

柑桔幼苗接种 VA 菌根真菌的研究

毕 国 昌

(中国科学院研究生院, 北京)

赵 志 鹏

(中国林业科学研究院林业研究所, 北京)

郭 美 珍

(无锡轻工业学院, 无锡)

用 12 种不同 VA 菌根真菌对甜橙 [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] 幼苗进行接种。结果表明, 接种 *Glomus vesiculiferum*、*Gl. epigaeum* 和 *Gl. monosporum* 的幼苗菌根感染率最高, 它们对幼苗的生长促进作用也最大。对甜橙幼苗接种 *Gl. epigaeum* 形成的菌根发育过程、菌根结构的形态、菌根感染强度和幼苗的生长关系进行了观察。对幼苗地上部分和根部所含的主要营养元素、氨基酸、激素、脂肪和糖类有机物质进行了分析比较, 并用扫描电镜和 X 射线能谱仪对菌根的超微结构进行了微区分析。

关键词 VA 菌根真菌; 地表球囊霉; 甜橙; 生长效应; X 射线微区分析

柑桔是形成 VA 菌根的果树。近年来, 许多作者都曾对一些柑桔树种用各种 VA 菌根真菌进行过人工接种实验, 效果不一^[1-4]。据报道, 地表球囊霉 (*Gl. epigaeum*) 对许多林木树种、果树、经济作物和蔬菜, 如白蜡^[5]、泡桐^[6]、红杉^[7]、侧柏^[7]、葡萄^[8]、绿豆^[9]、怪麻^[8,10], 以及花生、洋葱、番茄、青椒等植物的生长都具有良好的促进效果。1986—1988 年, 作者用 12 种 VA 菌根真菌对甜橙幼苗进行人工接种试验比较, 此菌种也表现了良好的效果。为此, 对该菌形成的甜橙幼苗的菌根形态、生物和生理学进行了比较深入的研究, 为扩大 VA 菌根真菌的开发利用打下了基础。

材料和方法

(一) 菌种

地表球囊霉 (*Glomus epigaeum* Daniels et Trappe)、单孢球囊霉 (*Gl. mo-*

nosporum Gerd. et Trappe)、明球囊霉 (*Gl. clarum* Nicol. et Schenck)、泡囊球囊霉 [*Gl. vesiculiferum* (Thaxter) Gerd. et Trappe]、聚合球囊霉 (*Gl. aggregatum* Schenck et Smith) 和苏格兰球囊霉 [*Gl. caledonicum* (Nicol. et Gerd.) Trappe et Gerd.] 系加拿大 V. Furlan 教授所赠; 漏斗孢球囊霉 [*Gl. mosseae* (Nicol. et Gerd.) Gerd. et Trappe]、根内球囊霉 (*Gl. interradices* Schenck et Smith)、美巨孢囊霉 [*Gigaspora calospora* (Nicol. et Gerd.) Gerd. et Trappe]、珠状巨孢囊霉 (*Gi. margarita* Becker et Hall) 和大巨孢囊霉 (*Gi. gigantea* (Nicol. et Gerd.) Gerd. et Trappe) 系美国俄勒岗林业试验

本文于 1989 年 3 月 2 日收到。

中国林业科学研究院分析中心任建南、于建国、刘惠文、周银莲、刘雅倩等同志参加了样品分析; 张海平同志协助工作, 一并致谢。

站何翼万博士所赠;另一种未经鉴定的球囊霉 (*Glomus* sp.) 系作者筛自山东省农田。各菌种均以三叶草为繁殖体栽培在温室灭菌砂土上。

(二) 种苗

甜橙 [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] 种子用 0.1% 升汞溶液表面消毒,清水冲洗三次,播种在高压灭菌的砾石内,待子叶完全放出,茎高 3—4cm,初生根垂直向下长约 5—6cm,尚未发出次生侧根时进行接种。

