

# 磷与 VA 菌根真菌对小金海棠苹果苗生长及营养的影响

王春梅<sup>1</sup> 韩振海<sup>1\*</sup> 李晓林<sup>2</sup> 许雪峰<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国农业大学园艺学院园艺植物研究所, 北京 100094; <sup>2</sup> 中国农业大学资环学院植物营养系, 北京 100094)

**摘 要:** 采用隔网分室盆栽装置, 研究了 P 不同水平下, 接种 VA 菌根真菌 [*Glomus versiforme* (Karsten) Berch.] 对小金海棠 (*Malus xiaojinensis* Cheng et Jiang) 实生苗生长及 P、Fe、Zn、Cu 营养状况的影响。结果表明, 菌根真菌的侵染能显著增加小金海棠实生苗的生长量, 改善宿主植物的 P 营养。虽然小金海棠菌根苗地上部及根部 Fe 含量因边室施加 P 肥明显降低, 但其 Fe 的吸收量明显增加, 且在施 P 50 mg kg<sup>-1</sup> 的水平 (P<sub>1</sub>) 下达最大值。菌根真菌的侵染增加了小金海棠苗对 Zn 和 Cu 元素的吸收。

**关键词:** 小金海棠; VA 菌根真菌; 矿质元素

**中图分类号:** S 661.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2001) 01-0001-06

VA 菌根真菌具有促进作物生长, 改善营养状况, 特别是 P 营养状况的作用。这一效应在苹果实生苗上已得到广泛证实<sup>[1~5]</sup>。但是, 关于菌根真菌对苹果其他营养元素影响的报道很少, 且研究结果间一致性差。安志强<sup>[6]</sup>认为菌根真菌使苹果 (*Malus micromalus* Mak) 实生苗根系内的 Fe 含量增加, 但对地上部的 Fe 含量没有影响; Mosse<sup>[7]</sup>报道, 接种菌根真菌极显著地提高了苹果实生苗 Fe 的含量; 刘润进<sup>[8]</sup>发现, 施加 K 肥、P 肥降低了湖北海棠菌根苗根部 Fe 的含量。因此, 有关 VA 菌根真菌对苹果生长及营养状态的效应尚需进行大量试验研究, 以便为 VA 菌根在果树生产上的应用奠定理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 培养装置与供试土壤

采用隔网分室装置<sup>[9]</sup>, 在长宽高为 12 cm × 8 cm × 8 cm 的有机玻璃培养盒内, 距两边各 5.25 cm 处粘贴孔径 30 mm (此孔径只允许菌丝穿过, 而根不能穿过) 的尼龙网, 使该栽培盒分为宽高相同、长分别为 5.25 cm (A)、1.5 cm (B)、5.25 cm (C) 3 个内室。

供试土壤为采自北京市大兴县庞各庄乡的砂壤土。土壤 pH 7.8, 有机质含量 3.9%, 全 N 0.027%, 速效 P (Olsen-P) 3.9 mg kg<sup>-1</sup>, 速效 K 60.4 mg kg<sup>-1</sup>。土壤过 1 mm 筛后经 121 °C 高压蒸汽灭菌 2 h, 晾干备用。

收稿日期: 2000 - 06 - 01; 修回日期: 2000 - 10 - 17

基金项目: 北京市自然科学基金性研究实验室“果树逆境生理研究实验室”资助项目 (1970103)

\*通讯作者 (Author for correspondence)。

## 1.2 试验材料与试验处理

供试植物为小金海棠 (*Malus xiaojinensis* Cheng et Jiang)。种子经层积 (4 ) 露白后, 播种于中室, 每室 8 粒种子。待苗出齐后间苗, 每室留苗 3 株。

供试菌种为 *Glomus versiforme* (Karsten) Berch., 经三叶草繁殖, 含真菌孢子。根外菌丝感染的植物根系及盆栽土壤的混合物作接种剂。

A、C 两边室施入等量的 Fe、Cu、Zn 肥 (表 1)。各种肥料均以溶液形式混入供试土壤, 拌匀、过筛后装盆。中室装 120 g, 边室装 400 g。装好后覆盖一层石英砂防止水分蒸发。在 A、C 两边室设置 0、50、200 mg · kg<sup>-1</sup> 3 个施 P 水平处理, 即 P<sub>0</sub>、P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>。幼苗种植在中室, 设接种 (+M) 和不接种 (-M) 菌根真菌处理。接种处理是将 12 g 接种剂和 108 g 供试土壤混匀装入菌根处理的中室, 不接种处理 (对照) 则在中室加入相应数量经灭菌处理的接种剂。试验中的 6 个处理采用随机区组排列, 每处理重复 3 次。

