

叶面喷施硼酸对苹果果实硼和钙含量的影响

魏宗梅, 许雪峰, 李天忠, 王 忆, 孔 瑾, 韩振海*

(中国农业大学果树逆境生理与分子生物学实验室, 北京 100094)

摘 要: 以‘富士’苹果为试材, 通过幼果期、果实膨大期和果实成熟期叶面喷施硼酸, 研究硼对果实硼和钙含量的影响。结果表明: 从叶面喷硼对果实吸收硼的短期效果来看, 果实发育的不同时期叶面喷施硼酸均促进果实对硼、钙的吸收, 并且处理的效果顺序是: 幼果期 > 果实膨大期 > 果实成熟期; 在果实采收时硼含量为: 果实膨大期 > 果实成熟期 > 幼果期。不同时期叶面喷施硼酸均提高了果肉细胞中水溶态硼、半束缚态硼和束缚态硼的绝对含量, 从3种形态硼所占的比例来看, 随着果实不断发育, 水溶态硼和半束缚态硼比例升高, 而束缚态硼比例下降。

关键词: 苹果; 硼; 钙

中图分类号: S 661.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2007) 05-1111-06

Effect of Leaf Application with H_3BO_3 on Boron and Calcium Content in Apple Fruit

WEI Zong-mei, XU Xue-feng, LI Tian-zhong, WANG Yi, KONG Jin, and HAN Zhen-hai*

(Fruit Stress Physiology and Molecular Biology Laboratory of Fruit Tree, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: ‘Fuji’ (*Malus domestica* Borkh.) was used as the material in the experiment. The treatment of experiment was spraying leaves with 0.2% H_3BO_3 at different developing stage of ‘Fuji’ fruit. The contents of calcium and boron could be improved by treatment, that indicated boron could be freely transported by phloem and improved the content of calcium. By the short effect of treatment on boron absorbing, the treatment order was follow, the young fruit stage > the rapid growing phase of the fruit > ripening phase. But the effect of treatment on the ripening phase of fruit, the order was the rapid growing phase of the fruit > ripening phase > the young fruit stage. The contents of boron and calcium of cell wall in fruit could be improved by treatment. The absolute contents of different boron forms in fruit were enhanced by spraying leaves with H_3BO_3 . There are three boron forms that were water soluble boron, semi-bound boron and bound boron. The development of fruit proportion of water soluble boron and semi-bound boron was higher, on the contrary, proportion of bound boron is lower.

Key words: Apple; Boron; Calcium

果树生产中缺硼是比较普遍的现象, 可导致光合速率下降, 坐果率低, 产量和品质下降, 严重时会造成生长点坏死, 果树皱缩甚至死亡。因此, 研究果树对硼的需求以及硼在果树体内的代谢, 对果树生产有重要意义。

硼主要以束缚态的形式, 即硼酸和果胶多糖结合的形式分布在细胞壁中, 特别是在缺硼的条件下, 细胞壁中的硼可占细胞中总量的 98% (Matoh, 1997; 杨玉华 等, 2002a)。水溶态硼主要作为硼的运输形式分布于质外体, 半束缚态硼 (与单糖集合) 为硼的贮存形式。水溶态和半束缚态硼的

收稿日期: 2007-04-23; 修回日期: 2007-08-22

基金项目: 国家‘863’项目 (2006AA10Z1B6); 北京市自然科学基金重点项目 (6021003)

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: rschan@cau.edu.cn)

含量取决于硼的供应水平(杜昌文等, 2002), 具有促进糖运输, 抑制酚类物质形成, 调节气孔开张度, 提高光合速率, 影响植物激素分布等作用(胡桂娟等, 1994)。在苹果和梨上研究发现硼与果实品质呈正相关(陈艳秋等, 2000)。钙可以推迟果实衰老(Ferguson, 1984; Poovaiah, 1993), 提高果实硬度(Poovaiah et al., 1988; Glenn & Poovaiah, 1990), 增强果实对生理病害的抵抗力(Ho, 1999)。因此在生产上采用根外追肥的方式补充硼和钙营养, 是提高产量和改善果实品质的重要措施。