(三) 接种试验

用 8 × 15cm 的塑料容器装经高压灭菌的草炭-砾石-砂-黄土按 1:1:1:1(V/V) 配制的混合基质。在基质表面下 3—5cm 深处加 20g 繁殖有各种菌种的三叶草新鲜根段及其根际的砂土。每个容器内移栽一株甜橙幼苗。双胚苗因长势不一,舍弃不用。每个菌种接 10 株重复,并以接种灭菌的砂土作对照。幼苗移栽后先用 1/2 浓度的 Stock 营养液浇透。然后,每隔一周施加一次原浓度的营养液。4 个月后,测量幼苗的高度、根径和叶面积,同时从每种处理的幼苗根部采取三株根样混合,用 Phillips 和 Hayman^[11] 方法染色处理后,剪成 2cm 左右的根段,在光学显微镜下观察。每种处理的根样至少观察 20 根以上根段,每条根段均匀地观察 10 个视野,统计菌根感染率及感染强度。

$$\text{感染率} = \frac{\text{有菌根真菌感染的根段数}}{\text{被观察的根段总数}} \times 100$$

$$\text{感染强度} = \frac{\text{有菌根真菌感染的视野数}}{\text{观察的视野总数}} \times 100$$

(四) 生长效应试验

按上述同样方法,用地表球囊霉对 100 株甜橙幼苗接种,并设对照。接种后,每 10 天采取一次根样,每月测量苗高、根径和叶面积。8 个月后,从每个处理中选取 5 株平均标准苗,分别称量地上部分和

根部的干物质重量。

(五) VA 菌根垂直分布观察

在 10 × 20cm 的容器内,用地表球囊霉接种甜橙幼苗。生长 8 个月后,按 0—5, 6—10, 11—15, 16cm 以下四个层次分别采取根样,染色后在光学显微镜下检查 VA 菌根在幼苗根系上的垂直分布。

(六) 样品的化学分析

1. 糖分: HPLC 高效液相色谱仪分析,色谱柱 Sugar pakK-1,流动相 H₂O,流速 0.7ml/min,检测器 RZ:4X,检测温度 90℃。

2. 氨基酸: Waters 氨基酸自动分析仪,分析柱离子交换;流动相缓冲液 A pH 3.1,缓冲液 B pH9.6,流速 0.4ml/min,梯度淋洗,荧光检测器检测,柱温 65℃。

3. 脂肪酸: GC-7AG 气相色谱仪分析,色谱柱 5% DEGS,氢焰检测器检测,进口温度 250℃,柱温 160℃,载气 N₂ 50 ml/min,衰减 64 × 10²。

4. 激素: 244HPLC 高效液相色谱仪分析,流动相 17—15—68% CH₃CN—CH₃OH—H₂O, pH3,流速 1.2ml/min,检测器 UV254nm × 0.1AUFS。

5. X 射线微区分析: 新鲜根样,液氮冷冻,真空干燥,喷碳。在 SEM505 扫描电镜下,用 EDAX9100 能谱探测仪测定,电压 1.5kV,计数率 500cps 左右,时间 100s。对每种超微结构和组织细胞的测定至少有 3 个以上重复。

各种数据均进行方差分析, t 检验或 q 检验。

结果和讨论

(一) 接种试验

甜橙幼苗接种 12 种不同 VA 菌根真菌生长 4 个月时的菌根感染强度和幼苗生长情况表明 (表 1), 接种的幼苗菌根感染强

表1 柑桔幼苗接种不同 VA 菌根真菌 4 个月时的菌根感染和幼苗生长

Table 1 Mycorrhizal infection and growth of *Citrus* seedlings inoculated with different VA mycorrhizal fungi for 4 months

VA 菌根真菌 VA mycorrhizal fungi	菌根感染(%) Mycorrhizal infection		幼苗生长 Growth of seedlings	
	侧根感染率 Rate of lateral roots	感染强度 Intensity	高度 Height (cm)	根径 Collar diameter (mm)
<i>Glomus vesiculiferum</i>	90.0	80.0	13.2 a*	3.12 a
<i>Gl. epigaeum</i>	90.0	75.5	9.3 b	2.72 b
<i>Gl. monosporum</i>	74.0	72.0	9.4 b	2.64 b
<i>Gl. mosseae</i>	50.0	27.5	7.2 c	2.38 c
<i>Gl. sp.</i>	72.0	64.0	7.0 c	2.28 cd
<i>Gl. clarum</i>	60.0	32.0	7.0 c	2.26 cd
<i>Gigaspora calospora</i>	46.0	30.0	6.6 c	2.22 cd
<i>Glomus aggregatum</i>	39.0	25.0	6.3 cd	2.38 c
<i>Gl. caldonicum</i>	40.0	19.0	6.1 cd	2.32 cd
<i>Gigaspora gigantea</i>	5.0	2.5	6.2 cd	2.20 cd
<i>Gl. margarita</i>	68.0	48.0	5.7 cd	2.42 c
<i>Glomus interadices</i>	50.0	34.0	5.4 d	2.06 d
Control	0.0	0.0	5.5 d	2.02 d

* 同一项内,不具有共同字母的数据,表明经 q 检验差异性显著, $p = 0.05$ 。

Column means not sharing a common letter differ significantly at $P = 0.05$ by q test.

