

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.03.007

张中峰, 张金池, 黄玉清, 等. 接种丛枝菌根真菌对青冈栎幼苗生长和光合作用的影响[J]. 广西植物, 2013, 33(3):319–323

Zhang ZF, Zhang JC, Huang YQ, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on growth and photosynthesis of *Cyclobalanopsis glauca* seedlings[J]. Guihaia, 2013, 33(3):319–323

接种丛枝菌根真菌对青冈栎幼苗 生长和光合作用的影响

张中峰^{1,2}, 张金池^{1*}, 黄玉清², 杨 慧³(1. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 南京 210037; 2. 广西壮族自治区 广西植物研究所, 广西 桂林 541006; 3. 国土
中国 科学院
资源部、广西壮族自治区岩溶动力学重点实验室(中国地质科学院岩溶地质研究所), 广西 桂林 541004)

摘 要: 利用菌根真菌摩西球囊霉和根内球囊霉, 对喀斯特地区造林树种青冈栎进行接种试验, 测定菌根真菌对青冈栎幼苗生长、生物量和光合作用的影响。结果表明: 接种丛枝菌根真菌能显著促进青冈栎幼苗株高、地径、叶面积和幼苗生物量的增长, 并且能提高幼苗成活率和改善幼苗的光合能力。摩西球囊霉和根内球囊霉处理的青冈栎幼苗生物量分别是未接种处理的2.1和1.9倍; 摩西球囊霉和根内球囊霉处理下的水分利用效率分别比对照处理提高了33.6%和8.8%; 摩西球囊霉对青冈栎幼苗株高、地径、生物量的促进作用好于根内球囊霉, 而根内球囊霉处理的幼苗叶面积、主根长、根冠比大于摩西球囊霉处理。总体而言, 接种丛枝菌根真菌特别是摩西球囊霉能促进青冈栎幼苗的生长和生物量增长, 在石漠化植被恢复中具有潜在应用价值。

关键词: 丛枝菌根真菌; 石漠化; 植被恢复; 根冠比

中图分类号: Q938.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2013)03-0319-05

Effects of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on growth and photosynthesis of *Cyclobalanopsis glauca* seedlings

ZHANG Zhong-Feng^{1,2}, ZHANG Jin-Chi^{1*}, HUANG Yu-Qing², YANG Hui³(1. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Guangxi
Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China;
3. Karst Dynamics Laboratory, Ministry of Land and Resources/Guangxi Autonomous Region, Institute of
Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin 541004, China)

Abstract: In order to determine the effects of AMF on the growth and photosynthesis of afforestation tree species in karst region, *Cyclobalanopsis glauca* seedlings were inoculated with *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices* respectively, and the growth, biomass and photosynthetic parameters were measured, 4 months after the inoculation. The results showed that height, ground diameter, leaf area and biomass of the *C. glauca* seedlings were increased significantly by the inoculation, and the survival ratio and photosynthesis were also improved by the AMF. Biomass in the seedlings treated by *G. mosseae* and *G. intraradices* were 2.1 and 1.9 times as much as those in CK, respectively. Compared with un-inoculated treatments, water use efficiency of seedlings in *G. mosseae* and *G. intraradices* treatment were increased by 33.6% and 8.8% respectively. The promotion effect of height, base diameter and biomass of *G. mosseae* treatments were better

收稿日期: 2013-03-19 修回日期: 2013-04-14

基金项目: 广西自然科学基金(2013GXNSFBA019070); 国家自然科学基金(41172313); 岩溶动力学实验室开放基金(KDL2012-05); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CXZZ13-0534)

作者简介: 张中峰(1983-), 男, 安徽阜阳人, 硕士, 助理研究员, 主要研究菌根真菌与生态环境的关系, (E-mail) zfzhangwww@gmail.com。

通讯作者: 张金池, 博士, 教授, 主要从事水土保持与荒漠化防治研究, (E-mail) nufjczhang@sina.com。

than those of *G. intraradices* treatments, while the effect of leaf area, root length and root-shoot ratio of the seedlings in *G. intraradices* treatments were larger than those in *G. mosseae* treatments. Overall, it was indicated that the inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi, especially *G. mosseae* could promote the growth and biomass of *C. glauca* seedlings, suggesting that AMF had the potential application value in the restoration of vegetation in rocky desertification.