由于硼和钙在吸收、运转以及生理功能上具有许多相似的性质, 因而长期以来硼和钙的关系一直是人们研究的热点。张承林(1994)认为, 在低硼低钙条件下, 油菜中的硼和钙相互间没有明显关联, 当硼和钙达到中等浓度时, 两者存在显著的抑制作用。但也有人认为硼和钙存在相互促进关系(Yamauchi, 1986; 彭青枝等, 1995)。王火焰(1999)认为硼、钙间的相互关系跟硼、钙营养水平和品种关系密切。

多年来我国苹果生产中只重视氮、磷、钾的投入, 忽视了硼、钙元素的使用, 虽然部分果园逐渐开始重视钙的补充, 但由于果树缺硼或补硼不及时, 仍然无法根本解决缺钙的问题(房道亮等, 2006)。由于硼、钙关系对硼的作用比较大, 而硼跟果实品质直接相关, 所以研究硼肥对果实硼、钙元素含量的影响至关重要。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料来自北京市昌平区三合庄园, 富士/八棱海棠(Fuji / *Malus domestica* Borkh.) 14年生树, 树势中庸, 常规栽培管理。

1.2 处理

分别在果实发育的幼果期(5月14日)、果实膨大期(6月18日)、果实成熟期(8月13日)叶面喷施0.2%的硼酸, 以喷施清水为对照。单株小区, 每处理重复3次。

在各个处理后2周, 于树冠的外围中部随机选取10个果实, 带回实验室测定果实中硼和钙的含量。

1.3 果肉中不同形态硼含量的测定

参照杜昌文等(2002)的方法提取果肉中水溶态硼、半束缚态硼和束缚态硼, 用姜黄素比色法测定硼含量(黄伟坤, 1989)。

1.4 细胞壁的提取及硼的测定

参照杨玉华等(2002a)的方法提取细胞壁。将细胞壁在70℃下烘干, 准确称取0.0500 g, 在马弗炉中干灰化, 去离子水定容于25 mL容量瓶中, 用ICP法测定硼的含量。

1.5 果实中钙含量的测定

采用干灰化法处理果实, 使用Z-5000型偏振塞曼原子吸收分光光度计测定钙含量。

2 结果与分析

2.1 不同时期叶面喷施硼酸对苹果果肉中钙和硼含量的影响

在果实发育前期钙含量处于相对较高的水平, 随果实发育其含量下降, 至果实发育的成熟期(8月27日)下降到最低; 至果实采收时(10月8日)钙含量又开始回升(图1)。先下降后升高的总体趋势, 与顾曼如等(1992)的研究结果相同。

在果实不同的发育时期叶面喷施0.2%硼酸处理的结果显示, 除在果实发育中期(7月2日和8月27日), 各处理均极显著提高了果实中钙的含量, 但没有改变钙含量在果实中的变化规律。

果实中硼的含量变化规律类似于钙，也呈现出先下降后升高的趋势，到果实发育的成熟期降到最低，采收时（10月8日）升至最高。

不同时期叶面喷施硼酸处理都极显著提高了果实中硼元素的含量（图1）。幼果期叶面喷施硼酸处理的果实中硼元素的含量是对照的4.05倍，膨大期处理的为对照的2.6倍，成熟期处理的为对照的1.45倍，所以从叶面喷硼对果实吸收硼元素的短期效果来看，吸收由高至低的处理时期顺序是：幼果期、果实膨大期、果实成熟期。

