

缺铁和重碳酸盐胁迫对枳实生苗矿质元素的影响

王明元

(华侨大学 生物工程与技术系, 福建 厦门 361021)

摘 要:采用盆栽沙培试验,研究了缺铁及重碳酸盐胁迫对枳实生苗矿质元素及植株铁营养的影响。结果表明:pH 7.0 和 8.0 的重碳酸盐胁迫提高了枳实生苗 P、K 和 Ca 的含量,降低了叶片 Fe、Mg、Zn 和 Cu 的含量;pH 8.0 的重碳酸盐胁迫降低了根系三价铁螯合物还原酶以及叶片 Fe/Mn 与 K/Ca 的比值,提高了根系总酚含量,说明重碳酸盐胁迫严重降低柑橘铁营养。

关键词:枳实生苗;重碳酸盐;K/Ca

中图分类号:S 567.1⁺9 文献标识码:A 文章编号:1001-0009(2011)18-0009-03

地球南北纬 10°~40°之间的干旱和半干旱地区广泛存在石灰性土壤,约占陆地表面面积的 25%,其上层土壤碳酸钙含量很高,最高甚至达到 95%。在我国华北、西北、四川等广大地区也分布着大面积的石灰性土壤。石灰性土壤的特殊理化性质(即高 pH 和高浓度的重碳酸盐含量)影响植物的矿质元素含量^[1]。柑橘是受影响最重的植物之一,尤以四川最为突出。四川省是我国柑橘的主产地,主要分布在四川盆地约 16 万 km² 的紫色土壤上。这些紫色土由中生代侏罗系和白垩系石灰性紫色沙页岩风化形成,物理风化强烈,化学风化缓慢,始终停留在脱钙阶段,土壤碳酸钙含量高,一般为 5%~10%,pH 7.5~8.5,严重影响植株的生长和产量^[2]。在高重碳酸盐土壤中,果树往往表现为缺铁症状,但是在石灰性诱导果树缺铁时,叶片铁含量与叶绿素含量不存在相关关系或相关性不显著^[3]。因此,果树叶片或花瓣 K/Ca 等元素的比值常常作为衡量果树铁营养的科学指标^[4]。现探讨在沙培培养下,模拟重碳酸盐胁迫环境,研究重碳酸盐胁迫对枳矿质元素含量的影响,探索重碳酸盐胁迫下枳叶片元素比值之

间的变化,为重碳酸盐对枳营养的影响提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2005 年 12 月 15 日,选择籽粒饱满的枳(*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.) 种子,自来水冲洗干净,75% 的酒精浸泡 10 min,蒸馏水冲洗 3~4 次,然后将种子铺在湿润滤纸上,恒温培养箱 26℃ 催芽。2 周后,将已萌芽枳种子播种于塑料盆中,每盆 10 棵,转移至温室,控制白天/夜间温度 25/15℃,每 2 d 浇 1 次 200 mL 蒸馏水,1 个月,定苗 6 棵/盆。2006 年 6 月 20 日,按照试验设计浇灌营养液。

1.2 试验方法

将河砂洗净过 2 mm 筛后与珍珠岩(1:1, 体积比)混合浸泡在 1 mol/L 盐酸溶液中 48 h,取出,用自来水冲洗后于清水浸泡 48 h,去除过量氯离子,然后用蒸馏水冲洗干净。将河砂和珍珠岩在 121~126℃ 高压下湿热灭菌 2 h,取出混合均匀,装入 3 L 黑色套袋塑料盆,每盆 3 kg。试验中设计 4 个营养液处理:营养液①,去铁霍格兰营养液+铁 50 μmol/L (pH 6.0),作对照处理简称+Fe (pH 6.0);营养液②,去铁霍格兰营养液 (pH 6.0),简称-Fe (pH 6.0);营养液③,去铁霍格兰营养液+铁 25 μmol/L+0.5 g/dm³ CaCO₃+15 mmol/L NaHCO₃ (pH 7.0),简称 CaCO₃ (pH 7.0);营养液④,去

作者简介:王明元(1980-),男,博士,讲师,现主要从事园艺植物生理生态研究工作。E-mail:mywang@hqu.edu.cn。

基金项目:华侨大学高层次人才科研启动费资助项目(08BS410)。

收稿日期:2011-06-15

mid to late growth period could increase the stomata conductance and the chlorophyll content, increase the leaf protein content and the activities of the key enzymes of photosynthesis, and increased the net photosynthetic rate. The 3% urea application not only increased the activities of the key enzymes of photosynthesis and the net photosynthetic rate significantly, but also enhanced the berry quality. So the appropriate folia application of urea could adjust the stomata conductance, increase the chlorophyll content and the activities of the key enzymes of photosynthesis to enhance the photosynthesis, in the end it improved the berry quality.

