

平邑甜茶幼苗生长、根构型及吸收特性的容器调控

范伟国, 杨洪强*

(山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018)

摘要: 以平邑甜茶 [*Malus hupehensis* (Pamp.) Rehd.] 幼苗为材料, 研究了栽培容器形状对幼苗新梢生长、幼苗根构型特征及根系营养吸收特性的影响。结果显示, 生长在“深窄盆”中的幼苗新梢生长量最大, 主根粗, 侧根多且短, 毛细根丰富, 对钙及锌的吸收能力较强, 但根系活力及根系对磷、铁的吸收能力较弱; “等高径盆”中幼苗新梢生长量小, 根冠比接近 1, 主根细短、一级侧根少且粗长, 对钾的吸收能力较强; “浅宽盆”幼苗根冠比最大, 一级侧根数量、长度和粗度居中, 二级侧根粗长, 根系活力及根系对磷、铁的吸收能力较强, 但对钾、钙及锌的吸收能力弱。

关键词: 平邑甜茶; 根构型; 营养吸收; 盆栽容器; 粘土

中图分类号: S 661 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2009) 04-0559-06

Regulation of Container Types on Growth, Root Architecture and Nutrients Uptake of Seedling in *Malus hupehensis* (Pamp.) Rehd

FAN Wei-guo and YANG Hong-qiang*

(College of Horticulture Science and Engineering, State Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: A systematic study was made about the effect of cultural container shapes on root architecture, nutrients uptake by roots and growth of shoots of *Malus hupehensis* (Pamp.) Rehd seedling planted in the different shapes of pottery-pots. The results revealed that when the seedling of *M. hupehensis* (Pamp.) Rehd growing in the pots of deep and narrow, the growth of shoots was the biggest, and primary root was thick, lateral roots was short, the numbers of lateral roots and the fine roots were more. And the root activity and the uptake ability of P and Fe of the roots were low, but the uptake ability of Ca and Zn of the roots was high. When growing in the equal height and diameter pots, the growth of shoots was the smallest, the root-top ratio was close to 1. And primary root was thin and short, first lateral roots were thick and long, and less numbers of the first lateral roots. And the K-uptake ability of the roots was higher. When growing in the shallow and wide pots, the root-top ratio was the biggest, and the numbers, thickness and length of first lateral roots were between that in deep-narrow pots and in equal highness and diameter pots, second lateral roots were thick and long. And the root activity and the uptake ability of P and Fe of the roots produced in shallow-wide pots were higher, but the uptake ability of K, Ca and Zn of the roots was lower.

Key words: *Malus hupehensis* (Pamp.) Rehd; root architecture; nutrients uptake; container type; clay soil

根构型指根系的结构及空间造型。在拟南芥等一年生植物上发现, 通过优化根构型能够改善植物对土壤营养的吸收能力 (Ma et al, 2001; Linkohr et al, 2002; Al-Ghazi et al, 2003; Jose et al, 2003)。对于果树来说, 根构型类似果树树型, 通过整形修剪等措施塑造适宜的树型, 能够有效利用

收稿日期: 2008 - 12 - 09; 修回日期: 2009 - 03 - 03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30571285, 30671452); 教育部留学回国人员科研启动基金项目

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

光能、提高果树产量和质量, 而通过一定的措施塑造适宜的根构型, 对于有效利用土壤营养、促进果树水分和营养元素吸收进而提高果树产量和质量有重要价值 (范伟国和杨洪强, 2006, 范伟国等, 2007)。尽管果树根构型还没有引起人们的足够重视, 但生产中已经应用了许多调控根构型的技术, 如根系修剪、定向施肥和各种限根技术等 (杨洪强等, 2001, 2002)。

