

文章编号:1001-1498(2004)06-0770-07

丛枝菌根对大青杨苗木生长的影响

宋福强¹, 杨国亭², 孟繁荣², 田兴军^{1*}

(1. 南京大学生命科学院,江苏 南京 210093; 2. 东北林业大学,黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:利用 5 种丛枝菌根真菌,在不同肥态、肥力水平下对大青杨实生苗进行接种。结果表明:5 种真菌都与大青杨形成了菌根,在不施肥情况下 *Glomus intraradices*、*G. mosseae*、*G. versiforme* 3 个菌种的苗木在苗高、地径、总干生物量上都与对照表现出差异极显著,与菌根侵染率呈正相关。丛枝菌根能增加苗木对难溶性 P 肥的吸收和利用,特别是 *G. sinuosa* 与施过磷酸钙($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)在有效成分(P_2O_5)含量 $0.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土水平下的组合对苗木有良好的促生效果,生物量积累是对照处理的 3.58 倍;使用 *G. mosseae* 或 *G. intraradices* 与施可溶性 P 肥磷酸氢二钾(K_2HPO_4)、在有效成分(P_2O_5)含量 $0.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土水平下的组合时对苗木的促生效果达到最佳,但随着可溶性 P 浓度增加,丛枝菌根对苗木生物量的积累却有抑制作用;丛枝菌根同样促进苗木对硝态 N 和铵态 N 的吸收、利用,*G. versiforme*、*G. intraradices* 与施硝酸钾(KNO_3)在有效成分(NO_3^-)含量 $0.08 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土水平下和 *G. mosseae*、*G. intraradices* 与施硫酸铵($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)、在有效成分(NH_4^+)含量 $0.08 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土水平下,对苗木都有良好的促生效果,总干生物量是对照处理的 2.91、2.56 和 2.70、2.40 倍;试验结果同时也表明,根际营养状况是决定菌根侵染率的重要因素之一。

关键词:丛枝菌根;肥态肥力;大青杨;生长效应;菌根侵染率

中图分类号:S723.1 **文献标识码:**A

在林业生产中施用化学肥料是提高作物产量的一项重要技术措施。但由于化学肥料成本逐年上涨和苗木利用率越来越低,以及使用化肥造成的环境污染,使人们更加重视菌根生物技术的应用,培育菌根化苗木,发掘和利用苗木自身的抗逆能力,挖掘丛枝菌根对土壤养分的活化能力,提高养分资源的利用效率^[1]。但是,菌根生物技术的使用并不能完全取代化学肥料的施用,只有在选用优良菌株、合理选用化肥及用量的基础上,才能培育出更加优质高产的苗木,达到节省能源、财源,合理开发利用有限资源,保护人类赖以生存的自然环境的目的。我国一些学者已经开展了有关接种菌根菌对苗木生长效应的研究^[2~5],但是关于丛枝菌根对大青杨苗木的生长影响的研究未见报道。因此,本课题组开展了丛枝菌根(AM)真菌 × 肥料对苗木生长效应的研究,旨在揭示丛枝菌根对大青杨生长的影响。

收稿日期:2003-06-20

基金项目:国家 863 项目(2003AA209030),教育部博士点基金(20030284044),国家 973 项目(2002CB111504)资助。

作者简介:宋福强(1969—),男,南京大学生命科学院博士后,主要从事森林微生物、植物病理学的研究。

* 本文通讯作者:tianxj@nju.edu.cn

1 材料与方法

1.1 供试树种

大青杨 (*Populus ussuriensis* Kom.) 种子由黑龙江省亚布力林业局提供。

1.2 供试菌种

摩西球囊霉 (*Glomus mosseae* (Nicol. et Gerd) Gerd et Trappe) 简称 GM; 根内球囊霉 (*Glomus intraradices* Schenck et Smith) 简称 GI; 弯丝球囊霉 (*Glomus sinuosa* (Gerde et Bakshi) Almeida et Schenck) 简称 GS; 地表球囊霉 (*Glomus versiforme* (Kasten) Berch) 简称 GV; 摩西球囊霉 93 (*Glomus mosseae* 93 (Gerd. et Trappe) Wang) 简称 GM₉₃ 等 5 个菌种, 分别由中国农科院汪洪刚老师及北京市农林科学院王幼姍老师提供。

