

AM 真菌和解磷真菌对低磷土壤滨梅插条生根和生长的影响

宰学明¹, 张焕仕², 王欢¹

(1. 金陵科技学院 园艺学院, 江苏 南京 210038; 2. 南京野生植物综合利用研究院, 江苏 南京 210042)

摘要:以 1 年生木质化滨梅枝条为供试插条, 采用砂性低磷土壤为基质进行盆栽试验, 分别测定了接种摩西球囊霉(*Glomus mosseae*)、毛霉(*Mortierella sp.*)及其混合菌剂后, 滨梅生根、生长、磷素营养和根系激素水平的相关指标, 以研究 AM 真菌和解磷真菌对低磷土壤滨梅插条的促生效应。结果表明: 3 种菌剂接种后滨梅根系吲哚乙酸(IAA)和玉米素(Zeatin)的水平极显著高于对照($P < 0.01$); 插条的含磷量、土壤有效磷含量及滨梅插条根际土壤磷酸酶活性极显著高于对照($P < 0.01$), 植物的生根率、最长初生根的长度、根干重、地上部分干重、株高以及总叶面积等生根和生长指标显著优于对照($P < 0.05$); AM 真菌侵染率以混合菌剂接种最高, 且对于滨梅插条磷素营养的改善和生根、生长的促进效应最为显著。研究表明, 接种的 3 种菌剂改变了插条根系的激素代谢, 强化了低磷土壤上滨梅插条的磷素营养, 促进了插条的生根和植株生长; *G. mosseae* 菌剂和 *Mortierella sp.* 菌剂的复合接种, 对低磷土壤滨梅插条磷素营养的改善和生根、生长具有明显的互作效应。

关键词:AM 真菌; 解磷真菌; 滨梅; 插条; 生根; 生长

中图分类号:Q 93 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)14-0001-05

土壤中全磷含量虽然很高, 但多以难溶态形式存在, 难以被植物利用, 缺磷(P)已经成为限制经济植物生长最主要的因子之一^[1]。土壤中存在许多解磷微生物, 能将难溶性的磷酸盐转化为植物可吸收利用的形态, 这些微生物主要包括细菌、真菌和放线菌等。解磷真菌虽然数量和种类都少于解磷细菌, 但其溶磷能力一般是解磷细菌的几倍甚至更多, 而且遗传性状更稳定^[2]。解磷微生物的解磷机制可能与代谢产生有机酸和酶类、螯合离子及交换反应等有关^[2-3]。丛枝菌根(Arbuscular mycorrhizal, AM)真菌是一类能与地球上 80% 的陆生维管植物形成共生体的土壤真菌, 与土壤中其它微生物类群、土壤的理化性质及植物生长等密切相关^[3-6]。AM 真菌可促进宿主对土壤难溶态磷的吸收和利用, 改善植物的磷素营养, 促进植物的生长发育。AM 真菌与寄主植物共生过程中可产生植物激素, 如吲哚乙酸、细胞分裂素和维生素 B 等参与植物的生长发育^[4-6]。有研究表

明, 将 AM 真菌和解磷菌同时接种能显著提高基质中有效磷的含量, 对植物的磷营养吸收和生长起到更强的促进效果^[3, 7-8]。

滨梅(*Prunus maritima*)属蔷薇科(*Rosaceae*)李属(*Prunus*)的多年生特色林果, 原产于美国东北部大西洋沿岸。滨梅集鲜果、医药和观赏价值于一身, 具有耐盐、耐旱、耐贫瘠等多种抗性, 具有相当高的生产力和经济价值, 适合大面积引种推广^[9]。滨梅已在我国江苏、浙江等地引种栽培, 其植株生长对磷元素的需求量较大, 课题组前期研究工作表明, 引种滨梅的根部能够与多种土著 AM 真菌形成共生体^[10]。该试验设计了 *G. mosseae* 和 *Mortierella sp.* 2 种菌剂的 4 个处理, 研究了其对石灰性低磷土壤磷的转化以及对滨梅插条生根和生长的效应, 并从根系内源激素及根际土壤磷酸酶变化角度研究解磷菌剂的促生机制, 以期对滨梅引种推广提供菌根技术方面的基础材料。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试土壤 供试盆栽用土取自金陵科技学院试验地, 为砂性低磷土壤, 其有效磷含量为 5.43 mg/kg, 碱解氮含量为 42.27 mg/kg, 速效钾含量为 21.24 mg/kg, 有机质为 10.46 g/kg, pH 7.12, 供试土壤在 120℃ 下高

