

西双版纳热带次生林中的丛枝菌根调查

房 辉¹, P. N. Damodaran², 曹 敏¹

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223; 2. Department of Botany, Bharathiar University, Coimbatore-641046, India)

摘要:对西双版纳热带次生林中 13 个科的 26 种植物根系的丛枝菌根真菌 (*Arbuscular mycorrhizal fungi*, AMF) 侵染情况进行了研究, 并从这些植物的根围土壤中分离鉴定了隶属于球囊霉属 (*Glomus*)、巨孢囊霉属 (*Gigaspora*)、盾巨孢囊霉属 (*Scutellospora*) 和无梗囊霉属 (*Acaulospora*) 的 11 种丛枝菌根真菌。该地次生林中 AMF 的孢子密度为 13 ~ 29 个/100 g 土壤, 平均为 19 个; 种的丰富度在 4 ~ 9 之间 (平均为 6); 平均频度为 53.8%; 相对多度为 3.2% ~ 26.5%; 物种多样性指数和均匀度指数分别为 0.94 和 0.93。丛枝菌根的侵染率达到 44.8% ~ 57.2% (平均为 50.9%); 球囊霉属 (*Glomus*) 和无梗囊霉属 (*Acaulospora*) 是热带次生林根围土壤中菌根真菌的优势类群。

关键词:热带次生林; AM 真菌; 孢子密度; 资源调查; 孢子密度; 土壤微生物多样性

文章编号: 1000-0933 (2006) 12-4179-07 **中图分类号:** Q93 **文献标识码:** A

Arbuscular mycorrhizal status of *Glomus* plants in tropical secondary forest of Xishuangbanna, Southwest China

FANG Hui¹, P. N. Damodaran², CAO Min¹ (1. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China; 2. Department of Botany, Bharathiar University, Coimbatore-641046, India). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(12): 4179 ~ 4185.

Abstract: Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are important components of soil microbiota in the rhizosphere. The diversity and dynamics of AMF may have a marked impact on the structure and diversity of associated plant communities, both in the natural and agricultural ecosystems. As part of the effort to evaluate the potential role of arbuscular mycorrhizal fungi in the regeneration of secondary forest, we studied the extent of mycorrhizal association in a tropical secondary forest of Southern China.

Rhizosphere soil samples of 26 different plants species in 13 families were randomly collected from soil cores of 0 ~ 30 cm depth in a tropical secondary forest of Xishuangbanna, Southwestern China. The study site consisted of nutrient deficient ferralsol. Total nitrogen (N) was between 0.75 ~ 1.9 g/kg, with an average of 1.2 g/kg. Total phosphorus (P) ranged from 0.92 to 8.3 mg/kg, with an average of 2.6 mg/kg. Exchangeable potassium (K) was 41.0 ~ 139.2 mg/kg, with an average of 81.7 mg/kg. Organic carbon was 11.8 ~ 30.4 g/kg, with an average of 18.7 g/kg. The arbuscular mycorrhizal association of these 26 plant species and the spore density of AMF in the rhizosphere soils were analyzed. All 26 plant species were infected with arbuscular mycorrhizal fungi that belonged to eleven species, i.e. *Glomus geosporum*, *G. fasciculatum*, *G. aggregatum*, *G. constrictum*, *G. etunicatum*, *G. mosseae*, *G. microcarpum*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora calospora*, *Acaulospora scrobiculata* and *Acaulospora laevis*. The AMF spore density ranged from 13 to 29 per 100 g soil, with an average of 19. The highest and lowest

基金项目: 国家科技部“973”资助项目 (2003CB415102); 国家重大基础研究前期研究专项资助项目 (2005CCA05700); 中国科学院西双版纳热带植物园热带雨林生态系统研究与管理开放实验室资助项目

收稿日期: 2005-08-08; **修订日期:** 2006-03-15

作者简介: 房辉 (1970 ~), 男, 云南昭通人, 硕士, 主要从事菌根及森林生态学研究. E-mail: fanghui@xtbg.ac.cn

致谢: 美国波多黎各大学的邹晓明教授对本文写作给予帮助, 西双版纳热带植物园周仕顺在野外调查采样中提供了帮助, 在此一并致谢!

Foundation item: The project was financially supported by the “973” Program of the Ministry of Science and Technology of China (No. 2003CB415102), National Program on Key Basic Research Projects of China (No. 2005CCA05700) and Laboratory for Tropical Rain Forest Ecosystem Research and Management of Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences

Received date: 2005-08-08; **Accepted date:** 2006-03-15

Biography: FANG Hui, Master, mainly engaged in arbuscular mycorrhizal and forest ecology. E-mail: fanghui@xtbg.ac.cn

spore density belonged to *Olea rosea* Craib (Oleaceae) and *Pithecolobium clypearia* Benth. (Papilionaceae), respectively. The species richness was between 4 and 9 per plant species with an average of 6. The highest ones were *Schizomussaenda dehiscent* (Craib) H. L. Li (Rubiaceae) and *Elaeocarpus prunifolioides* Hu (Elaeocarpaceae); the lowest one was *Macaranga kurzii* (Kuntze) Pax & Hoffm. in Engl. (Euphorbiaceae). The frequency of AMF species ranged from 26.9 % to 100 %, with an average of 53.8 %; the highest and lowest frequency belonged to *G. geosporum* and *Scutellospora calospora*, respectively. The relative abundance^[12] of AMF species was between 3.0 % (*G. etunicatum*) to 26.5 % (*G. geosporum*). Shannon-Weiner index and species evenness index of AMF was 0.94 and 0.93, respectively.

