

菌根接种对柑桔磷素营养 和生长效应的研究*

唐振尧 万兆良

(中国农业科学院柑桔研究所) (西南农学院土壤化学系)

许多研究证明菌根能显著地促进柑桔生长。Menge等(1975)报道接种 *Glomus fascicularis* 于不同柑桔品种实生苗后,其植株生长量比无菌根的增加120—2600%^[5]。目前,美国、澳大利亚和南非等国以菌根真菌作为一种“生物肥料”,正研究菌根接种剂的商业生产,企图应用于柑桔果园,来提高肥效和减少施肥量^[2,3,6]。

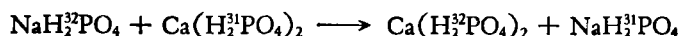
我国是世界柑桔类果树的主要发源地,栽培柑桔已有四千年历史^[1],应该具有丰富的柑桔菌根真菌资源,然而过去未曾发掘和利用。我们已经发现了两种柑桔的菌根真菌:中柑1号和中柑2号,进行了盆栽接种试验。本文报道人工接种这两种菌根菌对柑桔磷素营养和植株生长的效益。

一、材料和方法

筛取重庆层紫色土(pH 8.8)混以河沙4:1(V/V),经高温高压(126℃, 1.1—1.2公斤/厘米²)灭菌一小时。每个陶盆(径粗25厘米)加入灭菌土约30斤。取锦橙(*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), 粗柠檬(*Citrus jambhiri* Lusb) 和枳(*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.) 的种子,经5% H₂O₂ 浸5分钟后,用自来水冲洗,剥去种皮。于1979年2月14日播种于灭菌土中,在温室中催芽成苗。

选取各柑桔品种生长一致的幼苗,同时期分别接种中柑1号和中柑2号。以分别受两种菌根感染的柑桔新根和根际土作为接种的菌剂,加于每株幼苗的根部四周,每株加菌剂30克。设处理5个:处理1,接种中柑1号于枳的实生苗;处理2,接种中柑1号于粗柠檬实生苗;处理3,接种中柑1号于锦橙实生苗;处理4,接种中柑2号于枳的实生苗;处理5,接种中柑2号于粗柠檬实生苗。各处理以同品种实生苗不接种菌根(加经高温灭菌的菌剂)为对照,各个处理均以三株苗重复。

在接种处理2个月左右,于5月29日,每株实生苗加入等量含³²P的营养液(用³²P标记的过磷酸钙0.9克,其放射性强度为270微居里)、尿素0.5克和硫酸钾0.32克(N:P₂O₅:K₂O = 1:1:0.5),均匀施于每株苗的根部。³²P标记的过磷酸钙是用同位素交换法制备的。



* 本研究获得华中农学院陈华癸、章文才教授指导,特致谢意;参加本项工作还有柑桔研究所张云秀同志。

在 45°—50℃ 中交换 24 小时, 于 60°—70℃ 中烘干, 立即使用。

试验期间 (2 月 14 日至 9 月 29 日) 所有苗木除施用一次 ^{32}P 标记的营养液外不再施肥, 盆栽管理条件均一致; 干旱时, 每盆灌入等量自来水, 保持土壤湿润。

施入 ^{32}P 肥料 50 天和 100 天后, 分别取样作观察。各处理取出整株苗木, 测量生长量 (植株的鲜重、枝梢长度、主干粗度、叶片大小和叶片数)。每次各取新根段约 50 个, 固定于 FAA 溶液中, 将根组织制成纵剖面, 经曲利本蓝酒精溶液和棉蓝乳酸酚染色, 甘油封固, 在显微镜下观察根的表皮和皮层组织中菌根结构 (菌丝体的分布, 是否产生泡囊、丛状体及厚壁孢子等)。

$$\text{菌根感染率} = \frac{\text{有菌根的根段数}}{\text{镜检根段总数}} \times 100$$

将各实生苗鲜样放在鼓风干燥器中, 于 65℃ 下烘干至恒重, 称记各株苗的干物质重。分别称取各个植株的地上部和根部的干样各 50 毫克, 在 FH-408 型自记定标器中测量 ^{32}P 的放射性强度 30 秒钟, 测得放射性的脉冲数。又称取每个样品的干样 0.25 克, 经硫酸消化后, 磷钼蓝比色法测定植株的总磷 (P_2O_5) 量。