第一作者简介:宰学明(1968-), 男, 江苏仪征人, 博士, 副教授, 现主要从事植物菌根生理生态学等研究工作。E-mail: zaixuem-ing680825@yahoo.com.cn.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31370533); 江苏省林业三新工程资助项目[lysx(2013)13]。

收稿日期:2014-03-13

压蒸汽灭菌 2 h,以消除土生的 AM 真菌、毛霉等微生物。

1.1.2 供试插条 选用 1 年生木质化滨梅枝条,剪成 10 cm 长的插条,使插条尽可能一致,用 1% 的杀菌丹浸泡 10 min,以杀死切口上霉菌等微生物,备用。

1.1.3 供试菌种与菌剂 AM 菌种为摩西球囊霉 (*Glomus mosseae*);AM 菌剂(1 285 个孢子/20 mL,菌剂编号 BGC JX01)购自北京市农林科学院植物营养与资源研究所。毛霉为孢霉属 (*Mortierella sp.*) 真菌的一种^[3],系南京大学盐生植物实验室从盐土互花米草群中分离得到的一种特有的优势真菌种群。毛霉菌剂为液体菌剂,参照 Zhang 等^[3]方法制备。

1.2 试验方法

采用盆栽法在金陵科技学院温室内进行研究。试验设 3 个处理 1 个对照,接种摩西球囊霉菌剂(Gm):25 g(1 285 个孢子/20mL);接种摩西球囊霉与毛霉的混合菌剂(Gm+Mo);摩西球囊霉菌剂 25 g(含菌量约为 1 285 个孢子/20mL)和毛霉菌剂 20 mL(含菌量约为 6.7×10^8 个/mL);接种毛霉菌剂(Mo):20 mL(含菌量约为 6.7×10^8 个/mL),对照(CK)为加入相同量的经灭菌处理的菌剂(121℃,30 min;2 次)。每盆(30 cm×25 cm×20 cm)加土量为 300 g;先于填充物深约 10 cm 处,分别均匀撒播(喷)薄薄 1 层菌剂,然后在菌剂上复盖 10 cm 试验样土。4 种处理为 1 组,每种 3 次重复,4 组共计 48 盆。插条插入的深度以每一插条切口与菌剂接触为标准,每盆 20 个插条。试验于温室内进行,温度为(28±3)℃/(15±2)℃(日/夜),相对湿度是 70%~80%,光强为周围光强的 70%左右(遮阳网覆盖调节);试验开始 30 d 内,每天喷洒 0.5 倍的 Hoagland 营养液 15 L,以后每天喷洒完全的 Hoagland 营养液 15 L,至试验结束(计 180 d)。

1.3 项目测定

1.3.1 植株生长 试验 180 d 后,计算生根百分率。每盆随机选取 3 棵苗,称量根和地上部枝条干重,记录初生根和次生根的数目,统计生根率,测量初生根的长度、植株高度和总叶面积。

1.3.2 AM 真菌侵染率 插条栽插 180 d 后,每盆随机选取 3 棵苗,把植物连同根系从培养的营养钵中取出,松散粘附在根系表面 1~4 mm 范围内的土壤为根际土壤^[11],采集备用。随机取鲜根段 100 条,以 FAA 溶液固定。用 Phillip 等^[12]的 KOH 脱色-酸性品红染色法,玻片镜检测定侵染根段数;AM 菌根侵染率(%)=(AM 菌根段数/被检根段数)×100%。

1.3.3 根系 IAA 和 Zeatin 含量的测定 插条栽插 90 d 后,每盆随机选取 3 棵苗,无菌水冲洗根系、滤纸吸干后用液氮速冻,贮存于-72℃下备用。IAA 的提取和测定参照何钟佩^[13]的方法略有改进,准确称取 1 g 样品,用 80% 甲醇(内含 1 mmol/L 2,6-二叔丁基对甲酚)提取吲哚乙酸(IAA)和玉米素(Zeatin),用间接酶联免疫吸附分析法(ELISA)测定激素含量,试剂盒购自中国农业大学化控研究室。

