

喷钙对‘黄金梨’钙动态及亚细胞分布的影响

张泽杰[#], 李冬梅[#], 周君, 文滨滨, 宋文亮, 肖伟, 高东升, 陈修德^{*}, 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* ‘Whangkeumbae’) 为试材, 研究幼果期喷0.5%氨基酸钙和0.5%硝酸钙对树体钙含量变化、果实钙组分及亚细胞分布的影响。结果表明, 叶片和新梢在果实发育前期对钙的吸收速率较快, 喷施氨基酸钙明显提高了果实发育期的叶片钙含量, 而对新梢和多年生枝影响不显著。果皮和果肉的钙含量在幼果期最高, 随着果实生长, 总钙含量逐渐下降。与对照相比, 喷施氨基酸钙及硝酸钙均可以显著增加果实钙素养分。而且喷钙可以提高梨果肉中各钙组分的含量。通过透射电镜观察, 钙处理影响了梨果肉中钙亚细胞分布, 显著提高了细胞间质与细胞壁中钙的分布, 且细胞中钙均匀分布于液泡膜和细胞膜上。因此, 在幼果期喷钙是有效提高‘黄金梨’钙含量的重要措施。

关键词: 钙; ‘黄金梨’; 钙动态; 亚细胞

在果树的生长过程中, 钙作为重要的调控者不仅具有结构成分的作用, 还可作为偶连胞外信号及细胞活动的第二信使。果肉的钙素营养状况与其品质关系密切, 但由于钙的移动性差, 果树容易钙素缺乏(White和Broadley 2003), 产生多种生理性病害。外源喷钙可调控部分基因表达, 维持细胞的功能及促进发育(Henriksson和Henriksson 2005)。有研究表明, 采前喷钙有抑制桃果实衰老的作用, 延长其货架期(Gayed等2017)。王玉玲等(2016)认为成熟前喷CaCl₂对‘黄金梨’果实顶部硬化具有良好的防治作用, 降低果品贮藏时的呼吸速率及腐烂率。喷施CaCl₂可增加‘Anjou’梨中钙含量和明显控制其栓斑病等(Raese和Drake 2006)。

‘黄金梨’ (*Pyrus pyrifolia* ‘Whangkeumbae’) 隶属砂梨系统, 其果肉细嫩且多汁, 酸甜适口, 品质极佳, 食用价值极高, 备受消费者喜爱。但是在近年来, 生产栽培中缺钙现象普遍发生。本试验通过对‘黄金梨’进行氨基酸钙和硝酸钙喷施处理, 探究在幼果期喷钙对‘黄金梨’树体钙含量变化及成熟期果实钙的亚细胞分布的影响, 为合理调控‘黄金梨’钙素营养, 提高果实钙含量提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及处理

试验于2016年在新泰市北鲍村梨园进行, 试验品种为十二年生‘黄金梨’ (*Pyrus pyrifolia* Nakai

‘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, 果树种植密度为3 m×3 m。

试验所用钙肥为硝酸钙(99%)和氨基酸钙(国光氨基酸钙)。试验设3组处理: (1) 0.5%氨基酸钙; (2) 0.5%硝酸钙; (3) 清水作为对照。3次重复, 3株为一小区。花后2周进行第1次处理, 单株喷施2 000 mL, 每隔10 d喷1次, 共计3次。处理时间为傍晚17:00之后。着重喷施叶片及果实, 果面滴水为止。处理后果实进行套袋。

喷钙结束后从5月11日起每隔1个月对梨叶片、果实、新梢及多年生枝进行取样, 取回的样用去离子水洗净后105℃杀青, 75℃烘干, 磨样机打碎过筛后测定总钙含量。每隔1个月选取大小和形状一致的果实, 将果肉解析成适当大小放入液氮, 冷冻后放入-80℃冰箱储存, 用于梨果肉钙组分含量的测定。

于9月11日(果实成熟期), 分别选取对照和喷钙处理的果实, 从果实的相同部位(去皮后的外部

收稿 2019-02-28 修定 2019-06-25

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)。

[#] 并列第一作者。

^{*} 共同通讯作者: 陈修德(chenxiude@163.com)、李玲(lilingsdau@163.com)。

果肉)切取适当大小的果肉薄片,置于固定液,用透射电子显微镜研究梨果肉内钙亚细胞分布情况。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 钙含量