二、结果和讨论

(一) 接种菌根真菌的感染情况

在接种菌根三个月后, 取各处理的根样作解剖学观察。以锦橙感染中柑 1 号最为明显。锦橙的许多根表皮附着菌丝 (图版 I 照片 1) 伸入根外土壤中。锦橙根的皮层组织中发生丰富的菌丝, 纵向分布于细胞间隙中。菌丝无隔膜, 很少分枝, 并产生许多泡囊 (vesicles)。泡囊多呈长椭圆形, 也因细胞间隙不同而形状多变, 并可看到在锦橙根的薄壁细胞内由菌丝产生的“丛状体” (arbuscles) (图版 I 照片 2)。此时锦橙的根约有 40% 被菌根感染。粗柠檬对两种菌根菌的感染率为 30—35%, 而枳只有 2% (表 1)。

在接种菌根菌的五个半月后, 锦橙对中柑 1 号的感染率增为 65%, 而粗柠檬对中柑 2 号的感染率达 70%。粗柠檬感染中柑 2 号后, 皮层组织分布的菌丝很浓密, 也产生泡囊 (图版 I 照片 3)。而枳的菌根感染率仍最低, 不到 5%, 并且菌丝稀少 (表 1)。

各品种的对照根组织中均未发现有菌根的感染, 根表面及皮层组织内均无菌丝 (图版 I 照片 4)。

以上结果表明, 在相同条件下, 各个柑桔品种对同一个菌根真菌的感染能力有明显的差异。说明不同品系的菌根真菌对柑桔品种具有专一性^[4,7]。

枳是我国柑桔生产中最重要的一种砧木。枳砧的柑桔果树常出现黄化或缺素症, 是否与枳对菌根感染力极差有关? 如何提高枳对菌根的感染程度? 哪些菌根菌种最为适合于枳? 都有待进一步研究。

(二) 菌根增进柑桔对磷肥的吸收

同期等量施入 ^{32}P 标记的过磷酸钙的实生苗, 在施肥 50 天和 100 天后分别测量每株苗内的放射强度 (表 2)。表 2 示出各品种经接种菌根的实生苗, 不论是根部或地上部都有比对照更强的放射性强度, 有的比对照增加 2—3 倍。而且不同品种柑桔的反应不一样。

表 1 接种菌根后根系对真菌的感染情况

Table 1 Infection of root system by mycorrhizal fungi after inoculation

菌根菌种 Mycorrhizal fungus	处 理 Treatment		7 月 13 日 July 13		9 月 3 日 Sept. 3	
			菌根结构 Mycorrhizal structure	感染率(%) Infection rate	菌根结构 Mycorrhizal structure	感染率(%) Infection rate
中柑 1 号 CC-1	枳 P. T.	接 种 Inoc.	根表无菌丝, 皮层内少数菌丝 No mycelium on root surface a few mycelia in cortex	2	皮层内少数菌丝, 有泡囊 A few mycelia and vesicles in cortex	4
		对 照 Control	—	0	—	0
	粗柠檬 C. J.	接 种 Inoc.	皮层内菌丝丰实, 有泡囊 Plenty of mycelia and some vesicles in cortex	30	菌丝丰实, 粗状, 有丛状体 Plenty of mycelia and a few arbuscules	60
		对 照 Control	—	0	—	0
	锦橙 C. S.	接 种 Inoc.	菌丝丰实, 多泡囊 Plenty of mycelia and vesicles	40	根表面有菌丝, 有丛状体 Plenty of mycelia and arbuscules on root surface	65
		对 照 Control	—	0	—	0
中柑 2 号 CC-2	枳 P. T.	接 种 Inoc.	极少现菌丝 Few mycelia	2	皮层内有菌丝 A few mycelia in cortex	3
		对 照 Control	—	0	—	0
	粗柠檬 C. J.	接 种 Inoc.	菌丝丰实 Plenty of mycelia and vesicles	35	菌丝丰实, 有丛状体 Plenty of mycelia and a few arbuscules	70
		对 照 Control	—	0	—	0

注: 表中—为无菌丝, —Non mycelium.