从本试验的结果来看，果实中硼元素含量升高的同时钙的含量也相应升高，在苹果果实中硼、钙元素之间具有相互促进作用，即硼、钙在组织水平上呈正相关。

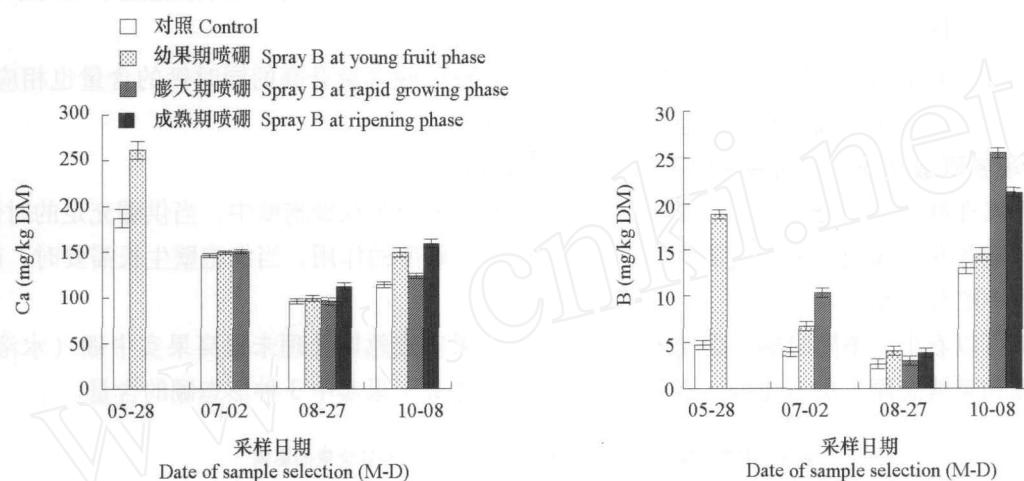


图1 不同时期叶面喷硼对果肉中钙、硼含量的影响

Fig. 1 Effects of leaf application with H_3BO_3 on calcium and boron contents in flesh of apple fruit

2.2 不同时期叶面喷施硼酸对苹果果肉细胞壁中钙和硼含量的影响

果肉细胞的细胞壁中钙元素的含量随果实发育逐渐降低（图2），在幼果期含量较高，到果实膨大期下降幅度最大，果实成熟期降至最低，但跟果实膨大期果肉钙元素含量相比下降幅度较小。

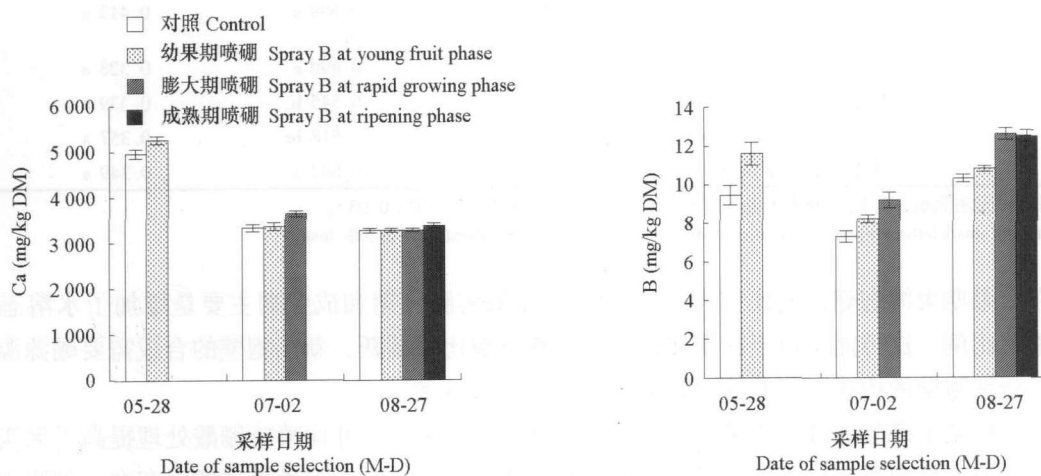


图2 不同发育时期叶面喷硼对果肉细胞的细胞壁中钙、硼元素含量的影响

Fig. 2 Effects of leaf application with H_3BO_3 on calcium and boron contents in cell wall of apple fruit

不同时期叶面喷硼处理均促进了果肉细胞的细胞壁中钙元素的含量,其中幼果期处理,细胞壁中钙元素的含量是对照的 1.06 倍,膨大期处理是对照的 1.09 倍,成熟期处理是对照的 1.01 倍,都极显著高于对照。

由图 2 可以看出,果肉细胞的细胞壁中硼元素含量变化表现出先下降后升高的趋势,这与果肉中硼元素的变化规律不同。在果实发育的幼果期硼元素含量比较高,随着果实的发育含量逐渐降低,但是在果实成熟期时又升到最高。

不同时期叶面喷施硼酸均提高了果肉细胞壁中硼元素的含量,且都达到极显著差异,并且在果实膨大期处理效果最明显,为对照的 1.26 倍。不同时期处理对细胞壁中硼元素含量的影响持续时间较长,如幼果期处理,无论在 5 月 28 日、7 月 2 日还是 8 月 13 日采样,其果肉细胞壁中硼元素含量与对照相比都达到极显著差异。