湿灰化法测定总钙含量。称取均匀烘干的0.5 g试样置于三角瓶中,加20 mL左右 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ (4:1)酸消化液过夜。盖表面皿后于电热板上至140~180°C,使 NO_2 挥发,适当提温度至冒大量白烟,此时消化液呈无色透明,再加几毫升水,加热赶去多余酸,定容至50 mL容量瓶,过滤后用原子光度计检测。

钙组分参照龚云池等(1992)的方法,采用逐级提取法,略有改动。精确称取梨果肉5 g左右,研磨后用浸提液移至离心管,30°C水浴浸提12 h,离心后用移液枪将上清液移至100 mL容量瓶,加去离子水洗涤,重复3次,用去离子水定容得到水溶性钙,其他钙组分按照上述方法依次加入不同浸提液提取。最后剩余的残渣经烘箱烘干后,混合酸消化定容,用原子光度计检测。

1.2.2 钙的亚细胞分布观察

果肉的亚细胞钙离子定位参照廖晓勇等(2007)和王凤茹(2000)的方法加以改进。于‘黄金梨’果实成熟期分别选取钙处理和对照组的果肉样品,切成10 mm×2 mm×1 mm左右大小的薄片,先经含2%戊二醛、2.5%甲醛、2%焦锑酸钾和0.1%单宁酸的混合固定液完全黑暗下固定12 h,用含焦锑酸钾的磷酸缓冲液(PBS)清洗,45%~100%的乙醇脱水,环氧丙烷处理,包埋后制成超薄切片,用GEOL JEM-1200EX型透射电镜观察果肉内钙亚细胞分布情况。

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 喷钙处理对梨叶片总钙含量的影响

由图1可知,果实生育期内‘黄金梨’叶片总钙含量呈双峰型变化,各处理的总钙含量在5月11日到6月11日明显增加,提高了38.5%~44.5%;且均在8月11日到达最高值,之后到成熟期钙含量呈下降

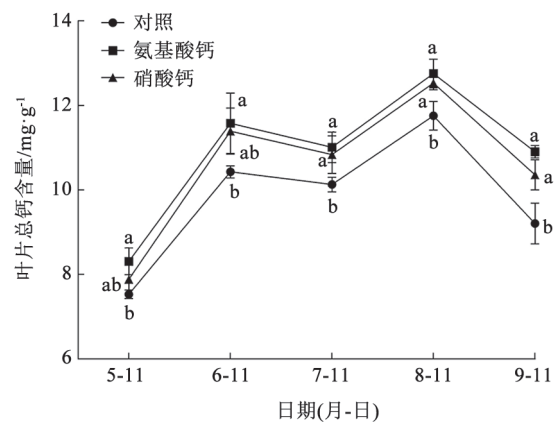


图1 喷施不同钙对梨叶片总钙含量的影响

Fig.1 Effects of spraying different calcium on total calcium contents of pear leaf

不同小写字母表示同一时期处理间差异达到5%显著水平。下同同此。

趋势。喷施不同类型钙肥处理的‘黄金梨’叶片在整个生育期钙含量都高于对照,到果实成熟期(9月11日)喷施氨基酸钙和硝酸钙的果实与对照相比,总钙含量分别显著提高了18.5%和12.5%。

2.2 喷钙处理对梨枝条总钙含量的影响

图2显示,总钙含量在‘黄金梨’新梢内总体为先增加后降低,从6月11日至7月11日快速增加,各处理的钙含量在1个月内增加了16.4%~24.4%。从7月11日到8月11日,新梢的总钙含量开始急剧下降,幅度达27.1%~28.8%。之后略有下降。喷钙处理略微提高新梢中的总钙含量,但效果不明显。与对照相比,喷施氨基酸钙和硝酸钙的新梢总钙含量在5月11日增加了3.3%和0.4%,在成熟期增加了4.0%和1.3%。

多年生枝钙的总钙含量变化与新梢相比有所不同,呈“W”的变化趋势,但波动幅度不大,整体的含量高于新梢。到果实成熟期,喷施钙肥处理的多年生枝与对照相比,钙含量差异不显著。

2.3 喷钙处理对梨果实中总钙含量的影响

由图3可知,总钙含量在‘黄金梨’整个果实发育期下降,尤其在6月11日至8月11日下降极为明显,对照、氨基酸钙和硝酸钙处理的梨果肉总钙含量分别下降了56.1%、49.3%和50.9%。8月11日以后果肉中钙含量的降低趋势减缓。幼果期喷钙