Note: P. T.: *Poncirus Trifoliata*C. J.: *Citrus Jambhiri* LushC. S.: *Citrus Sinsensis* (L.) Osbeck

Inoc.: The inoculated plant

如锦橙接种中柑 1 号, 在施入 ^{32}P 肥料 50 天后, 地上部脉冲数为最高, 为对照的 7.52 倍; 根部也为三个品种中最高的, 为对照的 3.50 倍。100 天后, 植株的放射强度仍为最高。

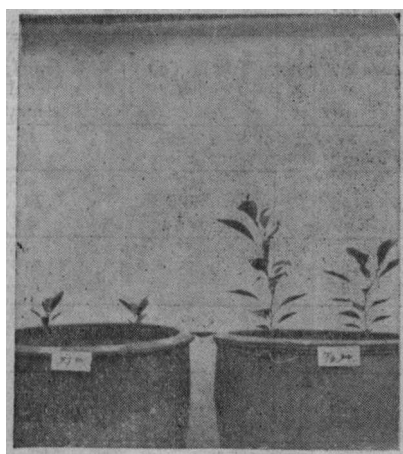
各处理单株的总含磷量减去从肥料中吸收的 ^{32}P 量, 即为植株从土壤中吸收的磷量。其结果列于表 3。从表 3 可以看出, 锦橙接种中柑 1 号 50 天后, 地上部从肥料中获得磷素 3.51 毫克, 为对照的 9.5 倍, 根部为对照的 5.6 倍。粗柠檬以接种中柑 2 号较好, 施入 ^{32}P 肥料 50 天后, 地上部从肥料中吸收磷量为对照的 6.2 倍, 100 天后为对照的 3.7 倍。表 3 也说明了菌根促进植株从土壤中吸收磷素, 特别是到 100 天后表现其促进作用更大。

表 2 菌根对吸收 ^{32}P 肥料的作用
Table 2 Influence of inoculation of mycorrhizal fungi on ^{32}P uptake

菌根菌种 Mycorrhizal fungus	处 理 Treatment	加入 ^{32}P 50 天后 50 days after application of ^{32}P				加入 ^{32}P 100 天后 100 days after application of ^{32}P			
		地 上 部 Upper part of plant		根 部 Root		地 上 部 Upper part of plant		根 部 Root	
		脉冲数 Pulse count	比 值 Specific value	脉冲数 Pulse count	比 值 Specific value	脉冲数 Pulse count	比 值 Specific value	脉冲数 Pulse count	比 值 Specific value
中柑 1 号 CC-1	枳 P. T.	4211	2.15	2582	2.82	552	1.16	571	3.52
	对照 Control	1951		915		471		162	
	接 种 Inoc.	8836	3.86	3739	2.32	658	1.97	330	1.43
	对照 Control	2289		1608		333		230	
	接 种 Inoc.	9847	7.52	4371	3.50	411	2.16	471	3.27
	对照 Control	1309		1251		198		144	
中柑 2 号 CC-2	枳 P. T.	2476	1.18	1641	1.01	497	1.70	230	1.19
	对照 Control	2088		1634		291		193	
	接 种 Inoc.	4315	2.73	3295	2.42	290	1.33	388	1.36
	对照 Control	1578		1363		217		285	
	接 种 Inoc.								
	对照 Control								