1.3 育苗基质

60% 黄土 + 40% 砂, 使用前灭菌; pH 值 6.45; 养分含量: 全 N: 1.2 g · kg⁻¹、全 P: 0.36 g · kg⁻¹、全 K: 19.84 g · kg⁻¹、水解 N: 148.36 mg · kg⁻¹、有效 P: 153.28 mg · kg⁻¹、有效 K: 84.48 mg · kg⁻¹。

1.4 肥态及用量

P 肥: 难溶性 P 肥应用 Ca(H₂PO₄)₂ · H₂O, P₁: 有效成分 P₂O₅ 含量是 0.06 g · kg⁻¹ 土; 可溶性 P 肥应用 K₂HPO₄, 并设 3 个水平, 有效成分 P₂O₅ 含量分别是 P₂₋₁: 0.03 g · kg⁻¹ 土、P₂₋₂: 0.06 g · kg⁻¹ 土、P₂₋₃: 0.09 g · kg⁻¹ 土。

N 肥: 硝态 N 应用 KNO₃, N₁: 有效成分 NO₃⁻ 含量 0.08 g · kg⁻¹ 土; 铵态 N 应用 (NH₄)₂SO₄, 并设 3 个水平, 有效成分 NH₄⁺ 含量分别是 N₂₋₁: 0.04 g · kg⁻¹ 土、N₂₋₂: 0.08 g · kg⁻¹ 土、N₂₋₃: 0.012 g · kg⁻¹ 土。

1.5 试验设计与数据处理

把肥料与基质按比例装入营养钵中, 在表面接种 AM 菌根接种体, 再在表面撒一薄层基质。每一个营养钵装 2 kg 育苗基质, 施 20 g 菌根接种物。大青杨种子表面消毒后于 2001 年 6 月 15 日播种, 随机区组设计, 分成两组, 每组重复 5 盆, 以只施肥不接菌及接菌不施肥为对照, 常规管理。

在生长季结束后每一处理每组选定 5 株标准株, 分别测定苗高、地径、总干生物量 (80 ~ 12 h 烘干至恒质量), 获得的数据采用 SAS 数据处理软件中 GLM 方法进行方差分析以及 Duncan 法进行多重比较。

菌根侵染率主要采用 Phillip 和 Hayman^[6] 的 KOH 脱色 - 酸性品红染色法: 菌根侵染率 = (菌根根段数/被检根段数) × 100%。

2 结果与分析

对不同处理苗木的苗高、地径和总干生物量进行双因素方差分析, 从表 1 的方差分析结果可以看出, 不同菌根之间、不同肥料处理之间以及菌根和肥料的互作作用之间对大青杨苗木生长均产生极显著影响 ($P < 0.01$)。说明不同的丛枝菌根真菌、不同的肥料和肥力水平以及它们之间的组合, 对苗木生长所起作用各不相同, 所以需要进一步评价各种菌根间、肥力间和菌

根 × 肥料间对苗木的作用。

表 1 大青杨苗木菌根与肥力二因素试验方差分析

变异来源	苗高		地径		干生物量		$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
	MS	F	MS	F	MS	F		
处理间	92.92	47.86	0.0037	21.603	2.548	186.123	1.57	1.88
菌根(A)	594.55	306.22	0.007	113.007	13.276	969.766	2.39	3.39
肥料(B)	108.11	55.68	0.016	46.523	4.760	347.673	2.12	2.86
A × B	27.162	14.01	0.002	5.193	0.765	55.858	1.59	1.92
误差	1.942		0.000324		0.014			

注: $F > F_{0.05}$ 表示差异显著, $F > F_{0.01}$ 表示差异极显著

2.1 接种 AM 菌对大青杨苗木生长的影响

表 2 显示了在单独使用菌根真菌培育苗木时对苗木生长效应的结果。从中可以看出,不同种的丛枝菌根真菌对苗木的生长影响各不相同。其中 GI、GM、GV 3 个菌种对苗木的苗高、地径、总干生物量都有显著的促进作用 ($P < 0.01$), 另外两个菌种 (GS 和 GM₉₃) 对苗木的生长有明显的促进作用 ($P < 0.05$)。丛枝菌根真菌对苗木效应的差异, 可能是受菌根侵染率的影响, 与侵染率呈正相关 (表 2)。

