

梨果各部分(皮、肉、核)钙运转动态的研究初报

刘剑锋^{1,2}, 彭抒昂^{2*}, 程云清¹

(1. 华中农业大学, 武汉 430070; 2. 吉林师范大学, 吉林 四平 136000)

摘要: 以梨品种“黄花”为试材, 研究了不同时期于果实的不同部位引入⁴⁵Ca后各个部位放射性比活及钙分配比率变化。结果表明: (1) 在幼果期, 引入果肉的钙可快速向果皮与果核扩散, 且向果皮扩散的速率较果核快; 引入果核的钙也能向果肉中迅速运转。(2) 在膨大期, 引入果肉的钙可以向果皮、果核和种子扩散, 但速率较幼果期慢; 引入果核的钙基本上不向果皮和果肉运转。(3) 在成熟期, 引入果肉中的钙可以迅速向果皮与果核中积累, 引入果核的钙向皮肉的运转微弱。

关键词: 梨; 果实发育; 钙; 运转

中图分类号: Q945.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2007)02-0240-04

Studies on calcium transportation and its movement in pear fruit

LIU Jian-Feng^{1,2}, PENG Shu-Ang^{2*}, CHENG Yun-Qing¹

(1. *Huazhong Agricultural University*, Wuhan 430070, China; 2. *Jilin Normal University*, Siping 136000, China)

Abstract: Changes of specific activity and distribution ration of calcium in different parts of fruit were determined after radioactive ⁴⁵Ca was introduced to fruit through flesh, core and peduncle during different fruit development stages using ‘Huanghua’ (*Pyrus pyrifolia* NaKai) as materials. The results showed: (1) During young fruit stage, calcium that was injected to flesh could then be distributed to both peel and core rapidly, but to former with a higher speed; and calcium that was introduced from core could diffuse to flesh rapidly. (2) During rapid expanding stage, calcium that was injected to flesh could diffuse to peel, core and seeds, and diffusing speed was lower than young fruit stage; and calcium that was introduced from core could hardly diffuse to flesh and peel. (3) During maturation stage, calcium that was injected to core could hardly diffuse to flesh and peel.

Key words: Pear (*Pyrus pyrifolia* NaKai); fruit development; calcium; movement

对采收后果实保鲜具有极为重要作用的钙, 其实都是在幼果期被吸收和贮藏的, 在果实发育后期钙不再或很少进入果实(刘剑锋等, 2003, 2004; Bernadac 等, 1996; Wilkinson 等, 1968; 彭抒昂等, 2001), 果肉中钙浓度在果实发育后期的降低被认为是一个钙的稀释过程。以上研究仅从果肉钙浓度的变化动态来推断整个果实钙的吸收情况, 实际上, 果实的不同部位钙的浓度存在着很大的差异, 果皮与

果核中钙的含量远高于果肉, 因此果实内部的钙应存在着一个再运转的过程, 这个过程是否与果实发育后期果肉钙浓度的迅速下降有关尚未见报道。本研究通过在果实的不同发育时期, 向果肉和果核注射同位素⁴⁵Ca, 通过检测果实不同部位放射性活度的变化情况来考察不同时期钙在果实中的再运转过程, 以期初步弄清在果实不同发育期钙向果实的运转情况及进入果实中的钙再运输规律。

收稿日期: 2005-05-16 修回日期: 2006-02-16

基金项目: 国家自然科学基金(30270924); 吉林省教育厅科研计划项目(吉教所合字[2004]第57号)[Supported by the National Natural Science Foundation of China(30270924); Research Plan Program of Jilin Education Department([2004]57)]

作者简介: 刘剑锋(1976-), 男, 湖北阳新人, 副教授, 从事果树栽培生理研究工作。

* 通讯作者(Author for correspondence)

1 材料与方 法

1.1 材料及采样处理

供试材料: 以梨 (*Pyrus pyrifolia* NaKai) 品种“黄花”为试材, 树体 10 年生, 常规管理。通过连续 3 年的果实生长发育状况的观察, 确定“黄花”梨在 3 月 20 日盛花, 4 月初谢花, 其采收期在 7 月底。在果实的发育初期挂牌标记 20 个果实, 每隔 7~10 d 测定 1 次果实的纵横径, 以确定果实的发育情况。

