

接种不同 VA 菌根真菌对红三叶草利用不同磷源的影响

宋勇春,冯 固,李晓林*

(中国农业大学植物营养系,北京 100094)

摘要:以红三叶草为材料,利用三室隔网培养方法,研究了施用不同磷源条件下,接种 VA 菌根真菌(*Glomus mosseae* 和 *Glomus versiforme*)对外加有机磷源及土壤有机磷的利用效率。植物生长 10 周后,测定植株干物重、含磷量、菌根侵染率及根系长度。结果表明:接种菌根真菌能明显增加植株干物重和含磷量。接种条件下无机磷(KH_2PO_4)对植株生长的促进作用大于有机磷(Na-phytate)处理,接种 *Glomus versiforme* 的作用明显大于接种 *Glomus mosseae*。接种 *Glomus mosseae*, 植株对磷酸二氢钾中磷的吸收量明显大于植酸钠,而接种 *Glomus versiforme* 时则植株对植酸钠的磷吸收量明显高于磷酸二氢钾。上述结果说明接种两菌种对不同磷源的作用不同,接种 *Glomus mosseae* 可提高磷酸二氢钾中磷的利用率,接种 *Glomus versiforme* 则可提高对植酸钠的磷利用率。

关键词:VA 菌根真菌;红三叶草;不同磷源;有机磷

Effect of different VAMF on red clover(*Trifolium pratense* L.) in utilizing organic phosphorus

SONG Yong-Chun, FENG Gu, LI Xiao-Lin (Department of Plant Nutrition in China Agricultural University, Beijing 100094, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(9): 1506~1511.

Abstract: In order to study the role of VAM hyphae in absorbing phosphorus from organic phosphorus sources, a pot experiment was carried out under the controlled condition. The pot was separated into three compartments: root, hyphal and balk soil compartments. Root compartment was separated from the hyphal compartment by a nylon net with 30 μm in diameter. Red clover were planted in the root compartment inoculated or uninoculated with VAM fungus, *Glomus mosseae* and *Glomus versiforme* respectively combined with application of Na-phytate or KH_2PO_4 in the hyphal compartments. In control treatments, no phosphorus was added. The results showed that mycorrhizal infection significantly increased phosphorus uptake of red clover from different phosphorus sources and growth improved as well. Inorganic phosphorus (KH_2PO_4) had better effect on growth of plants than organic phosphorus (Naphytate). Inoculum of *Glomus versiforme* was better than that of *Glomus mosseae* in content of dry weight accumulation. Plant took more phosphorus from than from Na-phytate than from KH_2PO_4 when inoculated *Glomus mosseae*, but plant took more phosphorus than from KH_2PO_4 when inoculated *Goomus versiforme*. The results clearly demonstrated that efficiency of VAM hyphae in utilizing of organic phosphorus by red clover. The organic P could improve growth of the plants inoculated with defferent VAMF which could play an important role in direct contribution to plant P nutrition.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40071050)

本文由陆景陵教授精心修改,特此致谢。

收稿日期:1999-08-17, 修订日期:2000-10-10

作者简介:宋勇春(1970~),女,博士。主要从事植物与微生物相互作用研究。

Key words: VAMF; red clover; different phosphorus sources; organic phosphorus

文章编号:1000-0933(2001)09-1506-06 中国分类号:Q949.32,S541.2 文献标识码:A

磷素作为植物生长发育的必需营养元素之一,不仅是植物体内许多重要化合物的组分,而且还以多种途径参与植物体内的各种代谢过程,在人类赖以生存的土壤-植物-动物生态系统中,磷起着其它元素不可替代的作用^[1]。但世界绝大部分农业土壤又严重缺磷^[2],磷仍然是我国乃至世界农业生产中最重要的限制因素,磷肥供求不足不仅是现在而且更是将来农业生产的突出矛盾之一。磷肥的利用率很低是重要原因之一,据报道,所施用的无机磷其中至少有 70%~90%在进入土壤后即成为难以被植物吸收利用的形态^[3]。土壤有机磷是土壤全磷重要的组分,有机磷一般占土壤全磷的 20%~50%^[4]。因此,发挥植物的自身潜力,利用菌根共生体来开发利用土壤有机磷源,提高有机磷的利用效率,有可能成为改善土壤磷营养状况的一种手段。

