

幼果期喷钙对‘黄金梨’采后果实贮藏性能的影响

周君, 肖伟, 陈修德, 张泽杰, 文滨滨, 宋文亮, 高东升*, 李玲*

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, 山东果蔬优质高效生产协同创新中心, 山东泰安 271018

摘要: 以‘黄金梨’ (*Pyrus pyrifolia* cv. ‘Whangkeumbae’)为试材, 研究幼果期喷0.5%氨基酸钙和0.5%硝酸钙对套袋果实采后相关生理指标的影响, 旨在为延长‘黄金梨’果实贮藏期提供理论依据及技术途径。结果表明, 在‘黄金梨’幼果期喷钙可以有效保持贮藏期间果实硬度, 降低乙烯释放量; 减少丙二醛(MDA)含量的积累, 提高过氧化氢酶(CAT)和超氧化物歧化酶(SOD)活性; 两种钙处理均可以增加贮藏期‘黄金梨’果实中原果胶含量, 降低可溶性果胶含量, 对多聚半乳糖醛酸酶(PG)和纤维素酶活性有明显的抑制作用, 改善了果实的贮藏性能。两种喷钙处理中, 氨基酸钙的综合效果优于硝酸钙。因此, 在幼果期喷钙(尤其是氨基酸钙)是有效延缓采后‘黄金梨’果实衰老、提升贮藏性能的重要措施, 具有较高的应用价值。

关键词: 钙; ‘黄金梨’; 贮藏性能; 抗氧化酶; 细胞壁水解酶

钙是植物生长发育必需的营养元素, 在维持细胞膜选择透性(Amor等2010)、离子运输(Zhu 2002)、信号转导(McAinsh等1996)和调控酶活性(徐臣善2014)等方面发挥着重要作用。然而, 植物体内钙的长距离运输主要通过蒸腾拉力由木质部运往各部位, 果实的蒸腾作用较小, 对钙的竞争弱于叶片, 加之钙的移动性差, 难以发生再分配, 因此果树容易发生缺钙现象(White和Broadley 2003), 套袋果实缺钙尤为明显(王少敏等2007)。果实缺钙容易引发多种生理病害, 通过外源补钙可调节其基因的表达, 同时维持细胞功能和促进生长发育(Henriksson和Nordin 2005), 提高果实的贮运品质(王瑞等2015), 还能提高植株抗逆性(孙克香等2015)。有研究表明, 采前钙处理可以减缓桃果实的衰老, 延长货架期(Gayed等2017)。喷CaCl₂可以减少石榴的裂果和灼伤, 提高果实产量和品质(Bakeer等2016); 喷施适当的硝酸钙可以延长‘鸭梨’果实的贮藏期(Zhou和Feng 1991); 采后热和钙处理能不同程度地增加‘黄冠’梨果实钙含量, 抑制细胞壁组成成分——果胶和纤维素的降解及相关酶活性, 维持果实硬度(王玲利等2014)。「黄金梨」(*Pyrus pyrifolia* cv. ‘Whangkeumbae’)属于砂梨系统, 由韩国园艺试验场以‘新高’和‘二十世纪’为亲本杂交, 经多年选育而成, 该梨果肉细嫩而多汁, 味清甜, 石细胞较少, 品质极佳, 具有很高的营养价值, 深受消费者喜爱。然而在近年来的栽培中缺钙现象时有发生, 王玉玲等(2016)认为采前CaCl₂处理对‘黄金梨’果顶硬化症具有良好的防治效果, 可降低

果实贮藏期的呼吸强度和腐烂率。果实对钙的吸收主要在幼果期, 此期为细胞分裂期, 时间短, 果实中钙含量增加迅速(罗志军和田秀英2006), 而成熟果实的角质层对果面钙进入果肉组织具有阻碍作用(Tzoutzoukou和Bouranis 1997), 因此幼果期是果树补钙的关键时期。本试验在前人研究基础上, 结合生产实际, 通过对套袋‘黄金梨’进行喷氨基酸钙和硝酸钙处理, 研究幼果期喷钙对‘黄金梨’贮藏期间生理及相关酶活性的影响, 为合理调控‘黄金梨’钙素营养, 延长果实贮藏期提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及处理

试验于2016年4月在山东省新泰市汶南镇北鲍村梨园进行, 供试品种为十二年生‘黄金梨’ (*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. ‘Whangkeumbae’)。果园内土壤pH值为6.67, 有机质含量14.62 g·kg⁻¹、碱解氮75.4 mg·kg⁻¹、速效磷35.46 mg·kg⁻¹、速效钾251.36 mg·kg⁻¹, 果树栽植密度为3 m×3 m。

