

DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-3142. 2013. 05. 010

张传博, 谭金玉, 孙云子, 等. 喀斯特典型地区烟管荚蒾 AM 真菌多样性研究 [J]. 广西植物, 2013, 33 (5): 640—644

Zhang CB, Tan JY, Sun YZ, et al. Diversity of arbuscular mycorrhizae of *Viburnum utile* in karst areas [J]. Guihaia, 2013, 33 (5): 640—644

喀斯特典型地区烟管荚蒾 AM 真菌多样性研究

张传博*, 谭金玉, 孙云子, 罗 充

(贵州师范大学 生命科学院, 贵阳 550001)

摘 要: 烟管荚蒾是喀斯特地区灌木丛的主要组成植物。以茂兰喀斯特森林为采样地点, 对烟管荚蒾 AM 真菌进行了分离、鉴定与多样性分析, 并对优势菌种进行初步的接种研究。结果表明: 烟管荚蒾根系的菌根侵染率为 82. 1%, 从根际土壤分离到 AM 真菌 2 属 16 种, 球囊霉属 (*Glomus*) 7 种, 无梗囊霉属 (*Acaulospora*) 9 种。优势种为根内球囊霉 (*Glomus intraradices*)、皱壁无梗囊霉 (*Acaulospora rugosa*) 和刺无梗囊霉 (*A. spinosa*)。优势菌种接种紫花苜蓿 (*Medicago sativa*), 促生作用明显, 并显著提高了 SOD、POD 和 CAT 酶活性。该研究对于探讨喀斯特地区 AM 真菌的多样性与独特性, 筛选优良的宿主植物和与之高效共生的 AM 真菌具有重要意义。

关键词: 喀斯特; 烟管荚蒾; AM 真菌

中图分类号: Q938. 1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142 (2013) 05-0640-05

Diversity of arbuscular mycorrhizae of *Viburnum utile* in karst areas

ZHANG Chuan-Bo*, TAN Jin-Yu, SUN Yun-Zi, LUO Chong

(College of Life Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract: *Viburnum utile* is a major component of scrub in karst areas. To better elucidate arbuscular mycorrhizal fungal diversity, distribution associated with *V. utile*, and the effect of growth of *Medicago sativa* inoculated with the dominant species, we collected soil samples from Maolan karst forest. The results indicated that the infection rating of *Viburnum utile* by AMF was 82. 1%. Sixteen species of arbuscular mycorrhizae belonging to two genera were isolated and identified from soil samples, including 7 species of *Glomus* and 9 species of *Acaulospora*. Meanwhile, *Glomus intraradices*, *Acaulospora rugosa* and *A. spinosa* were the dominant species. In addition, the growth and SOD, POD, and CAT activities of the *Medicago sativa* inoculated with dominant species were improved compared to the control without inoculation. These results would provide new insight into the AM fungal diversity and specificity, and play an important role in screening to identify excellent plant-AM fungus combination.

Key words: karst areas; *Viburnum utile*; arbuscular mycorrhizae

喀斯特地区碳酸盐岩充分发育, 特殊的地质背景奠定了喀斯特生态系统的脆弱性和敏感性, 长期以来, 不合理的土地开垦、造成石漠化进程加剧, 植被破坏严重, 生态系统退化日益严重, 对当地社会、经济的发展和资源的可持续利用以及生存环境

构成了严重威胁, 亟待解决 (司彬等, 2006; 张殿发等, 2001)。石漠化治理的难点是植被恢复, 先锋树种选择, 苗木质量和造林成活率是关键。丛枝菌根真菌 (Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) 是自然界分布最为广泛的一种菌根真菌 (Akhtar et al.,

收稿日期: 2013-01-13 修回日期: 2013-03-22

基金项目: 贵州省自然科学基金 (黔科合 J 字 [2007] 2048); 贵州师范大学资助博士科研项目 (11904-05032100010)

作者简介: 张传博 (1976-), 男, 山东梁山人, 博士, 从事内生真菌与菌根真菌研究, (E-mail) zhangchuanbo2004@163. com。

2008)。它通过根外菌丝增加植物对水分、N、P 等营养元素的吸收,显著改善土壤理化性状,稳定土壤团粒结构,提高植物在逆境的生长和定殖(刘润进等 2000; Jung *et al.*, 2012; Lapointe *et al.*, 2006; Grunwald *et al.*, 2009; Rajeshkannan *et al.*, 2009)。特别对营养贫瘠地区退化生态系统恢复过程中的先锋植物有明显的促进作用(Van der Heijden *et al.*, 1998; Guadarrama *et al.*, 2004)。利用丛枝菌根强化退化生态系统修复日益受到人们的重视(Goncalves *et al.*, 2009)。我国过去对西南地区西双版纳热带雨林中的丛枝菌根真菌有过报道(赵之伟等, 2001),但对喀斯特地区烟管荚蒾上的丛枝菌根真菌未见研究报道。