表 2 不施肥情况下不同菌根对大青杨苗木的生长效应

性状	GM	GI	GV	GS	GM ₉₃	CK
苗高/cm	35.60 **	36.25 **	34.35 **	33.10 *	31.50 *	17.50
地径/cm	0.37 **	0.37 **	0.36 **	0.34 *	0.30 *	0.22
干生物量/g	2.84 **	3.10 **	2.75 **	2.66 *	2.65 *	1.15
菌根侵染率/%	58.3	60.8	54.6	45.6	42.2	

注: F 检验, * 表示与对照相比差异显著, $P < 0.05$, ** 表示差异极显著, $P < 0.01$

2.2 施肥对大青杨苗木的生长效应

肥力资源是保证苗木健康生长的重要因素之一, 不同品种的肥料和肥力水平对苗木的生长作用也各不相同。从表 3 中可以看出 P_1 、 N_1 与对照 CK 相比虽然表现出一定的差异, 但是它们却比不上与其相同有效肥力的 P_{2-2} 、 N_{2-2} 对苗木的生长效应。说明难溶性 P 肥与硝态 N 肥对苗木生长促进作用不如可溶性 P 肥和铵态 N; P_2 、 N_2 由于肥力水平不同, 即随着施肥量的增加, 苗木的优良性状表现就越充分。

表 3 不同肥料、肥力水平对大青杨苗木的生长效应

性状	P_1	P_{2-1}	P_{2-2}	P_{2-3}	N_1	N_{2-1}	N_{2-2}	N_{2-3}	CK 无肥
苗高/cm	22.5 B	23.0 B	22.65 B	27.25 A	28.15 A	24.50 B	24.75 B	33.60 A	17.50 C
地径/cm	0.26 D	0.26 D	0.29 C	0.30 BC	0.29 C	0.31 B	0.32 B	0.39 A	0.22 D
生物量/g	1.38 E	1.33 E	1.58 D	2.03 C	1.97 C	1.62 D	2.17 B	3.04 A	1.15 F

注: 数字后大写字母表示差异极显著, $P < 0.01$

2.3 难溶性 P 肥 × AM 真菌对大青杨苗木生长效应分析

刘建玲^[7]、何首林^[8]等认为丛枝菌根能提高难溶性 P 肥的有效性。本试验的结果 (表 4) 进一步支持了他们的观点。接种 5 种丛枝菌根真菌, 都明显地促进了大青杨苗木高、径生长和

整株生物量的积累,与对照相比差异显著 ($P < 0.01$)。从 5 个菌株的接种效果来看,5 个菌株都表现优良,但是不同菌种之间对苗木的生长效应也各不相同,特别是 GS 菌株处理的苗木在生物量上的积累是对照的 3.58 倍。同时丛枝菌根的侵染率受难溶性 P 肥影响也有提高(与表 2 中侵染率结果相比)。

在难溶性 P 处理条件下,接种丛枝菌根真菌对大青杨苗木促生长效应显著,其结果说明丛枝菌根能促进大青杨对难溶性无机 P 酸盐的有效吸收。这种作用可能与菌根扩大根的吸收面积及丰富的根外菌丝穿过根际 P 亏缺区、菌根真菌增加根际 P 酸酶的活性、菌根真菌分泌有机酸活化难溶性 P,以及进一步增加宿主对 P 和其它养分吸收有关^[9~12],从而促进大青杨生物量的显著增加。因此,在可溶性 P 水平低的土壤中接种 AM 真菌是有益和必要的。

2.4 可溶性 P × AM 真菌对大青杨苗木生长效应分析

可溶性 P 有利于苗木直接吸收和利用。试验中选用可溶性 P 肥低、中、高 3 个浓度梯度。结果表明,没有使用菌根真菌的大青杨苗木随着施肥量的增加,苗木的性状表现越优良(表 3),说明大青杨苗木的生长对 P 素有一定的需求;但是,接种丛枝菌根真菌的苗木并不是随着施肥量的增加而使性状表现的更加优良,即菌根与肥力的交互作用的结果并不是简单的等于两个单独因素作用效果之和。

