在梨生长期叶片喷施 0.5% CaCl_2 溶液,能够促进果实的生长。说明通过叶面喷施钙肥,增加叶片中的钙含量,有利于果实对钙的吸收。

钙作为植物细胞的结构物质之一,具有稳定细胞壁和细胞膜结构的作用。在果实成熟衰老过程中,常伴随着细胞结构的变化^[32]。本试验钙定位电镜扫描结果显示,金陵黄露桃在贮藏 25 d 后,对照果肉细胞结构部分受到破坏,钙缺乏破坏了细胞壁的稳定性。可以推测,由于没有足够的钙在胞外与果胶酸形成果胶酸钙,导致细胞壁强度下降。而经过喷钙处理的果肉细胞结构比较完整,其中 0.015 mol/L 和 0.020 mol/L 螯合钙处理的果实细胞壁结构致密、光滑、均匀,0.020 mol/L 螯合钙处理的果实细胞中双膜结构完整,叶绿体结构较完整。本研究还发现桃果实细胞壁上有黑色物质出现,可能是钙在这些区域积累并与有机大分子结合成为结合态钙,在细胞外形成一层保护膜,对细胞膜结构和功能有一定的保护作用,或这些黑色物质可能为一些多酚类物质,具有抗氧化、抗衰老等作用,能延缓桃贮存期间病害的发生。本试验中各种钙处理均有效地增加了果实中的钙含量,提高了果实的耐贮性,其中

以螯合钙处理效果较为显著。

参考文献:

- [1] 吕昌文,修德仁,齐 灵,等. 桃的采后生理研究及其探讨[J]. 天津农业科学,1993(2):14-16.
- [2] 任文明,毋智深,高爱武,等. 桃保鲜技术研究[J]. 内蒙古农牧学院学报,1999,20(1):78-82.
- [3] 黄万荣,白景云,韩 涛,等. 短时升温对桃果实贮藏效应的影响[J]. 果树科学,1993,10(2):73-76.
- [4] 韩 涛,李丽萍,黄万荣,等. 热激处理对冷藏桃果实的生理效应[J]. 植物生理学通讯,1996,32(3):184-186.
- [5] KALINOR V. Respiration intensity of λ -irradiated peaches during storage[J]. Khranitel Nopromishlena Nauka,1985,6:15-21.
- [6] 金宇东,汪昌保,单国尧,等. 辐照处理对水蜜桃感官品质的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(7):271-273.
- [7] 石建新.⁴⁰Co γ 辐照对桃果实贮藏效果的影响[J]. 核农学报,1993,14(4):161-166.
- [8] 徐根娣,李 方,张淑娜,等. 天然保鲜剂壳聚糖对白桃的保鲜效[J]. 贵州农业科学,2009,37(3):135-138.
- [9] 朱正良,樊 建,张惠芬,等. 青刺果乙醇提取物对桃子的保鲜效果[J]. 西南农业大学学报,2002,24(5):442-444.
- [10] CHEN G H, HUANG L T. Molecular characterization of a senescence-associated gene encoding cysteine proteinase and its gene expression during leaf senescence in sweet potato[J]. Plant and Cell Physiology, 2002, 43: 984-991.
- [11] FANG S C, FERNANDEZ D. Effect of regulated over-expression of the MADS domain factor AGL15 on flower senescence and fruit maturation [J]. Plant Physiology, 2002, 130: 78-89.
- [12] 周 卫,林 葆. 花生缺钙症状与超微结构特征的研究[J]. 中国农业科学,1996,29(4):53-57.
- [13] 陈见晖,周 卫. 苹果缺钙对果实钙组分、亚细胞分布与超微结构的影响[J]. 中国农业科学,2004,37(4):572-576.
- [14] 周 卫,汪 洪,赵林萍,等. 苹果幼果钙素吸收特性与激素调控[J]. 中国农业科学,1999,32(3):52-58.
- [15] 谢玉明,易干军,张秋明,等. 钙在果树生理代谢中的作用[J]. 果树学报,2003,20(5):369-373.
- [16] 徐 凌,丁立群,富新华,等. 采前喷钙和赤霉素对日光温室桃耐贮性的影响[J]. 辽宁熊岳农业高等专科学校报,1999,1(3):23-26.
- [17] 高 慧,饶景萍. 油桃的采后生理及贮藏保鲜技术[J]. 陕西农业科学,2003(4):55-58.
- [18] 纪永强,王福宾. 果树施用威格液肥(含钙型)试验报告[J]. 烟台果树,2002(2):39.
- [19] 张华云,王善广,高习英,等. 防腐保鲜剂在桃贮藏中的应用[J]. 保鲜与加工,2000(1):29-30.
- [20] 林 葆,周 卫,张文才,等. 桃果实缝合线部位软化发生与防治研究[J]. 土壤肥料,1996(6):19-21.
- [21] 彭抒昂,岩崛修一. 梨果实发育中 Ca^{2+} 在果肉细胞的定位及变化研究[J]. 园艺学报,2000,28(26):497-503.

- [22] 秦玉芝, 李朝阳, 陈 军, 等. 猕猴桃果实成熟前补钙对果实钙含量的影响[J]. 落叶果树, 2004(1): 4-5.
- [23] RECASENS L, BENAVIDES A, PUY J, et al. Pre-harvest calcium treatments in relation to the respiration rate and ethylene production of golden smoothie apples [J]. J Sci Food Agri, 2004, 84: 765-771.
- [24] 何为华, 王 勤, 张世英, 等. 套袋、喷钙对酥梨果实矿质营养和品质的影响[J]. 果树学报, 2003, 20(1): 18-21.
- [25] MOON B W, KANG I K, LEE Y C, et al. Effects of tree-spry of liquid calcium compounds on the changes in cell wall components, cell wall structure change of 'Jingfen' pear fruits[J]. J Korea Soc Hort Sci, 2002, 43(1): 51-53.
- [26] BROWN G S, KITEHENER A E, BAMESS S, et al. Calcium hydroxide sprays for the control of black spot on apples-treatment effects on fruit quality[J]. Acta Hort, 2000, 513: 57-52.
- [27] SCHIRRA M, INGLESE P, LAMANTIA T. Quality of cactus pear fruit in relation to ripening time, CaCl_2 pre-harvest sprays and storage conditions[J]. Sci Hort, 1999, 81: 425-436.
- [28] MAKUS D J, MORRIS J R. Influence of soil and foliar applied calcium on strawberry fruit nutrients and postharvest quality[J]. Acta Hort, 1999, 265: 443-446.
- [29] 关军锋, 束怀瑞, 黄天栋, 等. 采前喷钙对甜樱桃果实品质和采后生理的影响[J]. 河北农业大学学报, 1999, 22(1): 43-46.
- [30] 聂 斌. 喷钙对温州蜜柑果实不同形态钙含量及品质的影响[J]. 中国柑橘, 1994, 23(3): 16-17.
- [31] 张华云, 牟其云, 孙风兰, 等. 叶片喷钙对梨果实生长及果实 *PPO* 和 *POD* 活性的影响[J]. 莱阳农学院学报, 1995, 12(4): 265-267.
- [32] 刘剑锋, 程云清, 彭抒昂. 梨采后细胞壁成分及果胶酶活性与果肉质地的关系[J]. 园艺学报, 2004, 31(5): 579-583.

(责任编辑: 张震林)