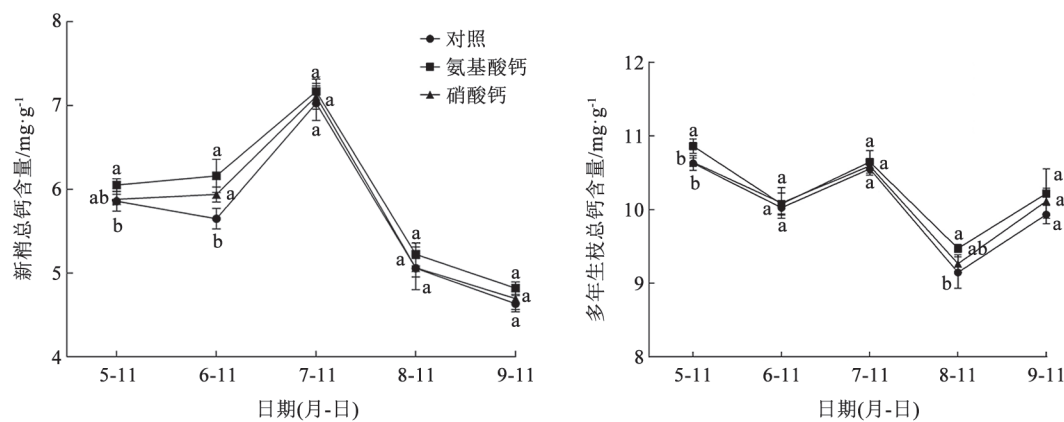


图2 喷施不同钙对梨枝条总钙含量的影响
Fig.2 Effects of spraying different calcium on total calcium contents of pear branches

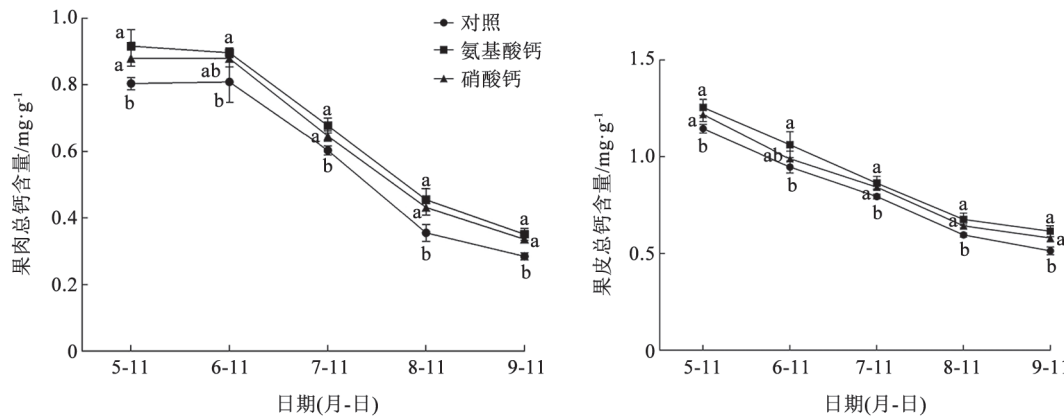


图3 喷施不同钙肥对梨果皮及果肉总钙含量的影响
Fig.3 Effects of spraying different calcium on total calcium contents in pear peel and flesh

显著增加果肉的总钙含量。到果实成熟期, 喷氨基酸钙和硝酸钙的果肉总钙含量与对照相比, 分别提高了23.4%和18.0%。

果皮总钙含量变化与果肉基本一致, 但下降趋势相对缓慢, 从5月11日至8月11日喷氨基酸钙、硝酸钙及对照的果皮钙含量分别下降了46.1%、47.3%和48.0%。幼果期喷钙同样增加了整个生育期内果皮中的总钙含量。在果实成熟期, 氨基酸钙和硝酸钙处理的‘黄金梨’果皮总钙含量与对照相比分别增加了19.7%和12.9%。

2.4 喷钙处理对梨果肉钙组分含量的影响

由图4可以看出, ‘黄金梨’果肉中不同钙组分在果实发育进程中变化趋势不同。在果实发育期

中水溶性钙和果胶酸钙含量下降。水溶性钙下降速度最快为6月11日~7月11日, 对照、氨基酸和硝酸钙处理的梨果肉中水溶性钙含量急剧下降, 分别降低了60.6%、53.1%和56.7%。果胶酸钙含量的下降集中在5月11日~7月11日, 这一阶段为‘黄金梨’的迅速膨大期。草酸钙在果实中的变化与水溶性钙相似, 硝酸钙处理及对照呈先升高后急剧降低再缓慢下降的趋势, 其含量在采收时较低。磷酸钙含量整体也呈下降趋势, 在5月11日~7月11日下降最为明显, 之后趋于缓慢。到果实成熟时, 喷施氨基酸钙、硝酸钙处理的果肉磷酸钙含量于对照相比提高了27.2%~65.7%。硅酸钙在果实成熟过程中呈先降低后升高的趋势。

