

介质中不同 Ca^{2+} 浓度对五种榕树 幼苗钙含量的影响

相 辉, 张 玲, 陈 进*

(中国科学院西双版纳热带植物园, 云南昆明 650223)

摘 要: 选择高榕(*Ficus altissima*)、木瓜榕(*F. auriculata*)、聚果榕(*F. racemosa*)、鸡嗉子榕(*F. semicordata*)以及对叶榕(*F. hispida*) 5 种榕树, 对其幼苗进行不同 Ca^{2+} (CaCl_2) 浓度下的水培实验, 结果表明, 5 种幼苗钙含量随介质 Ca^{2+} 浓度的增加而增加, 增加趋势大致相同。高 Ca^{2+} 浓度下 (10 mmol/L) 幼苗地上部的钙含量为低 Ca^{2+} 浓度下 (0.05 mmol/L) 的 1.51~1.63 倍。5 种榕树幼苗钙含量随培养液 Ca^{2+} 浓度变化的 Yadj 值的多重比较结果显示, 对叶榕钙含量显著高于其他四种 ($P < 0.01$), 高榕则显著低于其他四种 ($P < 0.01$), 木瓜榕、聚果榕、鸡嗉子榕之间的差异不显著。不同榕树幼苗地上部分钙含量受介质钙浓度影响, 但可能主要决定于基因型的差异, 表明榕属植物富钙基因的存在, 这为高钙榕树植物资源开发提供初步的理论依据。

关键词: 水培实验; Ca^{2+} 浓度; 榕属植物; 钙含量

中图分类号: Q945 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2003)02-0165-04

* Effects of calcium concentration in solution on calcium content in the seedlings of five fig plants

XIANG Hui, ZHANG Ling, CHEN Jin*

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China)

Abstract: Seedlings of five fig plants, namely *Ficus altissima*, *F. auriculata*, *F. racemosa*, *F. semicordata* and *F. hispida*, were cultured in solution culture with different calcium concentration. Calcium contents in seedlings of all the five species increased with the increase of calcium concentration in solution. Calcium contents in the top of seedlings growing in higher calcium concentration (10 mmol/L) were 1.51~1.63 times than those in lower calcium concentration (0.05 mmol/L). Comparing the results of Yadj value of calcium contents in 5 fig species associated with calcium concentration in solution, it showed that calcium contents of *F. hispida* were significantly higher than the other 4 species ($P < 0.01$), while those of *F. altissima* were significantly lower than the other 4 ($P < 0.01$). No significant differences were detected among *F. auriculata*, *F. racemosa* and *F. semicordata*. Calcium contents in different fig plants appeared to be mainly determined by their genotypes while they were also influenced by calcium concentration in solution. This result implies the existence of calcium accumulation genes of ficus, which may provide a relevant information to the exploration of the calcium resource in fig plants.

Key words: solution culture; calcium concentration; fig; calcium content

收稿日期: 2002-03-11; 修订日期: 2002-07-18

基金项目: 中国科学院“知识创新”基地项目

作者简介: 相辉 (1978), 女, 江苏淮阴市人, 硕士生, 主要研究方向为植物生态学。* 为通讯作者

榕属(*Ficus*)植物主要分布于热带亚热带地区, 已知全世界有 800 多种。由于榕属植物在热带地区森林中能为其它物种如附生植物、昆虫等提供生态位, 也是食果动物^[1,2]等重要的食物来源, 被认为是热带雨林生态系统中的关键类群^[3]。我国榕属植物约有 100 种, 云南有 57 种^[4], 西双版纳榕属植物有 46 个种、2 个亚种和 19 个变种^[5]。

O' Brien^[6]等最近提出, 榕属植物果实较其它植物含钙量更高, 因而可能成为很多动物的钙的来源。我们曾调查西双版纳不同种类榕树果实、叶片钙含量(原始数据未发表)发现, 榕树相对于非榕属植物有较高的钙含量, 这一研究结果支持了 O' Brien 等人的假设。