The presence of coenocytic hyphae, intercellular hyphae or intracellular hyphal coils, arbuscules, and/or vesicles in the root cortex was used to assign AM fungal colonization. Percent root length with hyphae in 26 plant species ranged from 8.6 to 16.2, with an average of 11.1 %; the lowest and the highest one was *Castanopsis hystrix* Miq. (Fagaceae) and *Olea rosea* Craib (Oleaceae), respectively. Percent root length with vesicles ranged from 19.2 to 24.4, with an average of 22.7; the lowest one was *Macaranga kurzii* (Kuntze) Pax & Hoffm. in Engl. (Euphorbiaceae) and the highest ones belonged to *Castanopsis hystrix* Miq. (Fagaceae), *Itea macrophylla* Wall. (Escalloniaceae), *Homalium ceylanicum* Gagnep. (Samydaceae) and *Elaeocarpus prunifolioides* Hu (Elaeocarpaceae). Percent root length with arbuscules ranged from 13.6, *Pithecolobium clypearia* Benth. (Papilionaceae), to 20.9, *Schima wallichii* Choisy (Theaceae), with an average of 17.1; the AMF colonization was between 44.8 %, *Pithecolobium clypearia* Benth. (Papilionaceae), to 56.5 %, *Macaranga kurzii* (Kuntze) Pax & Hoffm. in Engl. (Euphorbiaceae), with an average of 50.9 %. AMF were found in 50.9 % of plant roots with *Glomus* and *Acaulospora* as the dominant genera. Our data suggest a high presence of arbuscular mycorrhizal association in tropical secondary forest of Xishuangbanna.

Key words: tropical secondary forest; arbuscular mycorrhizal fungi; spore density; resource investigate; soil microbial diversity

丛枝菌根真菌 (Arbuscular mycorrhizal fungi, 简称 AMF) 在陆生植物群落中普遍存在, 是土壤生物区系的关键组分, 与大多数植物种类联合, 并且与根际的其它微生物有着相互作用^[1]。已有调查表明, 80 % 以上的植物形成丛枝菌根^[2]。AMF 的多样性具有重要的生态意义, 因为它能改变促进植物生长的生物或非生物因素。最近的研究表明, AM 菌根菌是热带生态系统中普遍而具有重要生态作用的成份, 植物对菌根真菌的侵染反应有高度响应、专性菌根营养、兼性菌根营养和非响应等一系列类型, 因而菌根真菌的侵染对植物的萌发、生长、开花都会产生巨大的影响^[3]。因此, 在自然界和农业生态系统中, AMF 的组成和动态对植物的群落结构和多样性都具有重要影响。

西双版纳 (21°09' ~ 22°33' N, 95°58' ~ 101°50' E) 地处中国西南湄公河上游, 西南面与缅甸、老挝接壤, 是中国动植物最为丰富多样的地方之一, 在中国地方性生物多样性保护中具有重要作用^[4]。据估计, 中国大约有 16 % (5000 种) 的高等植物发生在这片只占国土总面积 0.2 % (19200 km²) 的土地上^[5]。在西双版纳的 5000 种植物中, 20 % 的野生植物直接被人们利用。然而, 从 20 世纪 50 年代到 90 年代, 西双版纳的森林总覆盖率下降了 33 % (平均每年 20000 hm²), 这主要是由于当地人口的迅速增长、不合理的森林资源开采和耕种造成的^[6]。虽然有关西双版纳的植物、动物及生物多样性已有深入的研究, 但对于土壤微生物区系或它们与植物的相互作用, 尤其是菌根真菌群落的类型和侵染情况还知之甚少。

本研究以西双版纳热带次生林为研究对象, 随机采取了 26 种植物的根和根际土样, 对每种植物根系上的 AMF 侵染情况、根际土壤中 AMF 的多样性、孢子的密度以及各种 AMF 的出现频率等进行了研究, 以了解每种植物菌根化的程度及植物与 AMF 孢子密度和多样性的关系, 丰富了对菌根在自然生态系统中功能的认识, 为当地次生植被的恢复与重建及物种多样性保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