从果肉细胞的细胞壁中钙、硼吸收规律来看,细胞壁中硼含量升高的同时钙的含量也相应升高,说明硼、钙两元素之间在细胞水平上也具有相互促进作用。

2.3 叶面喷施硼酸处理对苹果果实中不同形态硼的影响

由硼元素在细胞中的分配可知,在缺硼的情况下硼主要分布在细胞壁中,当供硼充足的时候,有相当一部分硼存在于细胞质中。通常认为细胞质起着一个硼库的作用,当细胞壁生长需要时,就可以调用细胞质中贮存的硼。

从表 1 可以看出,不同时期叶面喷施硼酸,除了在果实成熟期处理未提高果实中硼(水溶态硼,半束缚态硼和束缚态硼)的含量外,其余处理都极显著提高了果实中 3 种形态硼的含量。

表 1 不同时期叶面喷硼对苹果果实中硼形态及其含量的影响

Table 1 Effects of leaf application with H_3BO_3 on the water soluble B, semi-bound B and bound B contents of apple fruit

(mg/kg)

采样时期 Sampling date (M - D)	处理时期 Treatment phase	水溶态硼 Water soluble B	半束缚态硼 Semi-bound B	束缚态硼 Bound B
05 - 28	对照 Control	0.299 b	0.347 b	0.433 b
	幼果期 Young fruit phase	0.475 a	0.541 a	0.512 a
07 - 02	对照 Control	0.366 c	0.513 b	0.328 b
	幼果期 Young fruit phase	0.575 a	0.653 a	0.344 b
	膨大期 Rapid growing phase	0.495 b	0.699 a	0.412 a
08 - 27	对照 Control	0.445 b	0.490 c	0.328 a
	幼果期 Young fruit phase	0.451 b	0.545 b	0.339 a
	膨大期 Rapid growing phase	0.528 a	0.518 bc	0.357 a
	成熟期 Ripening phase	0.509 a	0.642 a	0.349 a

注:采用邓肯氏法测验,不同字母表示各处理时期处理间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

Note: Different small letters represent significant difference of different treatment time at 5% level.

果实在幼果期束缚态硼占的比例大约为 40%,而果实膨大期和成熟期主要是增加了水溶态硼和半束缚态硼的比例。这可能是由于在果实幼果期细胞分裂比较活跃,新细胞壁的合成需要硼源源不断的输入用于新细胞壁的构建,因此该时期果实对硼的吸收最多。

从不同时期喷施硼酸处理对 3 种形态硼所占比例的影响来看,叶面喷施硼酸处理提高了果实中水溶态硼和半束缚态硼含量,这可能是果实过量吸收的硼一部分以水溶态的形式暂时存在于细胞内部和细胞之间,此部分硼可能在组织中从高浓度向低浓度运输,以备缺硼组织的短期利用;另一部分则以半束缚态硼形式稳定存在于细胞质中,当细胞壁需要时,就由半束缚态硼转化成束缚态硼,固定在细胞壁上,而当其它部位需要时就转化成水溶态硼,自由运输,及时的让缺硼组织或器官得到补充。

3 讨论

在植物体中水溶态硼(游离态)、半束缚态硼(单糖结合态)和束缚态硼(RG-Ⅱ结合态)存在一种平衡关系(杜昌文等, 2002)。水溶态的硼主要存在于细胞外, 能够在细胞中和细胞间自由移动; 半束缚态硼位于细胞质中, 通常被认为是硼的一种贮存形式, 当新的细胞壁合成时, 能够很快的转化成束缚态的硼, 结合在细胞壁中; 束缚态硼位于细胞壁中, 同钙一起构成细胞壁的组成物质, 如: B-RG-Ⅱ。

本试验中硼的形态随果实发育的不同时期变化较大, 幼果期主要以束缚态硼为主, 果实发育后期主要以水溶态硼和半束缚态硼为主; 基本搞清了果实发育中硼含量和形态变化的时效性。但在一般情况下, 水溶性硼在植物体中的含量很少, 只有在硼供应水平较高的情况下才有一定的积累, 因此水溶性硼的含量可以反映供硼水平(杜昌文等, 2002)。但在果实发育的后期, 果实中积累较多硼的原因及其作用, 是否和糖积累有关, 有待于今后进一步的研究。