泡囊丛枝(VA)菌根真菌可侵染众多植物,通过增加宿主植物对土壤磷的吸收和利用,从而改善植物磷素营养而促进其生长发育的现象已为人们所熟知^[5~7]。多年来,菌根对土壤无机磷利用机理的研究已开展了大量工作,也取得了长足进展,关于丛枝菌根真菌能否分泌磷酸酶及其在提高土壤有机磷利用效率中的作用研究较少,且存在一定的争议。Joner 认为菌丝能降解膜界面以外的土壤无机磷,但不影响土壤有机磷的含量^[8]。Tarafdar and Marschner 指出,接种菌根真菌可以增加土壤磷酸酶活性,促进土壤有机磷的水解^[9]。为进一步探讨丛枝菌根真菌对有机磷的矿化机制,本试验以红三叶草为供试植物,通过分室隔网技术将菌丝吸收区与根系吸收区在空间位置上区分开,以定量测定 VA 菌根菌丝利用不同有机磷源的能力。

1 材料和方法

1.1 试验用盆 采用 PVC 管(内径 9.2 cm)制成的三室隔网装置(见图 1),包括根室(高 8 cm)、菌丝室(高 4 cm)和土壤室(高 4 cm),根室和菌丝室之间用孔径 30 μm 的尼龙网隔开,使根系限制在根室中生长,而菌根菌丝可以穿过尼龙网到菌丝室土壤中吸收养分,达到将根系吸收区相区分的目的。菌丝室与土壤室之间用 0.45 μm 的微孔滤膜隔开,使菌丝也不能穿过,以在隔膜处形成一菌丝际。

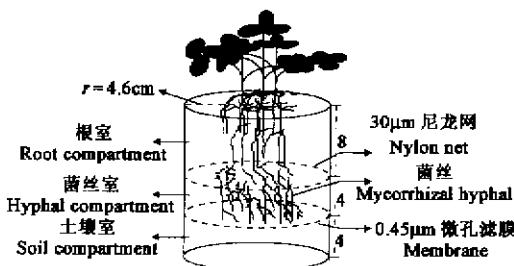


图 1 试验装置示意图

Fig. 1 Diagram of the pot used

1.2 供试土壤 采自中国农业大学昌平长期肥料定

位试验地只施氮肥的小区,施氮(N)水平为 270 kg/hm²。供试土壤理化性状见表 1:

表 1 土壤理化性状

Table 1 Some physical and chemical properties of the soil

有机质 O. M (%)	有效磷 Olsen-P (mg/kg)	碱解氮 Alk-hydro. N (mg/kg)	速效钾 N NH ₄ OAC-K (mg/kg)	pH 值 (CaCl ₂)
1.24	3.06	87.2	100.3	7.5

1.3 供试作物 红三叶草(*Trifolium pratense* L.)。

1.4 菌根菌种 由中国农业科学院土壤肥料研究所汪洪钢提供,用菌根真菌(*Glomus mosseae* 和 *Glomus versiforme*)分别经玉米繁殖 3 个月,用含有受真菌侵染的根段和含有菌丝的根际土壤作为菌根接种剂。

1.5 试验设计 试验设 3 种施肥处理,分别为不施磷肥(CK)、施磷酸二氢钾(KH₂PO₄)和植酸钠(Na-phytate),施磷量为 P(50 mg/kg)。每个施肥处理又分别设接种(*Glomus mosseae*(+M)和 *Glomus versiforme*(+V))和不接种(-M,-V)处理,共 12 个处理,每个处理重复 5 次。各处理均施有 N(NH₄NO₃)200 mg/kg、K(K₂SO₄)150 mg/kg、Mg(MgSO₄)50mg/kg 和 Zn(ZnSO₄)5mg/kg。作物生长期追施一次氮肥(50mg/kg),以保证氮素供应充足。