1.3.4 植物全磷、土壤有效磷含量、土壤磷酸酶活性和根际 pH 值的测定 全磷含量参照 Jones 等^[14]的方法测定;取 1.3.2 采集的根际土壤,有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法^[15];磷酸酶活性的测定采用改进的 Hoffman 方法^[16]测定,磷酸酶以每克土壤的酚毫克数表示;pH 值测定采用电位法,参照 GB7859-87 标准。

1.4 数据分析

数据采用 DPS 软件进行单因素方差分析,用 Duncan'新复极差法进行平均数间的多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同处理对滨梅插条生根、生长和 AM 真菌侵染率的影响

由表 1 可以看出,除初生根数和次生根数外,3 种菌剂接种后能显著促进滨梅插条生根和生长,其中,AM 真菌侵染率以混合菌剂接种最高(70.7%)、对插条生根和生长的促进作用最大。接种 3 种菌剂后滨梅插条形成的初生根数与对照比无显著差异($P < 0.05$),单接种 *Mortierella sp.* 菌剂对插条根系 AM 真菌侵染率及插条次生根数无显著影响($P < 0.05$)。可以看出,混合菌剂促进插条生根和植株生长效果最好,单接种 Gm 菌剂次之,单接种 Mo 菌剂的效果稍差。

表 1 不同处理对滨梅插条生根、生长和 AM 真菌侵染率的影响

Table 1 Effects of different treatments on rooting, plant growth and colonization percentage of beach plum cuttings

处理 Treatment	AM 真菌侵染率 Percentage root colonization/%	生根率 Rooting percentage/%	初生根数 Number of primary roots/株	最长初生根 Length of the longest primary root/cm	次生根数 Number of lateral roots/株	株根干重 Root dry weight per plant/g	株地上部分干重 Shoot dry weight per plant/g	株高 Plant height/cm	株叶面积 Total leaf area per plant/cm ²
CK	0 cC	31.4 dC	2.5 aA	12.2 cC	9.3 cC	0.23 cC	3.78 cC	50.5 cC	742.3 dD
Gm	59.3 bB	37.3 bB	2.6 aA	17.6 bB	12.5 bB	0.31 bB	5.10 bB	55.9 bB	895.6 cB
Gm + Mo	70.7 aA	41.2 aA	2.7 aA	19.9 aA	15.7 aA	0.42 aA	6.31 aA	64.7 aA	1 124.7 aA
Mo	0 cC	33.9 cC	2.3 aA	16.8 bB	9.9 cC	0.33 bB	5.42 bB	57.5 bB	922.1 bB

注:同列数据后不同小写和大写字母分别表示差异显著($P < 0.05$)和差异极显著($P < 0.01$),下表同。

Note: Lowercase and capital letters in same column mean significantly difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ separately, the same below.

2.2 不同处理对滨梅插条根系内源激素含量的影响

表2可以看出,接种 *Mortierella sp.* 菌剂的滨梅插条根系 IAA 和 Zeatin 含量与 CK 相比无显著差异($P<0.05$)。接种 *G. mosseae* 菌剂和混合菌剂的滨梅插条根系 IAA 和 Zeatin 含量均极显著高于各自 CK($P<0.01$),混合菌剂处理的 IAA 和 Zeatin 含量均最高。

表2 不同处理对滨梅插条根系内源激素含量的影响

Table 2 Effect of different treatments on endogenous hormone content in roots of beach plum cuttings

处理 Treatment	吲哚乙酸 IAA / $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1} \text{DW}$	玉米素 Zeatin / $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1} \text{DW}$
CK	12.3 cC	8.13 cC
Gm	17.4 bB	10.3 bB
Gm+Mo	21.8 aA	13.2 aA
Mo	11.9 cC	8.24 cC