试验在实验室内进行, 整个试验期间温度为 15 ~ 30 ; 光照时间为每天 12 h, 用荧光灯补充光照, 光量子通量密度为 560 mmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>; 隔网分室中的土壤水分保持田间持水量。在植物生长期分两次补充 N (200 mg · kg<sup>-1</sup>) 和 K (150 mg · kg<sup>-1</sup>), 以保持苗木正常生长。

## 1.3 测定方法

生长期间计测小金海棠实生苗的真叶数, 收获时测定苗株高, 干径、地上部和地下部的鲜样质量、干样质量; 而后干样磨细, 用于矿质元素测定。P 用钒钼黄比色法测定; Fe、Zn、Cu 用原子吸收光谱法测定。

菌根浸染率的测定: 称取 0.5 g 鲜根样, 用直线方格交叉法测定<sup>[10]</sup>。

菌丝吸收量 = 被菌根真菌侵染的苗木的元素含量 - 对照苗木的元素含量。

菌丝贡献率 (%) = (菌丝吸收的元素量 / 植株吸收的元素量) × 100。

菌丝贡献率增幅 (%) = [(P<sub>1</sub> 或 P<sub>2</sub> 的菌丝贡献率 - P<sub>0</sub> 的菌丝贡献率) / P<sub>0</sub> 的菌丝贡献率] × 100。

## 2 结果与分析

### 2.1 VA 菌根真菌对小金海棠生长的影响

如表 2 所示, 接种处理的小金海棠根系均被侵染, 侵染率为 37.7 % ~ 44.9 %。而对照苗皆未被侵染。

在边室不施加 P 肥时, 与对照相比, 菌根化的幼苗干径和地上部干样质量显著增加, 但真叶数不受影响。而当边室施加 P 肥时, 菌根苗除株高增加未达显著水平外, 其它生长指标均显著高于对照; 在 P<sub>2</sub> 水平下生长量达最高值。说明菌根真菌的侵染能明显促进小金海棠的生长; 且菌根真菌对 P 的反应敏感, 施加 P 肥能明显增加菌根苗的生长量。

表 1 底肥养分种类及用量

Table 1 Types and amounts of the nutrients applied in the experimental pots

养分 (种类) Nutrients (Type)	边室 (A、C) Side apartment of the pot (mg · kg <sup>-1</sup> )	中室 (B) Mid apartment of the pot (mg · kg <sup>-1</sup> )
N (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )	200	200
Mg (MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O)	50	50
K (K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	150	150
Zn (ZnSO <sub>4</sub> )	10	0
Cu (CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O)	10	0
Fe (FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O)	50	0

表 2 VA 菌根真菌对小金海棠苗生长的影响

Table 2 Effects of VA mycorrhizae on growth of the *M. xiaojinensis*

处 理 Treatment	侵染率 Infection (%)	真叶数/株 No. leaves /plant	株 高 Seedling height (cm)	干 径 Seedling diameter (mm)	干样质量 Dry mass (g/ pot)		
					地 上 部 Above-ground parts	根 部 Root systems	总 合 Total
P <sub>0</sub> + M	43.0	6 c	2.6 ab	2.6 b	0.86 c	1.03 ab	1.89 b
P <sub>0</sub> - M	0	5 c	2.6 ab	1.7 c	0.39 d	0.40 b	0.79 b
P <sub>1</sub> + M	44.9	9 b	2.9 ab	3.0 ab	1.20 b	2.44 a	3.64 a
P <sub>1</sub> - M	0	5 c	2.4 b	1.4 c	0.26 d	0.19 b	0.46 b
P <sub>2</sub> + M	37.7	10 a	3.5 a	3.4 a	1.65 a	2.23 a	3.88 a
P <sub>2</sub> - M	0	5 c	2.6 ab	1.4 c	0.35 d	0.25 b	0.60 b

注:表中不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著; P<sub>0</sub>、P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub> 分别代表施 P 为 0、50、200 mg kg<sup>-1</sup>; +M、-M 分别代表接种、不接种菌根真菌。下同。

Note: Data in the tables in this paper marked with different letter mean significant differences at P = 0.05; P<sub>0</sub>, P<sub>1</sub> and P<sub>2</sub> represent 0, 50 and 200 mg kg<sup>-1</sup> of P applications, while +M and -M mean inoculation or not with the mycorrhizae, respectively.

