

# 几种土壤的 VA 菌根效应及其应用前景\*

郝文英 林先贵 顾希贤

(中国科学院南京土壤研究所)

牛家琪

(广东省土壤研究所)

## 摘 要

本文用测定土壤中土著VA菌根真菌自然侵染势的方法,研究了黄淮海地区几种类型的潮土和发育于不同母质的红壤中菌根菌的侵染速率和最高侵染率,对通过接种菌根菌产生效益的可能性进行了预测。对影响菌根菌侵染的某些因素及植物对菌根的依赖性等也进行了试验研究。结果表明,在侵染有迟后现象的土壤上选种对菌根依赖性高的植物,通过接种菌根菌可以提高对磷的利用率,增加生长量。

VA菌根真菌在土壤中普遍存在,并广泛地侵染植物形成菌根。许多植物在缺乏菌根的情况下,尤其是在缺乏有效磷的土壤中,往往因不能充分吸收养分而不得正常发育。因此,对于VA菌根共生体的研究最受人们关切的问题就是植物受菌根菌侵染后在生长上的表现及其所受效益。国内外许多试验结果表明,通过接种加强菌根菌对植物的侵染,可以成倍地增加其生长量,但在田间条件下却又不乏植物生长得不到菌根效益的例子<sup>[1]</sup>。本文报道了黄淮海地区几种类型黄潮土及发育于不同母质的红壤中VA菌根效应与土壤条件和植物种类的关系,并根据试验结果讨论在这些土壤上菌根菌的应用前景。

## 一、材料和方法

1. 土样采集: 不同类型潮土采自河南省封丘县中国科学院生态农业试验站内及附近农田; 发育于第四纪红色粘土母质上的红壤采自江西余江县中国科学院红壤生态试验站; 发育于花岗岩母质的红壤采自广州; 发育于玄武岩母质的红壤采自广东徐闻。每块田在5个点随机取等量土混匀、过筛。
2. 盆栽试验: 装2或6公斤土于盆中,加水湿润后播种绿豆,每盆8株,按常规进行水分管理。
3. 微区试验: 在封丘潘店壤质潮土上进行,微区面积为50×50厘米,区间50—100厘米。分别将各微区中0—20厘米深的耕层土壤取出,于塑料布上拌和过磷酸钙,磷量设0、2、4、8公斤P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/亩4个等级,混匀后再装到四周围以高出土面约20厘米的塑料布的微区内。5次重复。
4. 接种方法: 接种剂穴施,每穴3—4克,以等量灭过菌的菌剂为对照,接种剂放入深度为3—4厘米,覆一薄层土后播种。
5. 侵染率测定: 取新鲜根样按Phillips和Hayman的方法<sup>[2]</sup>处理后染色,在解剖镜下以直线交

\* 国家自然科学基金资助项目。

又法随机观察至少 100 个根段, 计算受侵染根长百分率。

6. 侵染势测定: 分别取上述土样装盆, 以绿豆为供试植物, 重复 5 次。按常规栽培管理。定期取根样测侵染率, 以各次测得的结果作侵染曲线图。

7. 植物对菌根依赖性测定: 以沙质潮土或河沙为基质, 装盆。在距土表 4 厘米处放入菌剂, 以加等量灭菌的同种菌剂为对照。分别种植各种供试植物, 每两周浇 1 次 20% 的 Hoagland's 营养液。其他管理按常规进行。苗期取样测侵染率及植株鲜、干重。按下式计算依赖性百分率<sup>[6]</sup>。

$$\text{菌根依赖性 \%} = \frac{\text{接种的植物干重}}{\text{未接种植物干重}} \times 100$$

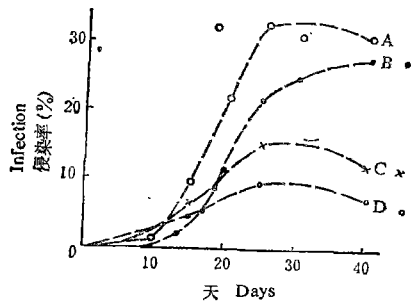
## 二、结果和讨论

### (一) 不同类型土壤中土著 VA 菌根真菌的侵染势

VA 菌根真菌的分布及其寄主范围都十分广泛, 而且没有严格的专一性。因此, 在不同类型土壤中的大部分植物都有可能受其侵染而形成菌根。但是因受土壤因素和植被影响, 不同土壤中土著 VA 菌根真菌的数量和有效性不完全相同, 以致这些土著的菌根真菌对植物侵染的程度和速率不一样, 从而直接影响接种菌根菌后可能产生的效应<sup>[7]</sup>。