主根和侧根的数量、长度、直径及侧根级次等是描述根构型的重要参数, 它们对根域环境、营养条件等因素非常敏感 (Ma et al, 2001; Fan & Yang, 2007; 杨洪强和束怀瑞, 2007)。容器为栽培植物根系的生长提供了特定的根域环境, 人们在根域限制研究中发现, 根域空间 (体积) 对根系生长、新梢生长、树冠体积和产量等均有明显影响 (Rieger & Marra, 1994; 杨洪强等, 2001; 方金豹等, 2005)。除特定的根域空间外, 容器也有特定的形状, 但容器的形状对植物生长发育、营养吸收等的影响, 目前还不清楚。平邑甜茶是湖北海棠 [*Malus hupehensis* (Pamp.) Rehd.] 的一个类型, 具有高度无融合生殖能力, 常用作苹果砧木, 而砧木实生幼苗的根构型特征是形成成年苹果树根构型的基础。

本研究中以平邑甜茶幼苗为试材, 探讨盆栽容器形状对其生长、根构型参数及营养吸收的影响, 旨在塑造适宜的根构型, 改善养分吸收提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验在山东农业大学园艺试验站日光温室内进行。试验材料为根形态基本一致的 5~6 叶苗龄的 1 年生平邑甜茶 [*Malus hupehensis* (Pamp.) Rehd.] 幼苗。选用 3 种容积相近但高和直径不同的陶盆进行容器类型 (形状) 处理: 深窄盆 (DN-pot), 高 35 cm, 直径 15 cm; 浅宽盆 (SW-pot), 高 10 cm, 直径 30 cm; 等高径盆 (EHD-pot), 高和直径均 20 cm。试验时每种陶盆中加入等体积 ($5\ 650\ \text{cm}^3$) 的粘壤土。粘壤土有机质含量为 0.98%, 碱解氮含量 $52.7\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷含量 $29.6\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾含量 $83.3\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2005 年 1 月将幼苗移栽至上述陶盆中, 每盆栽植 2 株, 3 盆为一个处理, 3 次重复。各处理按统一方式进行日常管理, 同年 9 月取样分析。

1.2 试验指标测定与数据处理

用氯化三苯基四氯唑 (TTC) 还原法 (张雄, 1982) 测定单位根系活力, 最后折算成整株根系的根系活力。

营养吸收速率参考韩振海等 (1995) 的方法并作一定变化, 测定营养液中的各营养离子浓度为 Hoagland 营养液减半, 吸收营养液体积为 500 mL。分别在植株转入营养液后的 1、2、5、11、24 h, 取样测定营养液中磷、钾、钙、铁和锌元素的含量。磷含量采用钼锑抗法 (张志良和瞿伟菁, 2003) 测定; 钙、钾、铁、锌含量采用原子吸收分光光度计测定。

各处理每次取样 5 mL。试验重复 3 次。

根构型参数的测定: 用千分尺测量主、侧根粗度, 用米尺测量主、侧根长度; 用 WinRHIZO 软件协助测量各级侧根及毛细根数量 (根直径小于 0.25 mm 的所有根系的总称)。根冠比通过根系质量/地上部质量计算。

所有数据经过 SAS 数据分析软件处理, 多重比较采用 LSR 法 (Duncan's 法)。

2 结果与分析

2.1 盆栽容器对平邑甜茶幼苗新梢生长和根冠比的影响

“深窄盆”中生长的植株新梢粗、长、叶片多; “等高径盆”中的新梢细、短、叶片少; 而“浅

宽盆”中的居中。“浅宽盆”中生长的植株的根冠比最大,“深窄盆”中的次之,“等高径盆”中的最小(表1)。

结果表明,“深窄盆”和“浅宽盆”中生长的平邑甜茶幼苗用于根系建造的物质比率相对较高,而“等高径盆”中的根系与地上部生长所占物质比值相近。

表1 盆栽容器对平邑甜茶幼苗新梢生长及根冠比的影响

Table 1 Effects of pot-containers on growth of shoots and the root-top ratio of seedling

容器类型 Container type	地上部 Above-ground part			根冠比 Root-top ratio
	茎粗 /cm Thick	株高 /cm Height	叶片数 Leaf number	
	深窄盆 Deep-narrow pot	0.501 Aa	43.6 Aa	17.4 Aa
浅宽盆 Shallow-wide pot	0.447 ABab	33.9 Bb	14.6 Bb	1.30 Aa
等高径盆 Equal highness and diameter pot	0.391 Bb	31.2 Bb	12.3 Bc	1.01 Bb

注:每列大小写字母分别表示0.01和0.05水平的显著性差异。下同。

Note: Capital letters and small letters in each column indicate significance at $P < 0.01$ and $P < 0.05$ respectively. The same below.

