

几种生态环境中 AM 真菌多样性比较研究

王发园^{1,2}, 刘润进¹, 林先贵², 周健民²

(1. 莱阳农学院菌根生物技术实验室, 山东莱阳 265200; 2. 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要:对渤海湾的海岛林地(IFL),黄河三角洲盐碱地(SAS)、鲁西南煤矿(CMS)和内蒙古退化草原(DGL)等几种生态环境中丛枝菌根(Arbuscular mycorrhiza, AM)真菌的多样性进行了调查。结果表明,在所调查的样点中,AM 真菌的物种多样性不同,IFL 中的最高,其次是 SAS,CMS 和 DGL 的最低。各地 AM 真菌种的丰度、孢子密度、频度、相对多度等也差异较大。这与各生态环境中的生态因子的差异相关。在总体上,*Glomus* 属在各采样点出现的频度和相对多度最高,其次是 *Acaulospora* 属。但不同生态环境之间又存在差异,例如 CMS 中 *Acaulospora* 属的频度和相对多度比 *Glomus* 属的高。在 IFL 中,*Gigaspora* 属的相对多度比 *Acaulospora* 属的高。各生态环境中的生态优势种不同,如在 CMS 中是 *A. mellea*,在 IFL 和 SAS 土壤中却分别是 *Gi. margarita* 和 *G. caledonium*,而 DGL 中各个种的分布却较均衡。

关键词:黄河三角洲;废煤矿;退化草原;物种多样性

Comparison of diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in different ecological environments

WANG Fa-Yuan^{1,2}, LIU Run-Jin¹, LIN Xian-Gui², ZHOU Jian-Min² (1. *Mycorrhiza Laboratory, Laiyang Agricultural College, Laiyang Shandong 2652002, China*; 2. *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, 210008, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2666~2671.

Abstract: Arbuscular mycorrhizal (AM) fungi inhabit a variety of ecosystems including farmland, forests, grasslands, deserts, marine beaches, saline soils, coal-mine spoil heaps, and industrially polluted zones. The biodiversity of AM fungi is considerable.

The first objective of this paper was to survey the species richness, spore density, frequency, and relative abundance of AM fungi in the island forest-land of Bohai Bay, Shandong Province, the saline soils in Yellow River Delta, the coal-mine spoil heaps in south-western Shandong Province and the degenerated grassland in Inner Mongolia. A second objective was to compare the differences in AM diversity among the various ecosystems. To do this, soil and roots of dominant wild plants were collected randomly from the four surveyed environments. Samples were studied in the laboratory using trap cultures and spore counts which enabled AM fungi to be identified.

There were 40 species of AM fungi in the island forest-land, 33 in the saline soils, 21 in coal-mine spoil soils and 14 in degenerated grassland respectively. The differences in species richness, spore density, frequency, relative abundance of AM fungi in these sites were related to different ecological factors in the surveyed environments. Generally, *Glomus* was the dominant genus, having the greatest frequency and

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30170622)

收稿日期:2002-09-20;修订日期:2003-01-26

作者简介:王发园(1975~),男,山东人,博士生,主要从事菌根等研究。

Foundation item: the National Natural Science Foundation of China(No. 30170622)

Received date: 2002-09-20 Accepted date: 2003-01-26

Biography: WANG Fa-Yuan, Ph. D. candidate, main research field: Arbuscular mycorrhiza.

relative abundance at all sample sites, and this was followed by *Acaulospora*. However, the frequency and relative abundance of *Acaulospora* at coal-mine spoil sites was higher than those of *Glomus*. At the island forest-land, the relative abundance of *Gigaspora* was higher than *Acaulospora*. *A. mellea* was the dominant species at the coal-mine spoil sites while *Gi. margarita* was dominant in the island forest-land, and *G. caledonium* in the saline soils. The distribution of the various AM fungi in the degenerated grassland was relatively even, with no species being particularly abundant.