烟管荚蒾(*Viburnum utile*)属忍冬科(Caprifoliaceae)荚蒾属(*Viburnum*)常绿灌木,多生于海拔 500~1 800 m 的山坡林缘或灌丛中。在喀斯特地区,烟管荚蒾的生长和存活竞争力较其他种更强,对喀斯特环境具特殊的适应能力,是石漠化区域灌木丛的优势树种及群落演替的先锋树种,也是石漠化治理的理想植物。野外调查证实,在生境恶劣的强度石漠化样地,烟管荚蒾数量明显增多,而且石面生境的分布数量也明显高于其他生境。烟管荚蒾又是重要药用植物,其根、茎、叶、花均可入药,为中药“羊屎条叶”、“羊屎条花”,具清热解毒,利湿止津,收敛止血等广泛的药理作用。

贵州茂兰国家自然保护区为典型的喀斯特峰丛地貌,是喀斯特地形环境下唯一幸存的一片分布集中,原生性强,相对稳定,绝无仅有的喀斯特森林。本研究以茂兰国家级自然保护区森林为采样地点,研究喀斯特地区灌木丛优势树种烟管荚蒾根系内和土壤 AM 真菌的种类组成及多样性,并对优势菌种进行初步的接种研究。本研究对于筛选优良的宿主植物和高效共生 AM 真菌,建立规范的烟管荚蒾菌根化育苗技术,对石漠化地区人工造林及退化生态系统的植被恢复和重建具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

茂兰国家自然保护区位于贵州省荔波县南部,地处贵州高原南部向广西丘陵平原过渡的斜坡地带,最高海拔 1078.6 m,最低海拔 430 m,平均海拔 758.8 m,属中亚热带季风性湿润气候,年均气温 18.6℃,年均降水量 1 752 mm,年均相对湿度 83%,年日照时数 1272.8 mm,区内喀斯特

地貌十分发育,是原生性强、相对稳定平衡的喀斯特森林生态系统,土壤主要以黑色石灰土为主,成土母质是纯度较高的石灰岩和白云岩(周政贤, 1987)。

1.2 样品采集及处理

2010 年 10 月于贵州荔波茂兰自然保护区喀斯特森林的青龙潭、拉跃坡、三岔河、漏斗森林共 4 个地点采集烟管荚蒾根际土壤 12 份,每份土样取 5 点混合。首先去除表层 5 cm 厚的杂物,挖 10~20 cm 深有一定须根的土壤剖面,剪取其部分新鲜幼嫩须根,FAA 液固定;收集根际土壤 1~2 kg,土样风干,4℃冰箱保存。

选取饱满、大小一致的紫花苜蓿(*Medicago sativa*)种子 30 粒,60℃温水浸种 4 h,自然冷却,播种于育苗盘中,生长 30 d,挑选生长健壮,大小一致的幼苗,移栽至营养钵中,每钵 4 株,用于接种处理。

1.3 侵染率及 AM 真菌鉴定

菌根侵染率的测定:碱解离-酸性品红染色法处理烟管荚蒾根系,计算菌根侵染率(刘润进等, 2007):

菌根侵染率(%) = $\frac{\sum (0 \times \text{根段数} + 10\% \times \text{根段数} + 20\% \times \text{根段数} + 30\% \times \text{根段数} + \dots + 100\% \times \text{根段数})}{\text{观察总根段数}}$

AM 真菌鉴定:湿筛倾注-蔗糖离心法分离、镜检孢子,记录孢子数,计算孢子密度。依据 Schenck & Perez 编著的《VA 菌根菌鉴定手册》和国际 VA 菌种保藏中心 INVAM (<http://invam.caf.wvu.edu/Myc-Info/>) 的菌根菌的分类描述和图片(Schenck & Perez, 1988),近年来发表的新种、新记录种等进行种属的检索、鉴定和分类。

1.4 AM 真菌多样性指数测定与计算

物种丰富度(species richness, SR):是指 10 g 土壤中含有的 AM 真菌种数,即 $SR = \text{AM 真菌总种次数} / \text{土样数}$ 。