榕树的高钙特性可能具有开发的潜力。现今世界很多国家, 包括发达国家和发展中国家, 人均每日钙摄入量普遍偏低。在中国, 有 51. 0~ 67. 6% 的城乡个体每日钙摄入量不足 1/2 RDA(recommended dietary allowances)^[7]。不同钙源(无机钙、蔬菜、水果及强化钙食品等), 其钙在人体的吸收率有所差异^[8,9], 因为钙在人体内的吸收受多种因素的影响。现今市场上的钙剂多是无机或有机化合钙及动物性钙源的钙产品, 且大多为单一的钙补充剂。而膳食中的钙更易被吸收^[10], 因为这种钙的形式更有利于

各种营养物的平衡增长^[11, 12], 只加钙添加剂则不能达到这样的效果。这在一定程度上为高钙功能食品的开发提供了理论参考。而现今市场上以植物为钙源的钙产品尤其是高钙食品尚较为少见。

近年来, 豆类作为高钙植物的代表, 其富钙特性的遗传性, 钙含量的种间差异都做了较多研究^[13, 14]。而榕属植物很多种类的嫩枝叶, 在西双版纳被各民族作为蔬菜利用, 榕属植物良好的可食性已被民间广泛证实^[15, 16]。作为一种新兴的野生资源, 是否具有开发潜力, 值得研究。同时, 不同种类的榕树, 钙含量差异较大。以嫩叶钙含量为例, 变化范围 0. 306~ 2. 393%。这种差异可能与植物的立地条件、根吸收钙能力或细胞积累钙能力等基因型的差异有关。我们选择生活型基本一致, 嫩尖含钙量有梯度性差异的几种榕属植物, 通过水培试验, 希望揭示介质中供钙水平对其幼苗含钙水平的影响, 进而为榕属植物中钙的开发提供理论依据。

1 材料与方法

1. 1 材料

选择生活型相似而钙含量存在差异的 5 个种为研究对象, 见表 1。

表 1 供试 5 种榕树基本情况及其嫩叶钙含量
Table 1 The basic information and Ca content in young leaves of 5 tested species

名称 Species	生境 ^[9] Habitat	生活型 Life form	嫩叶钙含量(% 干重) Ca content(% DW)	种子采集地点 Location for collecting seeds
高榕 <i>Ficus altissima</i>	低、中山沟谷或石灰岩密林中	大乔木	0. 497	勐海
木瓜榕 <i>F. auriculata</i>	平坝、低、中山坡杂木林或沟谷密林	乔木	0. 835	勐仑植物园内榕树园
聚果榕 <i>F. racemosa</i>	河谷水边疏林或低山沟谷密林	大乔木	1. 242	勐仑植物园
鸡嗉子榕 <i>F. semicordata</i>	低、中山杂木林中或林缘、河谷、溪边疏林中	乔木	2. 111	小腊公路 55 km 处
对叶榕 <i>F. hispida</i>	低、中山杂木林	乔木	2. 772	勐仑植物园

1. 2 培养试验

将种子同时播于温室的苗床上, 基质为砖红壤: 细砂= 1: 1。60 d 后, 挑选种间、种内均生长整齐(株高一致, 含 5~ 6 片真叶) 的幼苗, 每一物种随机分成 2 组, 第 1 组分成地上部分与地下部分, 分别测定钙含量; 第 2 组移入培养液中培养。培养液采用 Asher 等的配方^[17]。各元素的浓度为($\mu\text{mol/L}$): K 250; Mg 100; N(NH_4^+) 100; N(NO_3^-) 350; P 10; Fe (螯合态) 3; B 3; Mn 1; Zn 0. 5; Cu 0. 1; Co 0. 4; Mo 0. 02; Na 10。培养液中加入不等量的 CaCl_2 以设定 5 种供钙水平(mmol/L): 0. 05、0. 5、1、5、10。每一