处理与采样: 选用生长势一致的 9 棵树, 每棵树选取枝势较为一致 3 个大枝, 每次每枝选取大小一致的 9 个果, 分别进行放射性 $^{45}\text{CaCl}_2$ 溶液 (Amersham Biosciences UK Limited, 丰度为 100%) 果肉、果核注射饲喂处理。每次每枝用 3 个, 则每个处理每次一个重复用果量为 27 个。每个处理 3 株作一个重复, 重复 3 次。以上三种饲喂处理分别于 5 月 1 日、10 日, 7 月 20 日各进行一次。

果肉注射饲喂处理: 每枝选 3 个果, 三株树则选用 27 个果, 用作一个重复。用微量注射器向果实赤道处的果肉分 6 个方向饲喂 $2\ \mu\text{Ci}/\text{mL}$ 的 $^{45}\text{CaCl}_2$ 溶液共 $40\ \mu\text{L}$, 挂牌标记。其果实分别于处理后的第 1 天, 第 3 天, 第 7 天进行采收。

果核注射饲喂处理: 每枝选 3 个果, 三株树则选用 27 个果, 用作一个重复。用微量注射器从果顶向果心注射 $2\ \mu\text{Ci}/\text{mL}$ 的 $^{45}\text{CaCl}_2$ 溶液 $40\ \mu\text{L}$, 挂牌标记。其果实分别于处理后的第 1 天, 第 3 天, 第 7 天进行采收。

样品测定前处理、测定结果的校正及果实不同部位分配比率的计算: 采收的果样用重蒸水反复冲洗并用细毛刷刷净后, 进行果核饲喂的样品细切分为果皮、果肉、果核三个部分, 进行果肉饲喂的样品细分为果皮、果肉、果核、种子四个部分 (5 月份的样品因种子过小, 不分果核与种子)。取得的鲜样在 $70\ ^\circ\text{C}$ 下烘干并测量各个部位的干重, 细研磨至粉末状后, 称取 $100\ \text{mg}$, 用 BH1216 型低本底 α 、 β 测量装置 (北京核仪器厂) 进行测定。

取未经处理果实的果皮、果肉、果核、种子烘干的粉末各 $100\ \text{mg}$, 分别混入 $2\ \mu\text{Ci}/\text{mL}$ 的 $^{45}\text{CaCl}_2$ 溶液 $5\ \mu\text{L}$ (放射性活度为 $370\ \text{Bq}$), 拌匀烘干后用 BH1216 型低本底 α 、 β 测量装置 (北京核仪器厂) 测定此标准放射物质的 cpm 数。则待测样品的 Bq 数 = 标准样品的 Bq 数 \times 待测样品的 cpm 数 / 标准样

品的 cpm 数。不同部位的钙分配比率 = 不同部位的干重量 \times 该部位的放射性活度 $\text{Bq} \times 100\% / \sum$ (不同部位的干重量 \times 该部位的放射性活度 Bq)。

2 结果与分析

2.1 果实发育的生长阶段

在 3 月下旬至 5 月中旬, “黄花”梨果实的发育相对缓慢, 纵横径的增长较为均匀。在 6 月 10 日左右, 果实纵横径的增长开始加速, 这意味着果实开始进入膨大期。在 7 月中旬后, 果实纵横径增长变得很缓慢, “黄花”梨果实进入采收期 (图 1)。据此, 将“黄花”梨的果实发育时期划分为幼果期、膨大期和成熟期三个阶段。

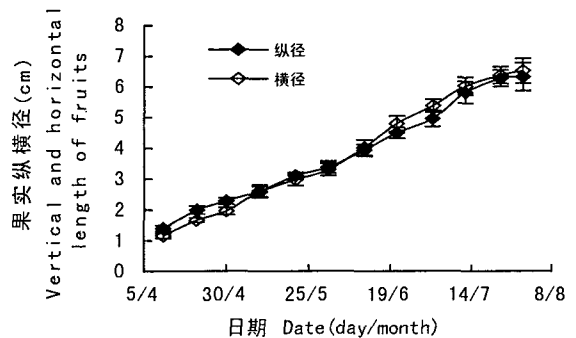


图 1 梨果实生长曲线

Fig. 1 Growth curve of pear fruits

2.2 果肉注射饲喂 ^{45}Ca 后果实各个部位放射性比强和钙分配比率的变化

果肉注射饲喂 ^{45}Ca 后, 不同部位的放射性比强的变化大致相同, 即随着时间的推移, 三个时期的果皮放射性比活逐渐上升, 果肉的放射性比活逐渐下降, 果核中的放射性比活逐渐上升, 种子出现放射性, 其放射性比活亦随时间推移而上升。

