

# 不同施硼方式对枳橙砧木生理生化特性的影响

刘磊超 姜存仓 董肖昌 刘桂东 卢晓佩

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** 以枳橙砧木为试验材料, 设置根施与叶施 2 种施硼方式, 研究不同施硼方式对枳橙砧木的农艺性状、干物质积累量、不同器官各元素(B、K、Ca、Mg)含量以及叶片中糖类、丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)和叶片伤害率的影响。结果表明: 叶施硼显著增加枳橙幼苗茎和叶的干物质质量、总干物质质量和株高, 并促进根系的生长; 叶片中的 B 含量提高 126.5%, 1.3% 的 B 在茎中转移积累, 但叶施硼使枳橙根部 B 含量降低 11.1%; 叶片中 K、Ca、Mg 含量均显著高于对照。根施硼各元素(B、K、Ca、Mg)含量均显著高于叶施硼处理(除叶片外); 叶片中糖类、MDA、Pro 含量和叶片伤害率在施硼后均下降。因此, 叶施硼在维持叶片各元素平衡、糖类物质合成和提高叶片抗逆性方面有较好的效果, 但叶施硼会降低根系硼含量、加重根系缺硼。

**关键词** 硼; 柑橘; 施硼方式; 叶面施硼; 枳橙砧木; 生理生化特性

**中图分类号** S 666 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)01-0069-05

硼是植物生长必需的微量元素, 与植物体内碳水化合物运输、细胞壁结构与合成、生物膜功能等生理功能有关。缺硼等会引起植物形态、生理、生化等方面的变化<sup>[1]</sup>。大多数的硼存在于植物细胞壁中, 与果胶交联成网状结构对细胞起机械支持作用<sup>[2]</sup>。由于大多数的硼被固定在细胞壁中, 导致硼在植物体内不易移动。自然界中的植物主要通过根系吸收土壤中未解离的硼酸, 经过 2 次跨膜运输进入中柱, 然后通过蒸腾流和根压作用向上运输到植物各个部位供其利用<sup>[3]</sup>。叶片是植物重要的根外营养器官<sup>[4]</sup>, 除根系外, 植物也可以通过叶片与外界进行物质交换。硼肥在农业生产上一般采用根施或叶面喷施的方法, 根施硼投入量较大, 其肥效受土壤环境影响; 叶面施硼具有吸收快、肥效好等优点, 可以有效避免养分固定及减轻环境污染, 但肥效受叶片、气候环境等因素的影响也较大<sup>[4]</sup>。因此, 2 种施硼方式各有优劣。

砧木不仅能够影响柑橘的品质和产量, 还能影响其农艺性状<sup>[5]</sup>、病理学性状<sup>[6]</sup>及对养分胁迫等逆境的抵抗能力<sup>[7]</sup>。我国柑橘产区普遍分布在南方缺硼或严重缺硼的土壤上, 其有效硼含量严重不足<sup>[8]</sup>。目前, 柑橘产区仍以枳壳砧木为主, 但因其极易缺硼

而造成叶片发黄、树势弱化和减产。枳橙砧木对硼的跨膜运输能力和细胞水平上的利用能力更具优势<sup>[9]</sup>。因此, 越来越多的果农在生产上选择枳橙砧木替代枳壳砧木。笔者以枳橙砧木为试验材料, 分别采用叶面施硼与根施硼 2 种施硼方式, 探讨硼在其体内的吸收和分配规律, 并比较不同的施硼方式对其生理生化特征的影响, 以期对柑橘砧木合理施用硼肥提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

营养液试验于 2014 年 7 月开始在华中农业大学盆栽场内进行。营养液配方在 Hoagland and Arnon(1950)配方的基础上稍作改动, 各物质浓度为: 2 mmol/L KNO<sub>3</sub>、1.23 mmol/L Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>、0.5 mmol/L MgSO<sub>4</sub>、0.14 mmol/L Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>、0.32 mmol/L NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、4.45 μmol/L MnCl<sub>2</sub>、0.8 μmol/L ZnSO<sub>4</sub>、0.16 μmol/L CuSO<sub>4</sub>、0.18 μmol/L Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>、28.7 μmol/L Fe-EDTA。