1.6 接种方法 将 50 g 接种剂和 500 g 土壤完全混匀后装入接种菌根处理的根室,对照组则加入相同重量经灭菌处理的接种剂和 10 ml 菌种滤液,菌丝室土壤为 340 g。

- 1.7 播种 三叶草种子在 10% H₂O₂ 溶液中浸泡 10 min 进行表面消毒,用蒸馏水冲洗干净后置于湿润的滤纸上放置一昼夜使之发芽,每盆在根室中播 100 粒,并在根室土壤表面覆盖一层石英砂以减少水分蒸发。
- 1.8 温度和光照 试验在生长室中进行,生长期温度维持在 20~25℃,光照时间为 14 h/d,每天 8:00 到 22:00 用生物盏灯补充光照。
- 1.9 收获和测定 三叶草生长 10 周后收获,将根系取出洗净后,称取 0.5 g 鲜根用锥虫蓝染色后以方格交叉法测定菌根侵染率和根系长度。根系的其余部分和地上部经烘干、磨细后,用于测定含磷量。

2 试验结果

2.1 不同磷源对菌根侵染率和根系长度的影响

由表 2 可以看出,未接种菌根真菌的处理均未发现有菌根侵染,而接种菌根真菌的植株不论根室土壤是否施磷都有较高度度的侵染,但磷酸二氢钾处理的菌根侵染率明显低于其它处理,而且菌根真菌 *Glo-*
mus versiforme 的侵染率均高于 *Glomus mosseae*。收获后对菌丝室土壤显微观察时发现,接种各处理的整个菌丝室土壤范围内都有大量的菌丝分布。在不同的磷源处理中接种菌根对根系形态具有不同的影响,在不施磷肥的土壤上接种菌根真菌大大提高了根系长度,接种 *Glomus versiforme* 根系总长度增加 42.5%,而接种 *Glomus mosseae* 根系总长度只增加 38.9%。施用不同磷源,虽然可促进地上部生长(表 3),但却降低了根系的总长度,尤其是施用磷酸二氢钾的情况下,其抑制作用更为明显。如接种菌根真菌 *Glomus versiforme* 使根系总长度从对照植株的 150.9 m 下降到了 116.1 m,降低了 23.1%,而接种 *Glomus mosseae* 使根系总长度也从对照植株的 96.9 m 下降到 76.2 m,降低了 21.4%(表 2)。

2.2 VA 菌根真菌及不同磷源对红三叶草生长的效应

从表 3 可以看出,与不接种处理相比,VA 菌根对红三叶草植株生长有显著促进作用,而且使植株的干物重显著增加。不接种条件下,菌丝室施用不同磷源对红三叶草植株生长影响不大。试验表明磷酸二氢钾处理对植株生长的贡献大于植酸钠处理,这是因为磷酸二氢钾是三叶草直接可以利用的磷源,有效性较高,而植酸钠则需经水解转化后才可被吸收。无论接种与否,磷酸二氢钾处理对植株生长的贡献率均最大,这说明红三叶草根系利用无机磷的能力比有机磷强。不同磷源对红三叶草植株生长的贡献量的顺序为磷酸二氢钾>植酸钠>对照。接种条件下施用磷酸二氢钾和植酸钠两种磷源显著增加了红三叶草植株的干物重,其对植株干物重的增加幅度远大于相应的不接种处理,其中磷酸二氢钾的生长效应大于植酸钠(表 3)。上述结果表明,接种 VA 菌根真菌提高了不同磷源对红三叶草的生物有效性。