在幼果期, 同时期果皮与果肉相比, 在注射饲喂的第 1 天果皮放射性比活极显著低于果肉 ($P < 0.01$), 在饲喂后的第 7 天其放射性比活则为果肉的 1.78 倍, 极显著高于果肉 ($P < 0.01$) (图 2:a); 与果核相比, 果皮的放射性比活极显著高于同期的果核 ($P < 0.01$)。果肉与果核相比, 前者同期的放射性比活极显著的高于后者 ($P < 0.01$), 在注射后的第 7 天, 果肉的放射性比活为果核的 2.99 倍 (图 2:a)。结合图 3:a 的结果, 在果肉饲喂 ^{45}Ca 的第 3 天和第 7 天, 幼果期果皮、果核的钙分配比率迅速上升, 而

果肉则快速下降,且果皮的钙分配比率极显著高于果核($P < 0.01$)。

在果实膨大期,果皮与果核、果肉的放射性比活同期相比,果皮的放射性比活极显著高于同期的果核($P < 0.01$),但极显著低于果肉(图2:b),早期果皮的放射性比活在第7天极显著高于中期果皮($P < 0.01$),因此,发育中期果肉钙向果皮积累的速度与早期相比相对较低。果肉与果核相比,前者的放射性比活极显著高于后者($P < 0.01$),在注射后的

第7天,果肉的放射性比活为果核的8.24倍,远高于果实发育早期的2.99倍。结合图3:b的结果,在果肉饲喂 ^{45}Ca 的第3天和第7天,果实膨大期果皮、果核、种子的钙分配比率上升,但远低于幼果期。

在果实成熟期,同时期果皮与果核放射性比活相比较,果皮的放射性比活极显著高于同期的果核($P < 0.01$),与果肉相比,在注射第1天时与果肉放射性比活相近,在第7天时极显著高于果肉($P < 0.01$),为果肉的4.76倍(图2:c)。

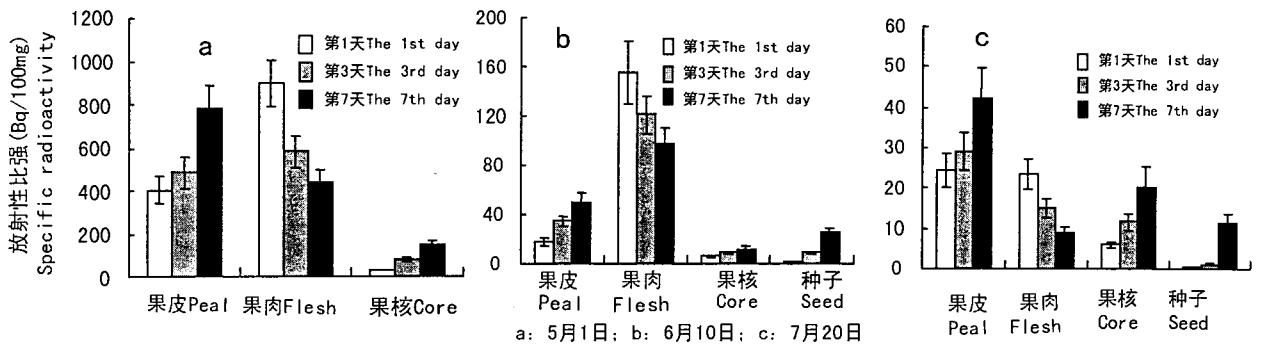


图2 不同时期果肉注射 ^{45}Ca 后各部位放射性比强的变化

Fig. 2 Changes of specific radioactivity in different parts of pear fruit after the flesh was injected with ^{45}Ca