供试钙肥为氨基酸钙(国光氨基酸钙)和硝酸钙(99%)叶面肥。试验共设3个处理: (1)喷施0.5%氨基酸钙溶液; (2)喷施0.5%硝酸钙; (3)喷清水作为

收稿 2018-02-09 修定 2018-05-21

资助 梨优质高效生产关键技术集成示范与推广项目(2014BAD-16B03-4)和山东省现代农业产业技术体系果品创新团队项目(SDAIT-06-01)。

* 共同通讯作者: 高东升(dsgao@sdau.edu.cn)、李玲(lilingsdau@163.com)。

对照。随机区组试验设计, 3次重复, 3株为一小区。于花后2周左右开始进行第一次喷施处理, 每株树喷施量为2 000 mL, 以后每隔10 d喷施一次, 连续喷3次。喷施时间选在傍晚5:00以后。喷布时着重喷施叶片和果实, 以叶片和果面滴水为限。3次喷钙处理完成后果实正常套袋。

于9月11日果实成熟后, 各处理挑选成熟度、生长状况一致的健康果实50个, 预冷后于 $(2\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 冷库中贮藏, 每隔25 d取样一次, 测定相关指标。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 果实硬度

随机选取5个果实, 削去约1 cm \times 1 cm大小的果皮后, 用GY-3型硬度计测定果实硬度。单果重复3次。

1.2.2 乙烯释放量

参照Farmer等(1986)的方法, 将梨果实置于容器内密封, 每容器内放置1个完整的梨果实, 室温下放置2 h后抽取气体测定乙烯含量。3次重复。乙烯释放量采用日本岛津GC-9A型气相色谱仪测定。色谱条件为: 固定相GDX-502, 载气 N_2 流速40 mL \cdot min $^{-1}$, 氢火焰离子化检测器, 分离柱温度70 $^{\circ}\text{C}$, 气化室和检测器温度120 $^{\circ}\text{C}$, 气体样品进样1 mL。

1.2.3 丙二醛(malondialdehyde, MDA)、果胶含量及相关酶活性

果实中MDA和果胶含量以及多聚半乳糖醛酸酶(polygalacturonase, PG)、纤维素酶(cellulase)、过氧化氢酶(catalase, CAT)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性的测定参照曹建康等(2007)书中的方法。每次测定取5个果, 混合取样, 用于各指标的测定。MDA含量采用巴比妥酸法测定; 果胶含量采用咔唑比色法测定, 以每克果肉中半乳糖醛酸的毫克数作为果胶含量的计算单位; PG活性以1 h内产生1 μg 半乳糖醛酸表示1个酶活性单位(U); 纤维素酶活性以1 h内产生1 μg 还原糖来表示1个酶活性单位(U); CAT活性以1 min内吸光度变化值减少0.01为1个酶活性单位(U); SOD活性采用氮蓝四唑(NBT)法测定, 以1 min内反应体系对NBT光化还原的抑制为50%, 作为1个酶活性单位(U)。上述指标测定均为3次重复。

1.3 数据处理

采用Excel 2007和SPSS 20.0进行数据处理与统计分析, Graphpad Prism 6作图。

2 实验结果

2.1 喷施不同钙肥对‘黄金梨’贮藏期间硬度和乙烯释放量的影响

由图1-A可以看出, 幼果期喷钙可显著($P<0.05$)提高果实采收时的硬度。在‘黄金梨’贮藏期间, 各处理的果实硬度均呈现下降趋势。与对照比较, 钙处理均显著($P<0.05$)抑制果实硬度的下降, 到贮藏125 d时, 氨基酸钙和硝酸钙处理的果实硬度较对照分别提高18.4%和14.9%, 尤以氨基酸钙保持果实硬度的效果更佳。

由图1-B可见, ‘黄金梨’果实的乙烯释放量呈先升后降的趋势, 初期乙烯释放量较低, 对照果实的乙烯释放量在第75天达到高峰, 为0.433 $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$ (FW) $\cdot\text{h}^{-1}$; 氨基酸钙和硝酸钙处理的果实则在第100天达到乙烯释放量高峰, 分别为0.385和0.387 $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$ (FW) $\cdot\text{h}^{-1}$, 显著($P<0.05$)低于对照。两种钙处理之间除第50天和125天差异显著($P<0.05$)外, 其他贮藏时期的差异不显著($P>0.05$)。其中氨基酸钙处理的果实在整个贮藏期内的乙烯释放量都低于硝酸钙处理组, 而且显著($P<0.05$)低于对照。