从西双版纳勐腊县勐仑镇的热带次生林 (林龄约为 40a) 中, 选择有代表性的地段作为样地, 在面积为

50 m² × 50 m² 的样地中随机选取 26 种植物(表 1),小心地从这些植物的根围采取 0 ~ 30 cm 的根样和土壤样品,保存于塑料袋中带回实验室。取样时,注意所选植物在样地内分散的均匀性,使所取样品具有代表性。林中不同植物的根系常常交错分布,取样时要确保所取的根系确实与所选植物的主根相连,并尽量采取带根尖的根段。将取到的根样洗净后放入装有 FAA (Formalin-acetic acid-alcohol) 的小瓶中固定备用。取每种植物根及根围土壤各 0.5 ~ 1.5 kg 装于塑料袋中带回实验室,保存于 4 °C 冰箱中,用于研究 AMF 的孢子密度和多样性及分析土壤化学性质。

1.2 根样的准备和 AMF 检测

将固定于 FAA 中的根样洗净,置于解剖镜(×20)下计数粘附于其上的孢子数。将检测后的根切成 1 cm 左右的小段,放入 2.5 % 的 KOH 中在 90 °C 的水浴中加热 90 min^[7],然后置于 5 mol/L 的 HCl 中酸化,用 0.5 % 的 Trypan blue 染色过夜^[8]。将染色后的根样置于 OL YMPUS. BH2 型光学显微镜(×200 ~ ×400)下镜检,观察记录 AM 的多核菌丝(Coenocytic hyphae)、菌丝圈(Hyphal coils)、丛枝(Arbuscule)和泡囊(Vesicle),凡有上述结构之一的根样,均视为有 AMF 侵染,并按十字交叉划线法检测被 AMF 侵染的根长比例^[9]。

1.3 AMF 孢子的分离及计数

将 100 g 土放入 1 L 水中形成土壤悬浊液,过 710 ~ 38 μm 筛。用塑料洗瓶将筛上残渣洗入烧杯中,并用定性滤纸过滤。将滤纸平展于平皿上置于解剖镜(×40)下计数完整的孢子,即孢子壁未破裂并有完整的细胞质及没有被寄生的孢子,孢子果汁为一个孢子。用湿润的挑针将完整的 AMF 孢子转到载玻片上,加上 PVLG (Polyvinyl alcohol-lactoglycerol) 封片镜检。根据孢子的形态特征及亚细胞结构进行鉴定,同时参照国际 VA 菌种保藏中心(International Collection Center of Vesicular and Arbuscular Mycorrhizal Fungi, INVAM)在 Internet 上(<http://invam.caf.wvu.edu>)提供的种的描述和图片以及相应分类单元的原始发表进行 AMF 种的鉴定^[10]。

1.4 种的丰富度、频度和相对多度

种的丰富度(Species richness)指一个生境中物种数目的多寡^[11],本文中指每种植物根围土壤中的 AMF 种数。频度(Frequency)指“某物种在样本总体中的出现率”^[12],本文中频度 $F = \text{AM 真菌某属或种的出现次数} / \text{土样数} \times 100\%$ 。相对多度(Relative abundance)指种的个体数在群落总物种数中的比率^[12],即 $RA = \text{某种 AM 真菌孢子总数} / \text{样地内所有 AM 孢子总数} \times 100\%$ 。

1.5 种的均匀度、物种多样性和重要值

均匀度(Species evenness)常用均匀度指数(J)来描述: $J = H / \ln S$, H 为 Shannon-Weiner 指数, S 在此为采样点的 AM 真菌种类数目。物种多样性(Species diversity)与群落中的种数和相对多度密切相关^[12],本文采用香农-威纳指数(Shannon-Weiner index)指数来描述 AM 真菌的物种多样性,即 $H = - \sum (P_i \ln P_i)$, P_i 为各树种土样中种 i 的 AM 孢子数 N_i 与样地内所有孢子总数的 N 之比,即 $P_i = N_i / N$ 。本文采用重要值(Important value)即频度和相对多度的平均值来描述优势种,重要值 $I = (F + RA) / 2$ 。

1.6 土壤特性分析

总氮用凯氏定氮法(K370 全自动定氮仪)测定;有效磷用钼酸铵浸提,钼锑抗比色法(UV-2450 紫外可见分光光度计)测定;交换性钾用 1 mol/L 中性醋酸铵交换浸提,原子吸收分光光度计(932 型 AAS)测定;有机碳用硫酸、重铬酸钾氧化-外加热法测定^[13]。

2 结果

2.1 样地的土壤营养状况和各树种根围的 AMF 种类

取样点的土壤贫瘠,土壤总氮含量为 0.75 ~ 1.9 g/kg(平均为 1.2 g/kg)、有机碳为 11.8 ~ 30.4 g/kg(平均为 18.7 g/kg)、有效磷为 0.92 ~ 8.3 mg/kg(平均为 2.6 mg/kg)、交换性钾为 41.0 ~ 139.2 mg/kg(平均为 81.7 mg/kg)。

所检测的 26 种植物隶属于 13 个科(表 1),均有 AM 菌根菌侵染,侵染率为 100 %。不同科的植物间 AMF 的孢子数和 AMF 的侵染水平存在差异(图 1a、b)。