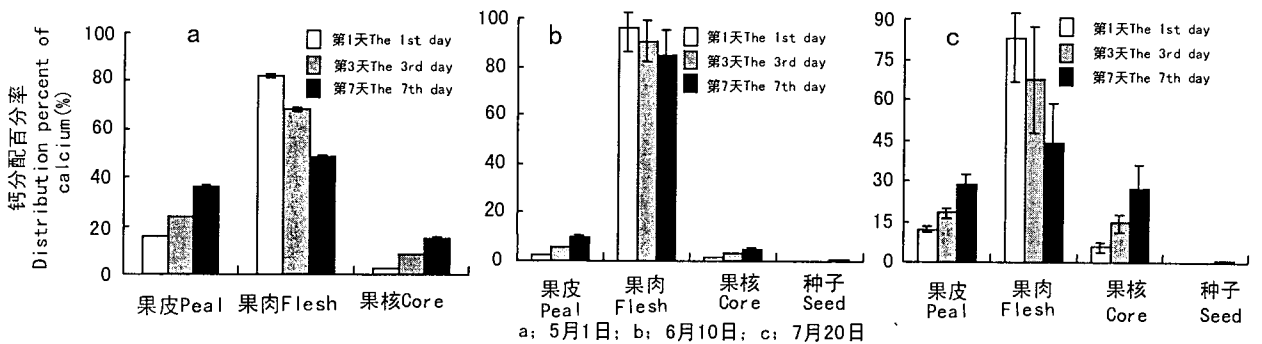


图3 不同时期果肉注射 ^{45}Ca 后各部位分配比率的变化

Fig. 3 Changes of distribution ration in different parts of pear fruit after the flesh was injected with ^{45}Ca

果肉与果核相比,在注射后的第一天前者的放射性比活极显著高于后者($P < 0.01$),在注射后的第7天,果核的放射性比活是果肉的2.29倍。种子检测到放射性,且放射性比活逐渐上升(图2:c),种子的钙分配比率也逐渐上升(图2:c)。结合图3:c的结果,成熟期果实的果肉钙分配比率与幼果同期接近,而果核的钙分配比率稍高于幼果同期,果皮的钙分配比率则稍低于幼果同期。

2.3 果核注射饲喂 ^{45}Ca 后果实各个部位放射性比强和钙分配比率的变化

果核注射 ^{45}Ca 后,不同部位的放射性比活的变

化相似,即随着时间的推移,3个时期的果皮、果肉的放射性比活逐渐上升,果核中的放射性比活逐渐下降。但在果实不同的发育时期,果核中的钙向果肉与果皮中运输的速率存在很大的差异。

在幼果期,在果核饲喂 ^{45}Ca 后的第7天,果核中的放射性比活分别为果皮与果肉的4.22、0.78倍(图4:a)。结合图5:a的结果,在第7天,果核的钙分配比率较第1天下降了49.13%,果肉的钙分配比率较第1天上升了47.61%。

在果实膨大期与成熟期,果核中的钙向果肉与果皮中运输十分困难(图4:b,c)。在注射 ^{45}Ca 的第

7 天,果实膨大期的果核放射性比活分别为果皮与果肉的 39.47、30.88 倍(图 4:b),果实发育后期果核的放射性比活分别为果皮与果肉的 43.28、37.87 倍(图 4:c)。结合图 5:b 和图 5:c 的结果,在果核饲喂的第 7 天,膨大期与成熟期果核的钙分配比率较第 1 天仅分别下降了 5.95%和 9.77%,果肉的钙分配比率较第 1 天仅分别上升了 5.06%和 8.72%。

3 讨论

钙在果实中开始是均匀分布的,但在果实发育的过程中各个部位钙的浓度出现差异。其中,果皮

的含量最高,果核次之,而果肉浓度最低,这应当是与果实钙再运转相关的一个过程(刘剑锋,2003)。果实的生长是调节 Ca^{2+} 吸收的首要因素(Tromp, 1979;张承林等,1997)。而 Ca^{2+} 在苹果果实中的运转与细胞壁的阳离子交换能力、细胞外空间 Ca^{2+} 浓度、竞争性离子的存在有关(彭永宏,2002;夏快飞,2005)。果实发育时,细胞壁相对表面积、阳离子交换能力、细胞壁含量下降, Ca^{2+} 的运输速率降低(Harker,1989a,b)。本研究的结果表明,在果实的不同发育时期,钙向果实的运输及钙在果实中的运转情况存在差异,这与前人的结果相一致。