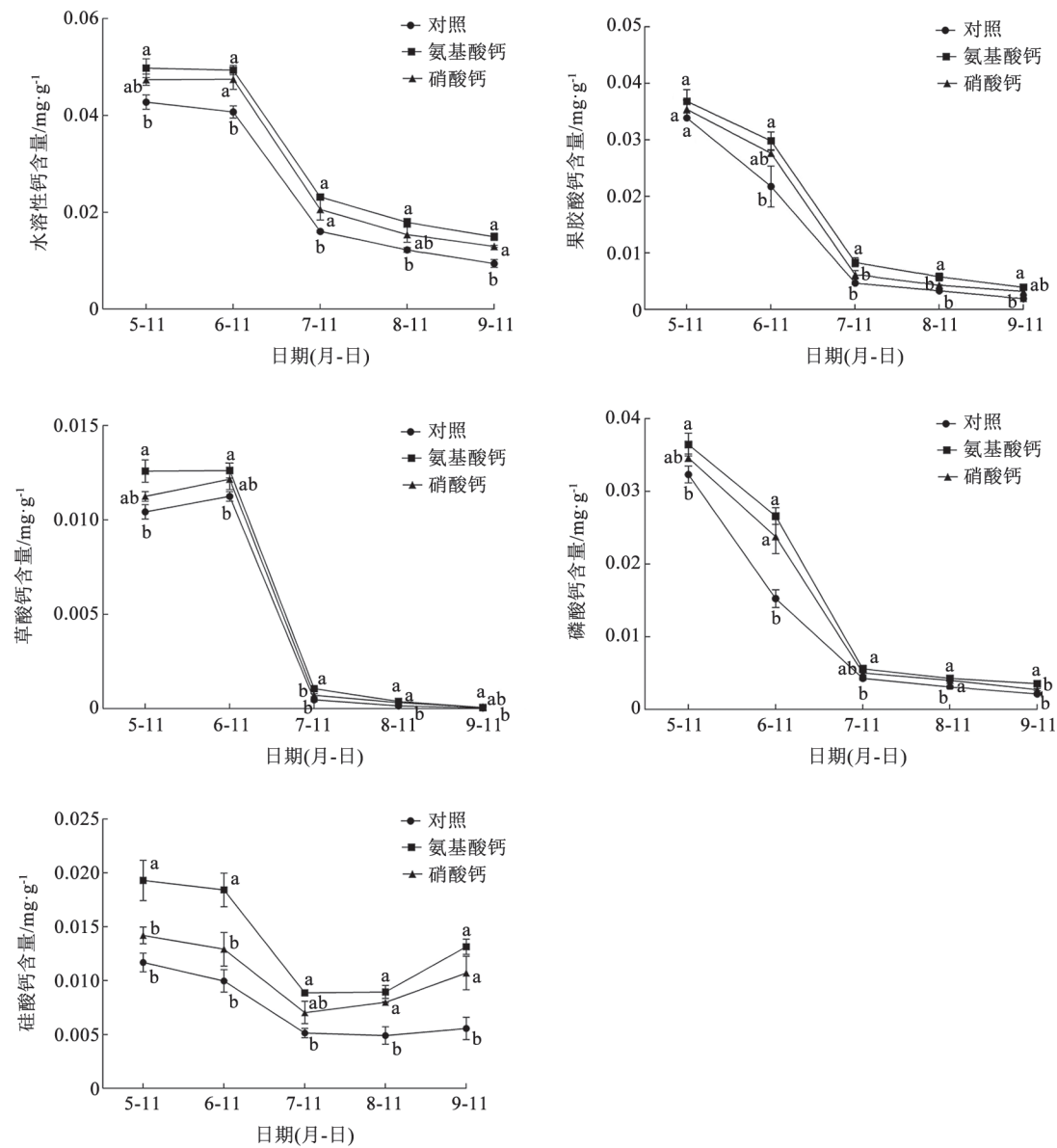


图4 喷钙处理对梨果肉水溶性钙、果胶酸钙、磷酸钙、草酸钙和硅酸钙含量的影响

Fig.4 Effects of spraying different calcium on H₂O-Ca, NaCl-Ca, HOAc-Ca, HCl-Ca and Res-Ca contents in pear flesh