试验材料为采自赣州市苗圃基地的枳橙砧木 [*C. sinensis* (L.) Osb. × *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] 实生苗。选取生长状况良好且长势相对一致

收稿日期: 2015-04-11

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: 植物养分利用及机理. E-mail: liuleichao@webmail.hzau.edu.cn

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

的幼苗,用自来水冲洗干净根部。先将幼苗在自来水中饥饿处理 2 d 后,再用二次蒸馏水冲洗干净,移栽到盛有 4 L 营养液的聚乙烯塑料桶中,每桶定植 1 株。然后,幼苗在全营养液中培养 35 d 进行水培环境适应并长出一些新叶和根系等,接着进行不同硼处理,再培养 2 周待各处理之间有一定差异后,将植物样品全部收获。

试验设置不施硼(CK)、根施硼(GB: B 10  $\mu\text{mol/L}$ )和叶面涂硼(YB: B 50 mmol/L,参考大田施硼含量 0.3%) 3 个处理,各重复 5 次。硼以  $\text{H}_3\text{BO}_3$  的形式加入,叶施硼用海绵蘸取溶液均匀涂抹到全部叶片上,涂硼量以叶片刚好不滴水为宜,处理期间共涂抹 1 次。

所用试剂均为分析纯,培养期间全部使用一级水( $B < 0.5 \mu\text{mol/L}$ )。营养液每 7 d 更换 1 次,前 2 次使用 1/2 当量,以后均使用全量营养液。定时装置每隔 2 h 通气 45 min,每天测定营养液 pH,用 HCl 或 NaOH 调节 pH 值在 5.8~6.2。

## 1.2 样品采集与测定

1) 样品采集。收获时将植物样品用一级水冲洗干净,分为根、茎、叶 3 部分,在烘箱中 105  $^{\circ}\text{C}$  杀青 30 min,然后在 75  $^{\circ}\text{C}$  下烘干至恒质量,称鲜质量和干质量后,粉碎过筛,置于干燥器中储存。

2) 样品各部位 B、K、Ca、Mg 含量的测定。将样品灰化后使用 1 mol/L HCl 浸提,取滤液用姜黄素比色法测定 B 含量,原子吸收光度计法测定 Ca、Mg 含量,火焰光度计法测定 K 含量。

3) 糖类含量的测定。总的可溶性糖、淀粉和蔗糖含量参考 García-Luis 等<sup>[10]</sup>的方法,脯氨酸含量

的测定采用酸性茚三酮法,植物伤害率测定采用电导仪法,丙二醛含量的测定采用硫代巴比妥酸法<sup>[11]</sup>。

## 1.3 数据处理

1) 计算方法。根冠比 = 根生物量/地上部生物量;硼积累量 = 硼含量  $\times$  相应部位干物质质量;吸收百分比 = 某部位硼积累量/总硼积累量  $\times 100\%$ ;伤害率 = 处理电导率/对照电导率  $\times 100\%$ 。

2) 数据处理。采用 Excel 软件,使用 Origin 8.6 (U.S.A, Origin Lab Corp.) 作图,使用 SAS 9.1.3 对各处理进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施硼方式对枳橙砧木农艺性状的影响

由表 1 可知,枳橙砧木各部位干物质占全株比例大小为叶片  $>$  茎部  $>$  根部,与不加硼(CK)处理相比,根施硼(GB)处理叶片干物质质量上升 26.0%,叶施硼处理叶片干物质质量上升 18.2%。根施硼处理叶片干物质质量显著高于对照,叶施硼(YB)处理与对照相比没有差异。2 种施硼方式茎干物质质量均显著高于对照处理(CK),根施硼处理比对照升高 72%,叶施硼处理升高 48%。根施硼处理枳橙幼苗根部的干物质质量比对照显著升高 69.2%,叶施硼处理升高 46.2%,但两处理间的差异不显著。2 种施硼方式之间,根施硼处理根茎叶干物质质量均高于叶施硼处理,分别提高 15.8%、16.2% 和 6.6%,但 2 个处理间没有显著差异。鲜质量与干质量规律一致。总干质量、株高和根冠比以根施硼处理数值最高,叶施硼处理次之,CK 数值最小,但各