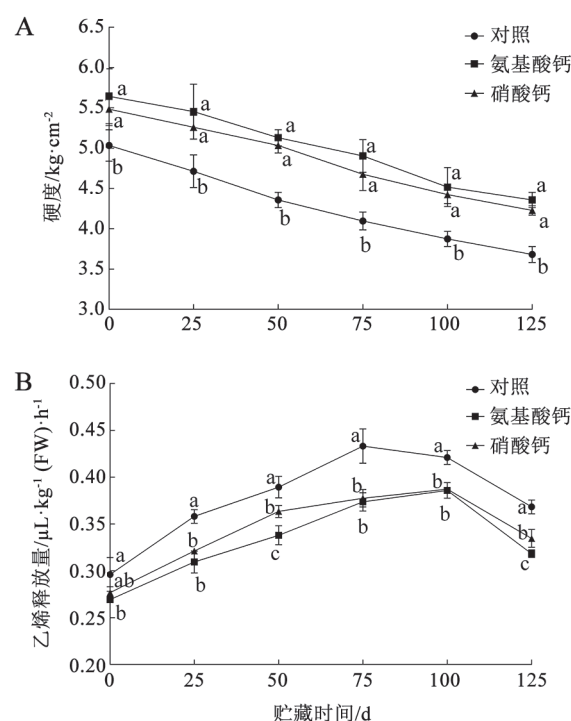


图1 不同喷钙处理果实贮藏过程中硬度和乙烯释放量的变化
Fig.1 Changes in fruit firmness and ethylene evolution during storage under different calcium treatments

不同小写字母表示同一时期处理间差异达到5%显著水平。

另外, 钙处理推迟了乙烯释放量高峰的时间, 可能是由于钙处理的果实胞外较高的钙含量抑制乙烯形成酶的活性, 乙烯转化过程受阻, 从而延缓果实衰老的进程。

2.2 喷钙处理对‘黄金梨’贮藏期间MDA含量的影响

由图2可知, 果实中MDA含量随着贮藏时间的延长而呈增加的趋势, 说明在整个贮藏期间, 细胞的膜脂过氧化程度不断增加, 到贮藏100 d时维持在较高水平, 贮藏末期对照及氨基酸钙和硝酸钙处理的果实中MDA含量分别比采收时增加157.7%、132.4%和137.2%。整个贮藏期中, 两种喷钙处理的果实中MDA含量均低于对照, 但整体差异不大, 喷氨基酸钙处理的在贮藏前期(0~25 d)和后期(125 d)都显著($P<0.05$)低于对照, 硝酸钙处理的在贮藏125 d时显著($P<0.05$)低于对照。可见, 幼果期喷钙能较好地抑制贮藏后期MDA含量的积累, 减弱果实细胞膜的伤害, 延缓果实衰老。

2.3 喷施不同钙肥对‘黄金梨’抗氧化酶活性的影响

从图3-A可以看出, 不同处理果实中CAT活性在整个贮藏期间的变化动态为先升后降, 贮藏50 d时达到最高, 之后又逐渐降低, 后期基本上稳定, 不再发生较大幅度的变化。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实中CAT活性有一定的促进作用。其中, 幼果期喷氨基酸钙处理的CAT活性始终保持在较高水平, 均显著($P<0.05$)高于对照, 在提高贮藏期果实中CAT活性效果较好。