由表 3 还可以看出,接种 *Glomus versiforme* 各处理的菌根贡献率显著高于接种 *Glomus mosseae* 的相应各处理;在接种条件下,不同磷源对红三叶草植株生长的贡献大小也不同,其中磷酸二氢钾的贡献率分别为 62.8%(*G. versiforme*)和 39.0%(*G. moseae*),其次是植酸钠处理,而不施磷的对照贡献率最小,只有 51.7%(*G. versiforme*)和 31.4%(*G. mosseae*)。上述结果说明施用一定数量的磷肥可以促进菌根作用的有效发挥。

2.3 接种条件下不同磷源对红三叶草植株磷营养的贡献

各处理植株含磷量、磷吸收量及菌丝贡献率结果表明,在不同磷源处理中,接种 VA 菌根真菌都提高了植株的含磷量,且地上部还是根系,菌根化植株含磷量都高于相应的对照植株。在相同的接种处理内,与不施磷肥的处理相比,施用磷酸二氢钾和植酸钠都提高了地上部和地下部的含磷量,且对地上部的

表 2 菌根侵染率和根系长度

Table 2 Mycorrhizal infection rate and root length

处理 Treatment	菌根侵染率 Infection rate (%)		根系长度 Root length (m/pot)	
	-M	+M	-M	+M
<i>G. versiforme</i>				
CK	0 e	68.5 a*	66.3 ef	94.5 de
KH ₂ PO ₄	0 e	52.2 b	150.9 b	116.1 b
Na-phytate	0 e	63.4 ab	177.3 a	150.2 b
<i>G. mosseae</i>				
CK	0 e	51.6 b	43.5 f	60.0 f
KH ₂ PO ₄	0 e	35.2 d	96.9 d	76.2 e
Na-phytate	0 e	43.8 c	116.3 c	98.5 d

* 应用 LSD 法检验处理间差异程度,同一项目中的不同字母表示差异达到 5% 显著水平(下同)The LSD method was used to test the significance of difference, mean values followed the same letters in a item are not significantly different at $p \leq 0.05$. +M 表示接种处理,-M 表示不接种处理(下同)

促进作用大于地下部(表 4)。总的来看,接种 *Golmus mosseae* 条件下无机磷(磷酸二氢钾)处理的效果优于有机磷(植酸钠)处理,而接种 *Glomus versiforme* 时则有机磷(植酸钠)的效果更好。

表 3 接种 VA 菌根真菌条件下不同磷源对三叶草植株生长的相对贡献

Table 3 Relative contribution of VAMF and different phosphorus resources to the growth of red clover								
处理 Treatment	菌根真菌的贡献				磷源的贡献			
	Contribution of VAMF				Contribution of phosphorus sources			
	干物重		菌根增加		磷源增加		贡献率	
	Dry weight		VAMF increment	Contribution	Increase by P sources		Contribution	
	(g/pot)		(g/pot)	(%)	(g/pot)		(%)	
	—M	+M	(+M)—(—M)		—M	+M	—M	+M
<i>G. Versiforme</i>								
CK	4. 51 g	9. 34 c	4. 83 c	51. 7	0	0	0	0
KH ₂ PO ₄	4. 75 f	12. 78 a	8. 03 a	62. 8	0. 24	3. 44	5. 05	26. 9
Na-phytate	4. 53 g	11. 79 b	7. 26 b	61. 6	0. 02	2. 45	0. 44	20. 8
<i>G. mosseae</i>								
CK	4. 55 g	6. 63 e	2. 08 e	31. 4	0	0	0	0
KH ₂ PO ₄	4. 82 f	7. 90 d	3. 08 d	39. 0	0. 27	1. 27	5. 60	16. 1
Na-phytate	4. 61 fg	7. 39 de	2. 78 de	37. 6	0. 06	0. 76	1. 30	10. 3