菌根菌的侵染率在很大程度上决定于它们在土中的接种物密度——即具侵染能力的繁殖体数量。土壤中 VA 菌根真菌的繁殖体能以多种形式存在, 它们可以以孢子, 根外菌丝或根段内的菌丝、孢囊等在土中存活。这些不同形式的繁殖体在一定条件下都能侵染植物幼根而形成菌根共生体。但是测定这些繁殖体的数量和性质是比较困难的。用湿筛法测得的孢子数量已被证实与侵染率之间没有直接相关<sup>[8]</sup>。用最大可能数 (MPN) 法虽然可以测定有效繁殖体的总量, 但它是把土样经系列稀释后测得的, 因此也不能确切反映在自然条件下土壤中菌根菌对根部侵染的进展。我们采取了侵染势的测定来研究下列土壤中土著 VA 菌根真菌的侵染速率及最大侵染率, 并依此判断接种以后产生效益的可能性。

1. 黄淮海地区四种潮土中 VA 菌根真菌的侵染势 取中国科学院封丘生态农业试验站不同类型潮土, 即沙质潮土、壤质潮土(两合土)、粘质潮土(淤土)、和碱化潮土等在同一盆栽条件下, 以绿豆为供试植物, 测定了四种土壤中土著 VA 菌根菌的侵染势(图 1)。结果表明, 在这几种土壤中 VA 菌根的形成都有不同程度的迟后现象, 在幼苗生长早期侵染缓慢。苗龄 20 天时侵染率大都在 10% 左右, 25—30 天时除沙质和壤质潮土中侵染率较高, 达 20—30% 外, 其他两种土壤中侵染率始终不高。分别以壤质和沙质潮土为例, 用经富集培养的 *Glomus* spp. 为菌剂接种后, 绿豆和三叶草的菌根侵染率都显著提高, 尤以生长早期更明显, 植株地上部干物重也显著增加(表 1)。



A. 壤质潮土; B. 沙质潮土;  
C. 粘质潮土; D. 碱化潮土

图 1 四种潮土中土著菌根菌的侵染势

Fig. 1 Development of mycorrhizal infection in 4 types of fluvo-aquic soils

2. 第四纪红色粘土母质上发育的红壤中 VA 菌根真菌的侵染势 用相同方法对江西

表 1 接种菌根真菌对侵染和植物生长的影响

Table 1 Influence of inoculation on mycorrhizal infection and plant growth

处理 Treatment	壤质潮土(绿豆) Loamy f. a. soil (mungbean)			沙质潮土(白三叶草) Sandy f. a. soil (white clover)		
	侵染率 Infection %		地上部干重 克/株	侵染率 Infection %		地上部干重 克/株
	4 周 Weeks	6 周 Weeks	Dry wt. tops g/plant	7 周 Weeks	12 周 Weeks	Dry wt. tops g/plant
未接种-M	13.4	18.6	0.82	4.3	26.8	0.55
接种+M	32.3	33.6	1.12	59.1	44.8	4.20

微区试验,6周收获(春播),盆栽试验,12周收获(秋播)(施磷量  $P_2O_5$ , 4公斤/亩)

第四纪红色粘土母质上发育的红壤测定结果表明,在未经耕种的土壤中土著 VA 菌根菌的侵染率极低,并有相当长的迟后期,苗龄 40 天时测得侵染率只有 13%,而接种处理中侵染率明显增加,苗龄 25—40 天时已高达 50—60%,与对照相比达极显著差异,侵染迟后期也明显消退(图 2)。

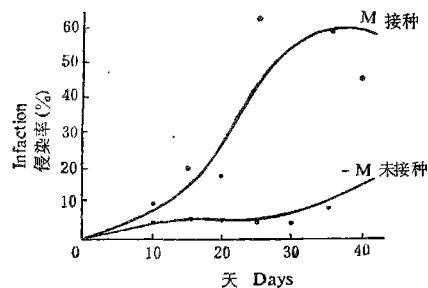


图 2 发育于第四纪红色粘土母质上红壤中的菌根侵染势

Fig. 2 Development of mycorrhizal infection in red soils derived from quaternary red clay