Key words: arbuscular mycorrhizal fungi; rocky desertification; revegetation; root/shoot ratio

西南地区的石漠化已成为制约该地区发展的重大生态环境问题(王世杰等, 2007; 魏源等, 2012)。近年来, 该地区生态重建与植被恢复虽取得一定效果, 但石漠化面积仍在快速扩展。尽管国家投入了较多的财力进行石漠化治理和植被恢复, 但植被覆盖度和造林成活率仍较低, 植被恢复的生态效应不明显。丛枝菌根真菌(Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)能提高植物的抗旱性, 促进植物对营养元素尤其是磷元素的吸收, 提高植物在逆境中的生长(郭良栋, 2012; 刘润进等, 2009; 吴强盛等, 2004a)。AMF作为植物根系与真菌形成的互惠共生体可显著提高受损和退化生态系统修复重建的成功率、缩短修复周期(刘永俊, 2008; 王立等, 2010)。石漠化地区土壤贫瘠干旱, 而AMF的生态学作用与石漠化退化生态系统的限制因子之间有着良好的耦合关系, AMF在石漠化治理上表现出很强的潜在应用价值。目前有关石漠化地区造林树种接种菌根真菌效应的研究比较少, 对于菌根真菌在石漠化退化生态系统恢复中的生态学意义尚缺乏充分认识和了解。近年有学者对喀斯特地区适生植物如构树(何跃军等, 2008)、香樟(吴长榜等, 2011)、光皮树(杜照奎等, 2011)、滇柏和楸树(王如岩等, 2011, 2012)等进行接种AMF研究, 证明喀斯特植物接种AMF后其生长与光合能力显著增强, 抗逆性能得到提高。研究AMF对石漠化造林树种的接种效应, 对该地区植被恢复具有重要的实践意义。

青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)是壳斗科栎属常绿乔木, 是中亚热带常绿阔叶林的代表性群落类型之一, 广泛分布在西南喀斯特地区, 也是石漠化地区常用的造林树种(苏宗明, 1998)。有关AMF对青冈栎幼苗生长影响的研究还未见报道, 本文通过对青冈栎进行接种AMF试验, 研究AMF对青冈栎幼苗的侵染、生长、光合作用以及幼苗成活率的影响, 以期对西南石漠化地区植树造林和植被恢复提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

青冈栎种子: 2011年11月采自广西桂林喀斯

特石山青冈栎群落成熟大树。试验菌种: 采用球囊霉属的摩西球囊霉(*Glomus mosseae*)和根内球囊霉(*G. intraradices*)2个菌种, 摩西球囊霉菌剂由长江大学园艺园林学院吴强盛教授提供; 根内球囊霉购自北京市农林科学院植物营养与资源研究所BGC。试验土壤采集自喀斯特地区石灰岩发育的土壤, 土壤pH为7.39, 有机质含量4.6%, 全氮2.38 g/kg, 全磷0.32 g/kg, 有效钾0.13 g/kg。青冈栎种子用5%的次氯酸钠溶液消毒15 min, 然后用无菌水冲洗3次备用; 土壤基质在高压灭菌锅121℃连续灭菌2 h后备用。

1.2 接种方法和试验设计

试验分为接种处理(M+)和非接种处理(M-), 接种处理又分为接种摩西球囊霉和接种根内球囊霉两种处理。2012年3月, 将灭菌土壤按每盆2 kg装入规格为170 mm×153 mm的塑料花盆内。接种处理: 在灭菌土上撒入25 g菌种, 同时放入10粒消毒并催芽后的青冈栎种子, 并覆盖灭菌土, 每个接种处理分别设置10个重复; 不接种处理: 在灭菌土上放入经高压灭菌锅121℃灭菌后的菌剂25 g, 同时播入10粒消毒并催芽的青冈栎种子, 并覆盖灭菌土, 每个菌种分别设置10个重复。接种处理与非接种处理总计40盆, 放置在温室大棚内喷洒无菌水进行培养观察。2012年8月进行苗木形态和生理指标的测定。

1.3 侵染与生长状况测定

在对青冈栎幼苗培养4个月后, 每种处理随机选取幼苗鲜根30条, 并剪成1 cm长的根段, 用Phillips & Hayam(1970)方法进行染色, 统计菌根侵染率; 每种处理随机选15株, 测量株高、地径; 记录单株叶片数量, 用叶面积仪(LI-3000A, 美国Licor公司)测定叶片面积, 并统计单株叶片总面积。将幼苗完整取出, 测量主根长度; 将幼苗按根和植株地上部分开, 于烘箱中105℃烘干至恒重, 称重并计算根冠比和菌根依赖性, 根冠比=单株根生物量/地上部生物量; 菌根依赖性=(接种处理干重-不接种处理干重)/接种处理干重×100%(林先贵等, 1989); 青冈栎幼苗成活率=成活幼苗株数/种子发芽总数。