孢子密度(spore number, SN):是指 10 g 土样数中 AM 真菌的孢子个数,即 $SN = \text{某土样中 AM 真菌所有孢子数} / \text{土样数}$ 。

分离频度(frequency, F):是指 AM 真菌某属或种在样本总体中出现的频度,即 $F = (\text{AM 真菌某属或种的出现次数} / \text{土样数}) \times 100\%$ 。

相对多度(relative abundance, RA):是指该采样点 AM 真菌某属或种的孢子数占总孢子数的比率,即 $RA = (\text{该采样点 AM 真菌某属或种的孢子数} / \text{该采样点 AM 真菌总孢子数}) \times 100\%$ 。

重要值 $I = (F + RA) / 2$,即分离频度和相

对多度的平均值。

将 AM 真菌的优势度按分离频度 (F) 划分为 5 个等级: $F > 80\%$ 为优势属 (种); $60\% < F \leq 80\%$ 为最常见属 (种); $40\% < F \leq 60\%$ 为常见属 (种); $20\% < F \leq 40\%$ 为少见属 (种); $F \leq 20\%$ 为偶见属 (种)。

1. 5 优势 AM 真菌接种

以灭菌的石灰性土壤为基质, 三叶草扩繁优势 AM 菌株, 制备 AM 真菌菌剂, 1:1 混合栽培基质, 将营养钵填至盆高 3/4 处, 挑选生长状况一致的紫花苜蓿幼苗移栽, 每盆 4 株, 25 °C 温室培养, 培养条件为 12 h 光照, 12 h 黑暗, 定期浇 1/10 强度无菌 Hoagland 营养液 (Schultze, 2013)。

1. 6 优势 AM 真菌对紫花苜蓿生长量影响

紫花苜蓿幼苗接种 90 d 后, 测量其主根长、株高和叶片数; 称量地上和地下部分的湿重、干重; 测定 AM 真菌对紫花苜蓿的侵染率。

1. 7 优势 AM 真菌对紫花苜蓿 SOD、POD 和 CAT 活性影响

取紫花苜蓿一定部位去除叶脉的叶片适量, 进行 SOD、POD 和 CAT 酶液的提取, 以 SOD、POD、CAT 试剂盒 (南京建成科技有限公司) 进行酶活性测定和计算。

1. 8 数据分析

采用 DPS 统计软件进行方差分析。

2 研究结果

2. 1 烟管荚蒾 AM 菌根侵染状况

烟管荚蒾为 AM 真菌依赖性植物, AM 真菌能够与烟管荚蒾形成良好的共生关系。AM 真菌对烟管荚蒾根系侵染率为 82. 1%。根段压片观测, 根系外部形成根外菌丝围绕根系, 其菌丝多沿根系生长方向延伸; 根外菌丝可直接侵入皮层细胞, 在根内形成胞内卷曲菌丝和菌丝圈 (图 1)。

2. 2 烟管荚蒾根围 AM 真菌多样性

烟管荚蒾根际 AM 真菌多样性丰富, 多样性指数为 2. 03, 孢子密度为每 10 g 为 82. 17 个。共分离鉴定出 AM 真菌 2 属 16 种 (表 1), 其中球囊霉属 (*Glomus*) 7 种、无梗囊霉属 (*Acaulospora*) 9 种。优势种 3 种, 根内球囊霉 (*Glomus intraradices*)、皱壁无梗囊霉 (*Acaulospora rugosa*)、刺无梗囊霉 (*A. spinosa*)。最常见种 4 种, 全部属于球囊霉属。根内球囊霉孢子密度和分离频度最大, 分别是每 10 g 为 29. 34 个和 100. 00%, 相对多度 35. 70%, 重要值指数 67.

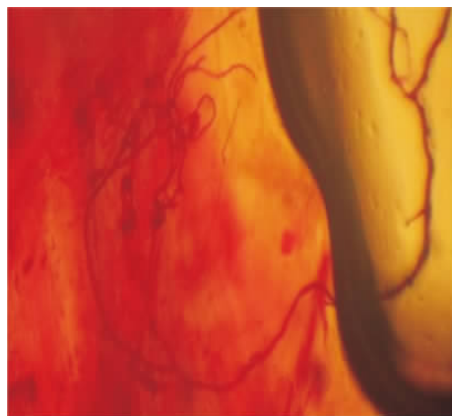


图 1 烟管荚蒾根内的 AM 真菌菌丝、菌丝圈 ($\times 100$)

Fig. 1 AM hyphae and hyphal coil inside the root cells of *Viburnum utile* ($\times 100$)