3. 花岗岩及玄武岩母质上发育的红壤中 VA 菌根真菌的侵染势 在广东玄武岩及花岗岩母质上发育的红壤耕地中,土著 VA 菌根菌在植物苗期侵染也较缓慢,尤其在肥力较高的土壤中侵染率始终不高。通过接种菌根菌,侵染率成倍增加,迟后期基本消除(图 3A—D)。

由上述三地区不同类型土壤试验结果看来,侵染势是判断接种菌根菌效应的一个重要因素。

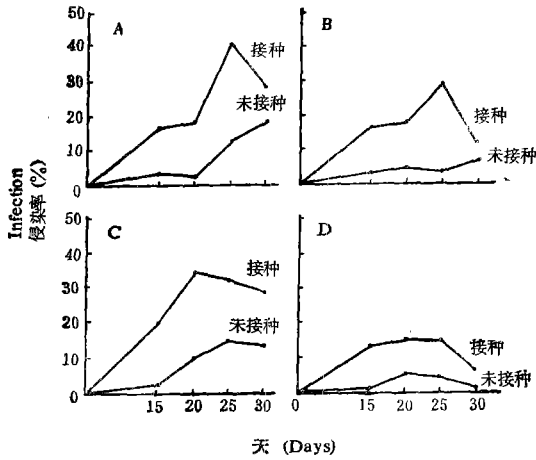
在自然侵染率不高并表现有迟后现象的土壤经接种 VA 菌根菌后,都能加速侵染,缩短或消除迟后期,提高苗期侵染率,并从而促进了植物生长。

## (二) 不同植被对菌根真菌的富集作用

由于耕作、施肥或植物本身性质的影响,土壤中 VA 菌根真菌繁殖体的量和组成都有可能改变。取江西第四纪红色粘土母质上发育的不同植被下的红壤,于盆栽条件下同以绿豆为供试植物测定的结果表明,开垦种植 2 年的新柑桔园土壤中 VA 菌根侵染率较在未开垦的荒地中略有提高,但侵染率仍然很低,苗龄 40 天内侵染率从未超过 15%。然而在同样土壤上种植象草 2 年者,侵染率显著较高,且未出现迟后现象,在供试绿豆苗龄 15 天时侵染率已近 60%,20 天以后高达 70—80%,显然加大了 VA 菌根真菌在土中的富集(图 4)。

## (三) 磷素对菌根菌侵染的影响及菌根在提高磷素利用率中的作用

1. 磷素对 VA 菌根菌侵染的影响 多种土壤因素可以影响 VA 菌根真菌在植物根部的侵染、发展和繁殖。据报道,在肥力水平较低的土壤中,由于菌根真菌的菌丝扩大了根部对养分吸收的范围,更能表现出菌根的效应。而在肥力水平高的土壤中,因含有足够可



注：发育于玄武岩 { A.  $P_2O_5$ , 16.2ppm  
 B.  $P_2O_5$ , 28.2ppm  
 发育于花岗岩 { C.  $P_2O_5$ , 1.3ppm  
 D.  $P_2O_5$ , 34.0ppm

图 3 接种对不同肥力红壤中菌根菌侵染势的影响  
 Fig. 3 Influence of inoculation on development of mycorrhizal infection in red soils with different levels of fertility

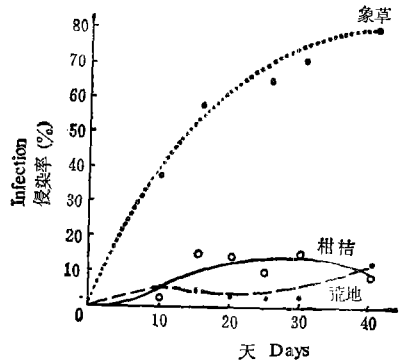


图 4 不同植被下红壤中的菌根侵染势  
 Fig. 4 Development of mycorrhizal infection in red soils under different vegetation

供植物吸收利用的养分而往往不显效。我们对发育于玄武岩及花岗岩母质上不同肥力的红壤中 VA 菌根侵染情况的试验调查也得到相同结果 (图 5)。在两种不同母质上发育的肥力较高的土壤中,VA 菌根菌对植物的侵染百分数都显著低于与其相应的低肥土壤。从土壤养分情况看,有效磷含量是一个重要的影响因素。