1.4 光合参数的测定

利用 Li-6400 便携式光合测定系统(Li-Cor Inc.,Lincoln,USA)红蓝光源(Li- 6400 -02B)测定叶片气体交换参数。测定时设定光强为 1 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,叶温 25 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度 70%,外界 CO_2 浓度为 360 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。测定参数包括净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r),水分利用效率(WUE)计算方法: $WUE = P_n / T_r$ 。在早上 9:30~11:30,自上而下选择第 4 片健康叶进行测定,每种处理测定 3 株幼苗。

以上数据用 SPSS11.0 软件统计分析,试验数

据采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)($P<0.05$)进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 接种 AMF 对青冈栎幼苗侵染率和成活率的影响

青冈栎幼苗生长 4 个月后,测定根系侵染率和成活率(表 1)。结果显示接种摩西球囊霉处理的幼苗根系侵染率达 76.5%,接种根内球囊霉处理幼苗根系侵染率达 68.2%,两处理间差异显著;未接种处理侵染率均为 0。根据发芽数和成活株数计算成活

表 1 不同处理的青冈栎幼苗菌根侵染率和成活率(平均值±标准误)
Table 1 Colonization rate and survival ratio of *Cyclobalanopsis glauca* seedlings under different inoculated disposals (mean±SE)

处理 Treatment	侵染率 Colonization rate (%)		成活率 Survival ratio (%)	
	M+	M—	M+	M—
摩西球囊霉 <i>G. mosseae</i>	76.52±2.35a	0	94	83
根内球囊霉 <i>G. intraradices</i>	68.20±1.65b	0	92	86

注：同一列数据中字母不同者表示差异显著($P<0.05$)。下同
Note: Data with different letters are significantly different($P<0.05$) in the same column. The same below.

率。与未接种处理相比,接种 AMF 处理均提高了幼苗成活率,其中摩西球囊霉处理达 94%,根内球囊霉处理达 92%(表 1)。

2.2 接种 AMF 对青冈栎幼苗生长的影响

从表 2 看出,接种 AMF 处理能显著促进青冈

栎幼苗生长。其中,经摩西球囊霉处理的青冈栎幼苗株高和地径均显著高于未接种处理和根内球囊霉处理;摩西球囊霉处理幼苗平均株高为 20.59 cm,地径为 3.19 mm,分别是未接种处理的 1.3 倍和 1.2 倍;而根内球囊霉处理的幼苗株高与地径与对照处

表 2 接种丛枝菌根真菌对青冈栎幼苗生长的影响(平均值±标准误)
Table 2 Effects of AMF on growth of *Cyclobalanopsis glauca* seedlings (mean±SE)

接菌类型 Fungus type	处理 Treatment	地径 (mm) Ground diameter	株高 (cm) Height	叶片数量 Total leaf amount	叶面积 (cm ²) Leaf area	主根长 (cm) Root length
摩西球囊霉	M+	3.19±0.19a	20.59±0.85a	7.4±0.27ab	321.32±7.71b	13.84±0.73a
<i>G. mosseae</i>	M—	2.65±0.10b	16.32±0.43b	7.0±0.39b	219.77±8.14c	9.61±0.38b
根内球囊霉	M+	2.68±0.11b	17.34±0.88b	8.0±0.26a	343.42±6.00a	15.08±0.80a
<i>G. intraradices</i>	M—	2.35±0.10b	15.82±0.45b	7.2±0.20ab	209.54±5.80c	9.91±0.69b

理均无显著差异;接种 AMF 后,青冈栎幼苗根系须根增多,主根长度显著高于对照,其中根内球囊霉处理最为明显,其主根长 15.08 cm,是未接种处理的 1.52 倍,摩西球囊霉处理主根长 13.84,是对照处理的 1.44 倍,两种接种处理之间差异不显著。与未接种处理相比,接种 AMF 对青冈栎幼苗叶片数量无显著影响,但接种 AMF 处理的单株总叶面积与未接种处理单株总叶面积差异显著,其中接种根内球囊霉处理平均单株总叶面积为 343.42 cm²,比未接种处理高出 63.9%;接种摩西球囊霉处理单株总叶面积为 321.32 cm²,比未接种处理高出 46.2%,摩西球囊霉和根内球囊霉处理之间差异显著。