由表1可知,在‘黄金梨’果肉的钙组分中,比值最高的是水溶性钙,果胶酸钙、磷酸钙和硅酸钙其次,草酸钙较低。随果实发育,各钙组分占全钙含量的比例不断改变。对照的果肉钙组分中,水溶性钙含量占总钙(5种钙组分含量之和)含量的比重呈先增后降的趋势,但下降幅度不大。从5月11日~7月11日,水溶性钙所占比由32.6%升高到了52.5%,之后降低,到果实成熟时为49.5%。果胶酸

钙所占比例在整个果实发育期一直下降,5月11日占总钙含量的25.8%,成熟时占9.9%。磷酸钙和草酸钙占总钙含量的比例变化与果胶酸钙相似,草酸钙下降趋势更为明显,磷酸钙从幼果期的24.7%下降到成熟期的11.2%,草酸钙从8.0%下降到0.2%;硅酸钙占总钙含量的比例在整个梨果实生育期则呈现上升趋势,由幼果期的8.9%上升到成熟期的29.2%。

表1 样品中各钙组分占总钙含量的比值

Table 1 Ratio of each calcium component to total calcium content in the sample

日期	水溶性钙占总钙含量的 比值/%			果胶酸钙占总钙含量的 比值/%			磷酸钙占总钙含量的 比值/%			草酸钙占总钙含量的 比值/%			硅酸钙占总钙含量的 比值/%		
	对照	氨基酸钙	硝酸钙	对照	氨基酸钙	硝酸钙	对照	氨基酸钙	硝酸钙	对照	氨基酸钙	硝酸钙	对照	氨基酸钙	硝酸钙
5-11	32.6	32.1	33.2	25.8	23.8	24.8	24.7	23.5	24.2	8.0	8.1	7.9	8.9	12.5	9.9
6-11	41.2	36.1	38.3	21.9	21.8	22.3	15.4	19.4	19.2	11.4	9.2	9.8	10.1	13.5	10.4
7-11	52.5	49.3	52.2	15.2	17.7	15.5	14.0	11.8	12.7	1.5	2.3	1.8	16.8	18.9	17.8
8-11	51.8	48.1	48.1	13.9	15.4	13.4	13.0	11.5	12.5	0.6	1.0	1.0	20.7	24.0	25.0
9-11	49.5	42.0	43.8	9.9	11.0	10.7	11.2	9.9	9.2	0.2	0.2	0.2	29.2	36.9	36.1

不同喷钙处理的变化趋势与对照基本一致,氨基酸钙处理的果实水溶性钙所占比例在各时期均低于对照及硝酸钙处理,而硅酸钙所占比例高于对照及硝酸钙处理。不同处理的果胶酸钙与磷酸钙在同一时期所占比例无较大变化。9月11日的草酸钙所占比例相同,均为0.2%。

2.5 喷钙处理对梨细胞内钙亚细胞分布的影响

通过观察梨果肉细胞钙的亚细胞分布可以发现,对照和喷钙的果肉细胞内钙分布不同。图5-A~D为喷施氨基酸钙和硝酸钙处理的梨果肉细胞,在间质(is)、细胞壁(cw)和液泡膜(t)上都有大量钙的分布,且均匀分散,液泡(v)中有少量黑色锍酸钙颗粒,推测是代谢产生的草酸钙、磷酸钙,而细胞质中钙的分布没有明显的规律。图5-E和F为对照果肉,对照梨果肉的细胞间质(is)、细胞壁(cw)、液泡膜(t)上也可以观察到钙,但含量与喷钙的果肉相比明显减少,液泡(v)中也只有少量钙分布,细胞质中钙分布相对较少。说明喷钙主要提高了间质(is)、细胞壁(cw)、液泡膜(t)及细胞膜(cm)上钙的分布,且分布比较均匀。

3 讨论

叶面喷施钙肥简单易行、效果明显,是一种不可忽视的补钙措施(杨海波等2012)。植物体内的钙素营养主要通过木质部通道进行运输(蔡英卿2000; 张新生等1999),根系吸收的钙离子随蒸腾液流到达旺盛的枝梢、叶、花、果和分生组织后变得非常稳定,几乎不再发生运输和分配。本试验结果可知,‘黄金梨’对根外钙吸收旺盛的器官主要为叶片和果实,枝条对钙的吸收较少。新梢和多