85%。皱壁无梗囊霉的孢子密度每 10 g 为 16. 67 个, 分离频度 93. 3%, 相对多度 20. 28%, 重要值指数 56. 81%。刺无梗囊霉的孢子密度每 10 g 为 8. 00 个, 分离频度 86. 67%, 相对多度 9. 74%, 重要值指数 48. 24%。

2. 3 优势 AM 真菌对紫花苜蓿的促生作用

根系侵染率的高低表示 AM 真菌与植物形成互惠共生体的状况。结果表明, 3 种优势 AM 真菌均能很好地与紫花苜蓿建立共生关系。不同的 AM 真菌对紫花苜蓿的侵染率不同 (表 2), 以皱壁无梗囊霉侵染率最高。

紫花苜蓿接种根内球囊霉、刺无梗囊霉、皱壁无梗囊霉后, 3 种接种物均显著提高了紫花苜蓿的地上、地下鲜重和干重; 对主根长有一定的提高, 但差异不明显。刺无梗囊霉对紫花苜蓿的地上、地下鲜重和干重、株高、叶片数影响最大, 与对照相比, 分别提高了 1. 95、0. 73、1. 23、0. 17 g、2. 16、11. 05 cm、9. 65 片, 除主根长与对照相比没有显著差异, 其它生长指标与对照相比, 在 0. 01 水平上差异极显著, 在 0. 05 水平上差异显著。这 3 种接种物之间相比, 对地上鲜重、干重影响, 在 0. 05 水平上差异显著, 0. 01 水平上差异极显著; 但 3 种 AM 真菌对主根长的影响没有差异。

2. 4 优势 AM 真菌对紫花苜蓿 SOD、POD 和 CAT 活性的影响

从烟管荚蒾中分离的 3 种优势 AM 真菌对 POD 活性的影响, 在 0. 01 水平上差异极显著, 在 0. 05 水平上差异显著。根内球囊霉和刺无梗囊霉对

表 1 烟管英蒾中分离的 AM 真菌孢子密度、分离频度、相对多度、重要值
Table 1 Spore number, isolation frequency, relative abundance, importance value of arbuscular mycorrhizae fungi isolated from *Viburnum utile*

AM 真菌 AM fungus	孢子密度 SN (个/10g)	分离频度 F (%)	相对多度 RA (%)	重要值 IV (%)
双网无梗囊霉 <i>Acaulospora bireticulata</i>	5. 17	33. 3	6. 29	19. 81
丽孢无梗囊霉 <i>A. elegans</i>	0. 50	26. 64	0. 61	13. 64
细凹无梗囊霉 <i>A. foveata</i>	0. 17	0. 20	0. 00	0. 10
蜜色无梗囊霉 <i>A. mellea</i>	1. 00	20. 00	1. 22	10. 61
莫氏无梗囊 <i>A. morrowae</i>	0. 50	0. 27	0. 01	0. 14
皱壁无梗囊霉 <i>A. rugosa</i>	16. 67 *	93. 30 *	20. 28 *	56. 81 *
刺无梗囊霉 <i>A. spinosa</i>	8. 00 *	86. 67 *	9. 74 *	48. 24 *
孢果无梗囊霉 <i>A. sporocarpia</i>	5. 67	53. 30	6. 90	30. 12
波状无梗囊霉 <i>A. undulate</i>	1. 00	33. 30	1. 22	17. 28
褐色球囊霉 <i>Glomus badium</i>	3. 84	70. 00	4. 67	37. 33
柑橘球囊霉 <i>G. citricolum</i>	0. 84	20. 00	1. 01	10. 51
明球囊霉 <i>G. clarum</i>	3. 50	46. 67	4. 26	25. 46
聚生球囊霉 <i>G. fasciculatum</i>	2. 00	60. 00	2. 43	31. 22
根内球囊霉 <i>G. intraradices</i>	29. 34 *	100. 00 *	35. 70 *	67. 85 *
纯黄球囊霉 <i>G. luteum.</i>	3. 50	66. 67	4. 26	35. 46
网状球囊霉 <i>G. reticulatum</i>	0. 67	60. 00	0. 81	30. 41

注：“SN”表示孢子密度；“F”表示分离频度；“RA”表示相对多度；“IV”表示重要值；“*”表示优势种。
Note: “SN” means spore number; “F” means isolation frequency; “RA” means relative abundance; “IV” means importance value; “*” means dominant species.