物种每一供钙水平设 3 个重复, 每一个重复含苗 10 棵。培养期间室内白天最高气温为 33 $^{\circ}\text{C}$, 最低气温为 22. 5 $^{\circ}\text{C}$, 光温条件能保持植物的正常生长。采用人工通气方法, 每天通气 30 min。每隔 7 d 更换一次培养液, 连续培养 30 d 后, 收获第 2 组幼苗, 用蒸馏水充分清洗, 并将所有材料分成地上部分与根, 分别测定钙含量。

1. 3 测定方法

待测样品在中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部地球化学实验室测定。样品在 65 $^{\circ}\text{C}$ 连续干燥至恒重(需要 1 星期左右) 后, 用 DS-21000 型微

波消煮器进行消化, 用等离子体发射光谱仪(Thermo Jarrell Ash Corporation, USA, 1999. Type: IRIS Advantage ER) 测定样品钙含量。

1.4 数据处理

不同浓度下 5 种榕树地上部分钙含量数据结合协方差及多重比较两种变量分析方法, 进行显著性比较, 所有处理在 Biomstat 3.2 for windows 软件下完成。

2 结果与分析

培养期间, 对叶榕、聚果榕生长较旺盛; 高榕长势基本正常, 每一供钙处理平均有 2~3 株出现萎蔫现象; 木瓜榕则 Ca^{2+} 浓度高(5 mmol/L 和 10 mmol/L) 的培养液中出现一定程度的萎蔫现象, 在鸡嗉子榕中萎蔫现象表现得尤为严重。

2.1 培养液中不同 Ca^{2+} 浓度对 5 种榕树幼苗含钙量的影响

5 种幼苗当培养液中 Ca^{2+} 浓度低至 0.05

mmol/L 时, 5 种幼苗均能正常生长, 且地上部分钙含量与培养前基本一致, 进入溶液培养后, 5 种幼苗的钙含量随介质 Ca^{2+} 的增加而增加, 5 种幼苗的增加趋势大致相同。例如, 高榕在 Ca^{2+} 浓度为 0.05 mmol/L 和 10 mmol/L 的培养液中生长后, 钙含量由 1.569% 干重增至 2.505% 干重, 增加 0.63 倍; 对叶榕由 2.059% 干重增至 3.102% 干重, 增加 0.51 倍(表 2)。在同样供钙水平下, 对叶榕地上部分的钙含量总是高于其它种, 高榕总是低于其它种, 聚果榕、木瓜榕和鸡嗉子榕地上部分的钙含量顺序则有交叉现象。

根中钙含量随培养液中 Ca^{2+} 浓度的增加而增高的趋势较地上部分更为平缓。当培养液中 Ca^{2+} 浓度高(5 mmol/L 和 10 mmol/L) 时, 木瓜榕和鸡嗉子榕出现较严重的萎蔫现象, 可能导致该浓度下这两个物种根钙含量显著提高。根钙含量的种间差异不明显, 且与地上部分钙含量无对应关系。在每一种供钙水平下, 5 个物种地上部分的钙含量均显著的高于根钙含量。

表 2 不同供钙水平下 5 种榕树幼苗的钙含量 (mean $\pm$ SD)
Table 2 Calcium content of 5 species in different calcium concentrations of solution

