

低硼胁迫对柑橘枳橙砧木生长及营养生理的影响

刘磊超 姜存仓 刘桂东 董肖昌 吴秀文

华中农业大学微量元素研究中心/农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070

摘要 以赣南“纽荷尔”脐橙拟推广的嫁接砧木(枳橙砧木)为试验材料, 采用营养液培养的方法, 探讨缺硼对枳橙砧木苗期生长及不同元素间的相互变化关系等方面的影响。结果表明: 缺硼抑制枳橙苗的生长、减少干物质积累, 且缺硼时叶片硼含量显著降低, 新叶降幅为 39.5%~49.1%, 老叶降幅为 33.3%~39.4%; 缺硼时枳橙幼苗梢中的钾含量比加硼处理降低 18%; 缺硼导致枳橙梢部钙含量下降 12%~49%, 新叶下降 11%~13%; 镁含量则在缺硼时表现出升高的趋势; 同时, 硝态氮和可溶性蛋白质含量因硼胁迫出现明显的降低。

关键词 脐橙砧木; 低硼胁迫; 生长; 营养生理

中图分类号 S 666 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2015)03-0064-05

柑橘是我国种植面积最大的水果^[1]。赣南脐橙产区地处中亚热带边缘, 土壤多为红壤, 土壤中的有效养分及各种矿质元素尤其是有效硼含量严重不足^[2]。硼是植物必需的微量元素^[3], 缺硼会导致柑橘叶片黄化, 甚至落果, 严重制约着赣南地区柑橘产业的进一步发展^[4]。柑橘砧木影响柑橘的多种园艺学与病理学性状, 在柑橘园的经济效益中起着重要作用^[5]。枳壳是赣南柑橘使用最多的嫁接砧木, 但枳壳相对枳橙砧木对缺硼反应更为敏感^[6]。因此, 一些果园使用对缺硼更有忍耐性的枳橙砧木来替代枳壳, 以适应赣南的缺硼土壤, 提高脐橙产量和质量。

本试验采用赣南脐橙产区拟推广的枳橙砧木作为试验材料, 采用水培方法, 研究不同硼水平对该砧木农艺性状的影响, 以及缺硼时砧木体内其他矿质元素的变化规律, 以期进一步揭示柑橘缺硼的生理反应机制, 为在赣南缺硼土壤上枳橙作为“纽荷尔”脐橙的砧木提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验方法

试验于 2013 年 5 月 29 号开始, 在盆栽场内进行。采用取自江西赣南的枳橙砧木 [*C. sinensis*

(L.) Osb. × *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] 实生苗, 选取长势相对一致且生长状况良好的幼苗。首先用自来水将幼苗根系附着的泥土冲洗干净, 再用一级水冲洗, 然后移栽到装有 4 L 营养液的塑料桶中, 桶外围刷上黑色油漆对根系避光。营养液采用 Hoagland and Arnon (1950) 配方: 2 mmol/L KNO_3 , 1.23 mmol/L $Ca(NO_3)_2$, 0.5 mmol/L $MgSO_4$, 0.14 mmol/L Na_2HPO_4 , 0.32 mmol/L NaH_2PO_4 , 4.45 $\mu mol/L$ $MnCl_2$, 0.8 $\mu mol/L$ $ZnSO_4$, 0.16 $\mu mol/L$ $CuSO_4$, 0.18 $\mu mol/L$ Na_2MoO_4 , 28.7 $\mu mol/L$ $Fe-EDTA$, 所用试剂均为分析纯。营养液每周更换 1 次, 前 2 次采用全营养液的 1/2 量, 以后均使用全量营养液。调节 pH 维持在 6.0 左右, 每天上午和下午各通气 2 h。设置缺硼(B, 0 $\mu mol/L$) 和正常硼(B, 10 $\mu mol/L$) 2 个处理, 每个处理 3 次重复。首先将幼苗在正常硼条件下培养 40 d, 待幼苗长出新叶(培养前的叶片定义为老叶)后开始进行不同硼处理, 20 d 时取样 1 次, 40 d 时全部收获。

1.2 样品采集与测定

1) 样品采集。将植株分为根、茎、梢、老叶和新叶 5 个部分, 样品先用自来水冲洗干净, 再用一级水冲洗。在 105 $^{\circ}C$ 的烘箱中杀青 30 min 后再在 75 $^{\circ}C$ 下烘干至恒质量, 粉碎过筛后置于干燥器中储存。

