

单性结实与自花结实柑橘果实发育中钙钾动态的研究

肖家欣 彭抒昂* 张红艳

(华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430070)

摘 要: 对单性结实的‘国庆1号’温州蜜柑和自花结实的‘华农本地早’橘从开花前子房发育至果实成熟采收期整个子房或幼果及果实的不同部位(果皮和果肉)的钙与钾含量变化进行了测定。结果表明: 1) ‘国庆1号’花前及花期子房钙含量较高, 花后趋降; 而其钾含量在花前及花期相对较低, 花后上升; 2) ‘华农本地早’花前子房钙含量相对较低, 花后有一上升过程; 而对应钾在花前及花期就已很高, 花后下降; 3) 两品种果肉的钙含量自花后 65 d 后均呈下降趋势, 而‘国庆1号’果皮的钙含量在花后 80 d 有一显著上升, 对应的‘华农本地早’在花后 125 d 才急剧增加, 之后直至果实成熟二者均维持在较高水平; 4) 两品种果皮、果肉的钾含量在果实发育过程中均呈类似的下降趋势。

关键词: 柑橘; 子房; 果实; 钙; 钾

中图分类号: S 666 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2004) 01-0007-04

Studies on Dynamics of Calcium and Potassium during Fruit Development of Parthenocarpic and Self-pollinated Citrus Varieties

Xiao Jiaxin, Peng Shu'ang*, and Zhang Hongyan

(College of Horticulture and Forestry, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Changes of calcium and potassium contents in the ovary or fruitlet and fruit different part (rind and pulp) from ovary development before full bloom to fruit maturation for harvest of citrus i. e. parthenocarpic ‘Guoqing 1’ (*Citrus unshiu* Marc.) and self-pollinated ‘Huanong Bendizao’ (*C. reticulata* Blanco) were investigated. The results showed as follows: 1) Calcium contents in the ovary (fruitlet) of ‘Guoqing 1’ (CQ1) were at high levels before and at full bloom, and then decreased. But its potassium contents were relatively low before and at full bloom, thereafter increased. 2) Calcium contents in ‘Huanong Bendizao’ (HB) were at low levels before full bloom, and presented an increasing trend after full bloom. While its potassium contents were comparatively high before and at full bloom, and then declined. 3) Dynamics of calcium in the pulp of ‘CQ1’ and ‘HB’ were all declining from 65 days after full bloom (DAFB), while calcium content in rind of ‘CQ1’ significantly rose at 80 DAFB, that of ‘HB’ sharply increased at 125 DAFB too, since then kept at high levels until maturation for harvest. 4) Potassium contents in rind and pulp in both of ‘CQ1’ and ‘HB’ were similarly declining during fruit development.

Key words: Citrus; Ovary; Fruit; Calcium; Potassium

钙、钾营养与果实细胞分裂及其生长发育关系密切, 且都是决定果实品质的重要营养元素^[1, 2]。果实的生理失调, 如柠檬酸斑^[3]和脐橙皱皮病^[4]等常常与果实含钙量低或 K/Ca 比值较高有关。故研究果实发育不同阶段钙与钾营养的吸收规律对进一步提出补钙补钾措施极为重要。近年来虽有一些关于果实发育中钙与钾营养的吸收规律的报道^[5~8], 但关于开花前子房发育直至果实成熟采收期间不同

收稿日期: 2003 - 06 - 27; 修回日期: 2003 - 08 - 22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (39870517); 教育部重点科技项目 (02142)

*通讯作者 E-mail: Pengsa @public. wh. hb. cn

部位(果皮和果肉)钙与钾营养动态的报道还很少见。尤其是将自花结实和无需受精作用的单性结实的两类品种在果实发育过程中的钙与钾动态进行比较测定分析,则还未见报道。彭抒昂等^[9]研究认为受精作用对有籽果实吸收 Ca^{2+} 起关键作用。而对于与 Ca^{2+} 运输途径明显不同的 K^+ 来说,是否有相同的机制还不清楚。本研究以单性结实和自花结实的柑橘品种为材料,对开花前后子房(幼果)及果实发育中的钙与钾含量变化进行了测定,旨在探讨果实发育中钙与钾营养的吸收规律及其相互关系。