处理 Treatments			高榕 <i>Ficus altissima</i>	木瓜榕 <i>F. auriculata</i>	聚果榕 <i>F. racemosa</i>	鸡嗉果 <i>F. semicordata</i>	对叶榕 <i>F. hispida</i>
地上部分 Top	培养液中钙浓度 Calcium concentration in solution(mmol/L)	培养前 Before cultivation	1.650 $\pm$ 0.019	1.518 $\pm$ 0.059	1.876 $\pm$ 0.009	1.790 $\pm$ 0.022	2.000 $\pm$ 0.046
		0.05	1.569 $\pm$ 0.315	1.829 $\pm$ 0.034	1.887 $\pm$ 0.114	1.787 $\pm$ 0.118	2.059 $\pm$ 0.207
		0.5	1.912 $\pm$ 0.132	1.865 $\pm$ 0.020	2.086 $\pm$ 0.029	2.003 $\pm$ 0.011	2.305 $\pm$ 0.112
		1	1.998 $\pm$ 0.156	2.299 $\pm$ 0.165	2.259 $\pm$ 0.066	2.199 $\pm$ 0.104	2.462 $\pm$ 0.068c
		5	2.257 $\pm$ 0.063	2.685	2.667 $\pm$ 0.064	2.783	2.766 $\pm$ 0.059
		10	2.505 $\pm$ 0.023	2.978	3.004 $\pm$ 0.054	—	3.102 $\pm$ 0.112
根部 Root	培养液中钙浓度 Calcium concentration in solution(mmol/L)	培养前 Before cultivation	0.544 $\pm$ 0.028	0.5120			
		0.05	0.394 $\pm$ 0.147	0.357 $\pm$ 0.055	0.349 $\pm$ 0.045	0.524	0.401 $\pm$ 0.059
		0.5	0.434 $\pm$ 0.128	0.391 $\pm$ 0.114	0.405 $\pm$ 0.084	0.757	0.526 $\pm$ 0.111
		1	0.417 $\pm$ 0.061	0.564 $\pm$ 0.114	0.387 $\pm$ 0.079	0.792	0.666 $\pm$ 0.057
		5	0.540 $\pm$ 0.034	1.183	0.604 $\pm$ 0.045	1.495	0.696 $\pm$ 0.050
		10	0.635 $\pm$ 0.052	1.228	0.945 $\pm$ 0.027	—	0.840 $\pm$ 0.042

2.2 地上部分钙含量差异显著性的种间比较

对 5 种幼苗地上部分钙含量随培养液中 Ca^{2+} 浓度增加的数据进行协方差分析, 回归直线的斜率并无显著性差别($P=0.37>0.05$), 但 Yadj 值存在极显著的种间差异(表 3)。5 种幼苗按 Yadj 值的差异情况明显分成 3 组: 显著低钙的高榕; 介于中间的木瓜榕、聚果榕和鸡嗉子榕; 显著高钙的对叶榕。

3 讨 论

环境中的钙水平的高低对榕树幼苗钙含量有一定的影响。这也证实, 土壤中的钙水平是影响植物体内钙含量的一个重要因素^[18]。本实验结果表明 5 种榕树的地上部分的钙含量随浓度增加而增大,

并且趋势相似,说明植物钙含量与介质钙水平的关系,在榕属植物中有着可预见的趋势。因此试验条件下榕属的钙含量可以达到野外的高钙水平,这种高钙能否和野外的高钙保持一致的生物可利用性,尚待进一步研究,可成为资源开发的一种途径。最近以硒元素为研究对象作类似的研究,得到了较好的结果^[19]。

表3 五种榕树幼苗钙含量随浓度变化的Yadj值的多重比较结果

Table 3 Multiple comparison of Yadj values of the calcium content in the 5 species associated with calcium concentration in solution

种类 Specie	高榕 <i>Ficus altissima</i>	木瓜榕 <i>F. auriculata</i>	聚果榕 <i>F. racemosa</i>	鸡嗉子榕 <i>F. simicordata</i>
木瓜榕 <i>Ficus auriculata</i>	2.3511*			
聚果榕 <i>F. racemosa</i>	2.7086*	0.3575		
鸡嗉子榕 <i>F. simicordata</i>	2.4088*	0.0577	0.2998	
对叶榕 <i>F. hispida</i>	3.7060*	1.3549*	0.9974*	1.2972*