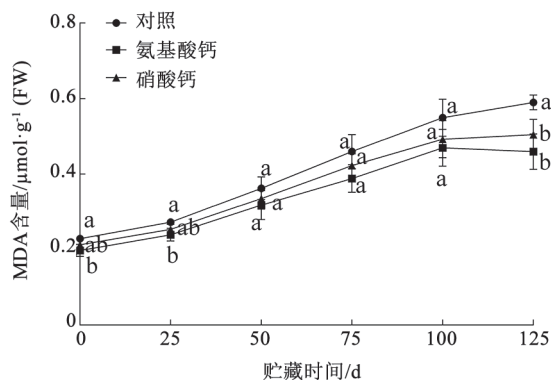


图2 贮藏期间梨果实中MDA含量的动态变化

Fig.2 Dynamic changes in MDA content in pear fruit during storage

不同小写字母表示同一时期处理间差异达到5%显著水平。

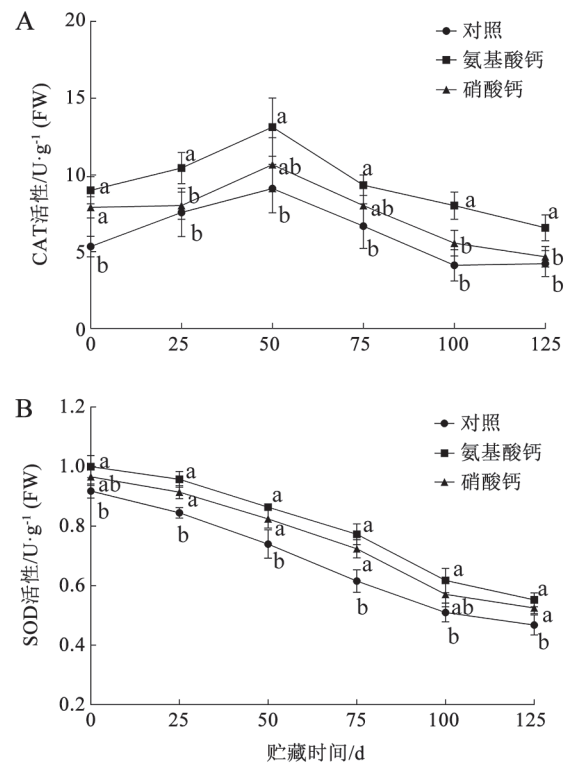


图3 贮藏期间梨果实中CAT和SOD活性的动态变化

Fig.3 Dynamic changes in CAT and SOD activities in pear fruit during storage

不同小写字母表示同一时期处理间差异达到5%显著水平。

‘黄金梨’果实中SOD活性在贮藏过程中呈下降趋势, 尤其在25~100 d下降最为明显, 之后趋于平缓。幼果期喷施不同钙肥均能使贮藏期果实中的SOD维持较高的活性, 减缓果实衰老, 延长贮藏期。其中, 幼果期喷氨基酸钙处理的果实中SOD活性最高, 果实贮藏125 d时, 果实中SOD活性显著($P<0.05$)高于对照, 比对照高18.1%, 硝酸钙处理的果实中SOD活性比对照高12.2% (图3-B)。表明在贮藏过程中, 钙处理有利于保持‘黄金梨’果实较高的SOD活性, 延缓果实衰老, 保持其品质。

2.4 喷钙处理对‘黄金梨’贮藏期间果胶含量的影响

果胶是细胞壁的结构物质之一, 果实中原果胶含量的高低与细胞形态密切相关, 决定了贮藏性能的高低。如图4-A所示, 随着贮藏时间的延长, 果实中原果胶的含量呈下降趋势, 特别是50~100 d, 原果胶含量急剧下降, 说明贮藏期间果实中的原果胶不停地进行着分解和转化, 含量逐渐降低。经不同处理的果实中原果胶含量的变化趋势基本

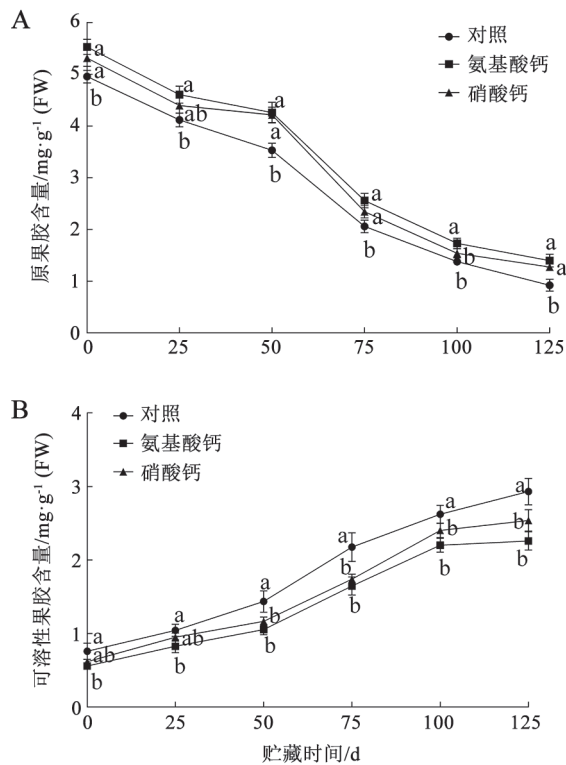


图4 喷施不同钙对梨果实中原果胶和可溶性果胶含量的影响

Fig.4 Effects of spraying different calcium on proto pectin and soluble pectin contents in pear fruit