## 2.2 VA 菌根真菌对小金海棠地上部及根部矿质元素含量的影响

从图 1 可见,与未接种对照各处理相比,菌根真菌的侵染明显增加了小金海棠地上部及根部的 P 含量。在边室不施 P 肥的情况下,地上部 P 含量增加未达显著水平;而当边室(菌丝室)施 P 肥及 P 肥量增加时,菌根苗地上部及根部所含的 P 几乎成比例增加。说明菌根真菌的菌丝能穿过隔网,吸收养分供给宿主植物,改善了宿主植物的 P 营养状况。

在不同 P 水平下,菌根真菌的侵染皆明显降低了幼苗地上部及根部的 Fe 含量;但同

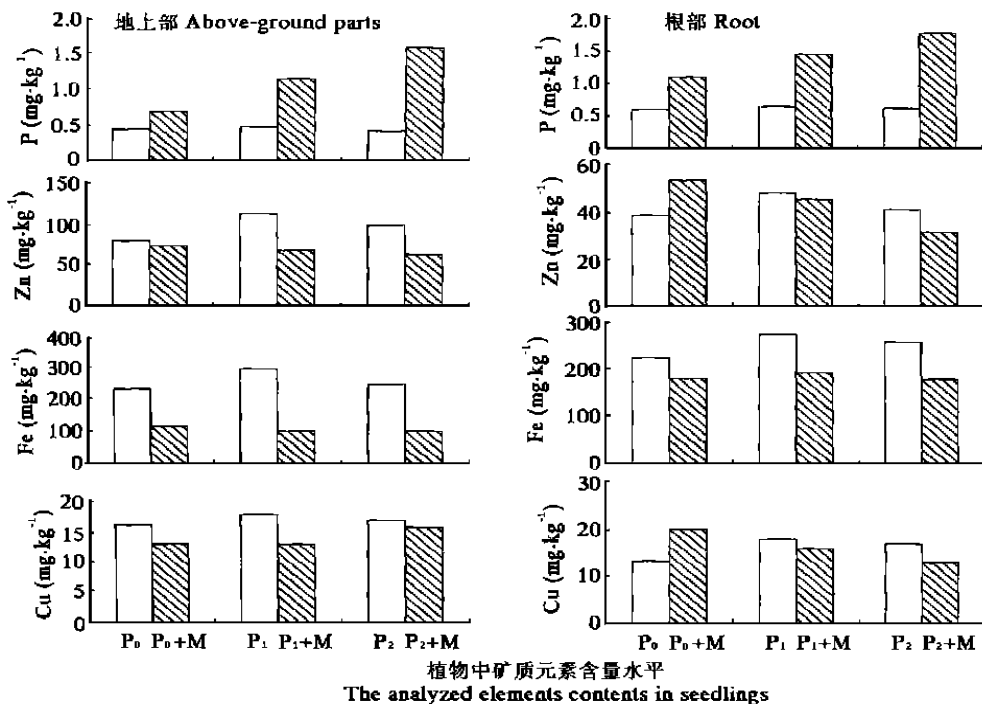


图 1 VA 菌根对小金海棠苗地上部和根部矿质元素含量的影响

Fig. 1 Effects of *G. versiforme* on contents of mineral elements in *M. xiaojinensis*

为菌根侵染苗, 其植株内 Fe 的含量不受边室施 P 量的影响。

除  $P_0$  水平下菌根苗根部 Zn 含量显著增加,  $P_1$  水平下地上部 Zn 含量显著降低外, 不同 P 水平、菌根真菌侵染与否对小金海棠 Cu、Zn 含量及其在地上部、根部的分布皆无显著的影响。

### 2.3 VA 菌根真菌对小金海棠矿质元素吸收量的影响

图 2 表明, 无论施用磷肥与否, 菌根苗吸收 Cu、Zn 的量皆显著增加。在不施 P 的情况下, 菌根苗对 P 和 Fe 的吸收量虽未与对照间达显著水平, 但增加较明显。随着施 P 量的增加, 菌根苗吸收 P 的量显著增加, 由  $P_0$  的 1.6 mg/盆增加到  $P_2$  时的 7.4 mg/盆。对 Fe 的吸收量也因 P 的施用而明显增加, 尤其是根部的吸收量达显著水平。在  $P_1$  水平下菌根苗对 Fe、Cu、Zn 的吸收量达最大值; 菌根苗的根对 P、Fe、Cu 的吸收量比地上部高。