由于各种丛枝菌根真菌生物学特性并不完全相同,因此对苗木的作用结果也不尽相同。各种菌根真菌处理的苗木都与对照差异极显著,同时 5 个菌种之间有的也表现出显著的差异。接种 GM、GV 两个菌种的苗木生长效应随着施肥量的增加而减弱(表 5),菌根侵染率也相应的变低(图 1);接种 GI 菌种的苗木随着肥量的增加,苗木的性状也提高(表 5),同时菌根侵染率相差不大(图 1);GS 在 P₂₋₂ 下表现的效果最好,GM₉₃ 在 P₂₋₁ 下表现的效果最好,但是它们还远不如 GV 在 P₂₋₁ 下表现出的对苗木的促生效应(表 5)。可见在施用可溶性 P 肥培育大青杨苗木时,最好使用 GM 或 GV 与 P₂₋₁ 组合,这样不但节省肥料,而且还可以使苗木的生长效果达到最佳水平。

表 4 难溶性 P 肥(P₁)水平下不同丛枝菌根真菌对大青杨苗木的生长效应

处理	苗高/ cm	地径/ cm	干生物量/ g	菌根侵染率/ %
GM·P ₁	41.15 B	0.42 B	3.76 D	60.5
GI·P ₁	41.10 B	0.41 B	4.12 C	62.0
GV·P ₁	50.85 A	0.44 A	4.62 B	60.0
GS·P ₁	42.30 B	0.44 A	4.95 A	57.8
GM ₉₃ ·P ₁	31.50 C	0.36 C	2.85 E	44.2
CK·P ₁	22.50 D	0.26 D	1.38 F	

注:数字后大写字母表示差异极显著, $P < 0.01$

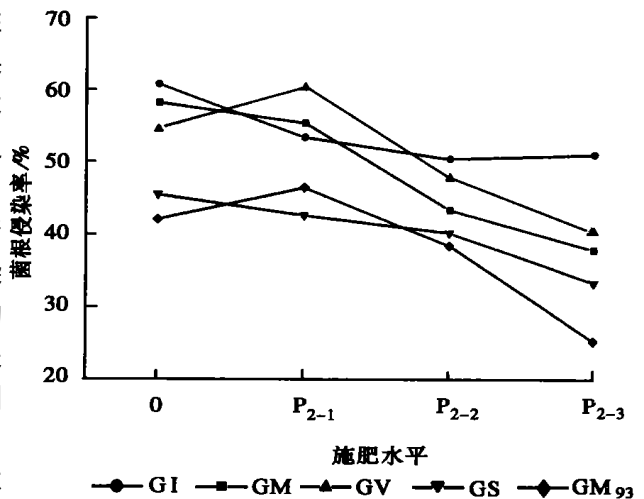


图 1 可溶性 P 肥对菌根侵染率的影响

图 1 可溶性 P 肥对菌根侵染率的影响

表 5 可溶性 P 肥 (P_2) 不同水平下不同丛枝菌根对大青杨苗木的生长效应

菌种	P_{2-1}			P_{2-2}			P_{2-3}		
	苗高/cm	地径/cm	生物量/g	苗高/cm	地径/cm	生物量/g	苗高/cm	地径/cm	生物量/g
GM	42.90 A	0.41 A	4.26 B	37.00 A	0.40 A	3.50 A	34.35 B	0.38 A	3.01 B
GI	31.00 B	0.38 B	2.99 D	37.00 A	0.38 B	3.50 A	38.40 A	0.38 A	3.67 A
GV	35.15 B	0.45 A	4.61 A	40.75 A	0.39 B	3.30 A	32.35 B	0.34 B	2.40 C
GS	36.85 B	0.37 B	2.83 D	31.80 B	0.38 B	3.19 A	33.50 B	0.36 B	2.72 BC
GM_{93}	38.40 C	0.42 A	3.74 C	31.15 B	0.38 B	2.45 B	33.40 B	0.36 B	2.56 C
(CK)	23.00 D	0.27 C	1.33 E	22.15 C	0.29 C	1.58 C	27.25 C	0.30 C	2.04 D