Key words: Yellow River Delta; coal mine spoil; degenerated grassland; species diversity

文章编号:1000-0933(2003)12-2666-06 中图分类号:Q945 文献标识码:A

AM 真菌遍布各生态系统,不仅大量分布于农田和森林土壤,而且还广泛存在于多种逆境环境中,如高山^[1],低地^[2],海滩^[3],沙漠^[4,5],盐碱滩^[6]和盐碱地^[7,8],重金属污染土壤^[9],煤矿土^[10,11]及一些工业污染区、废矿区^[12,13]等各种生态环境中。但 AM 真菌属于专性共生真菌,适宜的环境条件才能有利于其生长发育。各生态系统中生态条件不同,使得 AM 真菌的多样性存在较大差异。尤其在逆境的环境胁迫下,AM 真菌的生长发育势必会受到抑制,像盐碱地中的高盐碱化、煤矿土壤的煤污染、退化草原的土壤贫瘠化等这些较极端的生态因子都有可能降低 AM 真菌的多样性,而由于其丰富的植被、较肥沃的土壤及适宜的气候,许多海岛林地中 AM 真菌的多样性有可能相对较高。本研究对上述几种特殊生态环境中 AM 真菌的多样性作了调查和比较,为创造保护和提高生物多样性的生态条件提供理论基础。

1 材料与方法

表 1 各采样点的采样情况

1.1 调查概况

Table 1 Sample status of different research sites

本研究所调查的黄河三角洲盐碱地、鲁西南煤矿、内蒙古退化草原、渤海湾海岛林地等采样点,气候条件差异大,生态环境复杂多样,尤其是土壤性质、寄主植物等各不相同。在上述采样点的主要野生植物根围取表土 20cm 深的土壤约 2kg,填写采样记录。每个土样取 50ml 土,分离出其中的孢子和孢子果,记录每个属和某些种的孢子数(孢子果按 1 个孢子计),并根据 Schenck & Perez (1990)^[14]的“VA 菌根真菌鉴定手册”和 INVAM 国际网站(invam.caf.wvu.edu)的鉴定资料进行鉴定。

采样地点 Sample sites	宿主种类 Host species	样本数 Number of samples
黄河三角洲盐碱地(SAS)		
无棣 Wudi	4	12
东营 Dongying	6	18
昌邑 Changyi	4	12
寿光 Shouguang	4	12
鲁西南煤矿(CMS)		
枣庄 Zaozhuang	4	12
滕州 Tengzhou	4	18
肥城 Feicheng	5	15
渤海湾海岛林地(IFL)		
长岛 Chang Island	4	12
刘公岛 Liugong Island	5	15
莱阳 Laiyang	7	21
内蒙古退化草原(DGL)	5	15

1.2 取样概况

在各采样点随机选择优势野生植物采集土样,每种植物 3 个重复(表 1)。

1.3 数据分析方法

分别计算出 AM 真菌种的丰度、孢子密度、频度、相对多度和物种多样性指数。

2 结果

2.1 各采样点 AM 真菌的种类

各采样点中的 AM 真菌见下表(表 2,3)。在所有采样点中,海岛林地中 AM 真菌的种类最多,其次是黄河三角洲盐碱地和鲁西南煤矿,最少的是内蒙古退化草原。在所有采样点中,均以 *Glomus* 属的 AM 真菌种类最多,*Acaulospora* 属也均有分布,而巨孢囊霉科的 2 个属 *Gigaspora* 和 *Scutellospora* 的 AM 真菌则多分布于海岛林地。各采样点均有自己的特有种,而 *Ar. leptoticha*, *G. manihotis*, *G. mosseae* 等则在各采样点均有发现。

2.2 种的丰富度数据 (richness)