表2 柑桔幼苗接种地表球囊菌后不同时期的菌根感染和幼苗生长

Table 2 Mycorrhizal infection and growth of *Citrus* seedlings inoculated with *Glomus epigaeum* after different time of inoculation

处 理 Treatment		菌根感染强度 Intensity of infection (%)	苗高 Height (cm)	根径 Collar diameter (mm)	叶面积 Foliage area (cm ²)	干物质量 Dry matter(g)	
						根部 Roots	地上部分 Tops
2 个月 2 Months	接种苗 Inoculated	15.0	5.45	1.27	12.19	—	—
	对照苗 Control	0.0	5.18	1.21	14.14	—	—
3 个月 3 Months	接种苗 Inoculated	40.0	7.18	1.63*	43.14**	—	—
	对照苗 Control	0.0	5.87	1.37	23.45	—	—
8 个月 8 Months	接种苗 Inoculated	78.0	25.54**	1.70*	266.20*	1.60	2.71***
	对照苗 Control	0.0	16.83	3.60	162.35	1.11	1.59

* $P = 0.05$; ** $P = 0.01$; *** $P = 0.001$. (t 检验, by t test)

度不一,其中以泡囊球囊霉 (*Gl. vesiculiferum*) 为最高,地表球囊霉 (*Gl. epigaeum*) 和单孢球囊霉 (*Gl. monosporum*) 次

之,这三种菌对幼苗的生长促进效果也很显著。漏斗孢球囊霉 (*Gl. mosseae*)、明球囊霉 (*Gl. clarum*) 和来自山东省的一种

未鉴定的球囊霉 (*Gl. sp.*), 以及美巨孢囊霉 (*Gigaspora calospora*) 等效果中等; 而其余的五个菌种对甜橙幼苗的生长促进作用不明显。虽然根内球囊霉 (*Gl. interadices*) 和珠状巨孢囊霉 (*Gigaspora margarita*) 对甜橙幼苗的菌根感染强度也达到 34% 和 48%, 但幼苗的高度和根径与对照苗几乎无差异。

(二) 生长效应试验

根据接种地表球囊霉的甜橙幼苗根样定期检查的结果表明, 接种后一个月幼苗营养根表面开始出现有菌丝的入侵点, 皮层细胞内也形成有少量的丛枝, 此时的菌根感染率不到 20%, 感染强度仅 5%, 接种苗的生长情况与对照苗毫无差异。二个月后菌根感染率和感染强度均逐渐提高, 皮层组织细胞内的丛枝密度增多, 但这时, 接种苗的生长情况与对照苗的差异仍不显著 ($P > 0.05$) (表 2)。三个月后, 菌根感染率达 55%, 感染强度 40%。在营养根的后半部形成的丛枝已很密, 且有泡囊出现。泡囊多系胞间泡囊, 圆形、梨形或椭圆形, 平均直径 25—35 μm , 最大的泡囊可达 50 \times 70 μm 。泡囊中有 1 至数个明亮的圆形油点。胞间泡囊多着生在粗菌丝分枝的顶端, 也有少数串生在菌丝中间。菌丝直径 3—5 μm , 无分隔, 主要是纵向伸延在皮层细胞间, 分枝多。在营养根的前半部以丛枝为主, 泡囊稀少。在丛枝密集处, 几乎皮层组织的每个细胞内都有分布。联接丛枝之间的菌丝较细, 直径不到 2—3 μm 。在这个时期, 接种苗的生长已呈现出明显的优势。与对照苗相比, 其高度和根径的差异已达显著水平 ($P < 0.05$)。接种 8 个月后, 菌根感染率达 95%, 感染强度达 78%。接种苗的各项生长指标均达到很显著水平 ($P < 0.01$)。但根部的干物质重量与对照苗的差异并不显著 ($P > 0.05$)。