1 材料与方 法

试验于 2002 年在华中农业大学实习果园进行。试材为 10 年生枳砧‘国庆 1 号’温州蜜柑 (*Citrus unshiu* Marc. ‘Guoqing 1’) 和‘华农本地早’橘 (*C. reticulata* Blanco ‘Huanong Bendizao’) 各 15 株。分别在花前 8 d、4 d 和盛花时、盛花后每隔一周或半个月取样 1 次,直至果实成熟采收。每次取样时从每株树上取大小较一致的果实 2~5 个〔花期前后子房(幼果)每次取样数为 20~50 个/株〕,5 株小区,3 次重复。用冰瓶带回实验室,称重后立即用液氮速冻,然后置于低温冰箱(-40℃)内保存。

钙和钾均用原子吸收分光光度计测定,钙的测定参照 Geropoulos^[10]的方法进行,钾的测定参照庄伊美^[2]的方法进行。数据处理采用 SAS 软件中的 ANOVA 过程作差异显著性测定,并用 LSD 法作多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 果实的果皮和果肉生长动态

图 1 表明,‘国庆 1 号’花后 65 d 果皮率开始低于 50%,为 49.11%,随后果肉和果皮均呈迅速增长趋势,至花后 80 d 果肉增幅达 15.52 g/果,随后直至采收果肉鲜样质量几乎呈线性增长。而对应的果皮增长幅度相对较小,但从花后 65 d 至 80 d 增幅亦较明显,达 7.64 g/果,随后直至采收增幅均不大。

‘华农本地早’(图 1)花后 65 d 时果皮率为 56.65%,随后果肉、果皮渐呈迅速增长趋势。至花后 80 d 果皮率开始低于 50%(为 45.96%),随后果肉增幅开始加大,花后 110 d 相对于 95 d 增幅为 6.23 g/果,至花后 125 d 时出现较大幅度的增长,增幅达 14.66 g/果,随后除在花后 155 d 又出现一明显增长外,直至采收增长幅度趋于平缓。而对应的果皮增长趋势与其果肉相类似,分别于花后 125 d 和 155 d 增幅明显,分别达 3.61 g/果和 2.08 g/果。

2.2 花期前后子房或幼果中的钙、钾含量的变化

‘华农本地早’子房或幼果中 Ca^{2+} 含量在花期前后以及 K^+ 含量在花后 19 d 前均明显高于‘国庆 1 号’,且 Ca^{2+} 与 K^+ 含量变化动态存在极大差异(图 2)。

‘国庆 1 号’花前及花期子房中的 Ca^{2+} 含量较高,盛花后下降,至花后 19 d 降至最低,之后维持在一定水平。而‘华农本地早’ Ca^{2+} 含量变化与‘国庆 1 号’相反,开花前相对较低,为 48.42~49.82 mmol/kg FM,盛花期开始上升,花后 5 d 达到最高峰,为 66.98 mmol/kg FM,较花前增加 34.44%~38.33%,之后直至花后 33 d 幼果中的 Ca^{2+} 含量均维持在一个较高的水平上(图 2)。