本文中 AM 真菌种的丰度用 2 种指数来表示,SN 指一个生境中物种数目的多少;另一丰度指数 SR

表 2 各采样点的 AM 真菌
Table 2 AM fungi in different sample sites

AM 真菌 AM fungi	SAS	CMS	IFL	DGL	AM 真菌 AM fungi	SAS	CMS	IFL	DGL
<i>A. bireticulata</i>	+				<i>G. glomerulatum</i>	+	+		
<i>A. denticulata</i>	+		+	+	<i>G. hoi</i>	+		+	+
<i>A. dilatata</i>		+	+		<i>G. intraradices</i>	+	+	+	
<i>A. elegans</i>	+			+	<i>G. liquidambaris</i>		+		
<i>A. foveata</i>	+				<i>G. macrocarpum</i>			+	
<i>A. lacunosa</i>			+		<i>G. manihotis</i>	+	+	+	+
<i>A. laevis</i>	+				<i>G. melanosporum</i>	+	+		+
<i>A. mellea</i>		+	+		<i>G. microaggregatum</i>	+			
<i>A. morrowae</i>		+			<i>G. mosseae</i>	+	+	+	+
<i>A. rugosa</i>				+	<i>G. pansihalos</i>	+			
<i>A. scrobiculata</i>	+		+		<i>G. pustulatum</i>	+			
<i>A. spinosa</i>			+	+	<i>G. reticulatum</i>	+		+	+
<i>A. tuberculata</i>	+				<i>G. zaozhuangianus</i>	+			
<i>Ar. gerdemannii</i>	+			+	<i>G. sp1</i>		+		
<i>Ar. leptoticha</i>	+	+	+	+	<i>G. taiwanensis</i>		+		
<i>E. infrequens</i>			+		<i>G. tenebrosus</i>			+	
<i>G. aggregatum</i>	+	+	+		<i>G. tortuosum</i>			+	
<i>G. albidum</i>	+	+			<i>G. versiforme</i>	+		+	
<i>G. ambisporum</i>	+				<i>Gi. albida</i>		+	+	
<i>G. caledonium</i>	+	+	+		<i>Gi. decipiens</i>			+	
<i>G. claroidium</i>	+	+	+		<i>Gi. gigantea</i>			+	
<i>G. clarum</i>	+		+		<i>Gi. margarita</i>			+	
<i>G. constrictum</i>	+	+	+	+	<i>P. occultum</i>			+	
<i>G. delhiense</i>	+		+		<i>Scu. aurigloba</i>			+	
<i>G. deserticola</i>	+			+	<i>Scu. calospora</i>			+	
<i>G. diaphanum</i>			+		<i>Scu. coralloidea</i>			+	
<i>G. dimorphicum</i>	+		+		<i>Scu. gilmorei</i>			+	
<i>G. etunicatum</i>	+	+	+		<i>Scu. gregaria</i>			+	
<i>G. fasciculatum</i>			+		<i>Scu. persica</i>			+	
<i>G. formosanum</i>			+	+	<i>Scu. reticulata</i>		+		
<i>G. geosporum</i>	+		+	+					

+表示此 AM 真菌在该采样点出现 Sign (+) indicates the AM fungus distributed in this sample site

指每个土样中(50ml 植物根际土壤)含有的 AM 真菌种的平均数目,即 $SR = \text{AM 真菌总种次数} / \text{土样数}$ 。各地 AM 真菌种的丰度见表 4。在所有采样点中,青岛林地的 AM 真菌种的丰度最高,而黄河三角洲盐碱地中 AM 真菌的种类总数(SN)较多,但每个土样中的平均种类数(SR)却最低。

2.3 孢子密度(Spore density)

本文孢子密度采用 2 种方法表示:(1) S_n 指每 50ml 土样中 AM 真菌的孢子个数,即 $SN = \text{某采样点 AM 真菌的所有孢子数} / \text{土样数}$ 。(2) S_d 用每 50ml 土样中的孢子数为数据。为减少误差,规定每 5 个孢

表 3 各采样点的 AM 真菌种类

Table 3 Species of AM fungi in different sample sites

采样地点 Sample sites	SAS	CMS	IFL	DGL
<i>Acaulospora</i>	7	4	6	3
<i>Archaeospora</i>	2	1	1	2
<i>Entrophospora</i>	0	0	1	0
<i>Gigaspora</i>	0	1	4	0
<i>Glomus</i>	24	14	21	9
<i>Paraglomus</i>	0	0	1	0
<i>Scutellospora</i>	0	1	6	0
总数 Total	33	21	40	14

子为 1 级,孢子 1~5 个为 1 级,6~10 个为 2 级,余类推。即 $Sd = \text{某采样点所有土样中 AM 真菌的孢子级数之和} / \text{该样点土样数}$ 。各地 AM 真菌孢子密度见表 4。在所有采样点,海岛林地中的 AM 真菌的孢子密度最高,其次是退化草原和煤矿土壤,盐碱地中的最低。

2.4 频度(Frequency)

频度的含义是“某物种在样本总体中的出现率”,在本文中频度 $F = \text{AM 真菌某属或种的出现次数} / \text{土样数} \times 100\%$ 。表 5 给出了几个常见属的频度。大多数采样点(除 CMS 外)中以 *Glomus* 属的频度最高,其次是 *Acaulospora* 属;*Gigaspora* 和 *Scutellospora* 属在海岛林地中频度较高,在盐碱地和退化草原中没有出现。