收稿日期: 2014-03-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271320); 中央高校基本科研业务费专项(2013PY093)

刘磊超, 硕士研究生, 研究方向: 植物养分资源高效利用, E-mail: liuleichao@webmail.hzau.edu.cn

通信作者: 姜存仓, 博士, 副教授, 研究方向: 植物营养机理与施肥, E-mail: jcc2000@mail.hzau.edu.cn

2)样品的测定。姜黄素比色法测定硼含量^[7],原子吸收光度计法测定钙、镁含量,火焰光度计法测定钾含量。可溶性蛋白质及硝态氮含量的测定:将鲜样磨碎后离心,取滤液使用分光光度计法测定。

1.3 数据处理与分析

根冠比=根生物量/地上部生物量,硼积累量=硼含量×干质量。试验数据使用 SAS 9.1.3 对各处理进行差异显著性分析,使用 Excel 进行图表制作。

2 结果与分析

2.1 不同硼处理对枳橙砧木幼苗农艺性状及干物质积累的影响

如表 1 所示,缺硼明显抑制新生组织的生长,缺硼处理的新梢数、新叶数均低于加硼处理,正常硼处理新梢数比缺硼高 20%~25%,20 d 与 40 d 新叶数均显著高于缺硼处理,分别上升了 76.5% 和 56.5%,老叶数没有明显变化。

表 1 不同硼处理对枳橙砧木新梢数及叶片数的影响¹⁾

Table 1 Effects of B on number of new tips and leaf in different parts of root stock

处理时间/d Treatment time	处理 Treatment	新梢数 Number of new tip	新叶数 Number of new leaf	老叶数 Number of old leaf
20	-B	4 a	34 c	11 a
	+B	5 a	60 b	11 a
40	-B	5 a	62 b	11 a
	+B	6 a	97 a	11 a

1)不同小写字母表示差异达到 5%,下同。Different capital and small letter means significant at 5% level,the same as follows.

缺硼处理枳橙砧木幼苗各部位干物质质量均低于加硼处理(表 2),缺硼处理新叶干物质积累量显著低于正常硼处理;20 d 时地上部的两处理之间干物质的差异比值为 25%,根部为 21.05%,40 d 时地上部的差异比值为 24.61%,根部为 25.37%,处理 20 d 时缺硼根冠比高于正常处理,40 d 时没有差异,表明缺硼初期明显抑制地上部的生长,随着缺硼时间的延长,地下部受抑制的程度逐渐增大。

2.2 不同硼处理对枳橙砧木幼苗各部位硼含量及积累量的影响

表 3 显示,缺硼处理枳橙砧木幼苗各部位硼含

量均低于加硼处理且时间越长硼含量越低,其中茎、新叶和老叶的差异均达到显著水平。硼在叶片中含量最高,其次为梢和茎,根中最低,而叶片中老叶的硼含量又明显高于新叶中的。缺硼显著降低叶片中的硼含量,但新叶降幅大于老叶,20 d 和 40 d 时新叶中硼含量降幅分别为 39.5% 和 49.1%,老叶中的为 33.3% 和 39.4%,缺硼处理中新叶的硼含量大幅下降。

缺硼处理的硼积累量均小于加硼处理,叶片差异显著。随着处理时间的延长,加硼处理枳橙砧木幼苗各部位的硼积累量均上升,缺硼处理幼苗的硼积累量均下降。与基础样相比,根、茎的硼积累量未出现较大变化,梢和叶片的变化幅度较大,叶片加硼处理 20 d 和 40 d 的硼积累量分别升高了 923.6% 和 941.8%。

2.3 不同硼处理对枳橙砧木幼苗各部位 K、Ca、Mg 含量的影响

枳橙砧木各部位中新叶的元素含量最高(表 4)。除了茎部以外,缺硼显著降低了枳橙砧木各部位的钾含量,其中 20 d 与 40 d 相比,根中钾含量分别下降 30.3% 和 35.7%;梢中下降 32.3% 和 20.8%,叶片也有降低的趋势,新叶和老叶中的最高降幅分别为 9.5% 和 10.8%。与缺硼相比,根中的钙含量不同缺硼时间没有显著差异,其余部位的钙含量分别出现不同程度的下降,其中缺硼 20 d 和 40 d 的茎部降幅为 9.4%~14.3%,新叶的降幅为 19.3%~22.5%,老叶中的钙含量也略有降低,梢部降低的幅度最大,为 14.9%~49.1%。镁含量不同的部位出现不同规律,在根、梢和老叶中含量上升,其中缺硼后期梢中的镁含量显著升高 35.3%,在茎和新叶中含量下降,其中在新叶中的最高降幅为 33.9%。