Key words: urea; wine grape; photosynthesis; berry quality

铁霍格兰营养液+铁 $25 \mu\text{mol/L} + 0.5 \text{ g/dm}^3 \text{ CaCO}_3 + 30 \text{ mmol/L NaHCO}_3$ (pH 8.0), 简称 CaCO_3 (pH 8.0)。共 4 个处理, 6 次重复。霍格兰营养液中, 铁以 EDTA-Fe 形式提供。每 2 d 浇 1 次 200 mL 上述营养液, 1 个月后, 收获植株待测。

1.3 项目测定方法

新鲜叶片洗净, 于 105°C 下烘干 48 h, 叶片 Fe、K、Ca、Mg、Zn、Mn 和 Cu 采用盐酸浸提法, 原子吸收光谱测定。叶片干样 480°C 灰化, 采用钼钒黄比色法测定磷^[5]。枳根系三价铁螯合物还原酶 (FCR) 活性测定采用 Albano 等的方法^[6]。枳根系中酚类物质的提取参考 Djeridane 等的方法^[7], 标准曲线的制作参考于善凯等的方法^[8], 总酚含量测定采用 Folin-酚比色法^[9]。

1.4 数据分析

所有数据运用 SAS 软件 ANOVA 过程进行处理组合间的差异性检验, 对不同处理采用 LSD 法作多重比较。

2 结果与分析

2.1 重碳酸盐胁迫对枳实生苗叶片矿质元素的影响

重碳酸盐胁迫对枳实生苗叶片矿质元素含量的影响见表 1。从表 1 可看出, 叶片 P 的含量在未加铁

处理中是最低的, 只有 1663 mg/kg , 随着重碳酸盐胁迫的增加, P 的含量逐步升高, pH 8.0 的重碳酸盐处理最高, 但各处理中 P 的含量没有显著差异。叶片活性铁含量在加铁 (pH 6.0) 的处理中最高, 达到 12.68 mg/g , 未加铁处理中的活性铁含量最低, 只有 10.20 mg/kg , 显著低于加铁处理, 且随着重碳酸盐胁迫的加重, 活性铁含量明显降低。叶片 K 含量在未加铁处理中含量最低, 只有 108 g/kg , 显著低于重碳酸盐处理的, 随着重碳酸盐胁迫的增加, 枳实生苗叶片 K 含量由 113 g/kg 升高到 120 g/kg 。叶片 Ca 含量在 CaCO_3 (pH 7.0) 的处理中最低, 只有 64.67 g/kg , 显著低于其它 3 个处理, 在 CaCO_3 (pH 8.0) 的处理中最高, 达到 100.65 g/kg , 显著高于其它 3 个处理。枳实生苗叶片 Mg 的含量在 CaCO_3 (pH 7.0) 的处理中最高, 达到 34.67 g/kg , 随着重碳酸盐胁迫的加重, Mg 的含量下降至 23.01 g/kg , 在 4 个处理中 Mg 的含量没有显著差异。叶片 Zn 的含量与叶片 Mg 含量的变化相似, 随着重碳酸盐胁迫的加剧, 叶片 Zn 的含量由 575 mg/kg 下降到 491 mg/kg 。叶片 Cu 含量在未加铁处理中含量最高, 为 416 mg/kg , 随着重碳酸盐胁迫的加重, Cu 的含量逐步下降, 至 CaCO_3 (pH 8.0) 的处理中最低, 只有 393 mg/kg , 但 4 个处理中叶片 Cu 含量没有显著差异。

表 1 重碳酸盐胁迫对枳实生苗叶片矿质元素的影响

Table 1 Effects on mineral elements of trifoliate orange seedlings under calcium bicarbonate stress