表 1 所研究的植物种类^[5]

Table 1 Plants species under study

样本号 Sample No.	寄主植物及其学名 Host plant and their scientific names	科名 Families
1	裂果金花 <i>Schizomussaenda dehiscent</i> (Craib) H.L. Li	茜草科 Rubiaceae
2	西南木荷 <i>Schima wallichii</i> Choisy	茶科 Theaceae
3	截果柯 <i>Lithocarpus truncatus</i> (King ex Hook. f.) Rehder & E. H. Wilson	壳斗科 Fagaceae
4	红锥 <i>Castanopsis hystrix</i> Miq.	壳斗科 Fagaceae
5	猴耳环 <i>Pithecolobium clypearia</i> Benth.	蝶形花科 Papilionaceae
6	黄牛木 <i>Cratoxylum cochinchinense</i> (Lour.) Blume	金丝桃科 Hypericaceae
7	五瓣子楝树 <i>Decaspermum fruticosum</i> J. R. Forst. & G. Forst.	桃金娘科 Myrtaceae
8	盆架树 <i>Alstonia rostrata</i> C. E. C. Fisch.	夹竹桃科 Apocynaceae
9	大叶鼠刺 <i>Itea macrophylla</i> Wall.	鼠刺科 Escalloniaceae
10	银叶巴豆 <i>Croton cascarilloides</i> Raeusch.	大戟科 Euphorbiaceae
11	思茅黄肉楠 <i>Actinodaphne henryi</i> Gamble	樟科 Lauraceae
12	云南银柴 <i>Aporosa yunnanensis</i> (Pax & K. Hoffm.) F. P. Metcalf	大戟科 Euphorbiaceae
13	杯丝锥 <i>Castanopsis calathiformis</i> (Skan) Rehder & E. H. Wilson	壳斗科 Fagaceae
14	尾叶血桐 <i>Macaranga kurzii</i> (Kuntze) Pax & Hoffm. in Engl.	大戟科 Euphorbiaceae
15	高檐蒲桃 <i>Syzygium oblatum</i> (Roxb.) Wall. ex Cowan & Cowan	桃金娘科 Myrtaceae
16	印度锥 <i>Castanopsis indica</i> (Roxburgh ex Lindl.) A. DC.	壳斗科 Fagaceae
17	香花木姜子 <i>Litsea panamanja</i> (Nees) Hook. f.	樟科 Lauraceae
18	齿叶黄杞 <i>Engelhardia serrata</i> Blume	胡桃科 Juglandaceae
19	光叶天料木 <i>Homalium ceylanicum</i> Gagnep.	天料木科 Samydaceae
20	普文楠 <i>Phoebe puwenensis</i> Cheng	樟科 Lauraceae
21	细毛润楠 <i>Persea tenuipilis</i> (H. W. Li) Kõsterm.	樟科 Lauraceae
22	细毛樟 <i>Cinnamomum tenuipilis</i> Kõsterm.	樟科 Lauraceae
23	红花木犀榄 <i>Olea rosea</i> Craib	木犀科 Oleaceae
24	樱叶杜英 <i>Elaeocarpus prunifolioides</i> Hu	杜英科 Elaeocarpaceae
25	思茅崖豆 <i>Millettia leptobotrya</i> Dunn	蝶形花科 Papilionaceae
26	披针叶楠 <i>Phoebe lanceolata</i> (Nees) Nees	樟科 Lauraceae

表中的样本号在文中即代表相应的植物种类 Sample No. in this table indicates corresponding plants;下同 the same below

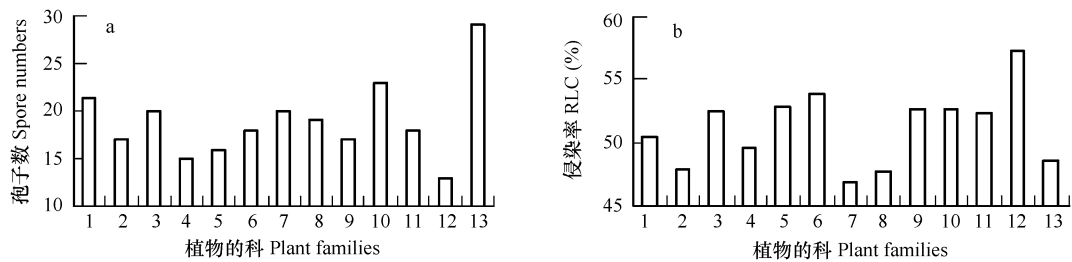


图 1 不同科的植物根围的孢子数(a)和 AMF 的侵染水平(b)

Fig. 1 AMF spore numbers(a) and RLC(%) in the rhizosphere of differnet plant families(b)