2.4 缺硼条件下几种含氮物质的含量变化

不同硼处理对枳橙砧木苗期新叶硝态氮含量的影响见图 1。缺硼使叶片中的硝态氮含量显著下降。20 d 与 40 d 缺硼处理的新叶硝态氮含量较正常硼处理分别下降 42% 和 47%。图 2 显示,缺硼会造成叶片和根系中的可溶性蛋白质含量下降,其中 20 d 新叶中下降显著,降幅达到 14%,细根中也有下降趋势,但未达到显著差异水平。

表 2 不同硼处理对枳橙砧木各部位干物质质量的影响

Table 2 Effects of B on dry mass in different parts of root stock

g/株

处理时间/d Treatment time	处理 Treatment	主根 Root	茎 Stem	梢 Tip	新叶 New leaf	老叶 Old leaf	根冠比 R/S ratio
20	-B	1.35 c	1.89 b	0.62 c	1.63 c	0.48 a	0.33
	+B	1.71 b	2.22 ab	0.99 bc	2.50 b	0.45 a	0.30
40	-B	1.53 bc	2.28 ab	1.19 b	2.84 b	0.43 a	0.23
	+B	2.05 a	2.50 a	1.85 a	4.20 a	0.39 a	0.23

表 3 不同硼处理对枳橙砧木各部位硼含量及积累量的影响

Table 3 Effects of B on B content and B accumulation in different parts of root stock

部位 Parts	20 d				40 d			
	+B		-B		+B		-B	
	含量/ (mg/kg) Content	积累量/ (mg/株) Accumulation	含量/ (mg/kg) Content	积累量/ (mg/株) Accumulation	含量/ (mg/kg) Content	积累量/ (mg/株) Accumulation	含量/ (mg/kg) Content	积累量/ (mg/株) Accumulation
主根 Root	16.1 a	2.17 a	15.4 a	2.08 a	16.7 a	2.25 a	14.7 a	1.98 a
茎 Stem	17.7 ab	2.39 a	16.2 b	2.19 a	20.1 a	2.71 a	16.0 b	2.16 a
梢 Tip	22.5 a	3.03 a	19.3 a	2.60 a	24.7 a	3.34 a	18.6 a	2.51 a
新叶 New leaf	67.6 a	9.12 a	40.9 b	5.52 b	74.3 a	10.03 a	38.6 b	5.21 b
老叶 Old leaf	83.4 a	11.26 a	55.6 b	7.51 b	84.9 a	11.46 a	52.3 b	7.06 b

表 4 缺硼对枳橙砧木各部位钾、钙、镁含量的影响

Table 4 Effects of the B deficiency on K, Ca and Mg concentrations in different parts of root stock

%

部位 Parts	+B						-B					
	20 d			40 d			20 d			40 d		
	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg
根 Root	0.89 a	0.07 a	0.33 a	0.98 a	0.07 a	0.37 a	0.62 b	0.06 a	0.29 a	0.63 b	0.07 a	0.26 b
茎 Stem	0.62 a	0.28 ab	0.46 c	0.66 a	0.32 a	0.62 b	0.64 a	0.24 b	0.55 c	0.73 a	0.29 ab	0.82 a
梢 Tip	1.14 c	0.47 b	1.39 a	1.75 a	0.55 a	1.36 a	1.15 c	0.40 b	1.43 a	1.44 b	0.28 c	0.88 b
新叶 New leaf	3.27 a	1.45 a	1.09 b	3.20 ab	1.51 a	1.14 b	2.96 c	1.17 b	1.46 a	3.01 bc	1.17 b	1.45 a
老叶 Old leaf	2.59 a	1.18 a	1.77 a	2.49 a	1.08 b	1.64 ab	2.31 b	1.07 b	1.09 c	2.57 a	1.04 b	1.48 b