实际生产中,蒸腾流是钙进入果实的原动力。

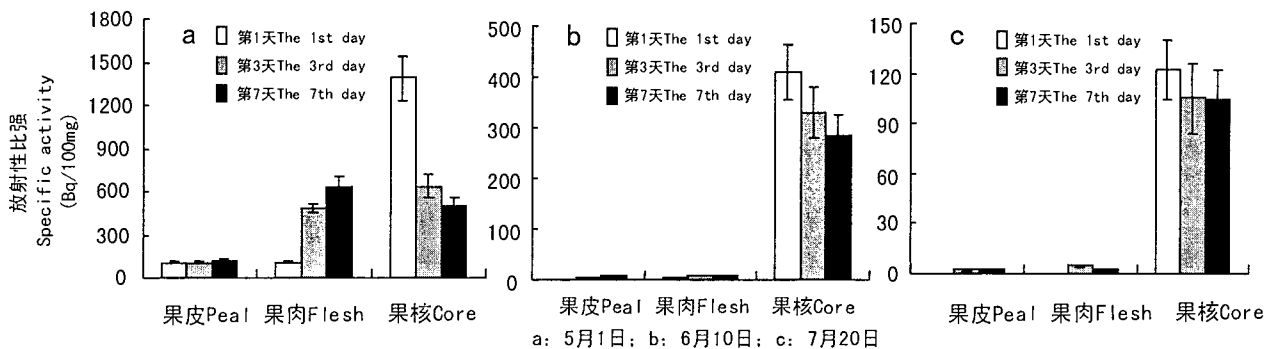


图 4 不同时期果核注射⁴⁵Ca 后各部位放射性比强的变化

Fig. 4 Changes of specific radioactivity in different parts of pear fruit after the core was injected with ⁴⁵Ca

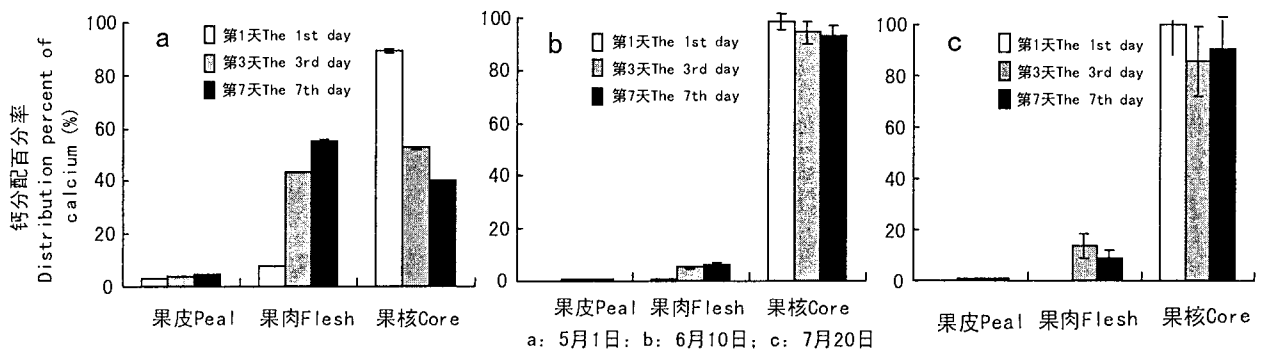


图 5 不同时期果核注射⁴⁵Ca 后各部位放射性比强的变化

Fig. 5 Changes of distribution ration in different parts of pear after the core was injected with ⁴⁵Ca

在本研究中,钙被直接注射进入果实的不同部位,这与实际情况有一定差异。但其在果实中向各个部位流向的速率应与其钙的再运转情况密切相关。在幼果期,钙向果实的运输及钙在果实内的运转均比较活跃。引入果肉的钙可顺浓度梯度快速向果皮与果核扩散,且向果皮扩散的速率较果核快;引入果核的钙则可顺浓度梯度快速向果肉扩散。在膨大期,钙向果实的运输活跃,但果实内不同部位间的运转速

率比幼果期慢。此时期引入果肉的钙可以向果皮、果核和种子扩散,但速率较幼果期慢;引入果核的钙向皮肉的运转微弱。在成熟期,Harker(1989a,b)和周卫等(1999)认为钙不再进入或很少进入果实。但此时期果皮与果肉间的运输似乎还较活跃,进入果皮的钙可以顺浓度梯度向果肉扩散,引入果肉的钙也可顺浓度梯度向果皮与果核扩散。引入果核的

(下转第 185 页 Continue on page 185)

- Nishizono H. 1987. The role of the root cell wall in the heavy metal tolerance of *Athyrium yokoscense* [J]. *Plant and Soil*, **101**:15-20
- Wang J. 1991. Computer-simulated evaluation of possible mechanisms for quenching heavy metal ion activity in plant vacuoles [J]. *Plant Physiol*, **97**:1 154-1 160
- Nedelkoska TV, Doran PM. 2000. Characteristics of heavy metal uptake by plant species with potential for phytoremediation and phytomining[J]. *Minerals Engineering*, **13**:549-561
- Tu S, Ma LQ. 2003. Interactive effects of pH, arsenic and phosphorus on uptake of As and P and growth of the arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. under hydroponic conditions[J]. *Environ Experimental Bot*, **50**:243-251