表 1 不同施硼方式对枳橙幼苗各部位每株鲜质量、干质量及株高和根冠比的影响

Table 1 Effects of different ways of B application on dry weight and fresh weight and plant height in different parts of root stock

处理 Treatment	根 Root		茎 Stem		叶 Leaf		总鲜质量/g Total FW	总干质量/g Total DW	株高/cm Plant height	根冠比 R/S
	鲜质量/g FW	干质量/g DW	鲜质量/g FW	干质量/g DW	鲜质量/g FW	干质量/g DW				
CK	0.44b	0.13b	0.62b	0.25b	0.77b	0.77b	1.92b	0.90b	20.13a	0.17b
GB	0.75a	0.22a	0.95a	0.43a	0.97a	0.97a	2.78a	1.29a	21.68a	0.23a
YB	0.69ab	0.19ab	0.79a	0.37a	0.91ab	0.91ab	2.51a	1.25a	21.45a	0.18b

注 Note: FW: Fresh weight; DW: Dry weight; R/S: The ratio of root to shoot. 不同小写字母表示差异达到 5%, 下同。Different small letters mean significant at 5% level, the same as follows.

处理间差异不明显。

### 2.2 不同施硼方式对枳橙砧木各部位 B 含量与 B 积累量的影响

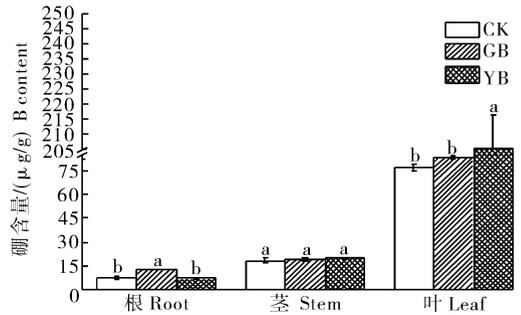
图 1 显示,根施硼(GB)处理各部位及总硼含量均高于对照处理,除茎部外,其余部位均达到显著差

异,上升幅度为根部  $>$  叶片  $>$  茎部,根、茎、叶分别升高 58.8%、4.3% 和 8.7%。叶施硼(YB)处理叶片含量在 3 组处理中最高,根部 B 含量比不加硼处理降低 11.1%,但没有达到显著差异,比根施硼处理显著降低 76.4%;与 CK 相比,叶施硼处理叶片中 B 含量

显著增加 126.5%，茎中 B 含量也略有上升，增加 7.5%。

2 种施硼方式均提高了枳橙各部位的硼积累量(表 2)，其中叶施硼(YB)处理根部的硼积累量规律与硼含量一致，施硼后根部的硼含量低于 CK 处理。叶施硼处理显著增加枳橙幼苗叶片中的硼积累量，比 CK 和 GB 分别高 97.4%和 60.8%；茎中的硼含量各处理之间没有显著差异，根中硼含量以叶施硼处理最低。叶施硼处理叶片硼的积累量占总硼积累量的 71.6%，但茎和根中硼积累量与总硼积累量的比值要显著低于其他 2 组处理，与 CK 相比，叶片吸收的硼元素仅转移到茎中 1.3%，其中绝大多数硼都被保留在叶片中。表 2 说明枳橙砧木能够通过叶片吸收硼元素并转运以供植物体再利用，叶施硼在一

定程度上能够缓解硼胁迫，有效地提高叶片中的 B 含量，并提高枳橙的干物质质量。



不同字母表示同一部位差异达到 5%，下同。Different letter means significant at 5% level in the same parts, the same as follows.