年生枝在整个生育期钙含量都很高,叶面喷钙对新梢和多年生枝总钙含量的影响不显著。各器官总钙含量之间并没有明显的关联。随着果实的发育,果皮及果肉总钙含量一直在下降。本研究表明,在‘黄金梨’幼果期进行喷钙处理,可以增加果皮和果肉的钙含量,说明对‘黄金梨’叶果喷施钙肥是一种补充钙素的有效措施。

果实品质形成除了与果实中钙多少有关,另外与钙形态的转化及分布相关。前人研究表明,可溶性Ca²⁺具有保持细胞膜的结构完整的作用(Tie-man和Handa 1994),可溶性Ca²⁺不足是诱发苹果苦痘病产生的原因之一(Pavicic等2004), Steemkamp等(1983)研究证明,苹果苦痘病与柠檬酸、草酸过多相关,而钙与其形成的草酸钙可消除多余酸。钙作为细胞壁结构中的粘合剂,主要以果胶酸钙的形式存在,维持果实硬度。本试验中,在‘黄金梨’果实发育中,果肉中不同钙组分发生了改变,这可能与不同形态钙在细胞中发挥的作用不同有关。对照中水溶性钙含量不断下降,其所占比例呈先增后降的趋势;果胶酸钙、磷酸钙和草酸钙含量降低的同时所占比例也随之下降;硅酸钙含量呈先降后升的趋势,比例有所增加。可能是在果实发育过程中一些水溶性钙与生理代谢产生的磷酸和草酸等结合,产生不溶性钙盐类物质,各形态钙所占比例也发生了改变。Silveira等(2011)研究发现,喷钙主要提高了果肉中自由钙与结合钙的含量,水溶性钙含量得以提高。本试验结果表明,在‘黄金梨’幼果期喷不同的钙肥均可以增加果肉各钙组分的含量。细胞中水溶性钙和果胶酸钙含量的提高可能提供更多的Ca²⁺,可以与草酸结合