2.3 接种 AMF 对青冈栎幼苗生物量的影响

接种 AMF 能显著促进青冈栎幼苗生物量的增长,接种处理与对照间差异显著(图 1)。其中摩西球囊霉处理幼苗生物量干重为 4.9 g,对照处理为 2.3 g,两者相差 2.1 倍;接种根内球囊霉处理生物量为 4.1 g,是对照处理的 1.9 倍;同时两种接种处理之间幼苗生物量差异显著。接种根内球囊霉处理不仅能显著促进青冈栎根系生长,其对根系的促进作用也表现在根冠比上,根内球囊霉处理的根冠比达 0.75,是对照处理的 1.46 倍;而摩西球囊霉处理的根冠比为 0.60,与未接种处理差异不显著。植物对菌根真菌的依赖度是反映植物与菌根真菌相互

关系的指标(林先贵等,1989),试验结果,青冈栎幼苗对摩西球囊霉和根内球囊霉的依赖度分别为51.5%和44.7%,但两种接种处理间差异不显著(图1)。

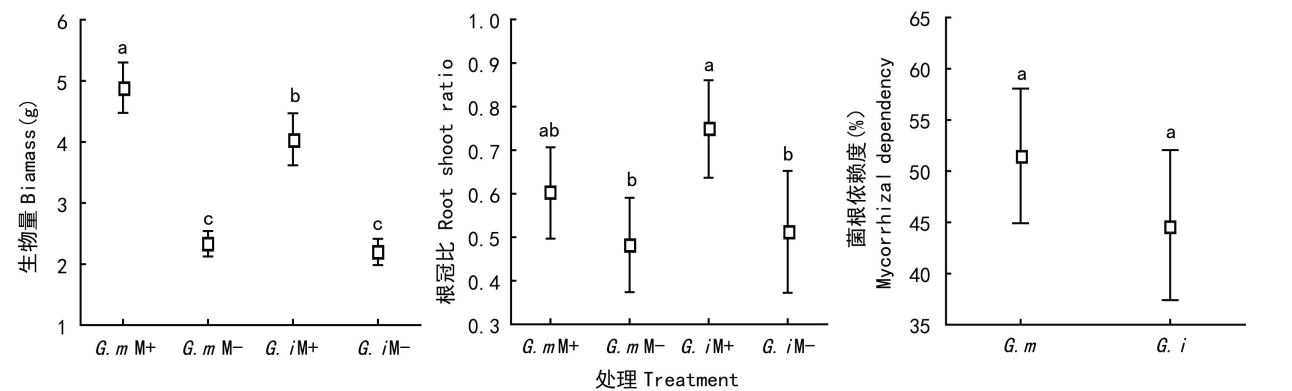


图1 接种AMF对青冈栎幼苗生物量的影响 小图中具有不同字母的处理差异显著($P<0.05$)。

Fig.1 Effects of different AMF disposals on biomass of *Cyclobalanopsis glauca* seedlings

G. m=*Glomus mosseae*; *G. i*=*G. intraradices*. In each panel, the treatments with different letters are significantly different ($P<0.05$).

2.4 接种AMF对青冈栎幼苗光合作用的影响

设定光照强度为 $1\,000\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,测定各处理青冈栎光合速率、蒸腾速率和气孔导度值,并比较各处理间叶片气体交换参数差异(表3)。统计分析表明,摩西球囊霉处理对青冈栎幼苗光合参数影响较大,其中净光合速率、蒸腾速率和气孔导度均显著高于未接种处理和根内球囊霉处理,摩西球囊霉

处理下净光合速率、蒸腾速率和气孔导度分别是对照处理的2.6、1.9和2.5倍;而根内球囊霉处理下,除蒸腾速率显著高于对照外,净光合速率、水分利用效率和气孔导度和对照差异不显著。接种摩西球囊霉的青冈栎水分利用效率比未接种处理高33.6%,显著高于对照;根内球囊霉处理水分利用效率比对照提高8.8%,但与对照差异不显著。

表3 不同处理下青冈栎幼苗叶片光合参数特征(平均值±标准误)

Table 3 Photosynthetic characteristics of *Cyclobalanopsis glauca* seedlings leaf under different treatments (mean±SE)