RLC(%)为菌根真菌的侵染率;横坐标上的数字 1~13 分别代表所研究的 13 个科,即:樟科、壳斗科、大戟科、蝶形花科、桃金娘科、茶科、金丝桃科、夹竹桃科、鼠刺科、胡桃科、天料木科、木犀科、杜英科; % RLC indicates AMF colonization level; Numbers from 1 to 13 on the abscissa represent 13 families studied, namely Lauraceae, Fagaceae, Euphorbiaceae, Papilionaceae, Myrtaceae, Theaceae, Hypericaceae, Apocynaceae, Escalloniaceae, Juglandaceae, Samydaceae, Oleaceae and Elaeocarpaceae, respectively

从所有 26 种植物的根围土壤中分离鉴定了 4 个属的 11 种 AMF,其中隶属于球囊霉属(*Glomus*)的 7 种,共计 382 个孢子,占孢子总数的 76.7 %;巨孢囊霉属(*Gigaspora*)的 1 种,得到 31 个孢子,占 6.2 %;盾巨孢囊霉属(*Scutellospora*)的 1 种,得到 18 个孢子,占 3.6 %;无梗囊霉属(*Acaulospora*)的 2 种,共 67 个孢子,占 13.45 %。各植物种类根围的 AMF 种类详见表 2。

2.2 AMF 孢子密度、种的丰度和频度

从 26 种植物根围的土样中均分离到 AMF 孢子,但各样品中 AMF 的孢子密度(Spore density),即每 100 g

土壤中的孢子个数却不同,最低的为 13 个,最高为 29 个,该地土壤样品中的 AMF 孢子平均密度为 19(表 2)。

经测定,该地次生林中 AMF 种的丰度在 4~9,平均为 6。最少的是尾叶血桐(*Macaranga kurzii*)的根围土壤,最多的是茜草科的裂果金花(*Schizomussaenda dehiscens*)和樱叶杜英(*Elaeocarpus prunifolioides*)的根围土壤(表 2)。

表 2 每种植物根围 AMF 的种类、孢子密度、种的丰度、频度、相对多度和重要值

Table 2 AMF species, spore density, species richness, frequency, relative abundance and important value in the rhizosphere of each plant species													
样品号	每种植物根际土壤中的丛枝菌根真菌种类 AMF species in the rhizosphere soil of each phant											孢子密度	种的丰度
Sample No.	<i>G. g.</i>	<i>G. f.</i>	<i>G. a.</i>	<i>G. c.</i>	<i>G. e.</i>	<i>G. m.</i>	<i>G. mic.</i>	<i>Gig. mar.</i>	<i>S. c.</i>	<i>A. s.</i>	<i>A. l.</i>	Spore density	Species richness
1	7	1	—	2	—	2	4	3	1	2	1	23	9
2	6	4	—	—	2	2	1	2	—	1	—	18	7
3	4	2	2	2	—	—	1	—	—	3	—	14	6
4	1	4	—	—	—	1	3	—	3	3	1	16	7
5	4	4	3	—	—	1	—	1	—	—	—	13	5
6	2	—	—	3	—	6	2	3	—	4	—	20	6
7	5	4	—	—	2	—	—	—	3	1	—	15	5
8	6	3	—	2	1	—	3	2	—	2	—	19	7
9	4	5	—	1	—	4	—	—	—	—	3	17	5
10	9	1	1	1	—	3	2	3	—	3	—	23	8
11	11	1	—	—	4	4	2	—	—	—	—	22	5
12	4	2	3	4	—	—	—	—	—	3	4	20	6
13	7	—	—	1	—	—	—	4	—	4	—	16	5
14	8	—	1	—	3	—	5	—	—	—	—	17	4
15	4	2	3	3	—	—	—	—	—	5	—	17	5
16	3	5	—	4	—	4	—	2	2	—	2	22	7
17	5	7	5	3	1	—	—	—	—	3	—	24	6
18	6	6	—	—	—	5	—	2	—	4	—	23	5
19	1	9	4	2	—	—	2	—	—	—	—	18	5
20	7	4	—	—	—	6	—	—	4	2	—	23	6
21	5	5	3	1	—	—	—	4	—	—	—	18	5
22	4	4	—	—	2	4	4	—	—	—	2	20	6
23	3	3	—	2	—	—	—	—	—	3	2	13	5
24	5	1	3	2	—	6	2	3	3	4	—	29	9
25	6	4	—	—	—	—	—	—	2	4	1	17	5
26	5	6	2	2	—	3	1	2	—	—	—	21	7
<i>F</i> (%)	100	88.46	42.31	61.54	26.92	53.85	50.00	46.15	26.92	65.38	30.77	—	—
<i>RA</i> (%)	26.51	17.47	6.02	7.03	3.01	10.24	6.43	6.22	3.61	10.24	3.21	—	—
<i>IV</i>	63.25	52.97	24.17	34.28	14.97	32.04	28.21	26.19	15.27	37.81	16.99	—	—