水葱对镉的超富集作用及其用于植物修复的潜力

李 硕, 刘云国, 李永丽, 徐卫华, 李 欣

(湖南大学 环境科学与工程学院, 长沙 410082)

摘要: 野外观察与研究发现水葱 (*Scirpus tabernaemontani* G.) 可以耐受土壤中高浓度的重金属污染, 并对镉有很高的生物富集量。实验室水培试验研究了两个主要因素, 营养液 pH 值以及镉含量, 对其生物量以及镉富集效果的影响。结果表明, 水葱可耐受的高浓度 Cd (30 mg/L) 和大范围 pH 值变化 (3.7~7.7)。当营养液 pH 值为 4.7, Cd 含量为 25 mg/L 时, 水葱富集的 Cd 达到最大值; 地上部分 264.71 mg/kg, 地下部分 234.39 mg/kg, 平均转运系数 1.13。这显示了它用于植物修复镉污染土壤的巨大潜力。

关键词: 地超富集植物; 水葱; 镉; 植物修复

(上接第 243 页 Continue from page 243)

钙向皮肉的扩散微弱, 推测果核向果肉的主动运输困难。

参考文献:

- 彭永宏, 王峰. 2002. 现代果树科学的理论与技术[M]. 广州: 广东科技出版社: 280
- Bernadac A, Jean-Baptiste I, Bertoni G, et al. 1996. Changes in calcium contents during melon (*Cucumis melo* L.) fruit development[J]. *Sci Hort*, **66**:181-189
- Harker FR, Ferguson IB, Dromgoole FL. 1989a. Calcium transport through tissue discs of the cortical flesh of apple fruit[J]. *Physiol Plant*, **74**:688-694
- Harker FR, Ferguson IB. 1989b. Calcium ion transport across disc of the cortical flesh of apple fruit in relation to fruit development [J]. *Physiol plant*, **74**:695-670
- Liu JF(刘剑锋), Zhang HY(张红艳), Peng SA(彭抒昂). 2003. Change of calcium in flesh, seeds and pectin content during pear fruit development(梨果实发育中果肉及种子钙和果胶含量的变化)[J]. *Acta Hort Sin*(园艺学报), **30**(6):709-711
- Liu JF(刘剑锋), Zhang HY(张红艳), Peng SA(彭抒昂). 2004. Relationship between calcium and endogenous hormones in ovary (fruitlet) of pear during pre- and post-fertilization stage(受精前后梨子房(幼果)中钙与内源激素含量的关系)[J]. *Plant Physiol Commun*(植物生理学通讯), **40**(3):297-299
- Peng SA(彭抒昂), Iwahori Shuichi(岩堀修一). 2001. Studies on localization and change of Ca^{2+} in fruit flesh cells during fruit development of pear(梨果实发育中 Ca^{2+} 中果肉组织细胞中的定位及变化研究)[J]. *Acta Hort Sin*(园艺学报), **28**(6):497-503
- Tromp J. 1979. The intake curve of calcium into apple fruits under various environmental conditions[J]. *Comm Soil Sci Plant Anal*, **10**(1-2):325-335
- Wilkinson BG. 1968. Mineral composition of apples IX: uptake of calcium by the fruit [J]. *J Sci Food Agri*, **19**:646-647
- Xia KF(夏快飞), Liang CY(梁承邨), Ye XL(叶秀萍). 2005. Study on calmodulin and calmodulin-related proteins in plant cells(钙调素及钙调素相关蛋白在植物细胞中的研究进展)[J]. *Guihaia*(广西植物), **25**(3):269-273, 244
- Zhang CL(张承林), Huang HB(黄辉白). 1997. Seasonal changes of Ca uptake by mango fruit in relation to fruit development (芒果果实钙吸收动态和果实发育的关系)[J]. *J South China Agri Univ*(华南农业大学学报), **18**(3):72-76
- Zhou W(周卫), Wang H(汪洪), Zhou LP(赵林萍), et al. 1999. Study on characteristics of calcium uptake by young fruit of apple (*Malus pumila*) and its regulation by hormone(苹果幼果钙素吸收特性与激素调控)[J]. *Sci Agri Sin*(中国农业科学), **32**(3):52-58