对于硼和钙的关系的研究报道, 一直存在争议(Snigaram, 1997)。由于硼、钙都集中分布在细胞壁上(Matoh, 1997; 杨玉华等, 2002b), 并且在它们缺乏时表现出的症状非常相似, 很多报道认为它们之间是一种拮抗关系(Yamauchi, 1986)。但是随着对硼、钙关系的深入研究发现, 两者之间关系比较复杂(张承林, 1994; 彭青枝等, 1995; 王运华和兰莲芳, 1995)。

本试验中不同时期叶面喷施硼酸提高了果肉及果肉细胞壁中硼、钙元素的含量, 特别是幼果期处理显著促进钙的含量, 这主要是由于新生细胞壁的形成同时需要大量的钙和硼, 植物新生器官对二者的需求时期相同。因此, 这一现象虽然不能充分证明硼、钙两元素之间存在相互促进作用, 但可以说明二者之间不存在拮抗作用。

References

- Chen Yan-qiu, Qu Bai-hong, Niu Guang-cai, Dai Zhi-guo. 2000. Seasonal variation regularity of mineral elements content in apple-pear fruits. J. Agricultural Sci. Yanbian University, 22 (2): 109 - 111. (in Chinese)
- 陈艳秋, 曲柏宏, 牛广才, 代志国. 2000. 梨果实矿质元素含量季节变化规律. 延边大学学报, 22 (2): 109 - 111.
- Du Chang-wen, Wang Yun-hua, Xu Fang-sen, Wang Huo-yan. 2002. Study on boron forms and their relationship in rape cultivars with different boron efficiency. Plant Nutri. and Ferti. Sci., 8 (1): 105 - 109. (in Chinese)
- 杜昌文, 王运华, 徐芳森, 王火焰. 2002. 不同硼效率甘蓝型油菜品种中硼的形态及其相互关系. 植物营养与肥料学报, 8 (1): 105 - 109.
- Fang Dao-liang, Jiang Li-zhi, Zhao Peng, Cui Shao-ming. 2006. Effect of bagging apple by boron and the method of adding boron. Yantai Fruit, 96 (4): 42 - 43. (in Chinese)
- 房道亮, 姜丽芝, 赵 鹏, 崔少明. 2006. 硼对套袋苹果的作用及补硼方法. 烟台果树, 96 (4): 42 - 43.
- Ferguson I B. 1984. Calcium in plant senescence and fruit ripening. Plant Cell Environ., 7: 477 - 489.
- Glenn G M, Poovaiah B W. 1990. Calcium mediated postharvest changes in texture and cell wall structure and composition in 'Golden Delicious' apples. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 115: 962 - 980.
- Gu Man-ru, Shu Huai-rui, Qu Gui-min, Jiang Yuan-mao, Miao Liang. 1992. The relationship between fruit quality and mineral element contents in fruit of starking delicious apples. Acta Horticulturae Sinica, 19 (4): 301 - 306. (in Chinese)
- 顾曼如, 束怀瑞, 曲桂敏, 姜远茂, 苗 良. 1992. 红星苹果果实中的矿质元素含量与品质关系. 园艺学报, 19 (4): 301 - 306.
- Ho L C. 1999. The physiological basis for improving tomato fruit quality. Acta Hort., 487 - 492.
- Hu Gui-juan, Liu Jia-fen, Liu Ji-ming. 1994. Effect of photosynthesis by the content of chlorophyll and amylum in apple leaves. Shandong Agri. Sci., 2: 45 - 50. (in Chinese)
- 胡桂娟, 刘嘉芬, 刘寄明. 1994. 苹果叶片叶绿素含量和淀粉滞留量对光合作用的影响. 山东农业科学, 2: 45 - 50.
- Huang Wei-kun. 1989. Test and analysis of food. Beijing: China Light industry Press: 246 - 248. (in Chinese)
- 黄伟坤. 1989. 食品检验与分析. 北京: 中国轻工业出版社: 246 - 248.