接菌类型 Fungus type	处理 Treatment	净光合速率 Net photosynthetic rate ($\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率 Transpiration rate ($\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	水分利用效率 Water use efficiency ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$)	气孔导度 Stomatal conductance ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
摩西球囊霉 <i>G. mosseae</i>	M+	$3.12\pm0.24\text{a}$	$0.63\pm0.06\text{a}$	$4.97\pm0.05\text{a}$	$0.0345\pm0.001\text{a}$
	M-	$1.19\pm0.03\text{b}$	$0.32\pm0.02\text{c}$	$3.72\pm0.19\text{b}$	$0.0138\pm0.001\text{b}$
根内球囊霉 <i>G. intraradices</i>	M+	$1.64\pm0.05\text{b}$	$0.39\pm0.01\text{b}$	$4.21\pm0.17\text{ab}$	$0.0169\pm0.001\text{b}$
	M-	$1.08\pm0.12\text{b}$	$0.27\pm0.01\text{c}$	$3.87\pm0.44\text{b}$	$0.0139\pm0.0\text{b}$

3 结论与讨论

接种菌根真菌能够促进青冈栎幼苗生长与形态分化,除叶片总数没有显著差异外,植株高、地径、叶面积显著高于对照处理。在西南喀斯特地区适生植物如构树(何跃军等,2008)、香樟(吴长榜等,2011)、光皮树(何跃军等,2012)、滇柏(王如岩等,2011)进行接种试验,结果表明菌根真菌能显著促进喀斯特地区植物的生长、光合以及植物生物量增长。本研究中,摩西球囊霉和根内球囊霉两个菌种对青冈栎的接种

效应也有差异:地径和株高表现为摩西球囊霉处理>根内球囊霉处理,叶面积和主根长表现为根内球囊霉处理>摩西球囊霉处理,表明摩西球囊霉处理对青冈栎幼苗地上部生长的促进作用好于根内球囊霉处理;根内球囊霉处理对青冈栎幼苗根长促进作用好于摩西球囊霉处理。菌根真菌促进寄主植物生物量增长和提高植物根冠比的研究已被大量报道(吴强盛等,2004b;Wu *et al.*,2008;何跃军等,2012)。本研究用摩西球囊霉和根内球囊霉对青冈栎进行接种处理,结果表明两种菌种均能显著促进青冈栎的生长和生物量的增长,尤其是促进根系的生长。对于生长在土壤

浅薄、干旱的石漠化地区的植物来说,根系越发达其存活几率越高,因此利用菌根苗在石漠化地区造林具有潜在的应用价值。但菌根真菌的应用价值因菌种而异。不同的 AM 真菌与同一植物形成的菌根表现出不同的菌根效应,是由菌种的生物学特性以及与宿主植株之间的亲和性引起 (Streitwolf-Engel *et al.*, 1997; 何跃军等, 2008)。就本试验而言,摩西球囊霉处理的青冈栎幼苗生物量、侵染率、菌根依赖度及净光合速率高于根内球囊霉处理,这表明摩西球囊霉对青冈栎幼苗有更好的菌根效应,在石漠化植被恢复中具有潜在的应用价值。

一般认为,接种菌根真菌能促进寄主植物的光合作用、蒸腾速率与气孔导度,如对柑桔 (*Citrus tangerine*) 接种地球球囊霉 (*Glomus versiforme*) 后净光合速率、蒸腾速率和气孔导度均显著增大 (Wu *et al.*, 2006); 喀斯特石灰岩地区适生植物构树和光皮树幼苗在接种 AMF 后,其光合作用均显著高于未接种处理 (何跃军等, 2008; 杜照奎等, 2011)。在本研究中,与未接种处理相比,接种摩西球囊霉显著提高了青冈栎幼苗的净光合速率、蒸腾速率和气孔导度,而接种根内球囊霉处理没有对青冈栎光合速率和气孔导度产生显著影响,这可能由于不同菌种对青冈栎幼苗光合作用和气孔调节效应不同。Sheng *et al.* (2008) 对玉米 (*Zea mays*) 接种摩西球囊霉的研究中发现,摩西球囊霉能提高宿主植物的水分利用效率; 杜照奎等 (2011) 对石灰岩地区光皮树接种菌根真菌后,其水分利用效率比对照提高了 24.6%。在本研究中,摩西球囊霉处理青冈栎的水分利用效率比未接种处理提高了 33.6%,尽管根内球囊霉处理水分利用效率与对照差异不显著,但比对照提高了 8.8%。西南石漠化地区普遍存在地质性干旱 (李阳兵等, 2006), 土壤水分是该地区植物生长的限制因子,而接种 AMF 能提高造林树种的水分利用效率,这对于干旱少水的石漠化地区植被恢复具有重要的实践意义。