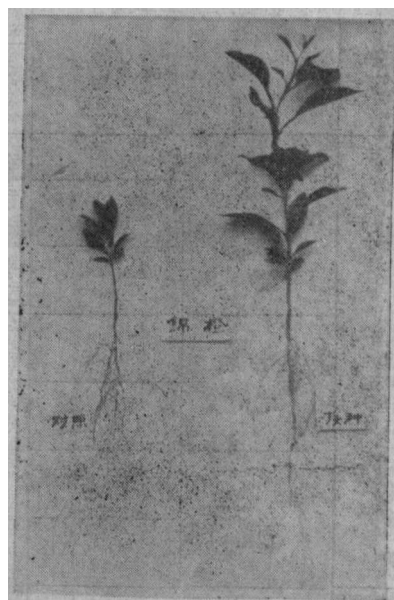
表3 菌根对植株吸收磷量的影响(单位: P_2O_5 , 毫克数)Table 3 Effect of mycorrhizal fungi on P uptake by plant (P_2O_5 , mg)

菌根菌种 Mycor- rhizal fungus	处 理 Treatment		地 上 部 Upper part of plant			根 部 Root		
			总 磷 量 Total P of plant	从肥料中吸 收磷量 P uptake from fert.	从土壤中吸 收磷量 P uptake from soil	总磷量 Total P of plant	从肥料中吸 收磷量 P uptake from fert.	从土壤中吸 收磷量 P uptake from soil
中柑 1 号 CC-1	枳 P. T.		施入 ³² P 后 50 天 50 days after application of ³² P					
		接 种 Inoc.	4.32	1.61	2.71	2.34	0.48	1.86
		对 照 Control	1.81	0.30	1.51	0.68	0.23	0.45
	粗柠檬 C. J.	接 种 Inoc.	4.56	2.72	1.84	0.32	1.08	—
		对 照 Control	3.10	0.98	2.12	—	—	—
	锦 橙 C. S.	接 种 Inoc.	4.28	3.51	0.78	0.92	1.23	0.69
		对 照 Control	0.80	0.37	0.43	0.70	0.22	0.47
	中柑 2 号 CC-2	枳 P. T.	接 种 Inoc.	1.95	0.67	1.28	0.90	0.39
对 照 Control			0.33	0.24	0.09	0.29	0.18	0.11
粗柠檬 C. J.		接 种 Inoc.	8.44	3.34	5.10	1.78	1.06	0.73
		对 照 Control	1.88	0.54	1.34	0.78	0.38	0.36
中柑 1 号 CC-1	枳 P. T.		施入 ³² P 后 100 天 100 days after application of ³² P					
		接 种 Inoc.	4.51	2.21	2.30	1.86	0.98	0.88
		对 照 Control	3.28	0.70	2.58	1.06	0.46	0.60
	粗柠檬 C. J.	接 种 Inoc.	3.05	6.94	9.43	2.43	0.51	1.92
		对 照 Control	7.48	1.44	1.61	0.70	0.43	0.27
	锦 橙 C. S.	接 种 Inoc.	16.37	2.84	4.64	2.55	0.11	1.45
		对 照 Control	0.49	0.25	0.24	0.49	0.19	0.30
	中柑 2 号 CC-2	枳 P. T.	接 种 Inoc.	4.40	2.02	2.38	1.80	0.73
对 照 Control			1.87	0.72	1.15	0.85	0.42	0.43
粗柠檬 C. J.		接 种 Inoc.	23.43	6.14	17.29	5.80	1.38	4.42
		对 照 Control	7.38	1.66	5.72	1.02	0.52	0.52



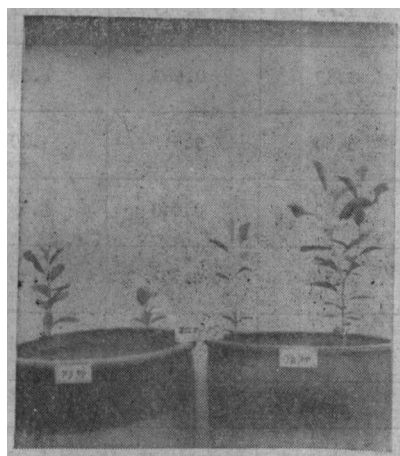
照片 1 锦橙盆栽实生苗接种菌根四个半月后与对照生长情况的比较

Fig. 1 Inoculated seedlings of *Citrus sinensis* (L.) Osbeck (right) and the control (left) of 4½ months after inoculation