不同小写字母表示同一时期处理间差异达到5%显著水平。

一致, 幼果期喷氨基酸钙处理的在整个贮藏期间显著($P<0.05$)高于对照, 硝酸钙处理也有较好的效果。

在‘黄金梨’贮藏过程中, 果实中可溶性果胶含量的变化与原果胶相反, 前期含量较低, 随着贮藏时间的延长, 可溶性果胶含量不断增加, 后期较高(图4-B), 说明随着原果胶的分解转化, 可溶性果胶逐渐增加, 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, 其含量增加预示着果实贮藏性能变差。各喷钙处理果实中可溶性果胶的含量均低于对照, 后期与对照相比差异显著($P<0.05$)(图4-B), 说明喷钙有减缓果胶分解转化、增加果实贮藏性能的趋势, 喷氨基酸钙处理的效果较好。

2.5 喷钙处理对‘黄金梨’细胞壁水解酶活性的影响

如图5-A所示, 3个处理的PG活性变化趋势一致, 贮藏前期活性迅速升高, 对照和硝酸钙处理的

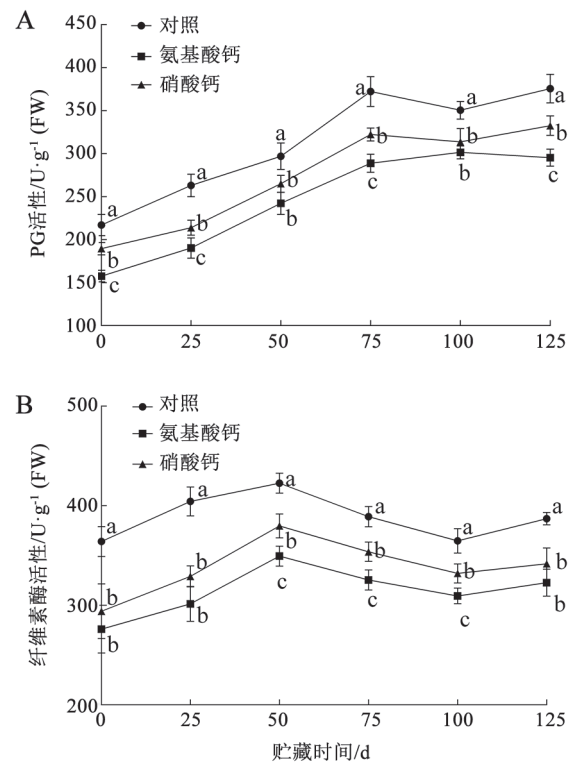


图5 贮藏期间梨果实中PG和纤维素酶活性的动态变化
Fig.5 Dynamic changes in PG and cellulase activities in pear fruit during storage

不同小写字母表示同一时期处理间差异达到5%显著水平。

PG活性到贮藏75 d时达到峰值, 分别为372.2和322.3 $U \cdot g^{-1}$ (FW), 而氨基酸钙处理的果实到100 d时达到峰值, 为301.4 $U \cdot g^{-1}$ (FW), 之后有所降低, 变化趋于缓慢, 基本稳定在较低的水平。这说明果实贮藏前期是PG相对活跃的时期, 果实内部的果胶类物质变化较大, 该时期与果胶含量的变化趋势相一致, 随着PG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。不同喷钙处理的果实中PG活性均低于对照。贮藏125 d时, 各处理之间差异显著($P<0.05$), 幼果期喷氨基酸钙处理的PG活性最低。说明幼果期喷钙可降低贮藏期‘黄金梨’果实的PG活性, 通过抑制果胶类物质的转变, 从而对延长果实贮藏期起到一定的作用。

果实中纤维素酶活性在贮藏的前50 d呈上升趋势, 之后下降, 到100 d之后基本稳定在较低的水平, 变化趋于稳定; 两种喷钙处理的果实中纤维素酶活性均显著($P<0.05$)低于对照, 不同处理中纤维素酶活性大小顺序表现为: 对照>硝酸钙>氨基酸

钙。幼果期喷氨基酸钙处理在贮藏50~100 d时显著低于其他处理,对降低果实中的纤维素酶活性效果最佳(图5-B)。

3 讨论

果实的增钙措施主要包括根施、叶面喷钙、树干注射和采后浸钙4种方式,叶面喷施因其简单易行、效果明显而作为一种不可忽视的施肥措施(杨海波等2012)。本试验在‘黄金梨’套袋情况下,对幼果期的树体喷施了两种不同钙肥,研究其对‘黄金梨’果实贮藏期间生理指标的影响。结果表明钙处理果实的乙烯释放量和MDA含量在贮藏期显著($P<0.05$)低于对照; Barrientos-Priego等(2016)在对‘鳄梨’(*Persea americana*)的试验中也得到相似的结果。可能是由于细胞质内 Ca^{2+} 的增加增强了膜结构的稳定性并保持细胞活力,同时调节胞外的离子环境,减缓了果实衰老的进程。