营养液处理 Nutritional treatment	P /mg · kg ⁻¹	Fe /mg · g ⁻¹	K /g · kg ⁻¹	Ca /g · kg ⁻¹	Mg /g · kg ⁻¹	Zn /mg · kg ⁻¹	Cu /mg · kg ⁻¹
+Fe(pH 6.0)	1748a	12.68a	109bc	85.97b	23.87a	359b	318a
-Fe(pH 6.0)	1663a	10.20b	108c	77.81c	26.98a	377b	416a
CaCO_3 (pH 7.0)	1747a	11.72ab	113b	64.67d	34.67a	575a	396a
CaCO_3 (pH 8.0)	1991a	10.71b	120a	100.65a	23.01a	491a	393a

注: 同列不同小写字母表示显著性差异 ($P < 0.05$), 下同。

Note: Different letters in the same column mean significant difference at $P < 0.05$ (LSD 0.05), the same below.

表 2 重碳酸盐胁迫对枳实生苗 FCR 活性、总酚及元素比值的影响

Table 2 Effects on roots FCR activities, total phenolics and ratio of mineral elements in trifoliate orange seedlings under calcium bicarbonate stress

营养液处理 Nutritional treatment	根系 FCR 活性 Roots FCR activities/ $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	根系总酚 Total phenolics in roots/ $\mu\text{g GAE} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$	Fe/Mn	K/Ca
+Fe(pH 6.0)	19.44a	11.34b	0.11a	1.27b
-Fe(pH 6.0)	16.81a	15.58a	0.11a	1.39b
CaCO_3 (pH 7.0)	17.91a	12.88b	0.09ab	1.76b
CaCO_3 (pH 8.0)	17.13a	12.97b	0.07b	1.20a

2.2 重碳酸盐胁迫对枳实生苗 FCR 活性、总酚及元素比值的影响

从表 2 可知, 枳实生苗根系 FCR 活性在加铁 (pH 6.0) 处理中最高, 为 $19.44 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 但与其它处理差异不显著; 未加铁 (pH 6.0) 处理中, 根系 FCR 活性最低, 随着重碳酸盐胁迫加重, 根系

FCR 活性逐渐降低。在未加铁处理中, 根系总酚含量最高, 为 $15.58 \mu\text{g GAE/gFW}$, 显著高于其它处理; 随着重碳酸盐胁迫的增加, 根系总酚含量逐渐升高。从表 2 可看出, 枳实生苗叶片 Fe/Mn 的比值在加铁 (pH 6.0) 处理中为 0.11, 显著高于 CaCO_3 (pH 8.0) 处理的 0.07; CaCO_3 (pH 8.0) 处理中, 叶片 K/Ca

为 1.20, 显著低于其它 3 个处理, 且随着重碳酸盐胁迫增加, 枳实生苗叶片 K/Ca 比值逐渐下降。

3 讨论与结论

植物对矿质元素的吸收存在拮抗或协助作用, 如 Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 之间为拮抗, H^{+} 与 Ca^{2+} 是拮抗, 而 Ca^{2+} 对 K^{+} 是协助作用^[10]。试验中, 由于重碳酸盐胁迫的影响, 降低了基质中有效铁的含量。对于枳等植物, 在缺铁时根系释放出大量 H^{+} , 促使根际 HPO_4^{2-} 向 $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$ 转化, 继而促进了植株对 P 的吸收, 这与人^[11]的研究结果一致。同时, 根际中大量 H^{+} 的分泌促进了植物体 K^{+} 的吸收, 因而重碳酸盐胁迫越严重, 枳叶片 K 含量越高。该试验中, 由于基质中 Ca 含量的上升, 增加了植物体 Ca 的积累。且由于 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的拮抗作用, 叶片 Mg 的含量在 CaCO_3 (pH 8.0) 的处理中最低。随着重碳酸盐胁迫的加剧, 叶片 Zn 和 Cu 含量下降, 主要是因为基质中 Zn^{2+} 和 Cu^{2+} 被 OH^{-} 等阴离子所固定, 有效性大大降低, 抑制了枳实生苗对 Zn^{2+} 和 Cu^{2+} 的吸收。