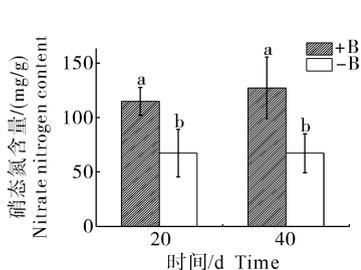


图 1 不同硼处理对不同时期枳橙砧木新叶硝态氮含量的影响

Fig.1 Effects of B on nitrate nitrogen content in new leaves of root stock

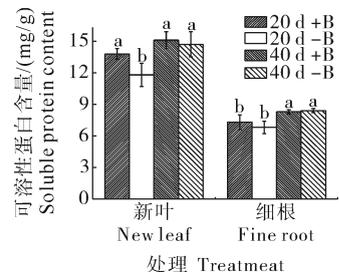


图 2 不同硼处理对枳橙砧木新叶和细根可溶性蛋白含量的影响

Fig.2 Effects of B on protein content in leaves and roots of root stock

3 讨论

缺硼时植物正常生长代谢受到影响,根系比地上部对缺硼更敏感,脐橙根系体积随着硼浓度的降低而下降^[8]。熊双莲等^[9]对黄瓜进行缺硼处理1 d后黄瓜根尖生长就受到明显抑制,缺硼处理3 d后黄瓜根尖生长缓慢、变粗,颜色变为褐色。本试验结果表明,缺硼抑制枳椇砧木的生长,显著降低枳椇砧木幼苗的干物质积累。缺硼抑制枳椇砧木对硼的吸收,导致枳椇砧木各部位硼含量下降。叶片是枳椇中硼含量最高的部位,其中尤以老叶含量最高,可能是硼在植物体内不易移动,从而较多积累在老叶中^[9]。

硼在保护细胞膜的完整性方面发挥着重要作用。试验结果显示,缺硼比正常硼处理的枳椇砧木钾元素含量低,这可能与硼缺乏造成细胞膜受损从而使钾元素的渗漏增加有关^[10],缺硼时油菜对钾的吸收仅为正常硼的50%^[11],王振宇等^[12]在黄瓜上的试验也证实了这一点。也有研究^[13]表明缺硼会显著降低根系的吸收活力,这可能也是造成根系中钾含量减低的另一个原因。钙参与植物细胞壁的组成,缺硼导致细胞壁中果胶物质含量减少,而钙在细胞壁中与果胶结合以果胶酸钙的形式为细胞提供一定的机械强度^[14],因此,缺硼导致钙含量下降,硼与钙表现出了相互促进的关系。硼与镁的关系研究结果不尽相同,刘桂东等^[6]研究发现,缺硼使“纽荷尔”脐橙各部位的镁元素含量有下降的趋势;也有研究表明加硼并不会影响柑橘对镁的吸收^[15]。本试验结果显示,缺硼促进枳椇幼苗根、梢和老叶中镁含量上升,徐强等^[16]的研究也得到了同样结果,并认为原因可能是硼调控镁的吸收并影响其运输。

此外,硼能提高硝酸还原酶(NR)的活性从而降低大豆叶片中硝态氮的含量^[17]。但叶片硝态氮的含量除了受NR活性的影响外,还受根系吸收硝酸盐的能力及硝酸盐在植物体内运输速度的影响^[18]。本试验中缺硼处理的硝态氮含量显著下降,原因可能为硝态氮是柑橘中氮素运输的主要方式之一,缺硼致使枳椇砧木吸收硝态氮的能力下降^[19],可能直接造成了叶片中硝态氮含量的降低。同时,缺硼导致蛋白质含量的下降,一方面缺硼会抑制蛋白质的合成^[20],另一方面硼胁迫还会加速蛋白质分解^[21]。本研究结果显示,缺硼降低硝态氮含量,使得合成蛋