- Matoh T. 1997. Boron in plant cell wall. *Plants and Soils*, 193: 59 – 70.
- Peng Qing-zhi, Pi Mei-mei, Liu Wu-ding, Cao Xiang-yun. 1995. A study on the calcium absorption and distribution of two rape cultivars. *J. Huazhong Agri. Uni.*, 21 (Supplement): 103 – 106. (in Chinese)
- 彭青枝, 皮美美, 刘武定, 曹享云. 1995. 芥菜型油菜不同品种钙吸收与分配的差异. *华中农业大学学报*, 21 (增刊): 103 – 106.
- Poovaliah B W. 1993. Biochemical and molecular aspects of calcium action. *Acta Hort.*, 326: 139 – 146.
- Poovaliah B W, Glenn G M, Reddy A S. 1988. Calcium and fruit softening: physiology and biochemistry. *Horticultural Reviews*, 10: 107 – 115.
- Snigaram P. 1997. Calcium and boron interaction studies in tomato grown in a calcareous soil. *Plant nutrition for sustainable food production and environment*, *Plant Physiol.*, 649 – 650.
- Wang Huo-yan. 1999. Study on the mechanism of boron-calcium interaction in rape cultivars (*Brassica napus* L.) with different boron efficiency [Ph. D. Dissertation]. Wuhan: Huazhong Agricultural University. (in Chinese)
- 王火焰. 1999. 不同硼效率甘蓝型油菜品种硼钙相互作用机理研究 [博士论文]. 武汉: 华中农业大学.
- Wang Yun-hua, Lan Lian-fang. 1995. Absorption and distribution of boron in different varieties of rape (*Brassica napus* L.). *J. Huazhong Agri. Uni.*, 21 (Supplement): 83 – 84. (in Chinese)
- 王运华, 兰莲芳. 1995. 甘蓝型油菜品种对缺硼敏感性差异的研究. *华中农业大学学报*, 21 (增刊): 83 – 84.
- Yamauchi T. 1986. Effects of boron deficiency and calcium supply on the calcium metabolism in tomato plant. *Plant and Soil*, 93: 223 – 230.
- Yang Yu-hua, Du Chang-wen, Wu Li-shu, Wang Yun-hua. 2002a. Boron distribution in the cell wall in different boron efficiency rape cultivars (*Brassica napus*). *J. Plant Physiol. and Mole. Bio.*, 28 (5): 339 – 343. (in Chinese)
- 杨玉华, 杜昌文, 吴礼树, 王运华. 2002a. 不同硼效率甘蓝型油菜品种细胞壁中硼的分配. *植物生理与分子生物学学报*, 28 (5): 339 – 343.
- Yang Yu-hua, Wu Li-shu, Wang Yun-hua, Du Chang-wen. 2002b. Effect of boron on suspension cell growth and the wall components of different boron efficient rape cultivars (*Brassica napus*). *J. Hubei Agricultural College*, 22 (4): 289 – 292. (in Chinese)
- 杨玉华, 吴礼树, 王运华, 杜昌文. 2002b. 硼对不同甘蓝型油菜品种悬浮细胞生长及细胞壁组成的影响. *湖北农学院学报*, 22 (4): 289 – 292.
- Zhang Cheng-lin. 1994. The study of relationship between calcium and boron absorption in rape cultivars. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press; 707 – 709. (in Chinese)
- 张承林. 1994. 曲江黄花草油菜钙硼吸收关系的研究. *现代土壤科学研究*. 北京: 中国农业科技出版社: 707 – 709.



欢迎订阅《北方园艺》(月刊)

《北方园艺》创刊于1977年,是由黑龙江省农业科学院主管、黑龙江省园艺学会和黑龙江省农业科学院主办的以科学研究和技术普及相结合的园艺类综合性科技期刊。是中国中文核心期刊、中国农业核心期刊、全国优秀农业期刊和黑龙江省优秀科技期刊。

主要栏目有: 试验研究、专题综述、设施园艺、栽培技术(菜园、果园、瓜园)、园林花卉、生物技术、植物保护、食用菌、贮藏与加工、研究简报等。信息涵盖园艺学的蔬菜、果树、瓜类、花卉、植保等研究的新技术、新品种、新经验。

国内外公开发行,月刊,每月15日出版,大16开本,内文200页,平订,彩四封及内插彩页印刷精美,每册定价6.00元,全年72.00元。

全国各地邮局均可订阅,邮发代号14-150,或直接向编辑部汇款订阅。

地址: 黑龙江省哈尔滨市南岗区学府路368号,黑龙江省农业科学院《北方园艺》编辑部。

邮编: 150086; 电话: 0451-86674276; E-mail: bfybjb@163.com。