图 1 不同施硼方式对枳橙砧木幼苗各部位硼含量的影响 Fig.1 Effects of the different ways of B application on B concentration in different parts of root stock

表 2 不同施硼方式对枳橙砧木每株幼苗(干质量)各部位硼积累量的影响

Table 2 Effects of different ways of B application on B content in different parts of root stock

处理 Treatment	根/μg Root	茎/μg Stem	叶/μg Leaf	总量/μg Whole B	(根/总)/% Root/ Whole B	(茎/总)/% Stem/ Whole B	(叶/总)/% Leaf/ Whole B
CK	2.3b	5.5a	7.6b	15.4c	15.3b	35.6a	46.7b
GB	3.6a	5.7a	9.6b	18.9b	19.0a	30.3b	50.8b
YB	2.1b	5.9a	22.5a	30.4a	6.9c	18.8c	71.6a

### 2.3 不同施硼方式对枳橙砧木各部位 K、Ca、Mg 含量的影响

硼与植物体内的多种元素有着密切的联系，硼缺乏会引起其他元素含量的变化。表 3 表明，施硼能够增加枳橙砧木各部位的 K、Ca、Mg 含量。与

CK 相比，叶施硼(YB)处理各部位元素有所上升，尤其叶片中的元素含量在 3 组处理中最高。与根施硼(GB)处理相比，除叶片中各元素含量显著高于根施硼外，其他部位各元素含量都比根施硼处理低，但仍显著高于 CK 处理。

表 3 不同施硼方式对枳橙砧木各部位 K、Ca、Mg 含量的影响

Table 3 Effects of the different ways of B application on K,Ca and Mg content in different parts of root stock

处理 Treatment	K			Ca			Mg		
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
CK	0.83b	0.73b	1.27c	0.33c	0.49c	0.47c	0.13b	0.10c	0.41c
GB	1.12a	1.02a	1.38b	0.99a	1.03a	0.72b	0.42a	0.28a	0.46b
YB	0.98a	0.76b	1.62a	0.47b	0.65b	1.42a	0.14b	0.12b	0.92a

### 2.4 不同施硼方式对枳橙砧木叶片糖类物质含量的影响

硼元素与植物体内糖的运输有密切的联系。由图 2 可知，2 种施硼方式均对叶片糖类含量产生了影响。2 种施硼方式均有效降低了枳橙叶片中可溶性糖和淀粉的含量。与 CK 相比，叶施硼(YB)处理叶片中可溶性糖含量降低 11.8%；淀粉含量降低 26.1%，达到显著水平。叶片蔗糖含量不同处理之间没有显著差异。

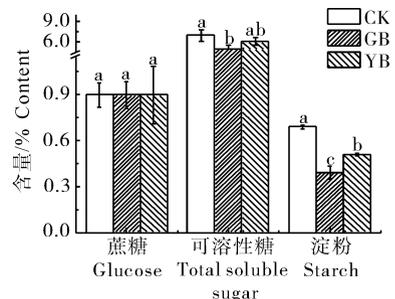


图 2 不同施硼方式对枳橙叶片中糖类物质的影响 Fig.2 Effects of the different ways of B application on carbohydrates content in leaf of root stock

### 2.5 不同施硼方式对枳橙砧木叶片抗逆性的影响

由表 4 可知，施硼处理丙二醛(MDA)、脯氨酸

(Pro)和叶片伤害率的数值较低,其中 2 组施硼处理的 Pro 含量和叶片伤害率与 CK 相比降低显著,但各施硼处理之间没有显著差别。

表 4 不同施硼方式对枳橙叶片抗逆性物质的影响

Table 4 Effects of the different ways of B application on MDA and Pro and injury rate content in leaf of root stock

项目 Item	CK	GB	YB
MDA/( $\mu\text{mol/g}$ )	3.47a	2.92a	3.16a
Pro/( $\mu\text{g/g}$ )	212.72a	133.73b	186.91b
电导率 Conductivity	80.99a	9.87b	9.43b

### 3 讨论

#### 3.1 不同施硼方式对枳橙砧木元素含量的影响

Liu 等<sup>[5]</sup>在枳橙与枳壳砧木上的叶施硼试验表明,纽荷尔脐橙可以通过叶片有效进行硼的吸收利用,但叶施硼显著降低了 2 种砧木根系的硼含量和积累量,可能由于叶施硼后根系减少了对硼的吸收量导致。张君等<sup>[12]</sup>在陆地棉上也有类似结果。本试验中,叶施硼虽然提高了枳橙叶片中的硼含量和硼积累量,却降低了根部的硼含量,加重了根部的缺硼状况;与叶面施硼相比,根施硼枳橙各部位硼含量及积累量增量均匀,对硼素的补充效果较好。