表 2 烟管英蒾优势 AM 真菌对紫花苜蓿的侵染率
Table 2 Infection rates of dominant AM fungi from *Viburnum utile* on *Medicago sativa*

AM 真菌 AM fungi	对紫花苜蓿的侵染率 (%) Infection rate on <i>Medicago sativa</i>
根内球囊霉 <i>Glomus intraradices</i>	0. 33±0. 01 b
刺无梗囊霉 <i>Acaulospora spinosa</i>	0. 21±0. 012 c
皱壁无梗囊霉 <i>A. rugosa</i>	0. 44±0. 012 a

注：不同小写字母表示在 5% 水平上差异显著。下同。
Note: Small letters mean significant difference at P=0. 05 level. The same below.

SOD 活性的影响在 0. 01 水平上差异极显著，在 0. 05 水平上差异显著，皱壁无梗囊霉对 SOD 活性的影响与未接种相比，没有差异。刺无梗囊霉

和皱壁无梗囊霉对 CAT 活性的影响与未接种相比在 0. 01 水平上差异极显著，在 0. 05 水平上差异显著，而根内球囊霉对 CAT 活性的影响与未接种相比，没有差异。

3 结论与讨论

AM 真菌的多样性及其对宿主植物根的侵染率受到宿主植物、土壤环境和群落结构等诸多因素的影响 (Burrows & Pfleger *et al.*, 2002; Landis *et al.*, 2004; Hijri *et al.*, 2006)。烟管英蒾样品采集于

表 3 烟管英蒾优势 AM 真菌对紫花苜蓿生长量的影响
Table 3 Effects of the dominant AM fungi from *Viburnum utile* on the growth of *Medicago sativa*

AM 真菌种类 Species of AM fungi	地上鲜重 Fresh weight of shoot (g)	地上干重 Dry weight of shoot (g)	地下鲜重 Fresh weight of root (g)	地下干重 Dry weight of root (g)	主根长 Main-root length (cm)	株高 Plant height (cm)	叶片数 (片) Number of leaves
根内球囊霉 <i>Glomus intraradices</i>	2. 54±0. 12 cC0.	0. 98±0. 02 cC1.	22±0. 10 bB0.	38±0. 04 bB20.	83±1. 01 aA1.	67±0. 88 bB2.	00±1. 73 bB
刺无梗囊霉 <i>Acaulospora spinosa</i>	3. 98±0. 13 aA1.	32±0. 05 aA1.	33±0. 12 aA0.	42±0. 05 aA1.	13±4. 90 aA2.	33±0. 88 aA3.	33±0. 88 aA
皱壁无梗囊霉 <i>A. rugosa</i>	3. 42±0. 10 bB1.	14±0. 05 bB1.	32±0. 05 bB0.	40±0. 03 bAB0.	60±0. 62 aA0.	67±3. 18 aA1.	67±10. 71 aA
CK	2. 03±0. 18 dD0.	0. 59±0. 02 dD0.	65±0. 04 cC0.	25±0. 03 cC18.	97±1. 43 aA1.	27±0. 88 bB0.	67±0. 88 bB

注：不同的大写字母表示在 1% 水平上差异极显著。
Note: Different big letters indicate very significant differences at P=0. 01 level.

茂兰喀斯特森林的青龙潭、拉跃坡、三岔河、漏斗森林，采样地点平均海拔 800 m 左右，土壤为黑色石灰土为主，土层浅薄，地面岩石裸露，pH=7. 5，有机质和全氮含量特别丰富。周围伴生植物为火棘、悬钩

子、小果蔷薇、盐肤木、黄背草，为典型的喀斯特灌丛。AM 真菌的多样性呈现明显的季节动态变化，在西南地区 7~10 月是植物旺盛生长期，光合作用和生理代谢活动强，其种丰度高。本研究中，样品采

表 4 优势 AM 真菌对紫花苜蓿 SOD、POD、CAT 活性的影响

Table 4 Effects of SOD, POD and CAT activities of the *Medicago sativa* inoculated with dominant AM fungi

AM 真菌种类 Species of AM fungi	SOD 活性 ($\text{U} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) SOD activity	POD 活性 ($\text{U} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) POD activity	CAT 活性 ($\text{U} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) CAT activity
根内球囊霉 <i>Glomus intraradices</i>	101. 62±0. 80 aA	91. 21±0. 18 cC	68. 71±0. 67 bB
刺无梗囊霉 <i>Acaulospora spinosa</i>	93. 42±0. 15 bB	97. 70±0. 12 aA	82. 57±0. 39 aA
皱壁无梗囊霉 <i>A. rugosa</i>	85. 55±1. 28 cC	95. 03±0. 18 bB	84. 47±0. 25 aA
CK	85. 20±0. 18 cC	60. 65±0. 18 dD	69. 00±1. 30 bB