表 5 各采样点 AM 真菌各属的频度

Table 5 Frequency of AM fungal genera in different sample sites

采样地点 Sample sites	球囊霉属 <i>Glomus</i>	无梗囊霉属 <i>Acaulospora</i>	盾巨孢囊霉属 <i>Scutellospora</i>	巨孢囊霉属 <i>Gigaspora</i>	原囊霉属 <i>Archaeospora</i>
SAS	88.9±7.32	74.1±5.70	0	0	7.4±0.40
CMS	71.1±4.92	75.6±7.23	2.2±0.14	2.2±0.13	4.4±0.33
IFL	75.0±6.68	41.7±3.27	37.5±5.08	62.5±4.52	4.2±0.32
DGL	86.7±8.13	33.3±4.51	0	0	13.3±1.95

2.5 相对多度(Relative abundance)

相对多度指种的个体数在群落总物种数中的比率。这里指该采样点 AM 真菌某属或种的孢子数占孢子数的比率,即相对多度 $RA = \text{该采样点 AM 真菌某属或种的孢子数} / \text{该采样点 AM 真菌总孢子数} \times 100\%$ 。多数采样点中以 *Glomus* 属的相对多度最高,其次是 *Acaulospora* 属;而在煤矿土壤中 *Acaulospora* 属相对多度最高(表 6)。在海岛林地、煤矿土壤和盐碱地中分别以 *Gi. margarita*、*A. mellea* 和 *G. caledonium* 的相对多度为最高(表 8)。这说明生态环境对 AM 真菌种的影响要大于对属的影响。

表 6 AM 真菌各属的相对多度

Table 6 Relative abundance of AM fungal genera in different sample sites

采样地点 Sample sites	球囊霉属 <i>Glomus</i>	无梗囊霉属 <i>Acaulospora</i>	盾巨孢囊霉属 <i>Scutellospora</i>	巨孢囊霉属 <i>Gigaspora</i>	原囊霉属 <i>Archaeospora</i>
SAS	64.5±5.23	35.0±4.12	0	0	0.5±0.04
CMS	24.0±1.78	75.6±8.76	0.1±0.01	0.1±0.01	0.2±0.02
IFL	62.0±7.45	22.5±2.34	3.0±0.41	11.0±0.95	1.0±0.16
DGL	74.0±8.18	22.0±2.15	0	0	4.0±0.56

2.6 物种多样性(Species diversity)

本文采用 Shannon-Weiner 指数和 Simpson 指数来描述 AM 真菌的物种多样性。假设有 1 个包含 N 个个体的随机样本,其中种 i 的个体数为 N_i ,则 P_i 为:

$$P_i = N_i / N$$

从而 Shannon-Weiner 指数 H 可用下式估计:

$$H = - \sum_{i=1}^s (P_i \ln P_i)$$

式中, P_i 为某采样点种 i 的孢子数与该样点孢子总数之比。

Simpson 多样性指数 D :
方方数据

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s (P_i)^2$$

s 为某采样点 AM 真菌的种类数目, P_i 为种 i 所占的比例。由此计算出个采样点 AM 真菌的物种多样

表 4 各采样点 AM 真菌种的丰度和孢子密度

Table 4 Species richness and spore density of AM fungi in different sample sites

采样地点 Sample sites	SAS	CMS	IFL	DGL
种的丰度指数 Indexes of species richness				
SN	33	21	40	14
SR	2.2±0.05	3.5±0.04	6.8±0.25	5.0±0.11
孢子密度 Spore density				
Sn	12±2.58	23±2.94	152±25.07	42±8.64
Sd	2.8±0.29	4.7±0.45	30.3±3.51	8.5±1.67

性指数(表 7)。多样性指数反映了该采样点 AM 真菌种的丰度、均匀度及受人为因素影响的程度。在所调查的采样点中,物种多样性指数差别较大,海岛林地的最高,其次是黄河三角洲盐碱地,鲁西南煤矿和内蒙古退化草原均较低。这意味着人为因素对 AM 真菌的多样性有较大影响。

2.7 物种均匀度(Species evenness)

均匀度常用均匀度指数(J)来描述:

$$J = H / \ln S$$

H 为 Shannon-Weiner 指数。 S 为物种数,这里用采样点 AM 真菌种的数目 SN 来表示。

从物种均匀度指数来看,海岛林地中 AM 真菌的最高,煤矿土壤中的最低(表 7)。退化草原土壤中 AM 真菌的种类虽然比盐碱地和煤矿土壤中的少,但其均匀度指数却相对较高。