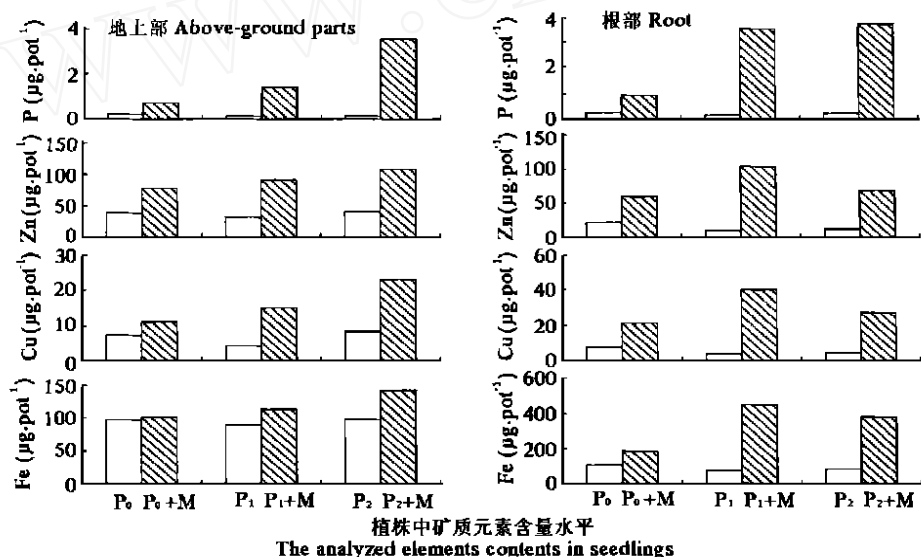


图 2 VA 菌根真菌对小金海棠苗地上部和根部矿质元素吸收量的影响

Fig. 2 Effects of *G. versiforme* on absorption amounts of mineral elements in *M. xiaojinensis*

### 2.4 菌根真菌根外菌丝的吸收量及贡献率

如表 3 所示, 边室施加 P 肥能够明显增加小金海棠苗地上部各测试元素的菌丝吸收量, 并随施肥量的增加, 菌丝吸收量明显增加。菌丝对 Zn 和 Fe 的吸收量与施 P 量关系密切, 施 P 处理与不施 P 对照间在菌丝对 Zn 和 Fe 吸收量上差异显著。至于菌丝对 P 和 Cu 的吸收量, 在  $P_0$  和  $P_1$  水平间无显著差异,  $P_2$  与  $P_0$  水平间差异显著。

与地上部菌丝吸收矿质元素量的变化不同, 施加 P 肥使菌丝所促进的小金海棠苗根部对 P、Fe 的吸收量显著增加。但菌丝对 Zn、Cu 的吸收量在  $P_1$  达到了最大值, 且与  $P_0$  有显著差异; 但  $P_2$  与  $P_1$  和  $P_0$  间差异不显著。

对小金海棠苗各测试矿质元素的菌丝总吸收量而言, 施加 P 肥能显著增加菌丝对 P、Fe、Zn 的吸收量。但菌丝吸收 Cu 的量仅在  $P_1$  水平达最大, 且与  $P_0$  间差异显著; 而在  $P_2$  水平下菌丝的 Cu 吸收量有所下降, 且与  $P_0$  间无显著差异。

从表 3 可知, 施加 P 肥能明显增加所测试元素的菌丝贡献率, 特别是菌丝吸收 Fe 的

贡献率。对 P、Fe、Cu 而言, 菌丝贡献率的增幅皆为地上部大于根部, 菌丝总贡献率增幅, P 约为 28%; Fe 达 151.4% 以上; Cu 为 28.4% ~ 36.0%。而 Zn 的菌丝贡献率的增幅地上部和根部相近, 为 23.6% ~ 33.5%。