* 表示 $p < 0.01$

在不同的钙浓度水平下,高钙种的幼苗始终含有较高的钙,而低钙种也同样始终含有较低的钙。从分析结果中也可以发现,5种幼苗钙含量随介质钙浓度变化趋势的差异将它们分成3组,即显著高钙的对叶榕、显著低钙的高榕和介于中间互相没有显著差异的木瓜榕、聚果榕和鸡嗉子榕。类似的结果也出现在四季豆(snap bean)^[13]、番茄^[20]、玉米(corn)^[21]、小麦^[22]和高粱^[23]的不同品种中,表明富钙基因型的存在和个体差异。因此选择合适的材料进行人工施钙,可望获得高钙的植物食品。

参考文献:

[1] Janzen D H. How to be a fig[J]? *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 1979, **10**: 13– 51.

[2] Shanahan M, So S, Compton S G, et al. Fig-eating by vertebrate frugivores: a global review[J]. *Biol. Rev.*, 2001, **76**: 529– 572.

[3] 许再富. 榕树——滇南热带雨林生态系统中的一类关键植物[J]. *生物多样性*, 1994, **2**(1): 21– 23.

[4] 吴征镒. 云南植物志(第六卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1995. 595– 666.

[5] 中科院昆明植物研究所. 西双版纳高等植物名录[M]. 昆明: 云南民族出版社, 1996. 276– 284.

[6] O'Brien T G, Kinnaird M F, Dierenfeld E S, et al.

What's so special about figs? [J]. *Nature*, 1998, **392**: 668.

[7] 葛可佑, 常素英. 中国居民微量营养素的摄入[J]. *营养学报*, 1999, **21**(3): 322– 328.

[8] Heaney R P, Recker R R, Weaver C M. Absorbability of calcium sources: the limited role of solubility[J]. *Calcif Tissue Int.*, 1990, **46**: 300– 304.

[9] Pak C Y, Aviolo L V. Factors affecting absorbability of calcium from calcium salts and food[J]. *Calcif Tissue Int.*, 1998, **43**: 55– 66.

[10] Heaney R P, Smith K T, Recker R R, et al. Meal effect on calcium absorption[J]. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1989, **49**(2): 372– 376.

[11] Karanja N, Morris C D, Rufolo P, et al. Impact of increasing calcium in the diet on nutrient consumption, plasma lipids, and lipoproteins in humans[J]. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1994, **59**(4): 900– 907.

[12] Holbrook T L, Barrett-Connor E. Calcium intake: correlates and confounders[J]. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1991, **53**(3): 741– 744.

[13] Quintana J M, Harrison H C, Nienhuis J, et al. Variation in calcium concentration among sixty S1 families and four cultivars of snap bean(*phaseolus vulgaris* L.) [J]. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1996, **121**(5): 789– 793.

[14] Quintana J M, Harrison H C, Nienhuis J, et al. Comparison of Pod calcium concentration between two snap bean populations[J]. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1999, **124**(3): 173– 276.

[15] Whitmore T C. An introduction to tropical rainforest [M]. Oxford: Clarendon Press, 1990.

[16] 许再富, 朱华, 杨大荣, 等. 滇南热带雨林榕树类群多样性及生态学意义[A]. 见: 许再富, 朱鸿祥, 殷寿华, 等. 热带植物研究论文报告集[C]. 昆明: 云南大学出版社, 1996, **4**: 1– 15.

[17] Asher C J, Ozanne P G, Loneragan J F. A method of controlling the ionic environment of plant roots[J]. *Soil. Sci.*, 1965, **100**: 149– 156.

[18] 侯学煜. 中国植被地理及优势植物化学成分[M]. 北京: 科学出版社, 1982. 372– 375.

[19] Hu Q, Pan G, An X, et al. Physiological function of Se-enriched tea fertilised with sodium selenite and naturally high-Se tea in rats[J]. *J. sci. food agric.*, 2001, **81**(2): 202– 204.