果实的贮藏性能与衰老过程密切相关,且果实的衰老是受控制的氧化过程(黄仁华等2006),与果实内清除和产生氧自由基的动态平衡有关,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(吴彩娥等2000)。果实钙含量的高低与果实品质密切相关(关军锋和Saure 2005)。钙对细胞的结构及生理生化代谢过程具有重要作用(檀龙颜和马洪娜2017)。Zeraatgar等(2017)研究发现,硝酸钙在维持和延长鲜枣采后品质、提高抗氧化酶活性等方面发挥了重要作用。本试验中喷钙处理的果实中CAT和SOD活性在整个贮藏进程中均高于对照,说明钙可以促进氧自由基保护酶系统发生作用,延缓果实的衰老。

在植物细胞壁中,钙与细胞壁中胶层的果胶质结合形成果胶酸钙,果胶酸钙起粘结植物细胞壁物质的作用,影响细胞壁的韧性,保持果实的硬度。钙可以通过与细胞壁中的多糖和蛋白质相结合,从而抑制细胞壁的降解(边少敏2001)。管雪强等(2014)认为,果肉中的钙含量与原果胶含量和总果胶含量呈极显著正相关,通过喷钙可以提高葡萄果实的贮运品质。欧志锋等(2013)在研究采前喷钙对‘红富士’苹果果实品质及贮藏性能的影响中发现,采前喷钙处理的PG和纤维素酶活性显著

低于对照。本试验结果显示,PG活性在果实贮藏75 d后达到高峰,此阶段果实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保持在较高的水平,说明随着可溶性果胶含量的增多,果实硬度不断下降,贮藏性能也日渐降低。在贮藏期间进行喷钙处理可提高果实硬度,PG和纤维素酶活性均低于对照,而果实中的可溶性果胶含量则表现为喷钙处理低于对照,原果胶高于对照。说明果实较高的钙含量抑制了PG和纤维素酶活性的升高,使果胶的分解转化速度减慢,从而维持果实细胞壁的结构强度。

综合以上分析,果实套袋前的外源喷钙可以有效抑制采后‘黄金梨’果实贮藏期间乙烯的释放和MDA含量的积累,提高CAT和SOD活性,降低PG和纤维素酶活性,同时增加贮藏期果实中较高的原果胶含量,延缓可溶性果胶含量的下降,保持果实硬度,改善了果实的贮藏性能,其中喷施氨基酸钙优于硝酸钙。因此认为,在幼果期对‘黄金梨’喷钙可以达到理想的补钙效果,补钙方式简单,便于在实际生产中应用。

参考文献(References)

- Amor NB, Megdiche W, Jiménez A, et al (2010). The effect of calcium on the antioxidant systems in the halophyte *Cakile maritima* under salt stress. *Acta Physiol Plant*, 32: 453–461
- Bakeer SM (2016). Effect of ammonium nitrate fertilizer and calcium chloride foliar spray on fruit cracking and sunburn of Manfalouty pomegranate trees. *Sci Hortic*, 209: 300–308
- Barrientos-Priego AF, Martínez-Damián MT, Vargas-Madriz H, et al (2016). Effect of preharvest calcium spraying on ripening and chilling injury in ‘Hass’ (*Persea americana* Mill.) avocado. *Rev Chapingo Ser Hortic*, 22 (3): 145–159
- Bian SM (2001). Studies on fruit calcium absorption and supplementing techniques in Fuji apple (dissertation). Baoding, Hebei: Hebei Agricultural University (in Chinese with English abstract) [边少敏(2001). 红富士苹果果实钙吸收规律及补钙技术研究(学位论文). 河北保定: 河北农业大学]
- Cao JK, Jiang WB, Zhao YM (2007). Experiment Guidance of Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables. Beijing: China Light Industry Press (in Chinese) [曹建康, 姜微波, 赵玉梅(2007). 果蔬采后生理生化实验指导. 北京: 中国轻工业出版社]