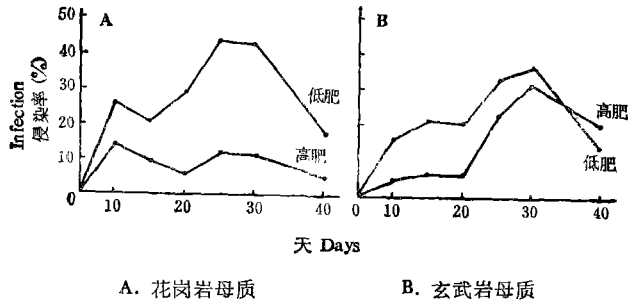


图 5 花岗岩及玄武岩母质发育的不同肥力红壤中菌根侵染势  
 Fig. 5 Development of mycorrhizal infection in red soils derived from 2 parent materials under different fertility

黄淮海地区壤质潮土不同磷肥用量的田间调查和微区试验,以及在以壤质、沙质、盐化和碱化潮土等不同类型土壤进行的盆栽试验中都可看到磷肥对菌根菌侵染的影响 (图 6)。

结果表明,在这些土壤中施用磷肥可以促进菌根侵染,施入相当于每亩 4 公斤  $P_2O_5$ ,

的过磷酸钙为最适磷量<sup>[4]</sup>。由于有效磷的增加促进了菌根侵染，尤其是在接种菌根菌后侵染速率明显加快，侵染迟后期消除，侵染率提高。但施磷量过高时侵染率反而相对降低。

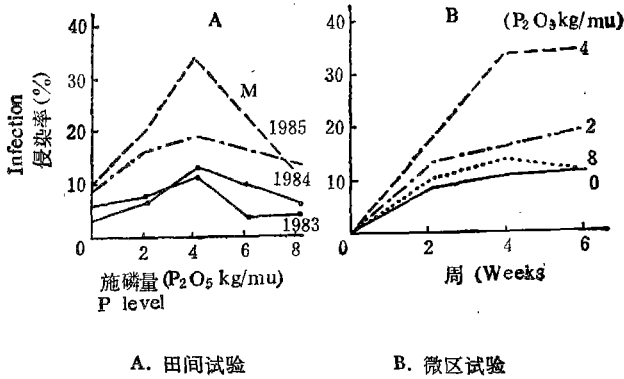


图 6 不同施磷水平下壤质潮土中的菌根侵染势

Fig. 6 Mycorrhizal infection in loamy fluvo-aquic soils with different P level

用江西第四纪红色粘土母质上发育的红壤进行试验也获得与上述相似的结果，唯最适施磷量较潮土高，以每亩相当于 8 公斤 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的过磷酸钙为宜。

上述结果表明，磷素对菌根侵染有直接影响。在高磷条件下磷素对侵染的影响，是由于土壤中的磷影响了菌根真菌在土壤中的发育，还是因为根组织内磷浓度增加而限制真菌侵染？有报道指出，当寄主体内磷的浓度低时，根部细胞膜的渗透力增加，根分泌物增多而有利于菌根菌侵染和发展，反之，高浓度磷酸盐有减少渗透的作用，因根的分泌物减少而影响真菌在植物根际的发育<sup>[9,10]</sup>。这可能是高磷条件下侵染率下降的一个原因。关于磷素影响菌根菌侵染的机理还有待于进一步研究证实。

2. VA 菌根真菌对提高磷素利用率、促进植物生长和节省磷肥用量的作用 适量磷素能促进 VA 菌根菌的侵染，从而加强植物对养分吸收以增加植株生长量。一般来说，一年生或生长期较短的植物，在生长早期最大限度地满足其对磷或其他养分的吸收，直接关系到生长后期的发育。在施用适量磷肥的条件下接种菌根菌大大地加速了幼苗的早

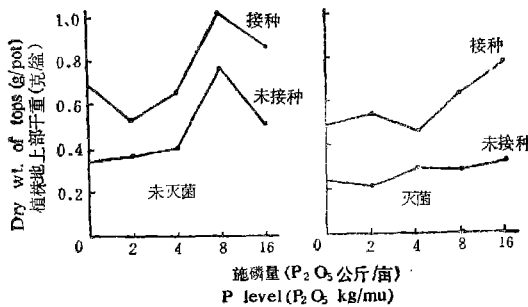


图 7 发育于第四纪红色粘土母质的红壤在不同磷量下的菌根效应

Fig. 7 Mycorrhizal response in red soils derived from quaternary red clay with different P level