白质的物质来源减少,造成了可溶性蛋白含量的降低。

参 考 文 献

- [1] 龚梦,祁春节.我国经济林产品市场整合程度研究[J].华中农业大学学报:社会科学版,2013,105:77-82.
- [2] 王瑞东,姜存仓,刘桂东,等.赣南脐橙产区果园土壤有效硼含量的现状与分析[J].中国南方果树,2011,40(4):1-3,7.
- [3] WARINGTON K. The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants[J]. Ann Bot,1923,37:629-672.
- [4] 姜存仓,王运华,刘桂东,等.赣南脐橙叶片黄化及施硼效应研究[J].植物营养与肥料学报,2009,15(3):656-661.
- [5] 朱世平,陈娇,马岩岩,等.柑橘砧木评价及应用研究进展[J].园艺学报,2013,40(9):1669-1678.
- [6] 刘桂东,姜存仓,王运华,等.缺硼条件下两种不同砧木“纽荷尔”脐橙矿物质元素含量变化的比较[J].植物营养与肥料学报,2011,17(1):180-185.
- [7] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2008:121-124.
- [8] 盛鸣,宋尚伟,彭抒昂,等.不同硼浓度对脐橙生长和硼吸收、分布的影响[J].湖南农业大学学报,2007,33:76-84.
- [9] 熊双莲,吴礼树,王运华.黄瓜缺硼症状与激素变化关系的研究[J].植物营养与肥料学报,2001,7(2):194-198.
- [10] LIU G D, WANG R D, WU L S, et al. Boron distribution and mobility in navel orange grafted on citrange and trifoliolate orange[J]. Plant and Soil, 2012, 360(1/2):123-133.
- [11] CAKMAK I, KURZ H, MARSCHNER H. Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane perm ability in boron deficient leaves of sun flower[J]. Physiologia Plantarum, 1995, 95(1):11-18.
- [12] 王振宇,张福锁,王贺,等.缺硼与低温对黄瓜幼苗一些生理反应的影响[J].植物生理学报,1998,24(1):59-64.
- [13] 董肖昌,姜存仓,刘桂东,等.低硼胁迫对根系调控及生理代谢的影响研究进展[J].华中农业大学学报,2014,33(5):133-135.
- [14] 林小芳,王贵元.钙在果树生理代谢中的作用[J].江西农业学报,2007,19(5):61-63.
- [15] 秦焯南.喷施硼锌镁对提高锦橙产量和果实品质的影响[J].西南农业大学学报,1996,18(1):40-45.
- [16] 徐强,焦晓燕,王云中,等.硼对绿豆植物生长发育及矿质营养状况的影响[J].华北农学报,2004,19(1):89-92.
- [17] 刘鹏,杨玉爱.钼、硼对大豆氮代谢的影响[J].植物营养与肥料学报,1999,5(4):347-351.
- [18] 刘鹏,杨玉爱.硼钼胁迫对大豆叶片硝酸还原酶与硝态氮的影响[J].浙江大学学报,2000,26(2):151-154.
- [19] 刘宇庆,刘燕,范红梅.硼对植物细胞的影响及与其他元素关系

的研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2009(5):1-5.

1987, 63:113-115.

[20] KRUEGER R W, LOVATT C J, ALBERT L S, et al. Metabolic requirement of *Cucurbita pepo* for boron[J]. *Plant Physiology*,

[21] 吴礼树, 魏文学. 硼素营养研究进展[J]. 土壤学进展, 1994, 22(2):1-8.

Effects of boron stress on seedling growth and nutrition physiology of navel orange root stock

LIU Lei-chao JIANG Cun-cang LIU Gui-dong DONG Xiao-chang WU Xiu-wen

Microelement Laboratory, Huazhong Agricultural University/

Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of Yangtse River),

Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China

Abstract Trifoliate orange which was the rootstock of Gannan ‘Newhall’ navel orange intended to promote as test material and the method of nutrient solution culture was used to study the effects of boron deficiency on the seedling growth of orange rootstock and the changes among different elements. The results showed that boron deficiency inhibited the growth of plants, decreased dry matter accumulation and significantly reduced the contents of boron in leaves. The new leaves reduced by 39.5%-49.1% and the old leaves reduced by 33.3%-39.4%. Potassium content in tips of trifoliate orange seedling under boron deficiency significantly reduced by 18% more than that under the normal boron level. Calcium content in tips of trifoliate orange seedling and in new leaves under boron deficiency decreased 12%-49% and 11%-13%. Magnesium content had a tendency to increase under boron deficiency. The content of nitrate and soluble protein significantly reduced under boron deficiency.

Key words orange rootstock; boron deficiency; growth; nutrition physiology

(责任编辑:陆文昌)