- Farmer PB, Bailey E, Gorf SM, et al (1986). Monitoring human exposure to ethylene oxide by the determination of haemoglobin adducts using gas chromatography-mass spectrometry. *Carcinogenesis*, 7 (4): 637–640
- Gayed AANA, Elkhishen MA, Elsherbini NRM (2017). Pre-harvest application of calcium chloride and chitosan on fruit quality and storability of ‘Early Swelling’ peach during cold storage. *Ciênc Agrotecnol*, 41 (2): 220–231
- Guan JF, Saure M (2005). Calcium Nutrition and Physiology of Fruit Trees. Beijing: Science Press, 2 (in Chinese) [关军锋, Saure M (2005). 果树钙素营养与生理. 北京: 科学出版社, 2]
- Guan XQ, Yang Y, Wang HZ, et al (2014). Effects of spraying-calcium on contents of calcium and pectin and fruit quality of Red Globe Grape (*Vitis vinifera* L.). *Plant Nutr Fert Sci*, 20 (1): 179–185 (in Chinese with English abstract) [管雪强, 杨阳, 王恒振等(2014). 喷钙对红地球葡萄果实钙、果胶含量和品质的影响. *植物营养与肥料学报*, 20 (1): 179–185]
- Henriksson E, Nordin Henriksson K (2005). Salt-stress signaling and the role of calcium in the regulation of the *Arabidopsis ATHB7* gene. *Plant Cell Environ*, 28 (2): 202–210
- Huang RH, Xia RX, Lu YM, et al (2006). Changes in antioxidant system and active oxygen species in flesh of Cara Cara (*Citrus sinensis*) during development. *Acta Horti Sin*, 33 (6): 1287–1290 (in Chinese with English abstract) [黄仁华, 夏仁学, 陆云梅等(2006). 红肉脐橙发育过程中抗氧化系统与活性氧的变化. *园艺学报*, 33 (6): 1287–1290]
- Luo ZJ, Tian XY (2006). Research progress of fruit trees calcium nutrition. *Nor Horti*, (1): 56–58 (in Chinese) [罗志军, 田秀英(2006). 果树钙素营养研究进展. *北方园艺*, (1): 56–58]
- McAinsh MR, Clayton H, Mansfield TA, et al (1996). Changes in stomatal behavior and guard cell cytosolic free calcium in response to oxidative stress. *Plant Physiol*, 111: 1031–1042
- Ou ZF, Liu L, Jiang YM, et al (2013). Effects of preharvest calcium sprays on quality and storage properties of Red Fuji apple (*Malus pumila* Mill). *Food Ferment Indust*, 39 (12): 192–196 (in Chinese with English abstract) [欧志锋, 刘利, 姜远茂等(2013). 采前喷钙对红富士苹果果实品质及贮藏性能的影响. *食品与发酵工业*, 39 (12): 192–196]
- Sun KX, Yang S, Guo F, et al (2015). Effects of exogenous calcium on photosynthetic characteristics of sweet pepper (*Capsicum frutescens* L.) seedlings. *Plant Physiol J*, 51 (3): 280–286 (in Chinese with English abstract) [孙克香, 杨莎, 郭峰等(2015). 高温强光胁迫下外源钙对甜椒 (*Capsicum frutescens* L.) 幼苗光合生理特性的影响. *植物生理学报*, 51 (3): 280–286]
- Tan LY, Ma HN (2017). Advance in the research of plant in response to calcium ions stress. *Plant Physiol J*, 53 (7): 1150–1158 (in Chinese with English abstract) [檀龙颜, 马洪娜(2017). 植物响应钙离子胁迫的研究进展. *植物生理学报*, 53 (7): 1150–1158]
- Tzoutzoukou CG, Bouranis DL (1997). Effect of preharvest application of calcium on the postharvest physiology of apricot fruit. *J Plant Nutr*, 20 (2–3): 295–309
- Wang LL, Liu C, Huang YH, et al (2014). Effects of postharvest heat and calcium treatments on calcium fractions and cell wall metabolism of ‘Huangguan’ pear fruit. *Acta Horti Sin*, 41 (2): 249–258 (in Chinese with English abstract) [王玲利, 刘超, 黄艳花等(2014). ‘黄冠’梨采后热处理和钙处理对其钙形态及细胞壁物质代谢的影响. *园艺学报*, 41 (2): 249–258]
- Wang R, Hu XL, Xie GF, et al (2015). Study on the effect of organic calcium spray on the preservation of blueberry fruit during the growth period. *Mod Food Sci Technol*, 31 (6): 211–218 (in Chinese with English abstract) [王瑞, 胡旭林, 谢国芳等(2015). 生长期喷施有机钙对蓝莓鲜果的保鲜作用研究. *现代食品科技*, 31 (6): 211–218]
- Wang SM, Wang JY, Wang ZH, et al (2007). Summary and prospect of the control of pear disease and insect pests by bagging. *J Northwest A & F Univ (Nat Sci Ed)*, 35 (9): 141–146 (in Chinese with English abstract) [王少敏, 王江勇, 王之涵等(2007). 套袋梨病虫害研究综述与展望. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 35 (9): 141–146]
- Wang YL, Lu GL, Zhang XF, et al (2016). Effects of pre-harvest calcium treatment on the storage characteristics of hard-end Whangkeumbae pear fruits and the expression of *PpEXPA2*. *Mod Food Sci Technol*, 32 (2): 53–59 (in Chinese with English abstract) [王玉玲, 路贵龙, 张新富等(2016). 采前钙处理对黄金梨果顶硬化果实贮藏特性及 *PpEXPA2* 基因表达的影响. *现代食品科技*, 32 (2): 53–59]
- White PJ, Broadley MR (2003). Calcium in plants. *Ann Bot*, 92 (4): 487–511
- Wu CE, Wang WS, Kou XH (2000). Relationship between ripening and senescence of fruits and antioxidase. *Stor Process*, 1 (1): 5–8 (in Chinese with English abstract) [吴彩娥, 王文生, 寇晓红(2000). 果实成熟衰老与保护酶系统的关系. *保鲜与加工*, 1 (1): 5–8]
- Xu CS (2014). Effects of calcium on biomass and antioxidant systems in seedlings of *Malus xiaojinensis* under salt stress. *Plant Physiol J*, 50 (6): 817–822 (in Chinese with English abstract) [徐臣善(2014). 钙对盐胁迫下小金海棠幼苗生物量及抗氧化系统的影响. *植物生理学报*, 50 (6): 817–822]
- Yang HB, Zhou PC, Meng LF (2012). Progress in research of foliar application of Ca in fruit trees. *Mod Horti*, (5): 11–12 (in Chinese with English abstract) [杨海波, 周鹏程, 孟利峰(2012). 果树叶面喷钙的研究进展. *现代园*