集于 10 月初,是具代表性的季节。从烟管荚蒾根际土壤中,共分离鉴定出 AM 真菌 2 属 16 种。其中球囊霉属 7 种,无梗囊霉属 9 种,多样性丰富,但其它属的种类未见。宿主植物类型和根系特性是 AM 真菌发生和分布的重要因子 (Tawarayama *et al.*, 1994), 烟管荚蒾为喀斯特地区适生植物,根系发达,为 AM 真菌的侵染与共生提供了适宜的生境。烟管荚蒾耐贫瘠能力极强,一方面与它自身的生理特性相关,另一方面也可能和其根际 AM 真菌多样性丰富,能在植物根围形成庞大的菌丝网络系统,菌丝分泌的粘性物质能稳定土壤,改善土壤理化性质密切相关。

优势 AM 真菌的种类因植物种类、地形、气候差异很大,呈现一定的地域分布规律,西南喀斯特地区的临近区域,亚热带都江堰地区的优势种为光壁无梗囊霉 (*Acaulospora laevis*) 和地表球囊霉 (*Glomus versiforme*) 等 (Zhang *et al.*, 2004a, b), 我国西双版纳热带雨林的优势种是单孢球囊霉 (*G. monosporum*) 和细齿无梗囊霉 (*Acaulospora denticulata*) (Zhao *et al.*, 2003)。烟管荚蒾根际,以根内球囊霉,皱壁无梗囊霉,刺无梗囊霉为优势菌种。说明这几种 AM 真菌对喀斯特土壤适应能力较强,可能对烟管荚蒾具有某些独特的生物学功能,但不同菌种间的孢子密度、分离频度、相对多度及重要值均存在显著差异。研究发现,无梗囊霉属和球囊霉属是荒漠生态系统中 AM 真菌优势类群 (毕银丽等, 2006)。球囊霉属在中性或碱性的土壤条件下出现较多,在 pH5~9 范围内,土壤碱性越大,球囊霉属所占比例越大 (Tanja & Mareel, 2003)。喀斯特地区土壤偏碱性,分离的优势 AM 真菌中,以根内球囊霉为主,4 种最常见种全部属球囊霉属,说明生态适应性很强的球囊霉属在喀斯特石漠化生态恢复中具有较强的利用潜力。这些结论与利用巢式 PCR 和 DGGE 相结合的分子生物学方法的研究结论一致。

紫花苜蓿与 AM 真菌有良好的共生性,是筛选高效、优良 AM 菌种的模式植物。分离的 3 种优势 AM 真菌均能和紫花苜蓿建立良好的共生关系,其中以皱壁无梗囊霉亲和力和最强,刺无梗囊霉促生作用最为明显,能显著提高紫花苜蓿的 POD、SOD 和 CAT 活性。这为培养烟管荚蒾菌根苗,提供了重要

理论依据。

参考文献:

- 刘润进, 陈应龙. 2007. 菌根学 [M]. 北京: 科学出版社
- 周政贤. 1987. 茂兰喀斯特森林科学考察集 [M]. 贵阳: 贵州人民出版社: 1—23
- Akhtar MS, Siddiqui ZA. 2008. Abscultural Mycorrhizal Fungi As Potential Bioprotectants Against Plant Pathogens [M]. Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry: 61—69
- Bi YL (毕银丽), Wu FY (吴福勇). 2006. Ecological effects of matching between mycorrhizal fungus and leguminous plants in solid wastes of mine area (菌根与豆科植物组合在煤矿区废弃物的生态效应) [J]. *J Chin Univ Min Technol* (中国矿业大学学报), 5 (3): 330—332
- Burrows RL, Pfleger FL. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi respond to increasing plant diversity [J]. *Can J Bot*, 80: 120—130
- Gonçalves SC, Martins-Loução MA, Freitas H. 2009. Evidence of adaptive tolerance to nickel in isolates of *Cenococcum geophilum* from serpentine soils [J]. *Mycorrhiza*, 19 (4): 221—30
- Grunwald U, Guo WB, Fischer K, *et al.* 2009. Overlapping expression patterns and differential transcript levels of phosphate transporter genes in arbuscular mycorrhizal, Pi-fertilised and phytohormone-treated *Medicago truncatula* roots [J]. *Planta*, 229: 1 023—1 034
- Guadarramal P, A'lvarez-Sa' nchezIJ, Briones O. 2004. Seedling growth of two pioneer tropical tree species in competition: The role of arbuscular mycorrhizae [J]. *Euphytica*, 138: 113—121
- Hijri I, Sykorova Z, Oehl F, *et al.* 2006. Communities of arbuscular mycorrhizal fungi in arable soils are not necessarily low in diversity [J]. *Mol Ecol*, 15: 2 277—2 289
- Jung SC, Martinez-Medina A, Lopez-Raez JA, *et al.* 2012. Mycorrhiza-induced resistance and priming of plant defenses [J]. *J Chem Ecol*, 38 (6): 651—64
- Landis FC, Gargas A, Givnish TJ. 2004. Relationships among arbuscular mycorrhizal fungi, vascular plants and environmental conditions in oak savannas [J]. *New Phytol*, 164: 493—504
- Lapointe L, Lerat S. 2006. Annual growth of the spring ephemeral *Erythronium americanum* as a function of temperature and mycorrhizal status [J]. *Can J Bot*, 84: 39—48
- Rajeshkannan V, Sumathi CS, Manian S. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi colonization in upland rice as influenced by agrochemical application [J]. *Rice Sci*, 16 (4): 307—313
- Schenck NC, Perez Y. 1988. Manual for Identification of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi, 2nd ed [M]. Florida: Invam