2.3 不同处理对滨梅插条磷及土壤有效磷含量的影响

由表3可以看出,接种3种菌剂后的滨梅插条磷含量及土壤有效磷含量均极显著高于CK($P<0.01$)。与CK相比,接种3种菌剂后滨梅插条磷含量及土壤有效磷含量均有不同程度的增加,顺序为接种混合菌剂>接种 *Mortierella sp.* 菌剂>接种 *G. mosseae* 菌剂。接种混合菌剂后,滨梅插条磷含量及土壤有效磷含量比CK分别增加了49.45%和79.52%,而单接种 *G. mosseae* 菌剂和 *Mortierella sp.* 菌剂后,滨梅插条磷含量分别比CK提高了19.23%和25.27%,土壤有效磷含量分别比CK提高了22.04%和33.98%;添加混合菌剂后土壤根际有效磷和插条磷含量极显著高于单施菌剂($P<0.01$)。滨梅插条磷含量与土壤有效磷含量呈极显著正相关关系($r=0.985, P<0.01$)。

表3 不同处理对滨梅插条磷及土壤有效磷含量的影响

Table 3 Effect of different treatments on total phosphate content in cuttings and available phosphate content in soil planted with beach plum cuttings

处理 Treatment	土壤根际有效磷 Available phosphate content in soil/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	插条磷含量 Total phosphate content in cuttings/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
CK	7.640 cC	0.182 dC
Gm	9.324 bB	0.217 bB
Gm+Mo	13.715 aA	0.272 aA
Mo	10.236 bB	0.228 bB

2.4 不同处理对滨梅插条根际土壤 pH 和磷酸酶活性的影响

由表4可以看出,各组根系的磷酸酶活性依次为:碱性磷酸酶活性>中性磷酸酶活性>酸性磷酸酶活性。添加解磷菌剂后,各组土壤酸性磷酸酶的活性大幅度增加,各接种组与CK组相比差异极显著($P<0.01$);接种各组中性磷酸酶活性变化不大,与对照相比无显著差异

($P<0.05$);接种各组碱性磷酸酶活性与对照相比表现出极显著差异($P<0.01$)。添加解磷菌剂后土壤磷酸酶活性均极显著高于CK($P<0.01$)。与CK组相比,接种3种菌剂后滨梅插条根际土壤磷酸酶总含量的增加顺序为接种混合菌剂>接种 *Mortierella sp.* 菌剂>接种 *G. mosseae* 菌剂。滨梅土壤磷酸酶活性的增加与土壤有效磷含量及插条含磷量均呈极显著正相关关系($r_1=0.993, P<0.01; r_2=0.963, P<0.01$)。

植物根引起的根际动态变化,从多方面影响着植物的营养状况乃至植物生长和发育。根际 pH 值是其中最主要和最敏感的因子之一。由表4还可以看出,不同处理滨梅插条根际土壤 pH 值均比CK组低,其中 Gm+Mo 组的根际土壤 pH 值降低最大(ΔpH 值 0.7),Mo 组最小(ΔpH 值 0.24)。

表4 不同处理对滨梅插条根际 pH 值及土壤磷酸酶活性的影响

Table 4 Effect of different treatments on the pH value and the soil enzyme activities in the rhizosphere in soil planted with beach plum cuttings

处理 Treatment	pH	磷酸酶 Phosphatase/Phenol $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$			
		碱性 Alkaline	中性 Neutral	酸性 Acid	总量 Total
CK	7.03 aA	1.254 dD	1.195 aA	0.201 dD	2.650 dD
Gm	6.61 bA	1.865 bCB	1.243 aA	0.374 cC	3.482 cC
Gm+Mo	6.33 bB	2.212 aA	1.391 aA	0.813 aA	4.416 aA
Mo	6.79 abA	1.997 bB	1.287 aA	0.417 bB	3.701 bB

3 讨论

研究表明接种摩西球囊霉及其与毛霉的混合菌剂后,植物根系 IAA 和 Zeatin 水平极显著高于CK($P<0.01$);3种菌剂接种后滨梅插条的含磷量、土壤有效磷含量及滨梅插条根际土壤磷酸酶活性均极显著高于CK($P<0.01$),植物的生根率、最长初生根的长度、根干重、地上部分干重、株高以及总叶面积等生根和生长指标显著优于CK($P<0.05$);AM 真菌侵染率以混合菌剂接种最高,且对于滨梅插条磷素营养的改善和生根、生长的促进效应最为显著。