期侵染(见图 6B)。以红壤进行的试验表明,随着侵染率的大幅度提高,植株生长量也显著较未接种的对照处理增多,接种与未接种处理间的差异始终达极显著水平。在未施磷肥的情况下接种菌根菌后,植株干重与施入相当于每亩 4—8 公斤  $P_2O_5$  磷肥而未经接种者大致相当(图 7、8)。在黄淮海地区沙质及壤质潮土上对绿豆、三叶草和芦笋等进行接种试验也都获得相似的结果<sup>[4]</sup>。

#### (四) 植物对菌根的依赖性与菌根效益的关系

菌根化的植物由于扩大了对养分的吸收范围而增加了根系对养分的吸收。但是,菌根对各种植物的效应不完全相同,有的植物不受侵染,也就无从受益于菌根。因此,预先了解供试植物对菌根的依赖程度,非但可以避免菌根应用中的盲目性,并可对接种菌根菌可能产生的效果作初步判断。

Gerdemann (1975) 首先提出“菌根依赖性”这个词,并定义为“在一定土壤肥力水平下,植物产生最大生长量或产量对菌根的依赖程度”<sup>[11]</sup>。Menge (1978) 依此区别几个柑桔品种在低磷条件下对菌根的效应<sup>[6]</sup>。Plenchette (1983) 又用田间菌根相对依赖系数表示农作物对菌根的依赖关系<sup>[12]</sup>。但他们都是在经过薰蒸灭菌排除了土著菌根菌的沙或土中进行的。我们从菌根菌实际应用出发,在未经灭菌也未加任何处理的沙质潮土上进行了多种植物对 VA 菌根菌依赖性试验。该种土壤中土著 VA 菌根侵染率很低<sup>[2]</sup>,有效磷含量只有 5ppm 左右,用富集培养的 *Glomus* sp. 接种后,除菊花因不受侵染不表现对菌根有依赖关系外,多数植物对菌根有不同程度的依赖关系<sup>[3]</sup>(表 2),接种菌根菌并配合施用适量磷肥可望获得增产效果,其中白三叶草和芦笋在田间试验中年产增加 40% 左右。

表 2 各种植物对菌根的依赖性

Table 2 Mycorrhizal dependency of various plants

菌根依赖性(%) Mycorrhizal dependency	植物名称 Name of plants
400—600	葡萄、月季、白三叶草、芦笋
200—400	非洲紫罗兰、矮牵牛、玉米
150—200	棉花、大豆、烟草
<150	花生、蕃茄、具喙田菁、绿豆、百合

从上述已取得的试验结果看来,在大面积黄淮海地区潮土及中等肥力以下的红壤中,有效磷含量低,土著 VA 菌根侵染率不高并有明显的侵染迟后期。在这些土壤上选种对

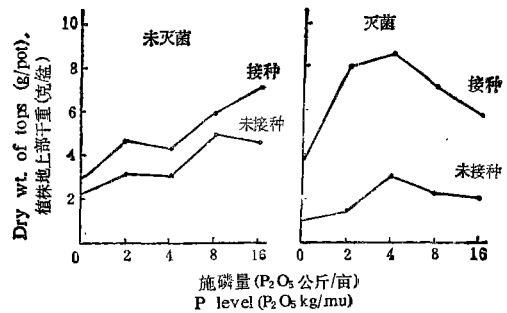


图 8 发育于花岗岩母质的红壤在不同磷量下的菌根效应

Fig. 8 Mycorrhizal response in red soils derived from granite with different P level