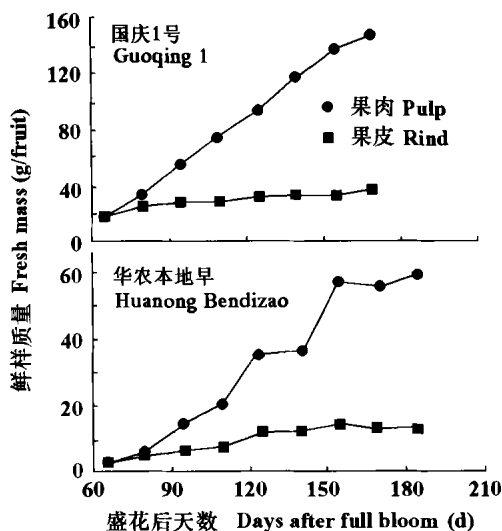


图 1 ‘国庆 1 号’和‘华农本地早’柑橘果皮及果肉鲜样质量的变化

Fig. 1 Changes in fresh mass of rind and pulp of citrus i. e. ‘Guoqing 1’ and ‘Huanong Bendizao’

‘国庆1号’子房 K^+ 含量在盛花期及花前阶段相对较低，为 89.85 ~ 93.68 mmol/kg FM，花后呈上升趋势，盛花后 33 d 达最高 (104.95 mmol/kg FM)。而‘华农本地早’盛花前 K^+ 含量就已居较高水平，如花前 4 d 为 128.65 mmol/kg FM，盛花后呈下降趋势，并于盛花后 19 d 降至最低 (90.2 mmol/kg FM)，随后保持一定水平 (图 2)。

2.3 果实发育期果皮和果肉中钙、钾含量的变化

2.3.1 钙 ‘国庆1号’和‘华农本地早’果肉 Ca^{2+} 动态均呈下降趋势，而果皮 Ca^{2+} 含量均有一显著上升过程，花后 65 d 以后，果皮均明显高于果肉，而且‘华农本地早’果皮、果肉均高于‘国庆1号’ (图 3)。

‘国庆1号’果肉 Ca^{2+} 含量在花后 50 至 65 d 处的值为 15.9 ~ 17.77 mmol/kg FM，花后 80 d 处显著下降，降至 9.54 mmol/kg FM。与此对应的果皮在花后 50 ~ 65 d 为 19.29 ~ 11.5 mmol/kg FM，但在花后 80 d 有一较大幅度上升，高达 31.55 mmol/kg FM，随后直至采收与果肉类似，均处于相对平稳的状态 (图 3)。

‘华农本地早’果肉 Ca^{2+} 含量在花后 50 d 处已居相对较高水平，至花后 65 d 出现峰值 (37.38 mmol/kg FM)，随后呈明显下降趋势，至 125 d 处降至最低，为 10.18 mmol/kg FM，随后在 140 d 处又出现一个较小的峰值 (26.35 mmol/kg FM)，之后直至采收呈下降趋势。而对应的果皮在花后 50 d 相对较低，为 27.89 mmol/kg FM，至花后 65 d 亦出现明显的上升，之后变幅不大，但在花后 110 d 处又开始上升，至花后 125 d 处出现显著上升的峰值，高达 87.75 mmol/kg FM，之后至果实成熟维持在较高水平 (图 3)。

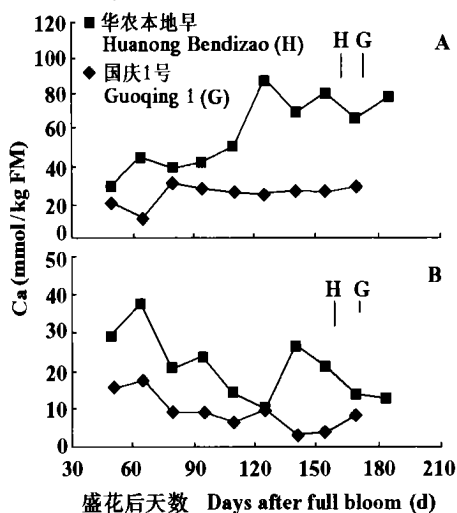


图3 ‘国庆1号’和‘华农本地早’柑橘果皮 (A) 和果肉 (B) 的钙和钾含量变化
垂直线段代表最小显著性差异 ($LSD_{0.05}$) 值。

Fig. 3 Changes in calcium and potassium concentrations of rind (A) and pulp (B) of fruit during fruit development of citrus i.e. ‘Guoqing 1’ and ‘Huanong Bendizao’

Vertical bars indicate LSD at $P=0.05$.