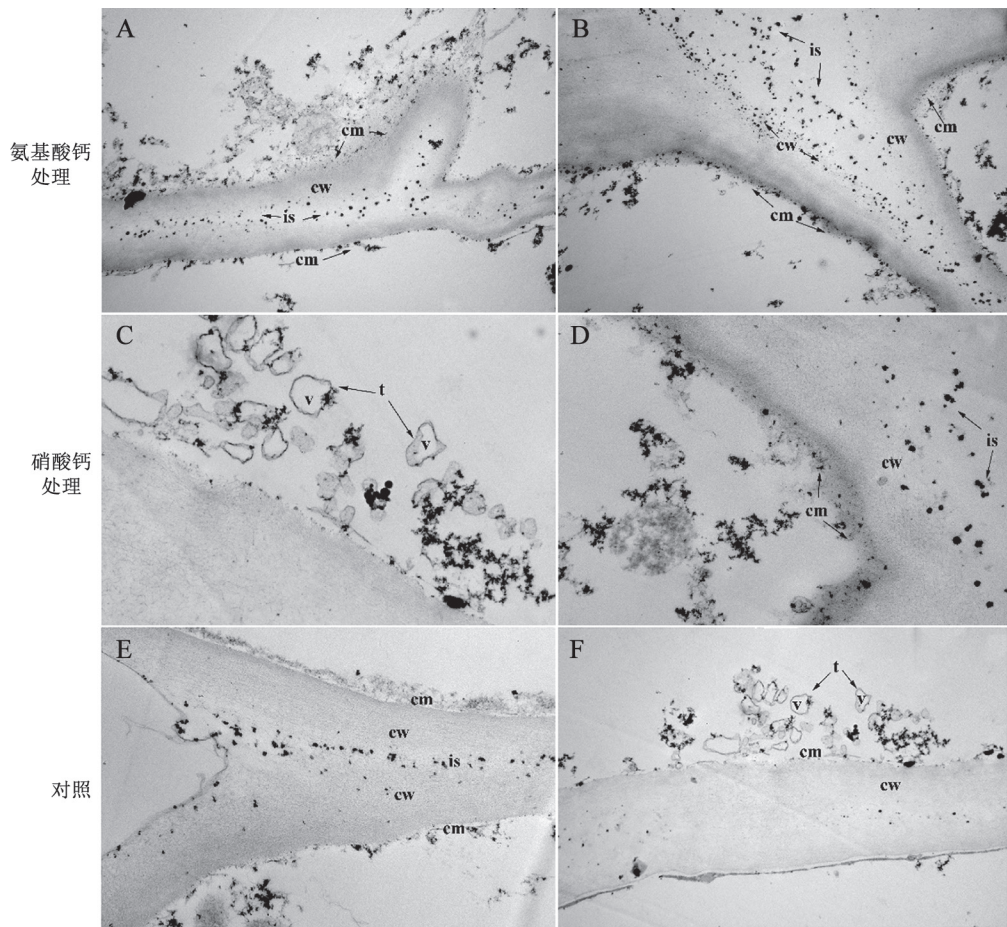


图5 钙处理对‘黄金梨’果肉钙亚细胞分布的影响

Fig.5 Effect of Ca treatment on subcellular distribution of ‘Whangkeumbae’ pear pulp cells

A和B: 氨基酸钙处理的钙亚细胞分布; C和D: 硝酸钙处理的钙亚细胞分布; E和F: 对照钙的亚细胞分布。A、B和F放大倍数为25 000×, C、D和E为50 000×。cw: 细胞壁; cm: 细胞膜; is: 细胞间质; t: 液泡膜; v: 液泡。

成为草酸钙。Marschner和Günther (1964)研究发现, 钙源充足时果胶酸钙可以转化为草酸钙, 且液泡中稳定的胞质钙浓度需要草酸钙和磷酸钙的参与, 这在维持细胞正常的生理功能、防止缺钙诱发的生理性病害以及提高果实耐储性方面有重要意义。

钙作为一种信号物质, 在维持膜的稳定性方面的作用不仅与钙含量有关, 而且与钙分布密切相关。钙的亚细胞定位作为一种直观观察到细胞中钙的分布的技术, 对研究钙分布对细胞发育的影响具有重要意义。在苹果中有40%的钙分布在液泡内, 其余的钙多数分布于细胞壁上。已有研究发现, 在正常苹果果实中, 钙离子均匀的分布于液泡膜、细胞壁、细胞膜和核膜等; 陈见晖和周

卫(2004)发现缺钙的苹果细胞中, 钙分散存在, 核膜破裂, 导致膜系统功能受损。王雷等(2016)研究发现氨基酸钙和硝酸钙能提高果实细胞壁和质膜上钙的分布。本试验结果表明, 各处理的‘黄金梨’中钙的分布存在差异: 在喷施钙肥的梨果实细胞中, 在细胞间质、细胞壁和细胞膜上有大量钙存在, 且相对分散, 液泡中有少量钙, 可能为生理代谢形成的草酸钙、磷酸钙, 证明喷钙为果实提供了充足的钙。而对照的间质、细胞壁、液泡膜上也可以看到钙的分布, 含量与钙处理的相比减少。

综上, 在幼果期对‘黄金梨’喷钙提高了叶片和果实钙含量, 增加了梨果肉中Ca²⁺的分布, 可作为一种高效的补钙措施。

参考文献(References)