- 艺, (5): 11–12]
- Zeraatgar H, Davarynejad GH, Moradinezhad F, et al (2017). Effect of salicylic acid and calcium nitrate spraying on qualitative properties and storability of fresh jujube fruit (*Ziziphus jujube* Mill.). *Not Bot Horti Agrobo*, 46 (1): 138–147
- Zhou HW, Feng X (1991). Polyphenol oxidase from Yali pear (*Pyrus bretschneideri*). *J Sci Food Agric*, 57 (3): 307–313
- Zhu JK (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu Rev Plant Biol*, 53: 247–273

Effects of spraying calcium on the postharvest storability of ‘Whangkeumbae’ pear during young fruit period

ZHOU Jun, XIAO Wei, CHEN Xiu-De, ZHANG Ze-Jie, WEN Bin-Bin, SONG Wen-Liang, GAO Dong-Sheng*, LI Ling*

College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, State Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Collaborative Innovation Center for Fruit and Vegetable Production with High Quality and Efficiency, Taian, Shandong 271018, China

Abstract: The effects of spraying calcium amino acid and calcium nitrate on some postharvest physiological indexes of bagging ‘Whangkeumbae’ pear (*Pyrus pyrifolia*) during young fruit period were investigated to provide the theoretical basis and technological approach for prolonging the fruit storage time. The results showed that pear fruit firmness could be maintained, the ethylene production and malondialdehyde (MDA) accumulation were obviously reduced after spraying calcium on ‘Whangkeumbae’ pear trees during young fruit period, while catalase (CAT) and superoxide dismutase (SOD) activities were increased. Both of the calcium treatments increased proto pectin content and decreased soluble pectin content in ‘Whangkeumbae’ pear during storage. Meanwhile, the activities of polygalacturonase (PG) and cellulose under different treatments of calcium were decreased significantly. In both calcium treatments, the storability of ‘Whangkeumbae’ pear fruit was significantly improved, and the amino acid calcium treatment had better integrative effects than those of calcium nitrate. Therefore, spraying calcium (especially amino acid calcium) on ‘Whangkeumbae’ pear trees during young fruit period is an important approach to delay the senescence and improve the storability of the harvested fruits, which can be applied and promoted in production.

Key words: calcium; ‘Whangkeumbae’ pear; storability; antioxidant enzyme; cell wall hydrolase

Received 2018-02-09 Accepted 2018-05-21

This work was supported by the Key Technology Integration, Demonstration and Promotion of High Quality and Efficiency of Pear Production (2014BAD16B03-4) and Shandong Province Modern Agricultural Technology System Fruit Innovation Team (SDAIT-06-01).

*Co-corresponding authors: Gao DS (dsgao@sdau.edu.cn), Li L (lilingsdau@163.com).