表 4 各处理植株含磷量、吸磷量及菌丝的贡献

Table 4 Plant phosphorus content and uptake and hyphal contribution with different phosphorus sources							
处理 Treatment	株植含磷量(%)		磷吸收量(mg/pot)			菌丝贡献	
	P content		P uptake			Estimated hyphal contribution	
	地上部	根系	地上部	根系	总量	mg	%
	Shoot	Root	Shoot	Root	Total		
CK—V	0. 039 h	0. 093 f	1. 30 g	1. 72 f	3. 02		
CK+V	0. 092 f	0. 141 c	4. 30 de	4. 84 d	9. 14	6. 12	67. 0
KH ₂ PO ₄ —V	0. 053 g	0. 128 d	1. 38 g	1. 78 f	3. 16		
KH ₂ PO ₄ +V	0. 104 e	0. 157 bc	8. 56 b	7. 15 c	15. 71	12. 55	79. 9
Na-phytate—V	0. 048 gh	0. 107 e	1. 34 g	1. 75 f	3. 09		
Na-phytate+V	0. 138 cd	0. 169 b	10. 21 a	7. 41 bc	17. 62	14. 53	82. 5
CK—M	0. 044 gh	0. 086 f	1. 28 g	1. 66 fg	2. 94		
CK+M	0. 092 f	0. 169 b	3. 86 e	4. 13 de	7. 99	5. 05	63. 2
KH ₂ PO ₄ —M	0. 055 g	0. 12d	1. 31 g	1. 72 f	3. 03		
KH ₂ PO ₄ +M	0. 145 c	0. 200 a	7. 79 bc	4. 98 d	12. 77	9. 74	76. 3
Na-phytate—M	0. 051 g	0. 110 e	1. 29 g	1. 68 fg	2. 97		
Na-phytate+M	0. 148 c	0. 178 b	7. 82 bc	3. 73 e	11. 55	8. 58	74. 3

* 表中 V 指 *Glomus versiforme* 菌种;—V 表示不接种,+V 表示接种;M 指 *Glomus mosseae* 菌种;—M 表示不接种,+M 表示接种(下同)

表 4 结果还表明,植株的吸磷量不仅受磷源的影响而且还与菌根形成与否密切相关。不论是植株地上部还是根系的含磷量皆以既不施磷也未接种菌根的处理最低,吸磷量也是如此。施用不同磷源都增加了红三叶草植株的吸磷量,不接种条件下,表现为磷酸二氢钾处理的吸磷量增加幅度大于植酸钠。接种条件下,吸磷量的增加也因菌种而异,如接种 *Glomus mosseae* 时,磷酸二氢钾处理植株吸磷总量高于植酸钠处理,而接种 *Glomus versiforme* 时,植酸钠处理植株吸磷总量高于磷酸二氢钾处理。上述结果表明,接种不同类型的菌根真菌对磷源的活化能力不同,有的适合无机磷源,有的适合有机磷源。接种 *Glomus versiforme* 促

高了根系利用有机磷的能力,而接种 *Glomus mosseae* 则提高了根系利用无机磷的能力。

2.4 接种菌根真菌对不同磷源的利用率

表 5 为菌根化和非菌根化红三叶草对不同磷源的磷吸收量和利用率,表中不接种和接种处理红三叶草植株从不同磷源中吸收的磷量分别为施磷处理植株吸磷量与相应不施磷(CK)处理的植株吸磷量的差值。菌丝吸收的磷量为某一磷源处理菌根化植株与非菌根化植株吸收磷量的差值。磷源利用率为各部分吸收不同磷源的磷量分别占施磷总量的百分率。结果表明,接种不同菌根真菌都使植株对磷源的磷吸收量增加。其中接种 *Glomus mosseae* 植株对有机磷源磷吸收量的增加量为 3.53 mg/pot,磷利用率提高 20.76%,而接种相同菌种无机磷较有机磷对磷的利用率增加 6.83%;接种 *Glomus versiforme* 对磷酸二氢钾磷吸收量的增加量为 6.43 mg/pot,磷利用率提高 37.83%。然而接种相同菌种植酸钠较磷酸二氢钾对磷的利用率增加 11.64%。