表 3 不同 P 水平处理下 VA 菌根菌丝对元素的吸收量及所占百分率

Table 3 Amount of nutrients absorbed by hyphae of VA and its proportion

元素及其吸收指标 Nutrients and their absorbance	地上部 Above-ground part			根部 Root systems			总量 Total amount		
	P <sub>0</sub> + M	P <sub>1</sub> + M	P <sub>2</sub> + M	P <sub>0</sub> + M	P <sub>1</sub> + M	P <sub>2</sub> + M	P <sub>0</sub> + M	P <sub>1</sub> + M	P <sub>2</sub> + M
P 吸收量 Absorption amount (mg/ pot)	0.4 b	1.3 b	3.5 a	0.8 b	3.5 a	3.6 a	1.2 b	4.8 a	7.1 a
百分率 Percentage (%)	66.7	92.8	92.7	80.0	97.2	94.7	75.0	96.0	95.9
增幅 Increased rate (%)	0	39.1	39.0	0	21.5	18.4	0	28.0	27.9
Fe 吸收量 Absorption amount (mg/ pot)	4.3 b	46.8 a	64.6 a	69.2 b	395.5 a	296.2 a	73.5 b	442.3 a	360.8 a
百分率 Percentage (%)	4.3	36.4	41.4	41.7	87.7	82.3	27.8	76.3	69.9
增幅 Increased rate (%)	0	746.5	862.8	0	110.3	328.0	0	174.5	151.4
Zn 吸收量 Absorption amount (mg/ pot)	40.7 b	65.9 a	76.4 a	38.7 b	96.3 ab	60.1 ab	79.4 b	162.2 a	136.5 a
百分率 Percentage (%)	53.9	69.0	68.6	69.6	91.7	84.8	60.6	80.9	74.9
增幅 Increased rate (%)	0	28.0	27.3	0	31.8	21.8	0	33.5	23.6
Cu 吸收量 Absorption amount (mg/ pot)	4.9 b	10.5 ab	17.9 a	15.3 b	37.4 a	22.7 ab	20.2 b	47.9 a	40.6 ab
百分率 Percentage (%)	54.4	70.0	77.8	72.2	91.6	83.8	63.1	85.8	81.0
增幅 Increased rate (%)	0	28.7	43.0	0	26.9	16.1	0	36.0	28.4

### 3 讨论

菌根能促进果树实生苗的早期生长, 增加苗木的生长量<sup>[3,6,7,10,11]</sup>; 本试验在小金海棠上验证了这些结果。从本试验结果看, VA 菌根真菌增加苗木生长量, 特别是干样质量, 无疑与菌根真菌的菌丝发生量较大且活性较强、大大增加了根系的活动空间, 从而增强了小金海棠苗吸收 P、Zn、Fe、Cu 等矿质元素的能力有关; 而施加一定量的 P 肥, 对菌丝的这一效应有加强的作用。

唐振尧等<sup>[12]</sup>在盆栽条件下发现, VA 菌根促进了柑桔对 Fe 的吸收; 而 Bavaresco 等<sup>[13]</sup>在葡萄上、Clark 等<sup>[14]</sup>在玉米上观察到接种 VA 菌根真菌使缺 Fe 失绿症状明显减轻。本试验结果证实, VA 菌根的菌丝能穿过隔网, 对 Fe 具有直接的吸收作用; 菌根菌丝吸收的 Fe 能够直接供给小金海棠实生苗, 使苗木中 Fe 的总吸收量增加。至于菌根苗 Fe 含量低的原因, 一方面可能与接种菌根真菌改善了苗木 P 营养, 使苗木生长迅速、生长量加大, 从而对 Fe 有稀释效应有关; 另一方面, 菌根真菌的应用改变了菌根苗内元素之间的平衡关系, 特别是 Fe、Zn、Cu 等二价金属元素向苗木各器官的分配受到影响<sup>[6]</sup>, 从而表现出包括 Fe 在内的元素吸收量明显增加、但含量有可能降低的现象。

随施 P 量的增加, 菌丝、菌根苗吸收 P 的量也相应增加; 现已证明菌丝中的 P 以聚磷酸盐的形式向宿主植物根细胞运输<sup>[15]</sup>。Orlovich 等<sup>[16]</sup>发现, 菌丝中的 Fe 结合在聚磷酸盐分子上一起运输进入宿主植物根细胞; 这部分能解释本试验中 VA 菌根侵染及其菌丝铁吸

收量和 Fe 吸收的菌丝贡献率的结果。但试验中 Fe 量的明显增加、特别是在 Fe 吸收中菌丝贡献率增幅如此之大, 除与选用的试验材料小金海棠为 Fe 高效基因型<sup>(10)</sup>有关外, 无疑菌丝中 Fe 的运输可能还有其它的机理在起作用, 需进一步深入研究。