AM 真菌能够通过植物体内内源激素来改变根部形态和诱导植物生根^[4-5]。Kaldorf 等^[17]用 *G. intraradices* 接种玉米后发现,在侵染的不同阶段植物体内的自由和束缚态的吲哚丁酸(IBA)都在增加,次生根含量也随之增加。该试验中, *Mortierella sp.* 及混合菌剂接种后,滨梅根系 IAA 和 Zeatin 水平显著增强,植株的生根率、最长初生根的长度、根干重等指标显著增加,这与前人的研究结果一致^[17-18]。该试验中 *Mortierella sp.* 菌剂的接种效应不显著的原因可能是 *Mortierella sp.* 与植物不形成共生结构,难以改变植物体内的内源激素水平,因而对插条初生根和次生根数没有影响。*G. mosseae* 菌

剂对滨梅插条初生根的条数没有影响,出现该结果可能的解释是在 AM 真菌的初始共生阶段,由于缺少根,外部菌丝没有产生激素物质,使得 *G. mosseae* 菌剂诱导根产生难以发生。这可能就是 *G. mosseae* 菌剂或混合菌剂接种后,产生初生根的条数与 CK 组相比没有显著差异的缘故。

土壤有机磷是土壤磷库的重要组分,它需在土壤磷酸酶的酶促作用下才能转化为植物可利用的形态^[19]。土壤中的解磷微生物是否可分泌磷酸酶,目前还存在分歧。Tarafdar 等^[20]认为,接种 AM 真菌可以增加土壤磷酸酶活性;宋勇春等^[21]证实,对缺磷土壤上三叶草和玉米接种 AM 真菌,可增加根际土壤酸性磷酸酶和碱性磷酸酶的活性;而 Joner 等^[22]认为,AM 真菌对土壤磷酸酶活性没有影响。该试验接种 AM 真菌后,滨梅插条根际土壤酸性和碱性磷酸酶活性增强,土壤的供磷状况显著改善,促进了滨梅对磷的吸收。造成磷酸酶活性增高的原因可能是 AM 真菌对缺磷胁迫条件下的插条根际某个微区内土壤磷酸酶产生了刺激和分泌作用,进而加速了全磷向有机磷的转化,导致了根际全磷量减少,速效磷富集,显著增强了植株的磷营养效率^[2,19]。

该研究中使用的 *Mortierella sp.* 是在盐土互花米草群中分离所得,试验证实是一种高效的解磷真菌^[23-24]。Zhang 等^[3]深入研究发现接种该解磷真菌能显著提高海滨锦葵根际土壤酸性和碱性磷酸酶活性,从而改善植物的磷素营养。该研究也进一步证实 *Mortierella sp.* 是一种很好的解磷真菌,接种该真菌能显著提高滨梅插条根际磷酸酶的活性,且效果显著优于单接种 AM 菌剂。

AM 真菌和解磷菌的复合接种已在豆科植物^[8,24]、番茄^[26]、三叶草^[7]、海滨锦葵^[3,24]等植物上取得了积极进展,试验结果均表明,AM 真菌和解磷菌双接种表现出交互作用,对磷营养吸收和植物生长起到更强的促进效果。研究表明双接种解磷增效的机制可能是由于解磷菌影响 AM 真菌侵染初期的识别反应和侵染进程(如提高 AM 菌根侵染速度、扩大侵染范围),而产生的一种直接或间接作用^[3,27]。这种作用对外生菌丝在土壤中的延伸生长、分布和存活有一定的影响,对于根际区域内的磷酸酶的刺激和分泌强化也有一定的效应^[28],进而影响到宿主植物的生长和磷素吸收。该试验中,混合菌剂接种极显著提高滨梅根际的酸性和碱性磷酸酶活性,且对磷酸酶活性提高效应显著优于单一菌剂接种,这可能与复合接种更有利于 AM 真菌侵染及其功能的发挥有关。