注:数字后大写字母表示差异极显著, $P < 0.01$

2.5 硝态 N \times AM 真菌对大青杨苗木生长效应分析

在硝态 N (N_1) 水平下接种丛枝菌根真菌, 对苗木生长效应的测定结果见表 6。从表 6 中可以看出, 5 个菌根真菌处理的苗木与对照相比均表现差异极显著。接种 GI 苗木的生长效果最好, 总干生物量是对照处理的 2.91 倍, 其次是接种 GV 处理的苗木, 总干生物量是对照处理的 2.56 倍。接种 GM、GS、 GM_{93} 3 个丛枝菌根真菌的苗木虽然与对照相比差异显著,

但彼此之间差异并不明显, 且在苗木的性状上弱于 GV、GI 处理的苗木。这个结果可以充分说明丛枝菌根真菌提高了苗木对硝态 N 吸收利用效率, 对苗木的生长有显著的促进效果。

2.6 铵态 N \times AM 菌对大青杨苗木生长效应分析

铵态 N 在土壤中易被吸附固定、移动性小, 菌根可以通过增加吸收面积和与土壤的接触点增加对它的吸收利用。早在 1983 年 Ames^[13] 通过 ^{15}N 标记试验证明, 丛枝菌根菌丝能够从数厘米远的土壤中吸收 NH_4^+ , 并运输到

寄主植物中。本试验从铵态 N 在不同浓度梯度下丛枝菌根对大青杨苗木的促生效果角度, 进一步验证菌根对铵态 N 的吸收、利用(表 7)。

不同菌种与铵态 N 的交互作用与只施肥而不接菌的对照株相比都表现出差异极显著 ($GM_{93} \times N_{2-1}$ 组合除外)。苗木接种 GM、GI、GV、 GM_{93} 菌株在铵态 N 3 个浓度梯度下表现的结果相似, 即在 N_{2-2} 梯度下苗木的性状表现的最好(表 7), 并且在该水平下菌根侵染率也最高(图 2)。其中 GI、GM 对苗木的促生效果

表 6 硝态 N (N_1) 水平下不同丛枝菌根对大青杨苗木的生长效应

处理	苗高/cm	地径/cm	干生物量/g	菌根侵染率/%
GM- N_1	41.60 AB	0.38 B	4.08 C	55.5
GI- N_1	44.00 A	0.46 A	5.66 A	62.0
GV- N_1	43.25 A	0.43 A	5.08 B	59.6
GS- N_1	37.75 BC	0.34 C	3.87 C	43.2
GM_{93} - N_1	33.90 C	0.39 B	3.90 C	48.4
CK- N_1	28.15 D	0.29 D	1.98 D	

注:数字后大写字母表示差异极显著, $P < 0.01$

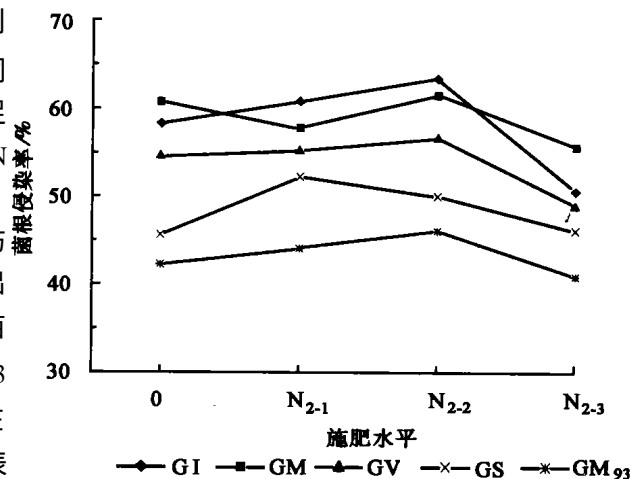


图 2 铵态 N 对菌根侵染率的影响

最好,总干生物量是对照的 2.7 和 2.4 倍,而在 N_{2-1} 、 N_{2-3} 两个梯度下苗木的性状相差不大(GM 除外);接种 GS 菌株的苗木随着铵态 N 浓度的增加,苗木的质量性状变的越弱,但纵向比较可以发现与 GV 对应浓度梯度处理的苗木生长效应相似,它们之间差异不显著(表 7)。可见在使用丛枝菌根真菌与铵态 N 培育大青杨苗木时最好选择在 N_{2-2} 浓度下,接种 GI 或 GM 菌根真菌便可以取得理想的效果。