分析树体各营养元素的含量是诊断果树缺铁黄化常用的一种方法, 但矿质元素的总含量并不能真实反应树体缺铁状况。树体铁营养正常条件下, 叶片 Fe/Mn 和 K/Ca 等的比值恒定, 在缺铁条件下, 该比值下降, 因此, 分析树体 Fe/Mn 和 K/Ca 等的比值关系, 成为当前研究树体铁营养的可靠指标, 目前该法已经在杏^[12]、鳄梨^[13]、猕猴桃^[14]等果树上广泛应用。

柑橘缺铁条件下根系酚类物质的释放会增加, 根系 FCR 活性提高^[15]。该试验结果与前人研究一致, 认为重碳酸盐胁迫引起枳实生苗缺铁, 从而激发了根系总酚和根系 FCR 活性的提高。

参考文献

[1] Jolley V D, Fairbanks D J, Stevens W B, et al. Root iron-

reduction capacity for genotypic evaluation or iron efficiency in soybean[J]. Journal of Plant Nutrition, 1992, 15: 1679-1690.

[2] 吉前华, 李玉堂, 王永清. 石灰性土壤上柑桔缺铁黄化研究进展[J]. 四川农业大学学报, 1998, 16(3): 365-369.

[3] Pestana M, Correia P J, Varennes A D, et al. The use of floral analysis to diagnose the nutritional status of orange trees[J]. Journal of Plant Nutrition, 2001, 24: 1913-1923.

[4] Razeto B, Salgado J. The inflorescence and fruit peduncle as indicators of nitrogen status of the avocado tree [J]. Hort Science, 2004, 39: 1173-1174.

[5] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.

[6] Albano J P, Miller W B. Iron deficiency stress influences physiology of iron acquisition in marigold (*Tagetes erecta* L.) [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1996, 121: 438-441.

[7] Djeridane A, Yousfi M, Nadjemi B, et al. Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds[J]. Food Chemistry, 2006, 97: 654-660.

[8] 于善凯, 张英. 不同品种杭白菊中酚类物质含量和清除自由基活性的比较[J]. 食品科学, 2001, 22(4): 84-87.

[9] WU C Q, CHEN F, WANG X, et al. Antioxidant constituents in feverfew (*Tanacetum parthenium*) extract and their chromatographic quantification[J]. Food Chemistry, 2006, 96: 220-227.

[10] 陆景陵. 植物营养学[M]. 北京: 人民出版社, 2003.

[11] Koseoglu A T. Effect of iron chlorosis on mineral composition of peach leaves[J]. Journal of Plant Nutrition, 1995, 18: 765-776.

[12] Nyomara A, Brown P. Fall foliar-applied boron increased tissue boron concentration and nut set in almond [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1997, 122(3): 405-410.

[13] Razeto B, Castro M. Fruit analysis as a new approach to evaluate boron status in avocado[J]. Journal of Plant Nutrition, 2007, 30: 1-5.

[14] Razeto B, Valdés G. Fruit analysis as an indicator of the iron status of nectarine and kiwi plant[J]. HortTechnology, 2006, 16(4): 579-582.

[15] Chouliaras V, Therios I, Molassiotis A, et al. Iron chlorosis in grafted sweet orange (*Citrus sinensis* L.) plants: Physiological and biochemical responses[J]. Biologia Plantarum, 2004, 48: 141-144.

Effects of Iron Deficiency and Bicarbonate Stress on Mineral Nutrition in Poncirus Trifoliata

WANG Ming-yuan

(Department of Bioengineering and Biotechnology, Huaqiao University, Xiamen, Fujian 361021)

Abstract: Effects of iron deficiency and heavy bicarbonate stress on mineral and iron nutrition of trifoliata orange were investigated with a sand culture. The results showed that the contents of P, K and Ca were increased under bicarbonate stress at pH 7.0 and pH 8.0, however, the contents of Fe, Mg, Zn and Cu were decreased. The accumulation of root ferric-chelate reductase activities, Fe/Mn and K/Ca ratios were decreased under bicarbonate stress at pH 8.0, opposite to the total phenolics, suggesting that iron nutrition in trifoliata orange were decreased by bicarbonate stress.

Key words: trifoliata orange seedling; bicarbonate; ratio of K/Ca