- Cai YJ (2000). Calcium nutrition of fruit trees. J Ningde Norm Univ (Nat Sci), 12 (1): 13–18 (in Chinese with English abstract) [蔡英卿(2000). 果树钙素营养. 宁德师专学报(自然科学版), 12 (1): 13–18]
- Chen JH, Zhou W (2004). Effect of calcium deficiency in apple (*Malus pumila*) fruits on calcium fractions, subcellular distribution and ultrastructure of pulp cells. Sci Agric Sin, 37 (4): 572–576 (in Chinese with English abstract) [陈见晖, 周卫(2004). 苹果缺钙对果实钙组分、亚细胞分布与超微结构的影响. 中国农业科学, 37 (4): 572–576]
- 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
- Gong YC, Xu JE, Lv RJ (1992). Studies on the content of different forms of calcium compound and their change in the fruits of pear. Acta Horti Sin, 19 (2): 129–134 (in Chinese with English abstract) [龚云池, 徐季娥, 吕瑞江(1992). 梨果实中不同形态钙的含量及其变化的研究. 园艺学报, 19 (2): 129–134]
- Henriksson E, Henriksson KN (2005). Salt-stress signaling and the role of calcium in the regulation of the *Arabidopsis ATHB7* gene. Plant Cell Environ, 28 (2): 202–210
- Liao XY, Xie H, Chen TB, et al (2007). Ultrastructure and subcellular distributions of arsenic and calcium in *Pteris vittata* L. Plant Nutr Fert Sci, 13 (2): 305–312 (in Chinese with English abstract) [廖晓勇, 谢华, 陈同斌等(2007). 蜈蚣草的超微结构和砷、钙的亚细胞分布. 植物营养与肥料学报, 13 (2): 305–312]
- Marschner H, Günther I (1964). Ionenaufnahme und zellstruktur bei gerstenwurzeln in abhängigkeit von der Ca^{2+} -versorgung. J Plant Nutr Soil Sci, 107 (2): 118–136
- Pavicic N, Jemric T, Kurtanjek Z, et al (2004). Relationship between water-soluble Ca and other elements and bitter pit occurrence in ‘Idared’ apples: a multivariate approach. Ann Appl Biol, 145 (2): 193–196
- Raese JT, Drake SR (2006). Calcium foliar sprays for control of alfalfa greening, cork spot, and hard end in ‘Anjou’ pears. J Plant Nutr, 29: 543–552
- Silveira AC, Aguayo E, Chisari M, et al (2011). Calcium salts and heat treatment for quality retention of fresh-cut ‘Galia’ melon. Postharvest Biol Tec, 62 (1): 77–84
- Steemkamp J, Terblanche JH, Villiers OTD (1983). The role of organic acids and nutrient elements in relation to bitter pit in Golden Delicious apples. Acta Horti, 138: 35–42
- Tieman DM, Handa AK (1994). Reduction in pectin methylesterase activity modifies tissue integrity and cation levels in ripening tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits. Plant Physiol, 106 (2): 429–436
- Wang FR, Zhang H, Shang ZQ, et al (2000). Ca^{2+} localization in wheat seedling leaves under water stress and during rewatering. Plant Physiol J, 26 (4): 280–282, 369 (in Chinese with English abstract) [王凤茹, 张红, 商振清等(2000). 水分胁迫及复水过程中小麦幼苗叶片内 Ca^{2+} 的定位. 植物生理学报, 26 (4): 280–282, 369]
- Wang L, Li L, Chen XD, et al (2016). Effect of foliar Ca spraying on calcium dynamics, fractions and subcellular distribution of pulp cells of Feicheng peach. Plant Nutr Fert Sci, 22 (4): 1102–1110 (in Chinese with English abstract) [王雷, 李玲, 陈修德等(2016). 喷施钙对肥城桃果活性钙含量及其在亚细胞分布的影响. 植物营养与肥料学报, 22 (4): 1102–1110]
- 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
- 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) [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]
- Zhang XS, Xiong XL, Zhou W, et al (1999). Advances in research on calcium nutrition of apple. Soils Fertilizers, (4): 3–6 (in Chinese) [张新生, 熊学林, 周卫等(1999). 苹果钙素营养研究进展. 土壤肥料, (4): 3–6]

Effects of spraying calcium on calcium dynamics and subcellular distribution in ‘Wangkeumbae’ pear

ZHANG Ze-Jie[#], LI Dong-Mei[#], ZHOU Jun, WEN Bin-Bin, SONG Wen-Liang, XIAO Wei, GAO Dong-Sheng, CHEN Xiu-De^{*}, 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 0.5% calcium amino acid and 0.5% calcium nitrate at young pear fruit stage on the changes of calcium content in trees, calcium components and subcellular distribution in fruits were studied with *Pyrus pyrifolia* ‘Wangkeumbae’ as material. The results showed that the absorption rate of calcium was faster in leaves and shoots in the early fruit development period. Spraying calcium amino acid significantly increased the calcium contents of leaves during fruit development, but had no significant effect on new shoots and perennial shoots. The calcium contents in peels and pulps were the highest in young fruit stage, and the total calcium contents decreased gradually with fruit growth. Compared with the control, spraying calcium amino acid and calcium nitrate could significantly increase the calcium nutrition of fruit. And spraying calcium could increase the contents of calcium components in pear pulp. The results of transmission electron microscopy showed that calcium treatment affected the distribution of calcium subcells in pear pulp, significantly increased the distribution of calcium in cell interstitium substance and cell wall, and the calcium was evenly distributed in vacuole membranes and cell membranes. Therefore, spraying calcium at young fruit stage is an important measure to effectively improve the calcium content of ‘Wangkeumbae’ pear.

Key words: calcium; ‘Wangkeumbae’ pear; calcium dynamics; subcellular

Received 2019-02-28 Accepted 2019-06-25

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-first authors.

^{*}Co-corresponding authors: Chen XD (chenxiude@163.com), Li L (lilingsdau@163.com).