2.2 盆栽容器对平邑甜茶幼苗根构型参数的影响

2.2.1 主根

“深窄盆”中生长的平邑甜茶幼苗主根最粗,“等高径盆”中的最细,“浅宽盆”中的居中;“浅宽盆”中生长的植株主根较长,“深窄盆”中的次之,“等高径盆”中的较短(表2)。

表2 盆栽容器对平邑甜茶幼苗根构型参数的影响

Table 2 Effects of pot-containers on the parameters of root architecture of seedling

容器类型 Container type	主根 Primary root		一级侧根 First lateral roots			二级侧根 Second lateral roots			毛细根数量 / $\times 10^3$ Number of fine roots	根活力 / (TIC $\text{mg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot$ plant^{-1}) Root activity
	粗度 /cm Thick	长度 /cm Length	粗度 /cm Thick	长度 /cm Length	数量 Number	粗度 /cm Thick	长度 /cm Length	数量 Number		
	深窄盆 Deep-narrow pot	0.666 Aa	61.4 a	0.151 a	14.9 Bc	13.0 Aa	0.070 a	8.1 a	10.1 Aa	81.2 A
浅宽盆 Shallow-wide pot	0.602 ABa	63.9 a	0.159 a	22.7 ABb	8.9 Bb	0.079 a	12.8 a	4.6 Bb	67.6 B	910.4 a
等高径盆 Equal highness and diameter pot	0.528 Bb	53.6 a	0.167 a	32.0 Aa	5.7 Bc	0.055 a	10.5 a	5.8 Bb	48.8 C	860.1 ab

2.2.2 一级侧根

由表2可见,“深窄盆”中生长植株的一级侧根数量最多,“浅宽盆”中的居中,“等高径盆”中的最少;“等高径盆”中植株的一级侧根最粗、最长,“浅宽盆”中的居中,“深窄盆”中的最细、最短。

2.2.3 二级侧根

表2还显示,“深窄盆”中植株的二级侧根数量最多,“等高径盆”和“浅宽盆”中的数量接近;“浅宽盆”中植株的二级侧根粗、长,“等高径盆”中的二级侧根较细、长度居中,而“深窄盆”中二级侧根较短、粗度居中。

2.2.4 毛细根数量

“深窄盆”中平邑甜茶幼苗毛细根数量最多,“浅宽盆”中的次之,“等高径盆”中的最少(表2)。

2.3 盆栽容器对平邑甜茶幼苗根系活力的影响

“浅宽盆”中平邑甜茶幼苗根系活力最大，“等高径盆”中的根系活力次之，而“深窄盆”中的根系活力最小（表2）。这说明，“浅宽盆”中平邑甜茶幼苗根系主动吸收养分的能力较强，“等高径盆”中的次之，“深窄盆”中根系吸收养分的能力较弱。

2.4 盆栽容器对平邑甜茶幼苗根系养分吸收的影响

平邑甜茶幼苗根系对介质中磷的吸收速率为“浅宽盆”中的较高，“等高径盆”中的居中，“深窄盆”中的较低（图1，A）。这说明“浅宽盆”中的平邑甜茶幼苗根系对介质中磷的吸收能力强，而“深窄盆”中的植株对磷的吸收利用能力较弱，“等高径盆”中的居中。

图1，B显示，“深窄盆”中生长的平邑甜茶幼苗对介质中钾的吸收能力5h之前较高，之后较低；“等高径盆”中植株对钾的吸收能力前2h内较高，之后与“浅宽盆”中的相近。

3种容器中生长的平邑甜茶幼苗根系对介质中钙的吸收速率，2h内为“深窄盆”中的较高、“等高径盆”中的次之、“浅宽盆”中的最低；而5~24h内钙的吸收速率基本一致（图1，C）。这说明不同容器处理的根系对钙的吸收能力在2h内有较大的差异，“深窄盆”中根系对钙的吸收能力强，“浅宽盆”中根系钙吸收能力较弱，“等高径盆”中的居中。