表 5 接种菌根真菌对不同磷源利用率的影响
Table 5 Phosphorus recovery of different phosphorus resource

处理 Treatment	吸收磷源磷量(mg/pot) P uptake from phosphorus sources				磷源利用率(%) P recovery			
	磷酸二氢钾 KH ₂ PO ₄		植酸钠 Na-phytate		磷酸二氢钾 KH ₂ PO ₄		植酸钠 Na-phytate	
	吸收量	菌丝贡献	吸收量	菌丝贡献	利用率	菌丝增加	利用率	菌丝增加
	Uptake (mg/pot)	Contribution (mg/pot)	Uptake (mg/pot)	Contribution (mg/pot)	Recovery (%)	Hyphal increment	Recovery (%)	Hyphal increment
-M	0.09 c		0.03 c		0.53		0.18	
+M	4.78 b	4.69	3.56 b	3.53	28.12	27.59	20.94	20.76
-V	0.14 c		0.07 c		0.82		0.41	
+V	6.57 a	6.43	8.48 a	8.41	38.65	37.83	49.88	49.47

* 施入菌丝室总磷量为 17 mg/pot

3 讨论

接种菌根真菌可明显提高红三叶草的吸磷量,这与很多研究结果相一致^[10~14]。研究发现接种 *Glomus versiforme* 能提高根系利用有机磷的能力,而接种 *Glomus mosseae* 则可提高根系利用无机磷的能力。试验结果表明无论接种与否,磷酸二氢钾对植株生长的贡献都大于植酸钠。这是因为磷酸二氢钾为水溶性的无机磷酸盐,可直接被根系吸收利用,有效性高;而植酸钠必须在土壤磷酸酶的作用下水解为无机磷后方能为根系大量吸收利用。试验结果还表明,尽管菌根化植物对有机磷源利用率的绝对值并不高,但由于根外菌丝的作用可使有机磷源的利用率提高 49.47%(表 5),在对照接种处理中由于菌丝的存在而使吸磷量比对照增加 6.12 mg/pot(接种 *Glomus versiforme*)和 5.05 mg/pot 接种(*Glomus mosseae*)(表 4),而本试验中有效磷含量仅为 3.06mg/kg,换算成总磷量为 2.57 mg/pot(根室和菌丝室土壤有效磷量之和),接种处理中菌丝多吸收的这部分磷中有 50%以上来源于土壤有机磷(假设土壤有效磷被完全利用),这说明 VA 菌根菌丝确能使土壤及外加有机磷源发挥更大的作用。但由于所用有机磷源未经标记,红三叶草吸收的有机磷量是由差值法所得,不能准确反映红三叶草对有机磷的利用情况,在今后的研究中应加以改进。即使如此,所得结果仍能反映出根系和菌丝对有机磷吸收利用能力的差异。

本试验中,所用两种菌根真菌 *Glomus mosseae* 和 *Glomus versiforme* 属于同一属不同基因型的两个种,从理论上讲它们的生长效应相似,而从本试验的结果看,两种菌种所发挥的作用相差很大,*Glomus mosseae* 对无机磷酸二氢钾的利用率高,而 *Glomus versiforme* 对有机磷植酸钠的利用率高。产生这种差异的原因是由菌种的生理特性决定的,试验中观察到两菌种侵染植株根系的时期不同,接种 *Glomus versiforme* 在 5 周时即表现出明显的促进植株生长的作用,而 *Glomus mosseae* 在第 8 周才表现出明显的促进植株生长的作用。收获后对菌丝室土壤显微观察发现,接种 *Glomus versiforme* 各处理的整个菌丝室土壤范围内都有大

量的菌丝分布,而接种 *Glomus mosseae* 各处理菌丝室土壤范围内只有少量菌丝分布。因此,侵染时期和形成根外菌丝量的多少可能是影响菌根共生体系发挥作用大小的因素。所以在选择菌种时要了解菌种的特性,方能正确评价其在菌根共生体系中所起的作用。可以推测,如能将菌种 *Glomus versiforme* 大面积应用于有机磷含量高的农业土壤,将可大大提高土壤有机磷的利用效率,降低无机磷肥的施用量。