(下转第 604 页 Continue on page 604)

- eny of *Polygonum* L. s. l. (Polygonaceae, Polygonaceae), focusing on European taxa: preliminary results and systematic considerations based on *rbcl* plastidial sequence data [J]. *Atti Soc Ital Sci Nat Mus Civ Stor Nat*, **150**: 113–148
- Grabovskaja AE. 1996. *Cephalophilon* [M]. Konspekt Sosudistykhn Rastenii Flory Vnema **2**: 145–146
- Gross H. 1913. Beiträge zur Kenntnis der Polygonaceen [J]. *Bot Jahrb Syst*, **49** (2): 234–339
- Haraldson K. 1978. Anatomy and taxonomy in Polygonaceae subfam. Polygonioideae Meisn. emend. Jaretsky [J]. *Symb Bot Upsal*, **22** (2): 1–95
- Hedberg O. 1946. Pollen morphology in the genus *Polygonum* L. s. lat. and its taxonomical significance [J]. *Svensk Bot Tidskr*, **40** (4): 371–404
- Hong SP, Ronse Decraene LP, Smets E. 1998. Systematic significance of tepal surface morphology in tribes Persicarieae and Polygonaceae (Polygonaceae) [J]. *Bot J Linn Soc*, **127**: 91–116
- Hook JD. 1890. Polygonaceae [M] // Hook JD. Flora of British India (Vol. V). London: L. Reeve & Co.: 21–61
- Hsu TW, Ku SM, Peng CI. 2004. *Persicaria capitata* (Buchanan-Hamilton ex D. Don) H. Gross (Polygonaceae), a newly naturalized plant in Taiwan [J]. *Taiwania*, **49** (3): 183–187
- Kim ST, Donoghue MJ. 2008. Molecular phylogeny of *Persicaria* (Persicarieae, Polygonaceae) [J]. *Syst Bot*, **33** (1): 77–86
- Kuo CF, Liu HY, Yang YP. 1996. Polygonaceae [M] // Huang TC. Flora of Taiwan (Vol. II). Taipei: Editorial Committee of the Flora of Taiwan, Second Edition: 294–315
- Li AJ, Bao BJ, Grabovskaya-Borodina AE, et al. 2003. Polygonaceae [M] // Wu CY, Raven PH. Flora of China (Vol. 5). Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanical Garden Press: 277–350
- Lindley J. 1838. *Ampelgynum* [J]. *Edwards's Bot Reg*, **24**: 62–63
- Linnaeus C. 1753. Species Plantarum (Tomus I) [M]. Stockholm: Laurentii Salvii: 363
- Liu YL (刘艳玲), Wu JM (吴建明), Xu LM (徐立铭), et al. 2007. *Polygonum chinense* var. *procumbens* Z. E. Zhao et J. R. Zhao (Polygonaceae), a new variety from Hainan (蓼属一新变种——铺地火炭母) [J]. *J Wuhan Bot Res* (武汉植物学研究), **25** (6): 561–562
- McNeill J, Barrie FR, Burdet HM, et al. 2006. International Code of Botanical Nomenclature (Vienna Code) [M]. Liechtenstein: A. R. G. Gantner Verlag KG: 1–568
- Meisner CF. 1832. Synopsis Polygonearum [M] // Wallich N. Plantae Asiaticae rariores (Vol. III). London: Treuttel & Würz: 51–65
- Qaiser M, Perveen A. 2011. Three new combinations in the genus *Cephalophilon* (Meisn.) Spach (Polygonaceae) [J]. *Pak J Bot* **43** (6): 2 765–2 767
- Roberty G, Vautier S. 1964. Les genres de Polygonaceae [J]. *Boissiera* **10**: 7–128
- Ronse Decraene LP, Akeroyd JR. 1988. Generic limits in *Polygonum* and related genera (Polygonaceae) on the basis of floral characters [J]. *Bot J Linn Soc*, **98**: 321–371
- Ronse Decraene LP, Hong SP, Smets E. 2000. Systematic significance of fruit morphology and anatomy in tribes Persicarieae and Polygonaceae (Polygonaceae) [J]. *Bot J Linn Soc*, **134**: 301–337
- Spach ME. 1841. Histoire Naturelle des Vegetaux-Phanerogames [M]. Paris: Librairie Encyclopedique De Port
- Steward AN. 1930. The Polygoneae of eastern Asia [J]. *Contr Gray Herb*, **5** (88): 1–129
- Tzvelev N. 1987. Notulae de Polygonaceis in Flora Orientalis extremi [J]. *Novost Sist Vyssh Rast*, **24**: 76
- Tzvelev N. 1989. Genus *Polygonum* L. sensu lato (Polygonaceae) in Caucaso [J]. *Novost Sist Vyssh Rast*, **26**: 63–73
- Wang YS. 1991. *Polygonum* [M] // Lee SG, Liang CF. Flora of Guangxi (Vol. I). Nanning: Guangxi Science and Technology Press: 526–546
- Wu JR. 1982. Polygonaceae [M] // Guizhou Flora Committee. Flora of Guizhou (Vol. I). Guiyang: Guizhou People's publishing: 182–213
- Zhao DP (赵大鹏), Wang KM (王康满), Hou YT (侯元同). 2012. Phylogeny of *Polygonum* sect. *Cephalophilon* (Polygonaceae) inferred from the chloroplast *trnL-F*, *rbcl* and nuclear ribosomal ITS sequences (基于叶绿体 *trnL-F*, *rbcl* 序列和核糖体 ITS 序列探讨蓼属 (蓼科) 头状蓼组的系统发育) [J]. *Bull Bot Res* (植物研究), **32** (1): 77–83