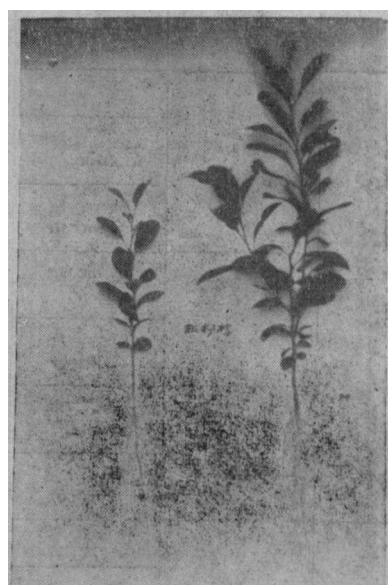
照片 2 锦橙实生苗接种菌根四个半月后与对照植株的比较

Fig. 2 Inoculated plant of *Citrus sinensis* (L.) Osbeck (right) and the control (left) of 4½ months after inoculation



照片 3 粗柠檬盆栽实生苗接种菌根五个半月后与对照生长情况的比较

Fig. 3 Inoculated seedlings of *Citrus jambhiri* Lush (right) and the control (left) of 5½ months after inoculation



照片 4 粗柠檬实生苗接种菌根五个半月后与对照生长情况的比较

Fig. 4 Inoculated plant of *Citrus jambhiri* Lush (right) and the control of 5½ months after inoculation

表4 接种菌根对植株干物质和干物质中含磷量的影响

Table 4 Effect of inoculation of mycorrhizal fungi on dry weight of citrus seedlings and phosphorus content

菌根菌种 Mycorrhizal fungus	处 理 Treatment		地 上 部 Upper part of plant		根 部 Root	
			干物重 (g) Dry wt.	每克干物质中 P ₂ O ₅ (mg/g) P ₂ O ₅ per 1g of dry matter	干物重 (g) Dry wt.	每克干物质中 P ₂ O ₅ (mg/g) P ₂ O ₅ per 1g of dry matter
中柑1号 CC-1	枳 P. T.	接 种 Inoc.	0.675	6.48	0.325	7.20
		对 照 Control	0.565	3.20	0.450	1.50
	粗 柠 檬 C. J.	接 种 Inoc.	0.480	9.50	0.215	—
		对 照 Control	0.755	4.10	0.340	—
	锦 橙 C. S.	接 种 Inoc.	0.630	6.79	0.220	4.18
		对 照 Control	0.497	1.60	0.315	2.22
中柑2号 CC-2	枳 P. T.	接 种 四 个 月 后 4 months after inoculation				
		接 种 Inoc.	0.475	4.10	0.435	2.06
	粗 柠 檬 C. J.	对 照 Control	0.205	1.60	0.490	0.59
		接 种 Inoc.	1.365	6.18	0.220	8.09
中柑1号 CC-1	枳 P. T.	对 照 Control	0.608	3.10	0.190	4.10
		接 种 Inoc.	0.940	4.79	0.405	4.59
	粗 柠 檬 C. J.	对 照 Control	0.965	3.39	0.662	1.60
		接 种 Inoc.	2.480	6.60	0.517	4.70
	锦 橙 C. S.	对 照 Control	1.015	3.00	0.440	1.59
		接 种 Inoc.	1.627	4.59	0.555	4.59
中柑2号 CC-2	枳 P. T.	对 照 Control	0.305	1.60	0.305	1.60
		接 种 Inoc.	0.957	0.88	0.440	1.27
	粗 柠 檬 C. J.	对 照 Control	0.585	1.03	0.345	1.32
		接 种 Inoc.	4.985	24.48	1.415	13.18
		对 照 Control	1.800	12.61	0.640	2.95
		接 种 Inoc.				