G. g. = 地球囊霉; *G. f.* = 聚生球囊霉; *G. a.* = 聚丛球囊霉; *G. c.* = 缩球囊霉; *G. e.* = 幼套球囊霉; *G. m.* = 摩西球囊霉; *G. mic.* = 小果球囊霉; *Gig. m.* = 球状巨孢囊霉; *S. c.* = 美丽盾巨孢囊霉; *A. s.* = 细凹无梗囊霉; *A. l.* = 光壁无梗囊霉; *F* 为频度; *RA* 为相对多度; *IV* 为各个种的重要值; *G. g.* = *G. geosporum*; *G. f.* = *G. fasciculatum*; *G. a.* = *G. aggregatum*; *G. c.* = *G. constrictum*; *G. e.* = *G. etunicatum*; *G. m.* = *G. mosseae*; *G. mic.* = *G. microcarpum*; *Gig. mar.* = *Gigaspora margarita*; *S. c.* = *Scutellospora calospora*; *A. s.* = *Acaulospora scrobiculata*; *A. l.* = *Acaulospora laevis*; *F* = Frequency; *RA* = Relative abundance; *IV* = Importance value of each species

由表 2 中可看出,在 11 个种中,地球囊霉 (*Glomus geosporum*) 的频度最高,而幼套球囊霉 (*Glomus etunicatum*) 和美丽盾巨孢囊霉 (*Scutellospora calospora*) 的频度最低。

2.3 相对多度、种的均匀度和物种多样性

测算结果表明,该地次生林中,地球囊霉 (*G. geosporum*) 的相对多度最高,其次是聚生球囊霉 (*G. fasciculatum*);AMF 的均匀度指数为 0.93;AMF 的多样性指数为 0.94(表 2)。多样性指数反映了该地 AM 真菌种的丰度、均匀度及受人为因素影响的程度。

2.4 优势种(Dominant species)

根据各属的重要值(表 2),球囊霉属、无梗囊霉属真菌是热带次生林土壤中的优势类群。其中,地球囊霉 (*G. geosporum*)、聚生球囊霉 (*G. fasciculatum*)、摩西球囊霉 (*G. mosseae*) 和细凹无梗囊霉 (*Acaulospora scrobiculata*) 的出现频次和重要值均较高,这 4 种应为西双版纳热带次生林中的 AMF 的优势种或常见种。幼

套球囊霉 (*G. etunicatum*) 的出现频率和重要值较低。

2.5 西双版纳热带次生林中不同植物的 AMF 侵染率

以多核菌丝、胞间或胞内菌丝圈、丛枝、泡囊在根皮层的出现频率表示 AM 菌的侵染情况。研究结果表明,不同植物的 AMF 侵染水平差异较大。侵染率最高的为木樨科的红花木犀榄 (*Olea rosea* Craib), 为 57.2 %, 最低的为蝶形花科的猴耳环 (*Pithecolobium clypearia* Benth.), 为 44.8 %, 该地次生林中 AMF 的平均侵染率为 50.9 %。在所检测的根样中, 泡囊的出现频率最高, %RLV 在 8.6 % ~ 16.2 % 间, 平均为 22.7 %; 丛枝的出现频率次之, RLA % 在 19.2 % ~ 24.4 % 间, 平均为 17.1 %; 菌丝的出现频率是最低的, %RLH 在 13.6 % ~ 20.9 % 间, 平均仅为 11.1 % (表 3)。

3 讨论

本研究进一步明确了西双版纳热带次生林中 AMF 的多样性。主要集中研究该地区次生林中不同植物种类的 AMF 种类多样性。研究结果表明, 西双版纳次生林菌根营养的范围与 Muthukumar^[14] 等的报道一致。

丛枝在生长活跃的根中只短暂存在, 而它的出现是确定一种植物是否为 AM 菌根的关键结构。本研究中, 在所研究的大多数植物中都发现丛枝结构, 这与 Zhao 等^[15] 的研究有所不同。在 Muthukumar^[14] 等的研究中曾认为印度锥 (*Castanopsis indica*) 是非菌根性的植物, 而本研究发现它是与 AMF 共生的, 这可能是受取样季节和其他土壤因子的影响而使检测结果出现偏差^[16]。在同一种植物根围有 9 种 AMF (梨果金花和樱叶杜英), 表明了该地次生林中的菌根多样性较高^[4, 17, 18]。

虽然球囊霉亚目 AMF 的泡囊通常在 AM 菌根中出现于丛枝之后, 球囊霉型的泡囊和菌丝在以前被认为是非菌根性的植物如碎米莎草 (*Cyperus iria*)、香附子 (*Cyperus rotundus*) 上也有报道^[8, 19, 20]。本研究的次生林中 AMF 孢子数为 13 ~ 29 个/100 g 土, 这与 Zhao^[15] 等报道的热带雨林中的结果差异较大, 可能是受取样季节的影响。通常, 自然土壤中的 AMF 孢子常常死亡或被寄生^[21], 本研究也观察到了同样的现象, 文中所列举的孢子数量仅为完整和健康的孢子数。