(上接第 644 页 Continue from page 644)

- University of Florida Gainesville
- Schultze M. 2013. Protocols for growing plant symbioses, mycorrhiza [J]. *Methods Mol Biol*, **953**: 47–59
- Tanja RS, Mareel GA. 2003. Arbuscular mycorrhizal fungi colonize nodule root nodule of several legume species [J]. *New phytol*, (34): 14–16
- Tawaraya K, Saito M, Morioka M. 1994. Effect of phosphate application to arbuscular mycorrhizal onion on the development and succinate dehydrogenase activity of internal hyphae [J]. *Soil Sci Plant Nutr*, **40** (4): 667–673
- Van der Heijden MGA, Klironomos JN, Ursic M, et al. 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity [J]. *Nature*, **396**: 69–72
- Zhang DF (张殿发), Ouyang ZY (欧阳自远), Wang SJ (王世杰). 2001. Population resources environment and sustainable development in the karst region of southwest China (中国西南喀斯特地区人口、资源、环境与可持续发展) [J]. *Chin J Pop Res & Environ* (中国人口资源与环境), **11** (1): 77–81
- Zhang Y, Guo LD, Liu RJ. 2004a. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with common pteridophytes in Dujiangyan, southwest China [J]. *Mycorrhiza*, **14**: 25–30
- Zhang Y, Guo LD, Liu RJ. 2004b. Survey of arbuscular mycorrhizal fungi in deforested and natural forest land in subtropical region of Dujiangyan, southwest China [J]. *Plant & Soil*, **261**: 257–263
- Zhao ZW (赵之伟), Wang GH (王国华), Cheng LZ (程立忠), et al. 2001. AM fungi in the tropical rain forest of Xishuangbanna (西双版纳热带雨林中丛枝菌根真菌的初步研究) [J]. *Mycosystema* (菌物系统), **20** (3): 316–323
- Zhao ZW, Wang GH, Yang L. 2003. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a tropical rain forest of Xishuangbanna, southwest China [J]. *Fung Div*, **13**: 233–242