2.8 优势种(Dominant species)

本文用重要值(Importance value)描述某采样点的优势种,即频度和相对多度的平均值:

$$I = (F + RA) / 2$$

某些优势种的频度、相对多度和重要值见表 8。

各地的优势种不同,各优势种的频度、相对多度和重要值也不一样。这可能是各地不同的生态环境与 AM 真菌相互选择的结果。不同的 AM 真菌生物学特性不同,对环境的适应能力也不一样,如 *G. caledonium* 在盐碱地中分布较多,很可能是因为此种有较强的耐盐碱能力。

表 8 某些 AM 真菌的频度(F)、相对多度(RA)和重要值(I)

Table 8 The frequency, relative abundance and importance value of several AM fungi

采样地点 Sample sites	<i>G. caledonium</i>			<i>A. mellea</i>			<i>Gi. margarita</i>		
	F	RA	I	F	RA	I	F	RA	I
SAS	15±2.35	4.6±0.36	9.8±1.47	—*	—	—	—	—	—
CMS	9±0.95	3±0.29	6±0.61	40±4.69	28±3.27	34±3.96	—	—	—
IFL	5±0.75	0.5±0.06	2.75±0.38	3±0.23	0.2±0.02	1.6±0.11	75±5.22	5±0.26	40±2.67

* 表示在此地未发现此种 This species was not discovered in the site

3 讨论

AM 真菌是土壤微生物区系中生物量最大、最重要的成员之一,在地球生物圈中扮演着重要的角色,对植物的进化、分布和生长发育起着至关重要的作用。迄今见报道的 AM 真菌已有 170 多种,分布于自然界中绝大部分植物的根围。农田、森林、草原,以及退化草原、沙漠、工业废矿区、盐碱地等,可以说,凡是有植物生存的地方,几乎都有 AM 真菌的存在。然而,不同的生态因子如宿主、土壤性质、气候条件等对 AM 真菌的生长、发育、侵染和繁殖等都具有重要影响,这使得各生态系统中 AM 真菌的生物多样性存在较大差异。

人类的工农业生产,势必会影响 AM 真菌的多样性。例如,人类经过长期的生产实践活动,创造出许多栽培植物,开辟了广大的农田和牧场,这不仅改变了植物的种类组成和分布,同时对 AM 真菌的多样性也有重要影响。大气中 CO_2 浓度的提高、人为烧荒、开矿时的土壤翻动等也会影响到 AM 真菌的生物多样性。另外,盲目开发导致物种濒临灭绝、不合理的灌溉引起的土壤盐碱化、盲目开荒造成的土壤侵蚀和河流泛滥、砍伐森林导致的气候干旱和水土流失、工业“三废”等人为干扰对生态环境的破坏都会直接或间接地降低 AM 真菌的多样性。像煤矿土壤、退化草原,人为因素使得植被破坏严重,土壤被污染以致土质恶化,AM 真菌失去了赖以生存的条件,生物活性必然要大大降低;黄河三角洲盐碱地尽管人为干扰较轻,但由于土壤的高盐碱化和较低的土壤肥力使得植被种类较少,也同样制约了 AM 真菌的多样性^[8],虽然 AM 真菌的种类比煤矿土壤中的多,但孢子密度却很低。海岛林地是受人类干扰较少的地方,不仅植被丰富,而且土壤肥沃,气候适宜,利于 AM 真菌的生长、发育、侵染和繁殖,所以其 AM 真菌多样性高,孢子密度