参考文献

- [1] Kochian L V, Hoekenga O A, Pineros M A. How do crop plants tolerate acid soils mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency [J]. Annual Review of Plant Biology, 2004, 55: 459-493.
- [2] Jain R, Saxena J, Sharma V. Effect of phosphate-solubilizing fungi *Aspergillus awamori* S29 on mungbean (*Vigna radiata* cv. RMG 492) growth [J]. Folia Microbiologica, 2012, 57(6): 533-541.
- [3] Zhang H S, Wu X H, Li G, et al. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing fungus (*Mortierella sp.*) and their effects on *Kosteletzkya virginica* growth and soil enzyme activities of rhizosphere and bulk soils at different salinities [J]. Biology and Fertility of Soils, 2011, 47: 543-554.
- [4] Niemi K, Hdgman H, Sarjala T. Effects of exogenous diamines on the interaction between ectomycorrhizal fungi and adventitious root formation in Scots pine in Vitro [J]. Tree Physiology, 2002, 22(6): 373-381.
- [5] Scagel C F. Changes in cutting composition during early stages of adventitious rooting of miniature rose altered by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2004, 129(5): 624-634.
- [6] 于建新, 李敏, 刘润进. 菌根真菌与植物激素相互作用研究进展 [J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2009, 26(1): 4-7.
- [7] Medina A, Jakobsen I, Vassilev N, et al. Fermentation of sugar beet waste by *aspergillus niger* facilitates growth and P uptake of external mycelium of mixed populations of arbuscular mycorrhizal fungi [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(2): 485-492.
- [8] 李淑敏, 武帆. 大豆/玉米间作体系中接种 AM 真菌和根瘤菌对氮素吸收的促进作用 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 110-116.
- [9] Yan D L, Guo Y Q, Zai X M, et al. Effects of electromagnetic fields exposure on rapid micropropagation of beach plum (*Prunus maritima*) [J]. Ecological Engineering, 2009, 35(4): 597-601.
- [10] Zai X M, Qin P, Wan S W, et al. The application of beach plum (*Prunus maritima*) to wasteland vegetation recovery in Jiangsu Province, China: Seedling cloning and transplantation [J]. Ecological Engineering, 2009, 35(4): 591-596.
- [11] Riley D, Barhr S A. Salt accumulation at the soybean root-soil interface [J]. Soil Science Society of America Proceedings, 1970, 34: 154-155.
- [12] Phillips J M, Hayman D S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection [J]. Trans Br Mycol Soc, 1970, 55: 158-161.
- [13] 何钟佩. 农作物化学控制实验指导 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993: 60-68.
- [14] Jones J R, Wolf B, Mills H A. Plant Analysis Handbook [M]. Micro-Macro Publishing, 1991: 195-203.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 15-26.
- [16] 赵兰坡, 姜岩. 土壤磷酸酶活性测定方法的探讨 [J]. 土壤通报, 1986, 17(3): 138-142.
- [17] Kaldorf M, Ludwig-Müller J. AM fungi might affect the root morphology of maize by increasing indole-3-butyric acid biosynthesis [J]. Physiol. Plantarum, 2000, 109: 58-64.
- [18] Liu R J, Li M, Meng X X, et al. Effects of AM fungi on endogenous hormones in corn and cotton plants [J]. Mycosystema, 2000, 19(1): 91-96.
- [19] 袁丽环, 闫桂琴. 丛枝菌根化翅果油树幼苗根际土壤微环境 [J]. 植物生态学报, 2010, 34(6): 678-686.
- [20] Tarafdar J C, Marschner H. Phosphatase activity in the rhizosphere and hyphosphere of VA mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus [J]. Soil Biol Biochem, 1994, 26: 387-395.
- [21] 宋勇春, 冯固, 李晓林. 泡囊丛枝菌根对红三叶草根际土壤磷酸酶活性的影响 [J]. 应用与环境生物学报, 2000(6): 171-175.