硼与植物体内多种元素含量关系密切。Yamauchi 等<sup>[13]</sup>研究指出,施硼会促进植物对钙的吸收和运输,增加植株中的钙含量。本试验表明,在低硼条件下补充硼元素能明显提高枳橙砧木内的钙含量,原因可能为硼是植物细胞壁的结构物质<sup>[14]</sup>,硼含量的增加使得细胞壁的完整性提高,钙在细胞壁上的结合位点增加所致<sup>[15]</sup>。硼与钾的关系非常复杂,不同条件下两者表现出不同的关系。刘武定等<sup>[16]</sup>对棉花的研究发现,适硼时中量钾促进棉花对硼的吸收,在油菜上也发现硼钾有相互促进的关系。本试验中加硼促进了枳橙各部位的钾含量,叶施硼处理钾含量明显高于 CK,一方面可能为硼能够维持细胞膜完整性从而减少钾离子的渗漏<sup>[17]</sup>,另一方面可能由于硼能激活细胞壁上的 ATP 酶,增加了钾离子的吸收<sup>[18]</sup>。硼与镁的关系在不同的作物中不尽一致。年夫照等<sup>[19]</sup>在甘蓝型油菜上的试验表明,在低硼条件下不同硼效率的油菜硼、镁元素均表现出拮抗作用,且硼低效品种表现更明显,而在柑橘砧木上的镁含量则因缺硼而降低<sup>[20]</sup>。本试验中缺硼降低枳橙砧木各部位的镁含量,施硼使镁含量升高。与 CK 相比,叶面喷硼明显提高了叶片中的 Mg 含量。

#### 3.2 不同施硼方式对叶片糖类及 MDA 等含量的影响

硼在植物体内的重要生理作用之一就是促进碳水化合物运输<sup>[21]</sup>。植物缺硼后叶片增厚,就是大量光合作物运输受阻堆积在叶片中的结果<sup>[22]</sup>。本试验中,CK 处理枳橙砧木叶片中的糖类含量均高于 2 组施硼处理,叶施硼使叶片中可溶性糖和淀粉含量分别降低 11.8% 和 26.1%,有效促进了叶片中光合产物的转运。

硼对保持植物膜系统的稳定性具有重要作用,硼能够通过影响膜的结构和组成来控制膜的通透性,并调节某些重要代谢产物如激素等的跨膜代谢。丙二醛(MDA)含量可以衡量植物膜系统的受伤害程度,在正常细胞中 MDA 含量很少,但一旦植物受到逆境胁迫时,MDA 含量便会上升,MDA 是细胞膜脂过氧化的产物,对细胞有毒害作用<sup>[23]</sup>。脯氨酸(Pro)和电导率也能够反映植物受逆境胁迫的程度,细胞内积累 Pro 是植物应对逆境胁迫、进行渗透调节的主要方式之一<sup>[24]</sup>,渗透液电导率同样能够反映植物细胞的受伤害程度。本试验结果表明,2 种施硼方式都能显著降低 MDA、Pro 的含量和渗透液中电导率,有效降低缺硼对细胞的伤害,叶施硼与根施硼的效果没有显著差异。

#### 参 考 文 献

- [1] 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(3):133-137.
- [2] KAUCH I H, KUMAZAWA K. Anatomical responses of root tips to boron deficiency: III. Effect of boron deficiency on elongation of root tips and their morphological characteristics[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1976, 22: 53-57.
- [3] 王瑞东,姜存仓,刘桂东,等.硼胁迫下植物生理调控机制的研究进展[J].中国农学通报,2011,27(18):12-16.
- [4] 李艳婷,李秀英,肖艳,等.叶面肥的营养机理及应用研究进展[J].中国农业科学,2009,42(1):162-172.
- [5] 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: 123-133.
- [6] SHOKROLLAH H, ABDULLAH T L, SIJAM K, et al. Potential use of selected citrus rootstocks and interstocks against HLB disease[J]. Crop Protection, 2011, 30: 521-525.
- [7] 朱世平,陈娇,刘小丰,等.15 种柑橘砧木出苗期耐盐碱性评价[J].西南大学学报(自然科学版),2014,3(6):47-52.
- [8] 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,2011,4(4):1-3,7.
- [9] 刘桂东,姜存仓,王运华,等.硼对两种不同砧木“纽荷尔”脐橙叶