(三) 菌根垂直分布

接种地表球囊霉的五株甜橙幼苗根系分层检查结果表明, VA 菌根的感染率和感染强度均随根系在土壤内的深度而减少。在 0—5cm 深处, 菌根的感染率和感染强度分别为 93.7% 和 72.0%; 6—10cm 深处为 94.1% 和 67.6%; 11—15cm 深处分别为 79.4% 和 23.5% 而在 16cm 以下则分别为 13.1% 和 4.3%。总之, 在 10cm 以上的土壤表层内分布的 VA 菌根数量几乎占整个根系菌根总数的 2/3 以上。

(四) 样品的化学分析

1. 植物化学分析: 表 3 表明, 在接种地表球囊霉甜橙幼苗的根部和地上部分中, N、P 和 Zn 的含量都比对照苗中显著增多 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。但对照苗根部的 K 和 Cu 的含量则比接种苗根中要多 ($P < 0.01$)。Mn 的含量差异不明显。

2. 氨基酸分析: 从表 4 中可见, 接种地表球囊霉的甜橙幼苗, 其叶部和根部各种氨基酸的含量均比对照苗中的多一倍左右。根中的氨基酸含量又比叶中的略多。在各种氨基酸中含最多的是天冬氨酸和谷氨酸, 它们几乎占氨基酸总量的 1/3 左右。一般说来, 这两种氨基酸是与糖代谢有着密切的关系, 都可以通过糖的中间产物合成, 也可以通过转氨作用再经氧化脱羧而彻底分解, 最后转化为葡萄糖。它们也是合成其它种氨基酸的主要原料。接种苗的根中和叶中还含有较多的亮氨酸、甘氨酸和丝氨酸。甘氨酸和丝氨酸是合成蛋白质的原料。在 VA 菌根中含有大量的氨基酸证明此种菌根真菌能有效地吸收利用 N 素, 合成植物和菌丝体本身生长所需要的各种有机物质, 也能将多余的 N 素转化为不溶性的有机物质贮藏起来, 在必要时又分解为简单的糖类提供给寄主植物。

表 3 接种地表球囊霉的柑桔幼苗地上部分和根部的植物化学分析

Table 3 Chemical analysis of *Citrus* seedlings inoculated with *Glomus epigaeum*

处 理 Treatment	N(%)	P(%)	KM(%)	Cu(ppm)	Zn(ppm)	Mn(ppm)
接种苗根部 Roots of inoculated	2.94**	0.59**	1.73	10.89	79.11**	28.12
对照苗根部 Roots of control	1.63	0.43	1.93**	15.11**	45.10	28.42
接种苗地上部分 Tops of inoculated	3.18**	0.53*	1.89	9.23	72.29**	23.78
对照苗地上部分 Tops of control	1.70	0.47	1.89	12.56*	38.78	25.88

* P = 0.05; **P = 0.01; t 检验, by t test

表 4 接种地表球囊霉的柑桔幼苗叶部和根部各种氨基酸的含量 (g/100g)

Table 4 Contents of amino-acids in roots and leaves of *Citrus* seedlings inoculated with *Glomus epigaeum*

处 理 Treatment	氨基酸 Aminoacids														总 计 Total acid
	天冬氨酸 Aspartic acid	苏氨酸 Threonine	丝氨酸 Serine	谷氨酸 Glutamic acid	甘氨酸 Glycine	丙氨酸 Alanine	缬氨酸 Valine	蛋氨酸 Methionine	异亮氨酸 Isoleucine	亮氨酸 Leucine	酪氨酸 Tyrosine	苯丙氨酸 phenylalanine	赖氨酸 Lysine	精氨酸 Arginine	
接种苗叶部 Leaves of inoculated	1.73	0.48	0.57	0.91	0.63	0.74	0.63	0.11	0.58	0.99	0.40	0.51	0.69	0.10	4.48
对照苗叶部 Leaves of control	0.83	0.23	0.24	0.21	0.26	0.50	0.28	0.04	0.39	0.55	0.23	0.29	0.03	0.07	4.26
接种苗根部 Roots of inoculated	1.92	0.61	0.81	1.64	0.53	0.53	0.74	0.10	0.56	0.95	0.35	0.60	0.09	0.19	9.61
对照苗根部 Roots of control	0.92	0.28	0.33	0.62	0.36	0.34	0.34	-	0.29	0.45	0.21	0.29	0.19	0.05	4.56