- [22] Joner E J, Jakobsen I. Growth and extracellular phosphatase activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenced by soil organic matter[J]. Soil Biol Biochem, 1995, 27: 1153-1159.
- [23] 张茜, 赵福庚, 钦佩. 苏北盐沼芦苇替代互花米草的化感效应初步研究[J]. 南京大学学报, 2007, 43(2): 119-126.
- [24] 秦超琦, 吴向华, 郑琨, 等. 解磷菌剂对海滨盐土有效磷含量及耐盐油料植物生长的影响[J]. 生态学杂志, 2009, 28(9): 1835-1841.
- [25] De Varennes A, Goss M J. The tripartite symbiosis between legumes, rhizobia and indigenous mycorrhizal fungi is more efficient in undisturbed soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39: 2603-2607.
- [26] Gamalero E, Trotta A, Massa N, et al. Impact of two fluorescent pseudomonads and an arbuscular mycorrhizal fungus on tomato plant growth, root architecture and P acquisition [J]. Mycorrhiza, 2004, 14: 185-192.
- [27] Abott L K, Robson A D. Infectivity and effectiveness of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi: Effect of inoculum type[J]. Aust J Agric Res, 1981, 32: 631-639.
- [28] Kim K Y, Jordan D, McDonald G A. Effect of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity[J]. Soil Fertil Soils, 1998, 26: 79-87.

Effect of AM Fungus and Phosphate-solubilizing Fungus on the Rooting, Growth of *Prunus maritima* Cuttings in a Low Phosphorus Soil

ZAI Xue-ming¹, ZHANG Huan-shi², WANG Huan¹

(1. Horticulture Department, Jinling Institute of Technology, Nanjing, Jiangsu 210038; 2. Nanjing Institute for Comprehensive Utilization of Wild Plants, Nanjing, Jiangsu 210042)

Abstract: Taking cuttings of one-year-old branch of *Prunus maritima* as test material, a pot experiment was conducted, the index of the rooting, growth, phosphate nutrition, and root hormonal readiness of *Prunus maritima* cuttings in a low phosphorus soil were studied after inoculating with *Glomus mosseae*, *Mortierella sp.* and the mixture of the former two fungi, to study the promoting growth effect of AM fungi and phosphate-solubilizing fungi on growth of *Prunus maritima* cuttings in low phosphorus soil. The results showed that, after inoculation with the 3 microbial inoculums, the total phosphate in cuttings, the available phosphate in soil and the soil phosphatase enzyme activities in the rhizosphere were very significantly higher than the control groups ($P < 0.01$). The rooting rate, length of the longest primary root, dry weight of roots, dry weight of shoots, plant height and total leaf area were superior to the controls significantly ($P < 0.05$). The mixed inoculum had the highest infection rate, and had significant effect on promoting growth, hastening rooting and improving phosphorus nutrition of beach plum cuttings, while *Mortierella sp.* was next and *G. mosseae* was slightly worse. These results indicated that, phosphate-solubilizing inocula effectively aggrandized the phosphorus nutrition of beach plum seedlings, and promoted the cuttings rooting and growth in a low phosphorus soil. Co-inoculation with *Glomus mosseae* and *Mortierella sp.* agents had a significant interaction effect on improvement phosphorus nutrition, the rooting and growth of *Prunus maritima* seedlings in a low phosphorus soil.

Key words: AM fungus; phosphate-solubilizing fungus; *Prunus maritima*; cuttings; growth-promoting; phosphate nutrition

《北方园艺》征稿简则

《北方园艺》是由黑龙江省农业科学院主管、黑龙江省园艺学会和黑龙江省农业科学院主办的以科学研究和技术普及相结合的园艺类综合性科技期刊。国内外公开发行。凭借自身的翔实内容和丰富的载文量一直跻身于全国自然科学(中文)核心期刊、中国农业核心期刊、全国优秀农业期刊、黑龙江省优秀科技期刊等行列,并被中国期刊全文数据库、美国化学文摘社收录。

《北方园艺》现为半月刊,202页,每月15、30日出版。国内统一连续出版物号:CN23-1247/S;国际标准连续出版物号:ISSN 1001-0009。国内邮发代号:14-150。本刊充分利用信息化手段,现已全面开启网站投稿系统,网址:bfyy.haasep.cn。您也可以通过黑龙江省农业科学院编辑出版中心网站:www.haasep.cn,点击《北方园艺》进入。本刊现辟有试验研究、研究简报、设施园艺、栽培技术、园林花卉、生物技术、植物保护、贮藏保鲜加工、食用菌、中草药、新品种选育、土壤与肥料、产业论坛、专题综述、农业经纬、经验交流栏目,涵盖园艺学科各个领域,欢迎广大科研院所、大专院校及园艺爱好者投稿!

本刊愿与园艺相关领域的广告商家、科研院所、学校及企业启动相关链接并开启网站广告服务!