[20] Gioradano L B, Gabelman W H, Gerloff G C. Irr

(下转第 159 页 Continue on page 159)

- [12] Schedlbauer M D. Fern gametophyte development: controls of dimorphism in *Ceratopteris thalictroides* [J]. *American Journal of Botany*, 1976, **63**: 1 080 – 1 087.
- [13] Raghavan V. Developmental Biology of Fern Gametophytes[M]. Cambridge: Cambridge Univ. 1989. 203 – 226.
- [14] Banks J A. Sex determining genes in the homosporous fern *Ceratopteris*[J]. *Development*, 1994, **120**(7): 1 949– 1 958.
- [15] Cooke T J, Hickok L G, Sugai M. The fern *Ceratopteris richardii* as a lower plant model system for studying the genetic regulation of plant photomorphogenesis[J]. *Int J Plant Sci.*, 1995, **156**(3): 367 – 373.
- [16] Duckett J G. Towards an understanding of sex determination in *Equisetum*: an analysis of regeneration in gametophytes of the subgenus *Equisetum* [J]. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 1977, **74**: 215– 242.
- [17] Grill R. Calcium requirement in blue-light-promoted and red-light-inhibited antheridiogenesis in the fern *Anemia phyllitidis* (L.) Sw [J]. *J Plant Physiol.*, 1995, **145**(3): 285– 290.
- [18] Kanegae T, Wada M. Isolation and characterization of homologues of plant blue-light photoreceptor (cryptochrome) genes from the fern *Adiantum capill-veneris* [J]. *Mol Gen Genet.*, 1998, **259**(4): 345 – 353.
- [19] Sobota A E, Partanen C R. The growth and division of cells in relation to morphogenesis in fern gametophytes I. Photomorphogenetic studies in *Pteridium aquilinum* [J]. *Can Jour Bot.*, 1966, **44**: 497– 506.
- [20] Warne T, Hickok L, Scott R C. Haracterization and genetic analysis of antheridiogen insensitive mutants in *Ceratopteris richardii* [J]. *Bot J Linn Soc.*, 1988, **96**: 371– 379.
- [21] Theissen G, Becker A, Rosa A D, *et al.* A short history of MADS-box genes in plants[J]. *Plant Mol Biol.*, 2000, **42**: 115– 149.
- [22] 刘良式. 植物分子遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 1997. 353– 452.
- [23] 许智宏, 刘春明. 植物发育的分子机理[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 39– 53.
- [24] 蔡小钊, 王金发. 植物 MADS 盒基因的功能和调节机理[J]. 植物生理学通讯, 2000, **36**(3): 277– 281.
- [25] Hasebe M, Wen C K, Kato M, *et al.* Characterization of MADS homeotic genes in the fern *Ceratopteris richardii* [J]. *Proc Natl Acad Sci USA.*, 1998, **95**: 6 222– 6 227.
- [26] Münster T, Pahnke J, Di R A, *et al.* Floral homeotic genes were recruited from homologous MADS-box genes preexisting in the common ancestor of ferns and seed plants [J]. *Proc Natl Acad Sci USA.*, 1997, **94**: 2 415– 2 420.

(上接第 168 页 Continue from page 168)

- geritance of differences in calcium utilization by tomatoes under low-calcium stress [J]. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1982, **107**: 664– 669.
- [21] Clark R B. Differential response of corn inbred to calcium[J]. *Commun Soil. Sci. Plant Anal.*, 1978, **9**: 729– 744.
- [22] Rasmusson D C, Hester A J, Fick G N, *et al.* Breeding for mineral content in wheat and barley[J]. *Crop. Sci.*, 1971, **11**: 623– 626.
- [23] Kawasaki T, Moritsugu M A. Characteristic symptom of calcium deficiency in maize and sorghum. Commun [J]. *Soil Sci. Plant Anal.*, 1979, **10**: 41– 56.