3. 糖类: 菌根中所含的总糖量要比对照苗根中的多 21%, 特别是果糖要多出一倍以上。

4. 脂肪酸: 菌根中粗脂肪的含量比对照苗根中多 10%, 脂肪酸的含量也较多, 主要是棕榈酸和亚油酸, 而对照苗的根中亚油酸含量很少。

5. 激素: 菌根中主要是含有玉米素, 而对照苗根中主要含有赤霉素。在接种苗的叶中含有较多的吲哚乙酸 (2.14mg/100g), 而对照苗的叶中则含有较多的脱落酸 (1.09mg/100g)。玉米素的含量在两种叶中的差别不大 (0.68—0.88mg/100g)。在

两种苗的根中和叶中均没有异戊烯基腺嘌呤。

6. X 射线微区分析: 从表 5 可见, 接种地表球囊霉的甜橙幼苗菌根皮层组织的感染面上, Mg、P、Ca 和 Fe 的能量强度, 比对照菌根中的要高得多 (P < 0.05 或 P < 0.01)。而对照苗根中皮层组织的无感染面上, K、Cl 和 S 的能量强度则比较高。这同表 3 中植物化学分析的结果基本上是一致的。

据菌根的不同超微结构中所含的各种营养元素的能量强度比较结果, P、S 和 Mg 是在丛枝、胞间泡囊和胞间菌丝中最多; 在

表 5 接种地表球囊霉的柑桔幼苗菌根的不同超微结构和对照苗根部的 X 射线微区分析比较

Table 5 X-ray microanalysis of different mycorrhizal ultrastructures of *Citrus* seedlings inoculated with *Glomus epigaeum* and in roots of control

元素 Elements	Mg	P	S	Cl	K	Ca	Fe
结构 Structures							
I. 皮层组织面 Cortical sect.							
接种苗 Inoculated	2.83	0.46	7.17*	19.02*	58.96**	7.53	0.05
对照苗 Control							
II. 菌根超微结构; Mycorrh. structures:	5.28*	2.06**	2.57	7.35	18.04	21.49*	2.15*
外生菌丝 External hyphae	7.27ab	2.90c	3.75cd	16.56ab	19.37ab	47.20a	2.82b
内生菌丝 Internal hyphae	9.62ab	2.79a	5.62b	10.89bc	15.27ab	49.61a	3.34b
胞内泡囊 Intercell. vesicles	5.69bc	2.99c	1.23d	1.59d	22.10a	11.75b	10.17a
胞间泡囊 Intercell. vesicles	9.62ab	5.17ab	8.62a	10.79bc	18.85ab	75.26a	0.06b
丛枝 Arbuscules	7.84ab	4.26bc	6.93ab	6.59cd	13.66b	66.75a	1.78b
丛枝分岔顶部 Fine branch	1.67	3.15	4.23	3.98	16.20	7.07	5.41
丛枝基干部 Trunk	3.97	8.21	3.21	6.26	13.10	47.69	3.02
丛枝消解残体 Collasp. remains	1.01	—	1.42	1.33	52.48	11.69	2.69
对照的根毛 Root hairs of control	1.71c	0.05d	4.09c	22.42a	12.27b	13.70b	1.53b

注: I. * $P=0.05$; ** $P=0.01$; t 检验: by t testII. 同一项目内, 不具有共同字母的数据, 表明经 q 检验差异性显著 $P=0.05$ 。Column means not sharing a common letter differ significantly at $P=0.05$, by q test

外生菌丝和胞内泡囊中次之; 在对照苗根毛细胞中含量最低。但根毛中含 Cl 量最高。在丛枝的不同部位和不同的发育时期, 各种营养元素含量的差别也很大; 丛枝基干部含 P 量比纤细的分岔顶部要高; 在发育旺盛的丛枝中含 P 量比在丛枝消解残体中高。Fe 的含量以胞内泡囊中最高, 在菌丝和根毛中差别不大。根毛和根外菌丝中 Cl 的含量显著高于其它部分。X 射线微区分析还发现, 在同一根菌丝或同一泡囊内, P 和 S 的含量也很不均匀。往往发现在某一测点上 P 的能量强度比其附近的测点显然高出许多。

通过上述的试验和分析资料, 可以看出, 地表球囊霉对甜橙幼苗也是一种良好的 VA 菌根真菌。它对甜橙幼苗根部的侵染过程, 比泡桐、葡萄和一些豆科植物的侵染过程要长一些^[6,8,11,12], 这可能与甜橙幼苗的次生侧根萌发较迟, 幼根表皮组织紧密厚实等原因有关。菌根真菌的侵染过程还同接种体的数量、质量和培养条件有关。在接种体的数量、质量、寄主植物和培养条件相同的情况下, 菌根的感染强度是随幼苗接种后的时间而逐渐提高。球囊霉和巨孢囊霉属的真菌是好气性菌类, 所以形成的菌根多集中分布在 10cm 以上的