平邑甜茶幼苗根系对介质中铁的吸收速率为“浅宽盆”中的较高，“等高径盆”中的次之，“深窄盆”中的最低（图1，D）。

3种容器中平邑甜茶幼苗根系对介质中锌的吸收速率表现为“深窄盆”中的较高，“浅宽盆”中的较低，“等高径盆”中的居中（图1，E）。

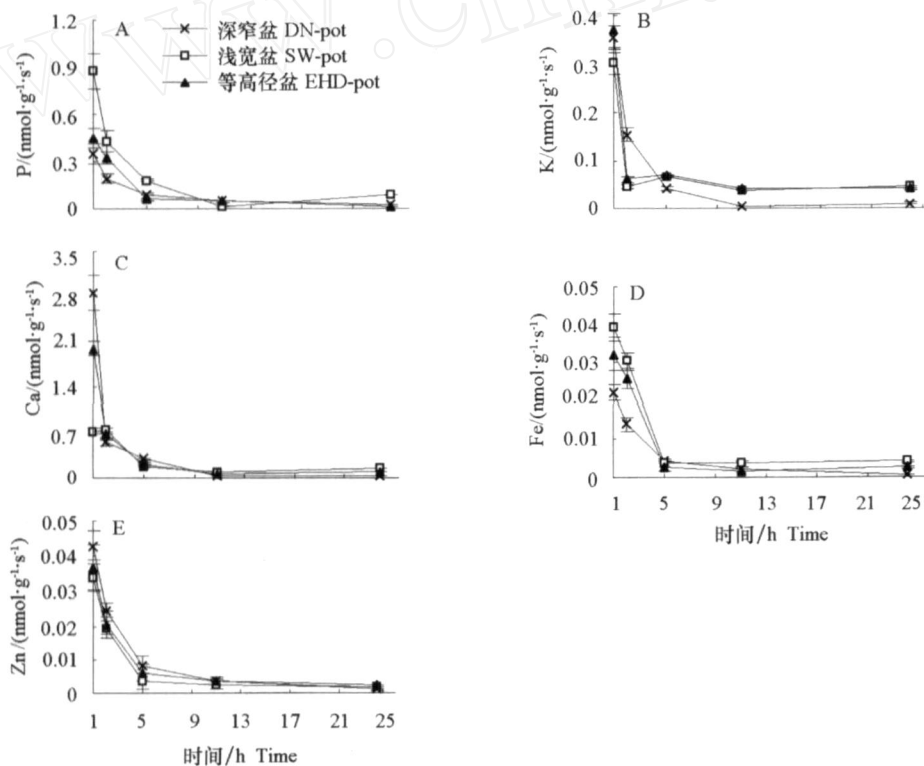


图1 盆栽容器对平邑甜茶幼苗根系营养元素吸收速率的影响

Fig. 1 Effects of pot-containers on nutrients-uptake rate of the roots of seedling in *Malus hupehensis* (Pamp.) Rehd tree

3 讨论

根系活力是用呼吸代谢中脱氢酶的活性衡量的,反映的是需要呼吸作用提供能量的“主动吸收”能力(张雄,1982)。由于“深窄盆”土层较深厚,土壤通气性比较差,加之粘土本身通气性就比较差,难以充分满足呼吸代谢对氧气的需求,因此,“深窄盆”中幼苗根系活力在3种容器中最低(表2),亦即“主动吸收”能力最低。但“深窄盆”中幼苗侧根数量和毛细根数量增多,能够增加根系吸收表面积,相当于提高了依赖吸收表面积的“被动吸收”能力,这可弥补“主动吸收”的不足,更好地利用根围土壤的养分;同时幼苗主根变得粗长(表2),而粗长的主根利于根系垂直分布,有利于吸收和利用深层土壤的养分,这说明“深窄盆”中根系特征的变化与其环境特点是相适应的。