表 7 氨态 N (N_2) 不同水平下不同丛枝菌根对大青杨苗木的生长效应

菌种	N_{2-1}			N_{2-2}			N_{2-3}		
	苗高/cm	地径/cm	生物量/g	苗高/cm	地径/cm	生物量/g	苗高/cm	地径/cm	生物量/g
GM	44.75 A	0.51 A	5.13 A	45.10 B	0.51 A	5.21 B	38.15 B	0.42 B	4.03 B
GI	46.15 A	0.46 B	4.42 B	50.10 A	0.49 A	5.77 A	42.85 A	0.47 A	4.56 A
GV	37.10 B	0.44 B	4.27 B	42.85 B	0.46 B	4.38 C	37.65 B	0.45 A	4.23 AB
GS	36.75 B	0.44 B	4.23 B	41.25 B	0.43 B	4.19 C	38.15 B	0.44 AB	3.91 B
GM ₀₃	35.15 B	0.37 C	3.09 C	34.75 C	0.41 B	3.62 D	31.75 C	0.40 C	3.29 C
CK	24.50 C	0.32 D	1.62 D	24.75 D	0.32 C	2.17 E	33.60 C	0.39 C	3.04 C

注:数字后大写字母表示差异极显著, $P < 0.01$

肥力水平是制约菌根侵染率的一个重要因素,特别是土壤中可溶性 P 肥的含量对菌根侵染率表现出更加敏感,而高浓度铵态 N 对菌根的侵染率也有抑制作用,但也并不意味着越贫瘠的土壤菌根侵染率越高(图 1,图 2),因此在实际生产中应用菌根菌时应充分考虑基质的营养状况和菌根菌的生物学特性。

3 小结

菌根对营养元素的吸收一直是菌根学家研究的热点。笔者通过丛枝菌根真菌在不同营养条件下对大青杨苗木生长效应的研究得到:不同的 AM 真菌对不同的肥态和肥力水平利用效果存在较大的差异。AM 能增加苗木对难溶性 P 肥的吸收和利用,特别是弯丝球囊霉 (*Glomus sinuosa*) 与难溶性 P 肥 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 在有效成分 P_2O_5 含量 $0.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土水平下的组合对苗木有良好的促生效果;丛枝菌根对大青杨苗木促进生长效应并不能以加入可溶性 P 的量而得到完全补偿,只有在低 P 条件下,使用摩西球囊霉 (*G. mosseae*) 或根内球囊霉 (*G. intraradices*) 与可溶性 P 肥 K_2HPO_4 在有效成分 P_2O_5 含量 $0.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土水平下的组合才使苗木的促生效果达到最佳,而可溶性 P 水平高时,丛枝菌根对苗木生物量的积累却有抑制作用;丛枝菌根同样促进苗木对硝态 N 和铵态 N 的吸收、利用,地地球囊霉 (*G. versiforme*)、根内球囊霉 (*G. intraradices*) 与施 KNO_3 有效成分 NO_3^- 含量 $0.08 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土水平下和摩西球囊霉 (*G. mosseae*)、根内球囊霉 (*G. intraradices*) 与施 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 有效成分 NH_4^+ 含量是 $0.08 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土水平下,对苗木都有良好的促生效果;同时,试验也证明了根际营养状况是决定菌根侵染率的重要因素之一。AM 菌根真菌能够充分提高宿主植物对环境中营养元素的吸收利用,这对整个生态系统中的物质循环和能量流动,以及提高生物多样性和增强宿主植物对环境的适应能力都有重要的意义。

参考文献:

- [1] 赵之伟. VA 菌根在植物生态学研究中的意义[J]. 生态学杂志, 2001, 20(1): 52 ~ 54
- [2] 仲崇禄, 弓明钦, 林什全, 等. 木麻黄人工林 AM 菌资源调查与苗木接种试验[J]. 林业科学研究, 2002, 15(4): 427 ~ 431
- [3] 弓明钦, 王凤珍, 陈羽, 等. 柚木菌根及其对苗木生长的影响[J]. 林业科学研究, 2002, 15(5): 515 ~ 520
- [4] 仲崇禄, 弓明钦, 徐大平, 等. 接种菌根菌对桉树生长的影响[J]. 林业科学研究, 2001, 14(2): 181 ~ 187
- [5] 陈应龙, 弓明钦, 陈羽, 等. 外生菌根菌接种对红椎生长及光合作用的影响[J]. 林业科学研究, 2001, 14(5): 515 ~ 522
- [6] Phillips J M, Haymen D S. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection[J]. Trans Br Mycol Soc, 1970, 55: 158 ~ 161
- [7] 刘建玲, 张福锁, 廖文华. 不同品种小麦根际磷转化及 VA 菌根对小麦根际磷转化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(1): 23 ~ 30
- [8] 何首林. 菌根促进柑橘吸收难溶性磷肥的机理研究. 磷酸酶活性对柑橘吸收磷的作用[J]. 中国柑橘, 1991, 20(2): 7 ~ 10
- [9] 李晓林, 曹一平. VA 菌根菌丝-土壤界面(菌丝际)养分分布模拟方法研究[J]. 北京农业大学学报, 1992, 18(1): 59 ~ 63
- [10] 宋勇春, 冯固. 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(2): 171 ~ 175
- [11] Azaizeh H H, Marschner H, Romheld V, et al. Effects of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus and other soil microorganisms on growth mineral nutrient acquisition and root exudation of soil-grown maize plants[J]. Mycorrhiza, 1995, 5: 203 ~ 208
- [12] Durg A V, Gupta V K. Effect of vesicular arbuscular mycorrhizae on the growth and mineral nutrition of Teak (*Tectona grandis* Linn. F) [J]. Indian Forester, 1995, 5: 140 ~ 146
- [13] Ames R M, Reid C P P, Porter L K, et al. Hyphal uptake, and transport of from two ^{15}N labeled source by *Glomus mosseae*, a vesicular-arbuscular fungus[J]. New Phytol, 1983, 95: 381 ~ 396

Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth of *Populus ussuriensis*

SONG Fu-qiang¹, YANG Guo-ting², MENG Fan-rong², TIAN Xing-jun¹

(1. School of Life Science, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China;

2. Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China)

Abstract: Effect of AM fungi on the growth of *Populus ussuriensis* under varied fertilization was studied. The result showed that all of 5 fungi infected the seedling of *Populus ussuriensis*, and significant difference between the seedling infected by three fungi *Glomus intraradices*, *G. mosseae* and *G. versiforme* and control of *Populus ussuriensis* seedling in the height, ground diameter and dried biomass under no fertilization. And the height, ground diameter and dried biomass were related with infected rate of fungi. The AM fungi could enhance the absorbing ability of seedling to hard-dissolved phosphorus. The authors found that the growth of seedling was rapid, which was 2.58 times higher than that of the control, under *G. sinuosa* with $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (fertilized concentration equalized effective component (P_2O_5) $0.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$). The combine of *G. mosseae* or *G. intraradices* and dissolved phosphorus K_2HPO_4 (fertilized concentration equalized effective component (P_2O_5) $0.03 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) was the best, while the higher concentration of phosphorus led a decrease of biomass. The AM fungi could also enhance absorbing ability of seedling to dissolved nitrogen. The growth of seedling increased under infected by *G. versiforme*, *G. intraradices* with KNO_3 (fertilized concentration equalized effective component (NO_3^-) $0.08 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) and by *G. mosseae*, *G. intraradices* with $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (fertilized concentration equalized effective component (NH_4^+) $0.08 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), the biomass was 2.91, 2.56, 2.7 and 2.4 times of control, respectively. The fertilization of root area was crucial for infected rate of fungi.

Key word: AM fungi; fertilization; *Populus ussuriensis*; growth; infected rate