### 参考文献:

- 1 Geddeda Y I, Trappe J M, Stebbins R I. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae and phosphorus on apple seedlings. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 1984, 109: 24 ~ 27
- 2 Hefner E F, Koch B L, Covey R P. Enhancement of growth and phosphorus concentrations in apple seedlings by vesicular-arbuscular mycorrhizae. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 1983, 119: 285 ~ 293
- 3 Koch B L, Covey R P, Larsen H J. Response of apple seedlings in fumigated soil to phosphorus and vesicular-arbuscular mycorrhiza. HortScience, 1982, 17: 232 ~ 233
- 4 Miller D D, Bodmer M, Schuepp H. Spread of endomycorrhizal colonization and effective growth of apple seedlings. New Phytol., 1989, 111: 51 ~ 59
- 5 Morin F, Fortin J A. Apple rootstock response to vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a high phosphorus soil. J. Amer. Soc. Hort., 1994, 119 (3): 578 ~ 583
- 6 安志强. 泡囊 - 丛枝 (VA) 菌根对八楞海棠实生苗生长和矿质营养的影响: [硕士学位论文]. 北京: 北京农业大学, 1986. 3 ~ 11
- 7 Mosse B. Growth and chemical composition of mycorrhizal and nonmycorrhizal apples. Nature, 1957, 197: 922 ~ 924
- 8 刘润进. 土施磷钾肥对湖北海棠菌根效应的研究. 莱阳农学院报, 1989, 6 (47): 23 ~ 27
- 9 李晓林, 曹一平. VA 菌根菌丝对三叶草固氮的影响. 北京农业大学学报, 1992, 18 (3): 299 ~ 302
- 10 Covey R P, Koch B L, Larsen H J. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on growth of apple and corn in low-phosphorus soil. Phytopathology, 1981, 71: 712 ~ 715
- 11 Venter M N, Thomas H J. Effect of mycorrhiza on the dry mass and mineral content of deciduous fruit. Deciduous Fruit Grower, 1993, 43 (4): 142 ~ 145
- 12 唐振尧, 何首林. VA 菌根对柑桔吸收利用铁素效应研究初报. 园艺学报, 1990, 17 (4): 257 ~ 262
- 13 Bavaresco L, Fogher E. Effect of root infection with *Pseudomonas fluorescens* and *Glomus mosseae* on severity of lime-induced chlorosis in *Vitis vinifera* L. cv. Piont Blanc. J. Plant Nutr., 1996, 19: 1319 ~ 1329
- 14 Clark R B, Zeto S K. Iron acquisition by mycorrhizal maize grown on alkaline. Soil & Plant, 1996, 19 (2): 247 ~ 264
- 15 Cox G C, Moran K J, Sanders F E, et al. Translocation and transfer of polyphosphate granules and phosphorus translocation. New Phytol., 1980, 84: 649 ~ 659
- 16 Orlovich D A, Schröder A E, Cox G C. A reassessment of polyphosphate granule composition in the ectomycorrhizal fungus *Picilitus tinctorius*. Austr. J. Plant Physiol., 1989, 16: 107 ~ 115
- 17 Han Z H, Shen T, Korcak R F, et al. Screening for iron-efficient species in the genus *Malus*. J. Plant Nutr., 1994, 17 (4): 579 ~ 592

## Effects of Phosphorus Levels and VA Mycorrhizae on Growth and Mineral Contents of Apple Seedlings

Wang Chunmei<sup>1</sup>, Han Zhenhai<sup>1</sup>, Li Xiaolin<sup>2</sup>, and Xu Xuefeng<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup> Institute for Horticultural Plants, College of Horticultural Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094;

<sup>(2)</sup> Department of Plant Nutrition, College of Resource and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094)

**Abstract:** Effects of 3 P levels in the side-room and / or infection of VA mycorrhizae on growth and contents of P, Fe, Zn, and Cu of *Malus xiaojinensis* seedlings were analyzed by employment with 3-rooms pot culture. The results showed that infection of VA mycorrhizae could significantly increase the seedling growth and improve their P nutrition. Iron contents in both root and the above-ground parts of the seedlings were remarkably increased, although Fe concentrations in the seedlings were significantly decreased due to P applications in the side-room. Zinc or Cu contents in the seedlings were also increased with the P applications.

**Key words:** *Malus xiaojinensis*; *Glomus versiforme*; Phosphorus