“浅宽盆”的深度虽然比较浅,但由于幼苗生长量比较小,根系生长尚没有受到盆的限制,主根仍然比较粗长;同时由于盆的横向空间宽阔,有利于根系在水平方向拓展,侧根也比较长,这样不论主根生长量还是侧根生长量都比较大,从而使“浅宽盆”中的幼苗“根冠比”在3种容器中最大(表1),这也表明“浅宽盆”利于幼苗根系的生长。粘土通气性差,但“浅宽盆”土层浅、土壤表面宽阔,暴露于空气中的土壤相对较多,这在一定程度上可克服粘土通气性差的缺陷,因此,“浅宽盆”中幼苗根系长的最好。同时,良好的通气状况也利于根系活力的提高,事实也正如表2所显示的,“浅宽盆”中的幼苗根系活力最高。

虽然“等高径盆”的直径和高度介于“深窄盆”与“浅宽盆”之间,但是“等高径盆”中的幼苗新梢生长量和根系生长量并不介于两者之间,而是最小,这说明“等高径”的土壤空间不一定是植株根系最适宜的生长空间。平邑甜茶主根明显,幼苗主根会优先“纵向垂直生长”,当主根发育到一定程度才会有侧根的产生(杨洪强和束怀瑞,2007)。“深窄盆”深度大,更适合幼苗“纵向垂直生长”,有利于幼苗的生长发育(表1)。但由于土壤深层通气性的限制,“深窄盆”中幼苗根系生长比通气性好的“浅宽盆”中幼苗稍低一些。

尽管土壤质地对根构型也有较大的影响,比如粘土使根变短(李笃仁等,1982),沙土使根变长(杨林丰和钟南,2007)、侧根减少且易形成网状吸收根(杨洪强和束怀瑞,2007)等。但本研究是在相同的粘土条件下进行的,并且3种容器的土壤体积完全一样,幼苗根型和吸收特性的变化实际是容器形状与粘土相结合的结果。当然,如果容器形状与其他类型土壤相结合时,幼苗根构型和吸收特性将会呈现新的变化,比如,将粘土换成沙土,“深窄盆”深层土壤通气性会得到改善,幼苗主根可能会更长一些、侧根数量也会更多一些。但在本试验条件下,“深窄盆”中的幼苗主根长度和侧根数量均已是最高,粘土换成沙土也只是根系“量”的改变,根构型结构不会有太大变化。同时,只有在容器体积足够大、根系生长不受容器空间限制时,土壤类型才会起主导作用;当容器体积比较小、根系生长明显受容器空间限制时,根构型则主要受容器形状控制,本研究所用容器体积就比较小,对根构型影响起主导作用应当是容器形状。

References

- Al-Ghazi Y, Muller B, Pinboche S, Tranbarger T J, Nacry P, Rossingol M, Tardieu F, Doumas P. 2003. Temporal responses of *Arabidopsis* root architecture to phosphate starvation: Evidence for the involvement of auxin signaling. *Plant, Cell and Environment*, 26 (7): 1053 - 1066.
- Fan Wei-guo, Yang Hong-qiang. 2007. Nutrient deficiency affects root architecture of young seedlings of *Malus hupehensis* (Pamp.) Rehd. under conditions of artificial medium cultivation. *Agricultural Sciences in China*, 6 (3): 296 - 303.
- Fan Wei-guo, Yang Hong-qiang. 2006. Root system architecture and the relations to nutritional status and plant growth hormone in fruit trees. *Journal of Fruit Science*, 23 (4): 322 - 325. (in Chinese)
- 范伟国, 杨洪强. 2006. 果树根构型及其与营养和激素的关系. *果树学报*, 23 (4): 322 - 325.
- Fan Wei-guo, Yang Hong-qiang, Han Xiao-jiao. 2007. Changes of root architecture and phosphorus uptake by roots of *Malus hupehensis* (Pamp.)