- 片硼形态影响的差异[J].中国农业科学,2011,44(5):982-989.
- [10] GARCÍA-LUIS A, OLIVEIRA M E M, BORDÓN Y, et al. Dry matter accumulation in citrus fruit is not limited by transport capacity of the pedicel [J]. Annals of Botany, 2002, 90: 755-764.
- [11] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [12] 张君, 危常州, 梁远航, 等. 陆地棉对叶面施硼的吸收和分配[J]. 棉花学报, 2012, 24(4): 331-335.
- [13] YAMAUCHI T, HARA T, SONODA Y. Effects of boron deficiency and calcium supply on the calcium metabolism in tomato plant [J]. Plant and Soil, 1986, 93(2): 223-230.
- [14] CAKMAK I, KURZ H, MARSCHNER H. Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower[J]. Physiologia Planetarium, 1995, 95(1): 11-18.
- [15] DELL B, HUANG L. Physiological response of plant to low boron[J]. Plant and Soil, 1997, 193: 103-120.
- [16] 刘武定, 皮美美, 吴礼树. 棉花硼、钾营养相互关系的研究[J]. 土壤学报, 1987, 24(1): 43-50.
- [17] 王震宇, 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, 11(1): 831-841.
- [18] FERROL N, BELVER A, ROLDAN M, et al. Effects of boron on proton transport and membrane properties of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cell microtomes[J]. Plant Physiology, 1993, 103: 763-769.
- [19] 年夫照, 石磊, 徐芳森, 等. 硼镁营养对不同硼效率甘蓝型油菜品种苗期硼形态的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(6): 633-637.
- [20] 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.
- [21] 肖佳欣, 严翔, 彭抒昂, 等. 赣南华盛脐橙果实发育中几种矿质营养含量动态的研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 134-138.
- [22] 盛鸥, 严翔, 彭抒昂, 等. 纽荷尔脐橙果实发育期叶片不同形态硼含量与缺硼的关系[J]. 园艺学报, 2007, 34(5): 1103-1110.
- [23] 沈洪波, 陈学森, 张艳敏. 果树抗寒性的遗传与育种研究进展[J]. 果树学报, 2002, 19(5): 292-297.
- [24] 杨洪兵, 韩振海, 徐雪峰. NaCl 和等渗聚乙二醇对苹果属植物游离脯氨酸含量的影响[J]. 植物生理学通讯, 2005, 41(20): 157-162.

## Effects of different ways of boron application on the physiologies and biochemistries of Navel orange root stock

LIU Leichao JIANG Cuncang DONG Xiaochang LIU Guidong LU Xiaopei

*Microelement Research Center, Huazhong Agricultural University/Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of Yangtze River), Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China*

**Abstract** Trifoliate orange was used to set the foliar application and root application with  $H_3BO_3$ . The effects of different ways of applying boron on agronomic traits of trifoliate orange, dry matter accumulation, the contents of boron (B), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) in different parts, and contents of the sugar, malondialdehyde (MDA), proline (Pro) and the injured rate in the leaves were studied. The results showed that different fertilization methods led to quite different results. Foliar boron significantly increased dry weight of stem and leaf of trifoliate orange seedling, total dry weight and height, and promoted the growth of root. Concentration of boron in leaves increased by 126.5%. There was 1.3% boron in stems metastasis and accumulation. Foliar applied boron made boron content decrease by 11.1% in trifoliate orange roots. Contents of K, Ca and Mg in leaves under foliar boron were significantly higher than that of CK. Contents of elements were significantly higher by root giving boron than that by foliar boron (except leaf). Contents of sugar, MDA, Pro and injury rates in leaves decreased after applying boron. Foliar boron had a good effect in maintaining the balance of the elements in leaves, carbohydrate synthesis and improving the stress resistance of leaves. It can reduce the content of boron in root and aggravate boron deficiency.

**Keywords** boron; citrus; boron application; foliar application boron; trifoliate orange rootstock; physiological and biochemical characteristics

(责任编辑: 陆文昌)