AMF 孢子的形成受环境、寄主及真菌的影响, 其中, 季节变化、土壤条件、AMF 对植物的依赖程度、宿主植物的年龄、AMF 产孢子的能力、孢子的休眠以及孢子在土壤中的分布方式都是重要的影响因素^[22 ~ 25]。在自然土壤中, 相邻植物的根常常交织在一起, 因而寄主根围的孢子可能来自其他的伴生植物^[8]。赵之伟^[26] 从无 AMF 侵染的和可能有 AMF 侵染的植物根际土壤中均分离到了 AMF 孢子。根据 Zhao^[15] 等人的描述, AMF 孢子空间分布的不均匀及地下植物根系构成的复杂性是影响 AMF 孢子密度和物种丰度的一个主要因素; 一定植物根际土壤中 AMF 孢子的密度和物种丰富度只反映其在土壤中的分布情况, 而不能与植物作直接对应^[26]。

表 3 所研究的植物的 AMF 侵染水平

Table 3 Percentage of AMF colonization levels in the plant species studied

样本号 Sample No.	丛枝菌根侵染比例 (%) Percent of mycorrhizal colonization			
	RLH	RLV	RLA	RLC
1	14.14	21.12	20.10	55.36
2	9.63	23.40	20.90	53.93
3	10.12	21.64	14.50	46.26
4	8.62	24.40	14.60	47.62
5	9.45	21.80	13.55	44.80
6	9.51	22.90	14.42	46.83
7	10.10	23.60	17.63	51.33
8	10.40	21.60	15.80	47.80
9	8.90	24.41	19.40	52.71
10	9.50	23.60	20.51	53.61
11	13.21	21.90	19.25	54.36
12	13.40	23.46	19.61	56.47
13	12.40	21.80	17.20	51.40
14	9.60	19.20	18.60	47.40
15	10.60	23.50	20.20	54.30
16	9.50	22.60	14.40	46.50
17	10.10	21.90	15.60	47.60
18	11.40	23.90	17.40	52.70
19	12.10	24.40	15.80	52.30
20	10.70	21.80	14.40	46.90
21	13.40	22.60	15.80	51.80
22	12.80	21.90	14.40	49.10
23	16.20	23.40	17.60	57.20
24	9.80	24.40	14.40	48.60
25	12.50	23.20	18.80	54.50
26	11.60	21.80	19.40	52.80

RLH (%) = 有菌丝的根长的百分比; RLV (%) = 有泡囊的根长的百分比; RLA (%) = 有丛枝结构的根长的百分比; RLC (%) = 有 AMF 侵染的根长的百分比 RLH (%) = percent root length with hyphae; RLV (%) = percent root length with vesicles; RLA (%) = percent root length with arbuscules; RLC (%) = percent root length with AMF colonization

AMF 的侵染水平与 AMF 孢子数量间没有发现高度的相关性,与先前的一些报道相符^[27, 28],但与 Muthukumar^[14]等的报道所不同。AMF 孢子多数隶属于球囊霉属和无梗囊霉属,这与前人的研究^[8, 14, 15, 29]一致。对于西双版纳各种植被类型中的 AMF 特征尚需应用高级分子技术进一步进行研究。

References:

- [1] Smith S A, Read D J. Mycorrhizal Symbiosis. Cambridge: Academic Press, 1997.
- [2] Trapper J M. Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint. In: Safir G R ed. Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants. Boca Raton, FL: Cr C Press, 1987. 5 ~ 26.
- [3] Johnson N C, Graham J H, Smith F A. Functioning of mycorrhizal association along the mutualism-parasitism continuum. New Phytologist, 1997, 135: 575 ~ 585.
- [4] Zhang J H, Cao M. Tropical forest vegetation of Xishuangbanna, SW China and its secondary changes, with special reference to some problems in local nature conservation. Biological Conservation, 1995, 73: 229 ~ 238.
- [5] Li Y H, Pei S J, Xu Z F. List of Plants in Xishuangbanna. Yunnan: Yunnan National Press, 1996.
- [6] Cao M, Zhang J H. An ecological perspective on shifting cultivation in Xishuangbanna, SW China. Wallaccana, 1996, 78: 21 ~ 27.
- [7] Koske R E, Gemma J N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. Mycological Research, 1989, 92: 486 ~ 488.
- [8] Muthukumar T, Udaiyan K. Arbuscular mycorrhizas of plants growing in the Western Ghats region, Southern India. Mycorrhiza, 2000, 9: 297 ~ 331.
- [9] McGonigle T P, Miller M H, Evans D G, et al. A method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytologist, 1990, 115: 495 ~ 501.
- [10] Schenck N C, Perez Y. Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi, Gainesville, FL: Synergistic, 1990.
- [11] Sun R Y, Li B, Zhu G Y, et al. General ecology, Beijing: Higher Education Press, 1993. 133 ~ 138.
- [12] Zheng S Z, Wu Q H, Wang H B, et al. General Ecology——principle, Method and Application, Shanghai: Fudan University Press, 1994. 148 ~ 162.
- [13] Anonymous. Forest soil analysis methods. In: Issued by the National Forest Bureau of China. The Forest Trade Standard of the People's Republic of China, Beijing: the National Forest Bureau of China, 1999. No. LY/T 1210 ~ 1275.
- [14] Muthukumar T, Sha L Q, Yang X D, et al. Distribution of roots and arbuscular mycorrhizal associations in tropical forest types of Xishuangbanna, southwest China. Applied Soil Ecology, 2003, 22: 241 ~ 253.
- [15] Zhao Z W, Qin X Z, Li X W, et al. Arbuscular mycorrhizal status of plants and the spore density of Arbuscular mycorrhizal fungi in the tropical rainforest of Xishuangbanna, southwest China. Mycorrhiza, 2001, 11: 159 ~ 162.
- [16] Mullen R B, Schmidt S K. Mycorrhizal infection, phosphorus uptake and physiology in *Ranunculus adoneus*: implications for the functioning of mycorrhizae in alpine systems. Oecologia, 1993, 94: 229 ~ 234.
- [17] Allen E B, Allen M F. Competition between plants of different successional stages: mycorrhizae as regulators. Canadian Journal of Botany, 1984, 62: 2625 ~ 2629.
- [18] Anderson A J. Mycorrhizae-host specificity and recognition. Phytopathology, 1998, 78: 375 ~ 378.
- [19] Koske R E, Gemma J N, Flynn T. Mycorrhizae in *Hawaiian angiosperms*: a survey with implications for the origin of the native flora. American Journal of Botany, 1992, 79: 853 ~ 862.
- [20] Giovannetti M, Sbrana C. Meeting a non-host: the behaviour of AM fungi. Mycorrhiza, 1998, 8: 123 ~ 130.
- [21] Muthukumar T, Udaiyan K. Spore-to-spore syndrome in vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and its seasonality in a tropical grassland. Nova Hedwigia Kryptogamenkd, 1999, 68: 339 ~ 349.
- [22] Zhao Z W. Population composition and seasonal variation of VA mycorrhizal fungi spores in the rhizosphere soil of four pteridophytes. Acta Botanica Yunnanica, 1999, 21(4): 437 ~ 441.
- [23] Bever J D, Morton J B, Antonovics J, et al. Host-dependent sporulation and species diversity of Arbuscular mycorrhizal fungi in a mown grassland. Journal of Ecology, 1996, 84: 71 ~ 82.
- [24] Fricse C F, Koske R E. The spatial distribution of spores of Vesicular-Arbuscular mycorrhizal fungi in a sand dune: microscale patterns associated with the root architecture of American beachgrass. Mycological Research, 1991, 95: 952 ~ 957.
- [25] Gemma J N, Koske R E. Seasonal variation in spore abundance and dormancy of *Gigaspora gigantea* and in mycorrhizal inoculum potential of a dune soil. Mycologia, 1988, 80(2): 211 ~ 216.
- [26] Zhao Z W, Li X W, Wang G H, et al. AM fungi in the tropical rain forest of Xishuangbanna. Mycosystema, 2001, 20(3): 316 ~ 323.
- [27] Zahka G A, Baggett K L, Wong B L. Inoculum potential and other VAM fungi parameters in four sugar maple forests with different levels of stand dieback. Forest Ecology and Management, 1995, 75: 123 ~ 134.
- [28] Brundrett M C, Ashwath N, Jasper D A. Mycorrhizas in the Kakadu region of tropical Australia. Propagules of mycorrhizal fungi and soil properties in natural habitats. Plant Soil, 1996, 84: 159 ~ 171.
- [29] Guadarrama P, Alvarez-Sanchez F J. Abundance of arbuscular mycorrhizal fungal spores in different environments in a tropical rain forest, Veracruz, Mexico. Mycorrhiza, 1999, 8: 267 ~ 270.

参考文献:

- [5] 李延辉,裴盛基,许再富. 西双版纳高等植物名录. 昆明: 云南民族出版社, 1996.
- [11] 孙儒泳,李博,诸葛阳,等. 普通生态学. 北京: 高等教育出版社, 1993. 133 ~ 138.
- [12] 郑师章,吴千红,王海波,等. 普通生态学——原理、方法和应用. 上海: 复旦大学出版社, 1994. 148 ~ 162.
- [13] 国家林业局,森林土壤分析方法. 中华人民共和国林业行业标准, LY/T 1210 ~ 1275; 1999. 备案号: 3794-3859-1999.
- [22] 赵之伟. 四种蕨类植物根际土壤中 VA 菌根真菌孢子种群组成和季相变化. 云南植物研究, 1999, 21(4): 437 ~ 441.
- [26] 赵之伟,李习武,王国华,等. 西双版纳热带雨林中丛枝菌根真菌的初步研究. 菌物系统, 2001, 20(3): 316 ~ 323.