近年来,以 AMF 为主导的菌根共生系统已成为一种新型生物修复主体,被广泛的应用到退化或受损生态系统的恢复和重建当中 (魏源等, 2012)。如果能够利用菌根化苗木在石漠化地区进行造林,则可以为该地区的植被恢复提供一条新的途径。但目前有关石漠化地区造林树种接种菌根真菌效应的研究仍较少。青冈栎是西南喀斯特地区的适生树种,也是石漠化地区常用的造林树种。本文通过对

青冈栎接种摩西球囊霉和根内球囊霉两种丛枝菌根真菌,证明接种菌根真菌对青冈栎幼苗的生长和光合作用具有显著的促进作用,并且提高了其幼苗成活率,因此利用青冈栎在石漠化地区造林时,可选择接种合适的菌根真菌,以提高植被恢复效果。菌种的有效性通常由不同环境条件下植物生长反应所决定 (何跃军等, 2008), 因此在干旱环境下 AM 对青冈栎的接种效应还需做进一步研究。

参考文献:

- Du ZK (杜照奎), He YJ (何跃军). 2011. Photosynthetic physiological response of *Cornus wilsoniana* seedlings to arbuscular mycorrhiza fungi (光皮树幼苗接种丛枝菌根真菌的光合生理响应) [J]. *Guizhou Agric Sci* (贵州农业科学), **39**(8): 31–35
- Guo LD (郭良栋). 2012. Progress of microbial species diversity research in China (中国微生物物种多样性研究进展) [J]. *Biodiv Sci* (生物多样), **20**(5): 572–580
- He YJ (何跃军), Du ZK (杜照奎), Wu CB (吴长榜), *et al.* 2012. Effects of AMF inoculation on morphological characteristics and biomass allocation of *Cornus wilsoniana* seedlings growing in karst soil (喀斯特土壤接种 AM 菌剂对光皮树幼苗形态特征和生物量分配的影响) [J]. *J Southwest Univ: Nat Sci Edit* (西南大学学报·自然科学版), **34**(10): 35–40
- He YJ (何跃军), Zhong ZC (钟章成), Liu JC (刘锦春), *et al.* 2008. Photosynthetic characteristics of *Broussonetia papyrifera* seedlings inoculated AM fungus in limestone soil substratum (石灰岩土壤基质上构树幼苗接种丛枝菌根真菌的光合特征) [J]. *Bull Bot Res* (植物研究), **28**(4): 452–457
- He YJ (何跃军), Zhong ZC (钟章成), Liu JM (刘济明), *et al.* 2007. Growth response of *Broussonetia papyrifera* seedlings to VA mycorrhizal fungi inoculation (构树幼苗对接种丛枝菌根真菌的生长响应) [J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **18**(10): 2 209–2 213
- Li YB (李阳兵), Wang SJ (王世杰). 2006. An analysis on the frangibility of karst ecosystem (岩溶生态系统脆弱性剖析) [J]. *Trop Geogr* (热带地理), **26**(4): 303–307
- Lin XG (林先贵), Hao WY (郝文英). 1989. Mycorrhizal dependency of various kinds of plants (不同植物对 VA 菌根菌的依赖性) [J]. *Acta Bot Sin* (植物学报), **31**(9): 721–725
- Liu RJ (刘润进), Jiao H (焦惠), Li Y (李岩), *et al.* 2009. Research advances in species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (丛枝菌根真菌物种多样性研究进展) [J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **20**(9): 2 301–2 307
- Liu RJ (刘永俊). 2008. The physiological and ecological functions of arbuscular mycorrhiza (丛枝菌根的生理生态功能) [J]. *J Northwest Univ Nation* (西北民族大学学报), **29**(1): 54–59
- Phillips JM, Hayman DS. 1970. Improved procedures for clearing and attaining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection [J]. *Trans Brit Mycol Soc*, **55**: 158–161
- Sheng M, Tang M, Chen H. 2008. Influence of arbuscular mycorrhizae on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress [J]. *Mycorrhiza*, **18**: 287–296

(下转第 294 页 Continue on page 294)