如锦橙地上部从土壤中吸收磷量突出地增为对照的 19.3 倍。粗柠檬实生苗到后期从土壤中吸收磷量也比初期明显增多。

我们知道磷素肥料在土壤中扩散能力极低,又容易被固定为非溶性,所以柑桔根系对磷肥的吸收很困难^[5]。当形成菌根后,菌丝伸展到根外四周土壤中,便克服了所谓“无磷圈”的阻碍而增加从土壤中吸收磷素养分。Rhodes & Gerdemann (1978) 以 ^{32}P 示踪证明植物具有菌根后能显著地增强植株吸收磷素的活性^[3]。Menge (1978) 指出柑桔果树经接种菌根后可减少土壤中磷肥的施用量^[6]。

由于接种菌根增强了柑桔实生苗从肥料和土壤中吸收磷素的能力,故植株中含磷总量必然增多(表 3)。然而,肥大植株的含磷总量自然要比瘦小植株的多,因此应该对植株单位质体中的含磷量进行比较。表 4 列出了各处理植株的干物质重和单位干物质中含磷量。

可见接种菌根同样地增加各品种实生苗每克干物质中含磷量。如粗柠檬在接种中柑 2 号四个月后,每克干物质中含 P_2O_5 6.18 毫克,到五个半月后增为 24.48 毫克,均增加为

表 5 接种菌根对各品种实生苗生长的影响

Table 5 Effect of inoculation of mycorrhizal fungi on growth of citrus seedling

菌根菌种 Mycor- rhizal fungus	处 理 Treatment		整株鲜重 (g) Fresh wt. of plant	鲜 重 (g) Fresh wt.		主干粗(cm) Trunk diam	鲜 重 (g) Fresh wt.		主干粗(cm) Trunk diam
				地上部 Top	根 部 Root		地上部 Top	根 部 Root	
中柑 1 号 CC-1	枳 P. T.		接种三个月后 3 months after inoculation	接种四个半月后 4½ months after inoculation			接种五个半月后 5½ months after inoculation		
		接 种 Inoc.	3.5	2.3	1.3	0.29	3.21	3.15	0.34
		对 照 Control	3.2	2.5	2.1	0.31	3.00	3.14	0.34
	粗柠檬 C. J.	接 种 Inoc.	3.4	9.5	2.6	0.35	4.90	2.59	0.31
		对 照 Control	3.1	3.4	1.1	0.30	1.79	1.59	0.24
		锦橙 C. S.	接 种 Inoc.	3.5	5.2	2.2	0.41	5.20	4.16
		对 照 Control	1.5	0.9	1.0	0.20	0.60	1.20	0.28
中柑 2 号 CC-2	枳 P. T.		接种四个月后 4 months after inoculation	接种五个半月后 5½ months after inoculation			接种六个半月后 6½ months after inoculation		
		接 种 Inoc.	3.5	2.8	1.9	0.29	3.50	2.79	0.34
		对 照 Control	2.8	2.0	1.4	0.25	2.40	2.18	0.32
	粗柠檬 C. J.	接 种 Inoc.	6.3	15.8	4.2	0.48	8.30	4.95	0.41
		对 照 Control	4.0	3.7	2.2	0.32	3.60	2.10	0.29

对照的 2 倍左右。

(三) 菌根促进柑桔的生长

在接种菌根约二个月后,有菌根的实生苗枝梢比对照的健壮而长,叶片肥大浓绿,主干较粗,而作为对照的无菌根植株均不出现分枝,第二次枝梢只出现短小的痕迹,叶片细薄而黄,呈缺素症状(照片 1—4)。