本试验所采用的 PVC 管分室隔网装置,由于管内径较大(92 mm),容土量大(500 g),使对照植株根系也能保持良好的生长状态,因而能真实反映根外菌丝对磷源的利用情况,也能正确评价各对照处理植株根系对土壤有机磷的利用程度。但由于本试验的目的是看菌丝对土壤及外加有机磷源的吸收利用状况,在植株生长的根室中均未施磷,不能保证植株对磷素的需求,而对照植株根系又不能穿过尼龙网到菌丝室中吸收更多的磷,因而限制了对照植株的正常生长发育,这使得磷源对植株生长的作用被低估,从本试验的结果也可看出(表 3、表 4)。在即将进行的试验中可通过向根室土壤施用适量的磷肥来消除这一干扰因素。

目前,土壤沙化,草原退化的问题已十分严峻。试验证明草原生态系统中,接种菌根真菌可改善红三叶草的磷营养水平,提高产草量。对于供磷水平比较低、土壤有机磷含量高的地区,如能充分发挥菌根的有益作用则可以在不施或少施磷肥的情况下获得同样的增产效果。将可大大降低磷肥的施用量,减少高水溶性磷肥在砂性土壤上流失所造成的水体污染,将有利于改善生态环境,为农业和畜牧业发展做出贡献。

参考文献

[1] 王庆仁,李继云,李振声. 高效利用土壤磷素的植物营养学研究. 生态学报,1999,3: 417~421.

[2] 刘建中. 利用植物自身潜力提高土壤中磷的生物有效性. 生态农业研究,1994,2:16~23.

[3] 李振声,王庆仁,李继云. 植物高效利用土壤难溶态磷研究动态及展望. 植物营养与肥料学报,1998,4(2):107~116.

[4] Dalal R C. Organic phosphorus. *Adv. Agron.* ,1978,29:83~117.

[5] Hattingh M T,Gray L E, Gerdenann J W. Uptake and translocation of³²P labelled phosphate to onion roots by endomycorrhizal fungi. *Soil Sci.* ,1973,116:383~387.

[6] Rhodes L H, Gerdenann J W. Phosphorus uptake zones of mycorrhizal and no-mycorrhizal onions. *New Phytol.* , 1975,75:555~561.

[7] Li X L,George E,Marschner H. Extension of the phosphorus depletion zone in VA-mycorrhizal white clover in a calareus soil. *Plant and Soil*,1991,136:41~48.

[8] Joner E J and Jakobsen I. Growth and extracellular phosphatase activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenced by soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* , 1995,27:1153~1159.

[9] Tarafdar J C and Jungk A. Phosphatase activity in the rhizosphere and its relation to the depletion of soil organic phosphorus. *Biology and Fertility of Soils*,1987,3:199~204.

[10] Azcon R,Barea J M, Hayman D S. Utilization of phosphate in alkaline soils by plants inoculated with mycorrhizal fungi and phosphatesolubilizing bacteria. *Soil Science*,1976,93:39~42.

[11] Bolan N S,Robson A D,Barrow N J, *et al.* Specific activity of phosphorus in mycorrhizal and nonmycorrhizal plants in relation to the availability of phosphorus. *Plant and Soil*,1984,16:299~305.

[12] Manjunath A H N,Habte M. Response of *Leucaena leucocephala* to VAM colonization and rock phosphate fertilization in an oxisol. *Plant and Soil*,1989,114:127~134.

[13] Tarafdar J C and Marschner H. Phosphatase activity in the rhizosphere and hyphosphere of VA Mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus. *Soil Biol. Biochem.* ,1994,26(3):387~395.

[14] Jayachandran K,Schwab A P and Hetrick B A D. Minerlization of organic phosphorus by VAMF. *Soil Biol. Biochem.* , 1992,24:897~903.