大。这与张美庆等^[15]、赵之伟等^[16]的研究结果相似。

据调查,我国北方荒漠化土地面积共达 $3 \times 10^5 \text{ km}^2$ 以上,盐碱地约有 0.067 亿 hm^2 。工业采矿造成的土壤污染日益严重,而同时森林覆盖率却日趋减少。过量的化肥和农药造成的地下水、土壤以及作物本身的污染日益引起人们的关注,寻求一个替代的、可持续的、健康的农业生产体系已成为当务之急。除了加强对生态系统保护外,对退化草原、盐碱地和污染土壤等生态脆弱地带的修复、开发、利用也是摆在我们面前的一项重要任务,而 AM 真菌作为生物肥料和生防益菌,在这些方面具有十分广阔的应用前景。许多研究表明,活性 AM 真菌的缺乏是植被难以在矿区定殖的一个重要因素。Harley 研究表明,矿区土壤上种植豆科植物可以加速氮库的恢复,此时磷又成为豆科植物生长的限制因子^[17]。这意味着菌根技术在矿区土壤改良及其脆弱生态系统恢复与重建方面可以起到一定作用。所以对这些环境中 AM 真菌的多样性开展调查工作,对于筛选具有抗性的 AM 真菌菌种及其在农林业生产中的应用具有重要的意义。今后应加强菌根技术的开发和应用,并与其他生物技术相结合,使其在维持生态系统的平衡和可持续发展农业中起到应有的作用。

References:

- [1] Lesica P and Antibus R K. Mycorrhizae of alpine fell-field communities on soils derived from crystalline and calcareous materials. *Can. J. Bot.*, 1986, **64**:1691~1697.
- [2] Allsopp N and Stock W D. VA mycorrhizal infection in relation to edaphic characteristics and disturbance regime in three lowland plant communities in the south-western Cape, South Africa. *Journal of Ecology*, 1994, **82**:271~279.
- [3] Mohankumar V, Ragupathy S, Nirmala C B, et al. Distribution of vesicular arbuscular mycorrhizae (VAM) in the sandy beach soils of madras coast. *Current Science*, 1988, **57**(7):367~368.
- [4] Bethlenfalvag G J, Dakessian S, Pacovsky R S. Mycorrhizae in a southern California desert: ecological implication. *Can. J. Bot.*, 1984, **62**:519~524.
- [5] Iwan H. Vesicular-arbuscular mycorrhizae of halophytic grassea in the alvord desert of Oregon. *Northwest Science*, 1987, **61**(3):148~151.
- [6] Rozema J, Arp W, Van Diggelen J, et al. Occurrence and ecological significance of VAM in the salt marsh environment. *Acta Botanica Neerlandica*, 1986, **35**(4):457~467.
- [7] Aliasgharzadeh N, Rastin N S, Towfighi H, et al. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of the Tabriz Plain of Iran in relation to some physical and chemical properties of soil. *Mycorrhiza*, 2001, **11**:119~122.
- [8] Wang F Y, Liu R J. A preliminary survey of arbuscular mycorrhizal fungi in saline-alkaline soils of Yellow River Delta. *Biodiversity Science*, 2001, **9**(4): 389~392.
- [9] Turnau K, Ryszka P, Gianinazzi-Pearson V, et al. Identification of arbuscular mycorrhizal fungi in soils and roots of plants colonizing zinc wastes in southern Poland. *Mycorrhiza*, 2001, **10**:169~174
- [10] Daft M J and Nicolson T H. Arbuscular mycorrhizas in plants colonizing coal wastes in Scotland. *New Phytol*, 1974, **73**:1129~1138.
- [11] Mehrotra V S. Arbuscular mycorrhizal associations of plants colonizing coal mine spoil in India. *Journal of Agricultural Science*, 1998, **130**: 125~133.
- [12] Ganesan V, Ragupathy S, Parthipan B, et al. Distribution of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in coal, lignite and calcite mine soils of India. *Biology and Fertility of Soils*, 1990, **12**: 131~136.
- [13] Diaz G and Honrubia M. A mycorrhizal survey of plants growing on mine wastes in southeast Spain. *Arid Soil Res Rehabil*, 1994, **8**(1):59~68.
- [14] Schenck NC, Perez Y. *Manual for identification of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi*. (INVAM). University of Florida, Gainesville, Florida, USA, 1990.
- [15] Zhang M Q, Wang Y S, Xing L J. The regional distribution of AM fungi in the east and south coast of China. *Mycosystema*, 1998, **17**(3):274~277.
- [16] 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.
- [17] Harley J L, Smith S E. *Mycorrhizal symbiosis*. New York: Academic Press, 1983

参考文献:

- [8] 王发园,刘润进. 黄河三角洲盐碱土壤中 AM 真菌的初步调查. 生物多样性, 2001, 9(4): 389~392.
- [15] 张美庆,王幼珊,邢礼军. 我国东南沿海地区 AM 真菌群落生态分布研究. 菌物系统, 1998, **17**(3):274~277.
- [16] 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.