1) 林先贵、顾希贤、郝文英,1988: VA 菌根真菌对芦笋生长的影响。全国第五届菌根学术会议交流资料(南京)。

菌根依赖性强的植物,通过接种 VA 菌根菌并同时施用适量磷肥以促进其侵染,在不灭菌土壤上获得一定效果。我们认为在这些土壤上应用菌根菌获得效益的前景是十分广阔的。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 郝文英1986: VA 菌根研究进展,干旱区研究——八十年代以来国内与国际土壤科学进展讨论会专集,第3卷3期,65—74页,中国科学院新疆生物土壤沙漠所。
- [ 2 ] 顾希贤、林先贵、郝文英1987: 封丘县主要类型土壤中 VA 菌根调查。土壤,第19卷4期,205—208页。
- [ 3 ] 林先贵、郝文英1989: 不同植物对 VA 菌根的依赖性。植物学报,31卷9期,721—725页。
- [ 4 ] 林先贵、郝文英1989: 在不灭菌条件下施用磷肥对 VA 菌根效应的影响。土壤学报,第26卷1期,93—99页。
- [ 5 ] Phillips, J. M. and Hayman, D. S. 1970: Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Br. Mycol. Soc., 55: 158—161.
- [ 6 ] Menge, J. A., Johnson, E. L. V. and Platt, R. G. 1978: Mycorrhizal dependency of several citrus cultivars under three nutrient regimes. New Phytol., 81: 553—559.
- [ 7 ] Abbott, L. K. and Robson, A. D. 1978. Growth of subterranean clover in relation to the formation of endomycorrhizas by introduced and indigenous fungi in a field soil. New Phytol., 81: 575—587.
- [ 8 ] Daniels, B. A., McCool, M. P., and Menge, J. A. 1981: Comparative inoculum potential of spores of six vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytol., 68: 385—392.
- [ 9 ] Graham, J. H., Leonard, R. H. and Menge, J. A. 1981: Membrane-mediated decrease in root exudation responsible for phosphorus inhibition of VAM formation. Plant Physiology, 67: 548—552.
- [ 10 ] Cooper, K. M. 1984: Physiology of VA mycorrhizal associations. In: VA Mycorrhiza. Edited by Powell, pp. 155—186, CRC Press.
- [ 11 ] Gerdemann, J. W. 1975: Vesicular-arbuscular mycorrhizae. In: The development and function of roots. Edited by Torrey J. G. and Clarkson, D. T. pp. 575—591. Academic Press, London.
- [ 12 ] Plenchette, C. 1983. Growth response of several plant species to mycorrhizae in soil of moderate P-fertility. 1, Mycorrhizal dependency under field conditions. Plant and Soil, 70: 199—209.

## EFFICIENCY OF VAM FUNGI AND THE PROSPECT OF ITS PRACTICAL APPLICATION IN SOME SOILS

Hao Wenying, Lin Xiangui, Gu Xixian

(*Nanjing Institute of Soil Science, Academia Sinica*)

Niu Jiaqi

(*Guangdon Institute of Soil Science*)

### Summary

Development of mycorrhizal infections were estimated by assessing the percentage of VAM infection in growth intervals of mungbean in pot cultures with fluvo-aquic soils of Huang-Huai-Hai plain and red soils derived from quaternary red clay, granite and basalt in Jiangxi and Guangdong provinces, most of which were deficient in available phosphorus. Results showed that infections of indigenous VAM fungi in most soils were low and lag phase usually presented. In most of the fluvo-aquic soils, VA mycorrhizal infections were around 10% on the 20 days seedlings. After inoculation, infections of both mungbean and white clover in sandy and loamy fluvo-aquic soil increased to 20—30% during the early stage of seedlings. In red soils derived from quaternary red clay in Jiangxi province, VAM infection was 13% on 40 days seedlings, it increased up to 50—60% during 25—40 days by inoculation. In red soils derived from other parent materials in Guangdong province had the same tendency with those in other districts. Lag phase of infections were all decreased or even disappeared by introducing mycorrhizal fungi into the soil, and plant growth was greatly promoted.

Phosphorus encouraged mycorrhizal infection in most soils deficient in available P, but the optimum amount of P fertilization was different between fluvo-aquic soil and red soils. In fluvo-aquic soil, the optimum P level was 4 kg  $P_2O_5$ /mu in form of superphosphate, while 8 kg  $P_2O_5$ /mu was suitable to red soils derived from quaternary red clay in Jiangxi province.

Mycorrhizal dependency of various plants were quite different. According to the calculation of Mengé, mycorrhizal dependencies of grape, China rose, white clover, and asparagus were 400—600%, that of violet, petunia, corn; and cotton, soybean, tobacco were 200—400% and 150—200% respectively, and that of peanut, tomato, sesbania, mungbean and lily were less than 150%.

From the results obtained, it is indicated that VAM fungi may make great contribution to plant nutrition by inoculation or by encouraging the development of the naturally occurring fungi in soil. There is good prospect in growing plants with high mycorrhizal dependency to obtain high efficiency in these soils in practice.