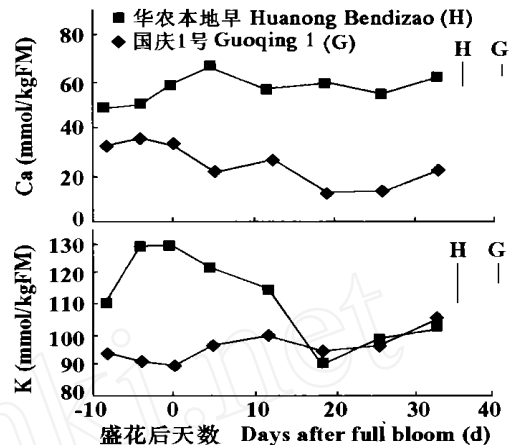


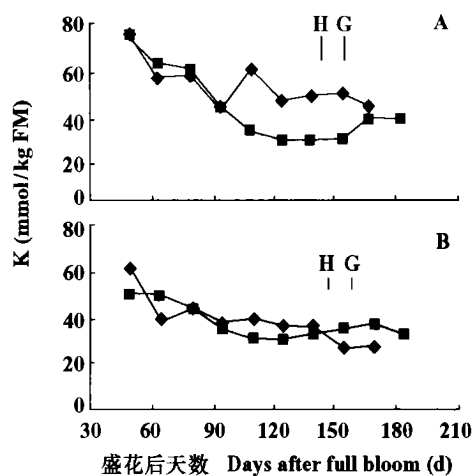
图2 ‘国庆1号’和‘华农本地早’柑橘盛花前后子房 (幼果) 钙和钾含量的变化

垂直线段代表最小显著性差异 ($LSD_{0.05}$) 值。

Fig. 2 Changes in calcium and potassium contents during ovary (fruitlet) development around full bloom of citrus i.e.

‘Guoqing 1’ and ‘Huanong Bendizao’

Vertical bars indicate LSD at $P=0.05$.



2.3.2 钾 由图3可以看出,‘国庆1号’和‘华农本地早’果肉、果皮 K^+ 含量动态基本一致,均呈下降趋势,且二者对应值亦相近。‘国庆1号’在花后50 d处果肉、果皮 K^+ 含量均相对较高,随后均有一明显下降过程,分别于花后65 d和95 d之后均维持在一定水平上。‘华农本地早’果肉、果皮 K^+ 含量亦在花后50 d处最高,随后均有一下降过程,花后110 d之后亦都稳定在一定水平。

3 讨论

3.1 开花前后子房(幼果)的钙钾动态及其相互关系

本研究的结果表明,自花结实的‘华农本地早’橘开花前子房 Ca^{2+} 含量相对较低,盛花受精完成后开始明显上升,而其 K^+ 含量动态则相反,花前 K^+ 含量就已很高,花后下降(图2)。另一方面,单性结实的‘国庆1号’蜜柑花前子房 Ca^{2+} 含量就已居最高,花后开始下降;而其 K^+ 含量在盛花期及花前阶段内相对较低,花后呈上升趋势(图2)。由此可以看出,对于有籽果来说,受精作用的刺激对 Ca^{2+} 的吸收起重要作用,而果实对 K^+ 的吸收似乎与受精作用并无直接关系。这与彭抒昂等^[9]及周卫等^[11]分别在梨和苹果上的研究结论相类似。本研究还表明,开花前后细胞分裂期是果实钙钾营养吸收和代谢的关键时期,而单性结实和自花结实果实的钙与钾营养动态均正好相反。这种在开花前后子房(幼果)对钙和钾营养的吸收代谢差异可能与二者运输途径有关,有报道认为钙在韧皮部不易移动,主要通过木质部导管来运输,而钾则是通过韧皮部来运输的^[12]。当然,这种差异是否与钙、钾间存在的相互拮抗关系有关,还需要进一步研究论证。