土层内。地表球囊霉的感染强度同柑桔幼苗地上部分的生长呈一定的正相关性, 但对柑桔幼苗根部生长作用不明显。这种现象与一些作者^[13,14]对其它种植物的报道相符合, 但这也可能与育苗容器的体积限制有关, 在甜橙接种苗的容器四壁和底部, 主侧根盘结都非常紧密, 而对照苗容器中根的盘结则较松。

接种地表球囊霉的柑桔幼苗对 P、Mg、Zn、Fe、Ca 和 N 素的吸收利用都较高, 氨基酸和总糖量也增多。P 素主要分布在丛枝、胞间泡囊和菌丝中, 不过质地很不均匀, 这可能与泡囊和丛枝中存在的聚磷酸盐颗粒有关。Cox 等用电子显微镜技术已经在球囊霉属真菌细胞质流的液泡内发现有聚磷酸盐颗粒^[15]。在洋葱 VA 菌根真菌中聚磷酸盐至少占总磷量的 40% 以上。但在纤细丛枝分枝的顶部液泡内就没有聚磷酸盐颗粒存在, 这与我们用 X 射线能谱仪测定的结果相符合。

试验还证明, 不同菌种对同一寄主植物的菌根侵染能力和生长促进作用可能不同。有些 VA 菌根真菌对某寄主植物根部

虽有一定的侵染能力, 但生长促进效益不大。我们的目的就是通过试验和分析研究, 选择对寄主植物有良好作用的菌根真菌, 进行人工接种, 替代效益低的菌种。

参 考 文 献

- [1] Graham, J. H. et al.: Proc. of 7th NACOM, p. 249, 1987.
- [2] Johnson, C. R. et al.: Proc. of 6th NACOM, p. 383, 1984.
- [3] Nemec, S.: Proc. of 6th NACOM, p. 243, 1984.
- [4] 曹振尧等: 土壤学报, 17(4): 335—345, 1990.
- [5] Furlan, V. et al.: Proc. of 6th NACOM, p. 232, 1984.
- [6] Kuo, S. C. et al.: Proc. of 1st ACOM, p. 15, 1989.
- [7] Kough, J. L. et al.: Proc. of 6th NACOM, p. 259, 1984.
- [8] 郑秀珍等: 园艺学报, 15(2): 77—81, 1988.
- [9] 汪洪钢等: 土壤学报, 20(2): 205—208, 1993.
- [10] 毕国昌等: 中国科学院研究生院学报, 3(1): 80—86, 1986.
- [11] Phillips, M. et al.: Trans. Br. Mycol. Soc., 55: 158—161, 1970.
- [12] Kuo, S. C. et al.: Proc. of 6th NACOM, p. 414, 1984.
- [13] Azcon, R. et al.: New Phytol., 87: 677—685, 1981.
- [14] Saif, S. R.: Plant and Soil, 97: 25—35, 1987.
- [15] Cox, G. et al.: New Phytol., 77: 371—378, 1976.

A STUDY ON VA MYCORRHIZAE INOCULATION ON CITRUS SEEDLINGS

Bi Guochang

(Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing)

Zhao Zhipeng

(Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing)

Guo Meizhen

(Wuxi Institute of Light Industry, Wuxi)

A set of experiments on inoculation of *Citrus sinensis* seedlings with 12 different VA mycorrhizal fungi were carried out in containers in greenhouse conditions. In results, *Glomus vesiculiferum*, *Gl. epigaeum* and *Gl. monosporum* were proved as the most effective mycorrhizal fungi both in mycorrhizal infection and in growth response. The mycorrhizae synthesized by *Gl. epigaeum* on *Citrus* seedlings, including the intensity of mycorrhizal infection, infection process and vertical distribution of mycorrhizae on the

root system, chemical analysis, contents of saccharides, hormones, amino acids and fatty acids of roots and plants, as well as the X ray microanalysis of mycorrhizal ultrastructures were studied in details.

Key words

VA mycorrhizal fungi; *Glomus epigaeum*; *Citrus sinensis*; Growth effect; X-ray microanalysis