不同时期对各处理植株的生长量的调查结果列于表 5 中。从表 5 可以看出中柑 1 号菌根菌种对促进锦橙的生长最为明显。接种三个月后,植株鲜重已为对照的 2.3 倍,到四个半月后,植株的地上部鲜重为对照的 5.8 倍,根部的鲜重为对照的 2.2 倍,主干粗已增长为对照的 2 倍以上。到五个半月后,地上部及根部的鲜重分别为对照的 8.7 倍和 3.4 倍。中柑 1 号对枳实生苗的生长作用不很显著,其主干粗度与对照的差异不大。

粗柠檬实生苗对中柑 2 号的生长反应也十分明显,在接种四个月后,植株整株的鲜重为对照的 1.6 倍;到五个半月后,地上部鲜重增为对照的 4.2 倍,根部鲜重为对照的 1.9 倍以上,六个半月后仍分别增为对照的 2.3 倍以上。中柑 1 号对粗柠檬生长的影响不如中柑 2 号的显著。

参 考 文 献

- [1] 唐振尧, 1973: 国外柑桔生产和科技概况。柑桔科技通讯, 第 5—6 期, 76—84 页。
- [2] Hattingh, M. J. and Gerdemann, J. W., 1975: Inoculation of Brazilian sour orange seed with endomycorrhizal fungus. *Phytopathology*, 65(9): 1013—1016.
- [3] Hattingh, M. J., 1978: Mycorrhizal fungi boost citrus seedlings. *Citrus & Subtropic Fruit J.*, 533: 21—26.
- [4] Marx, D. H., Bryan, W. C. and Campbell, W. A., 1971: Effect of endomycorrhizae formed by endogone mossae on growth of citrus. *Mycologia*, 63(2): 1222—1226.
- [5] Menge, J. A., Gerdemann, J. W. and Lambright, H. W., 1975: Mycorrhizal fungi and citrus. *The Citrus Industry*, 61: 16—18.
- [6] Menge, J. A., Gerdemann, J. W. and Johnson, E. L. V., 1978: Commercial production of mycorrhizal inoculum may benefit citrus growers. *Citrograph*, 63(6): 139—143.
- [7] Mosse, B., 1973: Advance in the study of vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Ann. Rev. Phytopathology* Vol. 11: 171—196.

THE EFFECTS OF INOCULATION OF MYCORRHIZAL FUNGI ON PHOSPHORUS NUTRITION AND GROWTH OF CITRUS SEEDLINGS

Tang Zhen-yao

(Institute of Citrus, Chinese Academy of Agricultural Science)

Wan Zhao-liang

(Department of Soil Chemistry, Southeast Agricultural College)

Summary

Two mycorrhizal fungi CC-1, CC-2 were used to inoculate the roots of three citrus species. Anatomic investigation showed that they might be associated with the host plant to form endomycorrhiza, but there were significant differences in the degree of infection among different citrus species.

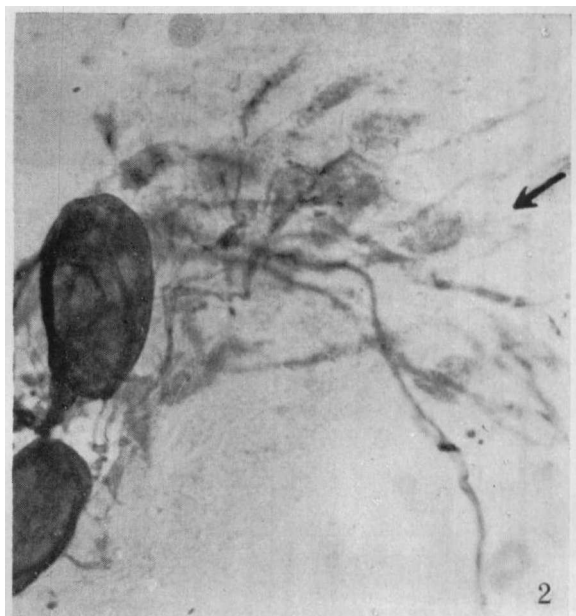
At the time of four and a half months after inoculation, the rate of infection of glorious orange inoculated with CC-1 and it was found that there were mycelia on the root surface and plenty of vesicles and arbuscules in cortex. The infection rate of rough lemon inoculated with CC-2 was 70%, and there was no mycelium on the root surface, and the infection rate of *Poncirus trifoliata* was the minimal.