3.2 果实发育期钙营养动态与其生长发育的关系

柑橘果实发育一般分3个比较明显的时期:细胞分裂期、细胞增大期和果实成熟期^[13]。本研究的结果表明,单性结实的‘国庆1号’蜜柑在花后80 d(7月初,正值细胞增大初期)果皮 Ca^{2+} 含量有一明显上升的同时,其果肉 Ca^{2+} 含量则明显下降,而此时果实生长表现为果皮、果肉增长迅速,果皮变薄,果皮率迅速下降(图1),这一时期果肉 Ca^{2+} 含量的降低不仅可能与果肉迅速生长膨大的稀释效应有关,而且还可能与果肉、果皮间的代谢变换有关,因为此时果皮 Ca^{2+} 含量有一较大幅度上升并保持较高水平。故可以认为,果实细胞分裂的结束及起始细胞增大的这一生理过程可能也是调控果实对 Ca^{2+} 的积累过程。这与Storey和Treeby^[5]在无籽脐橙上的研究结论相吻合。而自花结实的‘华农本地早’橘的果皮 Ca^{2+} 含量在花后125 d处出现明显高峰值,此时期果实生长与‘国庆1号’相同,表现为果皮、果肉迅速增长,且果肉增幅较大,但时期却要晚40 d左右(图1)。此时期果肉迅速膨大,势必要求果皮与此相适应,从而增加其坚韧度,故认为此时期果皮 Ca^{2+} 含量大幅度增加并保持在高水平可能与此有关。

参考文献:

- 1 Marcelle R D. Mineral nutrition and fruit quality. *Acta Hort.*, 1995, 383: 219~226
- 2 庄伊美. 柑桔营养与施肥. 北京: 农业出版社, 1994. 174~176
- 3 Storey R, Treeby M T. Cry-SEM study of the early symptom of peteca in ‘Lisbon’ lemons. *J. Hort. Sci. Biotech.*, 2002, 77 (5): 551~556
- 4 Storey R, Treeby M T, Donna J M. Crease: another Ca deficiency-related fruit disorder. *J. Hort. Sci. Biotech.*, 2002, 77 (5): 563~571
- 5 Storey R, Treeby M T. Seasonal changes in nutrient concentrations of navel orange fruit. *Sci. Hort.*, 2000, 84: 67~82
- 6 Storey R, Treeby M T. Nutrient uptake into navel oranges during fruit development. *J. Hort. Sci. Biotech.*, 2002, 77 (1): 91~99
- 7 罗 充, 彭抒昂, 李国怀. 梨不同品种果实发育中钙与钙调素的动态研究. *华中农业大学学报*, 2001, 20 (3): 286~288
- 8 Zavalloni C, Marangoni B, Tagliavini M, et al. Dynamics of uptake of calcium, potassium and magnesium into apple fruit in a high density planting. *Acta Hort.*, 2001, 564: 113~121
- 9 彭抒昂, 岩崛修一. 梨果实发育中 Ca^{2+} 中果肉组织细胞中的定位及变化研究. *园艺学报*, 2001, 28 (6): 497~503
- 10 Cerasopoulos D. Storage temperature and fruit calcium alter the sequence of ripening events of ‘d’Anjou’ pears. *HortScience*, 1999, 34 (2): 316~318
- 11 周 卫, 汪 洪, 赵林萍, 等. 苹果幼果钙素吸收特性与激素调控. *中国农业科学*, 1999, 32 (3): 52~58
- 12 Marschner H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic press, 1995. 243~267
- 13 李道高. 柑橘学. 北京: 中国农业出版社, 1996. 91~92