- Rehd under the condition of phosphorus-deficiency. *Acta Horticulturae Sinica*, 34 (6): 1341 - 1346. (in Chinese)
- 范伟国, 杨洪强, 韩小娇. 2007. 低磷胁迫下平邑甜茶根构型与磷吸收特性的变化. *园艺学报*, 34 (6): 1341 - 1346
- Fang Jin-bao, Gu Hong, Chen Jin-yong, Tian Li-li, Zhang Wei-yuan. 2005. Effects of restricted root volume on growth and development of young peach trees. *Scientia Agricultura Sinica*, 39 (4): 779 - 785. (in Chinese)
- 方金豹, 顾红, 陈锦永, 田莉莉, 张威远. 2005. 根域限制对幼年桃树生长发育的影响. *中国农业科学*, 39 (4): 779 - 785.
- Han Zhen-hai, Wang Yong-zhang, Sun Wen-bin. 1995. Iron absorption kinetics for Fe-efficient vs -inefficient species in *Malus*. *Acta Horticulturae Sinica*, 22 (4): 313 - 317. (in Chinese)
- 韩振海, 王永章, 孙文彬. 1995. 铁高效及低效苹果基因型的铁离子吸收动力学研究. *园艺学报*, 22 (4): 313 - 317.
- Jose L B, Alfredo C R, Luis H E. 2003. The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Current Opinion in Plant Biology*, 6 (3): 280 - 287.
- Li Du-ren, Gao Xu-ke, Wang De-shui. 1982. The effects of soil compaction on root growth. *Chinese Journal of Soil Science*, (3): 20 - 22. (in Chinese)
- 李笃仁, 高绪科, 汪德水. 1982. 土壤紧实度对根系生长的影响. *土壤通报*, (3): 20 - 22
- Linkohr B I, Williamson L C, Fitter A H, Leyser H M O. 2002. Nitrate and phosphate availability and distribution have different effects on root system architecture of *Arabidopsis*. *Plant Journal*, 29: 751 - 760.
- Ma Z, Walk T C, Marcus A, Lynch J P. 2001. Morphological synergism in root hair length, density initiation and geometry for phosphorus acquisition in *Arabidopsis thaliana*: A modeling approach. *Plant Soil*, 236: 221 - 235.
- Rieger M, Marra F. 1994. Responses of young peach trees to root confinement. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 119: 223 - 228.
- Yang Hong-qiang, Li Lin-guang, Jie Yu-ling. 2001. Root restriction of horticultural plant and its application. *Acta Horticulturae Sinica*, 28 (supplement): 705 - 710. (in Chinese)
- 杨洪强, 李林光, 接玉玲. 2001. 园艺植物的根系限制及其应用. *园艺学报*, 28 (增刊): 705 - 710.
- Yang Hong-qiang, Jie Yu-ling, Zhang Lian-zhong, Cui Ming-gang, Luo Xin-shu. 2002. Effects of root pruning and shoot pruning on water use efficiency of apple leaves. *Acta Horticulturae Sinica*, 29 (3): 197 - 202. (in Chinese)
- 杨洪强, 接玉玲, 张连忠, 崔明刚, 罗新书. 2002. 断根和剪枝对盆栽苹果叶片光合蒸腾及 WUE 的影响. *园艺学报*, 29 (3): 197 - 202.
- Yang Hong-qiang, Shu Huai-rui. 2007. Studies on apple roots. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 杨洪强, 束怀瑞. 2007. 苹果根系研究. 北京: 科学出版社.
- Yang Lin-feng, Zhong Nan. 2007. The relationship between root system growth and soil physical property. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 8: 22 - 24. (in Chinese)
- 杨林丰, 钟南. 2007. 根系生长与土壤物理性状之间的关系. *农机化研究*, 8: 22 - 24.
- Zhang Zhi-liang, Qu Wei-jing. 2003. The experimental guide for plant physiology. Beijing: Higher Education Press: 23 - 25. (in Chinese)
- 张志良, 瞿伟菁. 2003. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社: 23 - 25.
- Zhang Xiong. 1982. The determination and application of TTC to root and pollen activity of wheat. *Plant Physiology Communications*, 18 (3): 48 - 50. (in Chinese)
- 张雄. 1982. 用 TTC (红四氮唑) 法测定小麦根和花粉活力及其应用. *植物生理学通讯*, 18 (3): 48 - 50.