Experiment with phosphorus fertilizer labelled by radioisotope ^{32}P showed that mycorrhiza enhanced citrus seedlings to absorb more phosphorus either from fertilizer or from soil, therefore the total phosphorus content and phosphorus level per unit dry matter of inoculated seedling were significantly higher than those of the control. It was also found that the fresh weight, length of shoots and leaves and diameter of trunk of inoculated citrus seedlings were greater than those of the control.



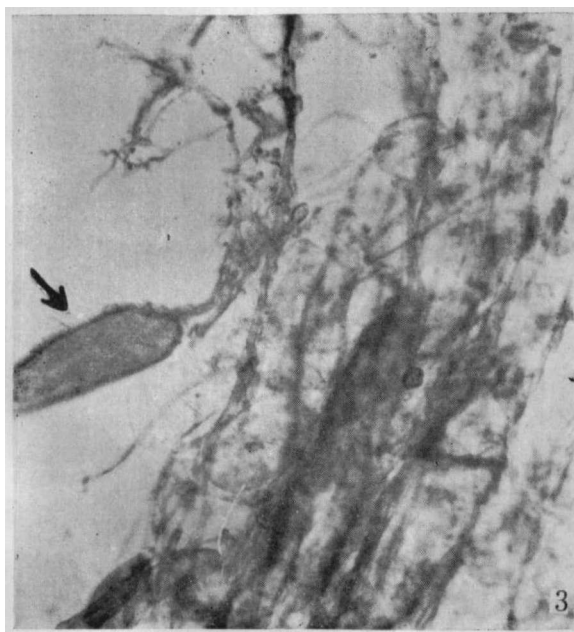
照片 1 锦橙根的表皮组织上
着生的菌根菌丝

Fig. 1 Mycorrhizal mycelium in the surface
of the root of *Citrus sinensis* (L.) Osbeck



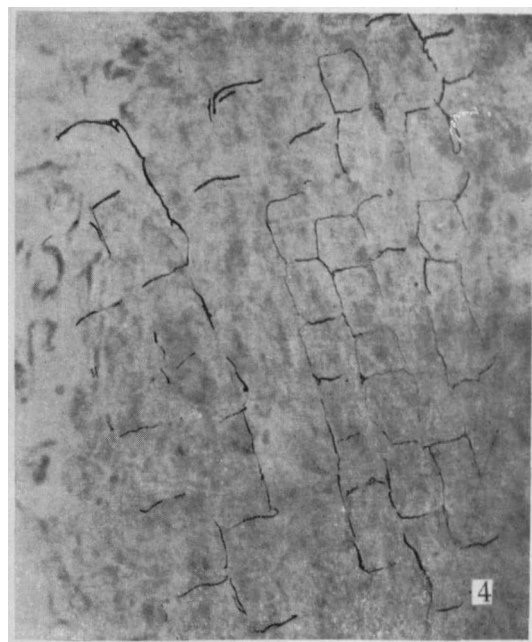
照片 2 锦橙根的皮肤组织中分布的
菌根菌丝、泡囊和丛状体
(箭头所示为薄壁细胞内的丛状体)

Fig. 2 Mycorrhizal mycelium, vesicles and
arbuscules in cortical tissue of *Citrus sinensis*
(L.) Osbeck



照片 3 粗柠檬根的皮层组织内分布的
菌根菌丝和泡囊(箭头所示为泡囊)

Fig. 3 Mycorrhizal mycelium and vesicles in
cortical tissue of rootlet of *Citrus jambhiri*
Lush.



照片 4 锦橙无菌根(对照)的根
皮层组织纵剖面

Fig. 4 Vertical section of cortical tissue of
non mycorrhizal rootlet of *Citrus sinensis* (L.)
Osbeck