

## 中国大陆地区丛枝菌根真菌菌种资源的分离鉴定与 形态学特征

王幼珊\* 张淑彬 殷晓芳 刘建斌 武凤霞

(北京市农林科学院植物营养与资源研究所 北京 100097)

**摘要:** 【目的】分离收集保藏中国大陆各个地区不同生态环境的丛枝菌根真菌菌种资源, 为丛枝菌根的研究提供资源、奠定基础。【方法】以高粱为宿主植物, 采用诱导培养、单孢培养和扩繁培养分离土壤样品中的丛枝菌根真菌菌种并鉴定。【结果】从我国大陆的 45 个地区 50 余种宿主植物根区土壤中分离到丛枝菌根真菌 135 株, 隶属于 23 个种; 对各个菌株的形态特征进行了描述。【结论】我国蕴藏着丰富的丛枝菌根真菌菌种资源, 文中描述的菌种资源是目前从我国大陆地区获得的种类和数量最多、覆盖范围最广的 AM 真菌菌种资源。

**关键词:** 丛枝菌根真菌, 分离, 保藏, 土壤

## Isolation and identification of arbuscular mycorrhizal fungi from Mainland China

WANG You-Shan\* ZHANG Shu-Bin YIN Xiao-Fang LIU Jian-Bin  
WU Feng-Xia

(*Institute of Plant Nutrition and Resource, Beijing Academy of Agriculture and Forest Science,  
Beijing 100097, China*)

**Abstract:** [Objective] The aim of this study is to isolate the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) from different ecological environments in China, and lay the foundation for the research of AMF. [Methods] Relying on sorghum as the host plant, AMF strains were isolated from the soil using the trap cultures, single species cultures and stimulation of sporulation technologies respectively, followed by the species identification. [Results] One hundred and thirty-five AMF strains belonging to 23 species were isolated from the rhizosphere soil of over 50 host plants in 45 regions of China, and their morphological characteristics were described. [Conclusion] China is rich in the arbuscular mycorrhizal fungi resource, and the species resource.

**Keywords:** Arbuscular mycorrhizal fungi, Isolate, Culture collection, Soil

**Foundation item:** Special Fund for Science and Technology Innovation Ability of Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences (No. KJCX20140104)

\*Corresponding author: Tel: 86-10-51502436; Fax: 86-10-51503996; E-mail: wangyoushan5150@163.com

Received: November 15, 2015; Accepted: March 24, 2016; Published online (www.cnki.net): March 25, 2016

基金项目: 北京市农林科学院科技创新能力建设专项(No. KJCX20140104)

\*通讯作者: Tel: 86-10-51502436; Fax: 86-10-51503996; E-mail: wangyoushan5150@163.com

收稿日期: 2015-11-15; 接受日期: 2016-03-24; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2016-03-25

菌根是植物根系和真菌所建立的一种互惠共生体, 其中丛枝菌根(Arbuscular mycorrhiza, AM)是球囊霉门 Glomeromycota 真菌侵染植物根系形成的共生体, 在自然界中分布最广<sup>[1]</sup>。目前, 全世界被发现和描述的丛枝菌根真菌(AM 真菌)大约有 260 种(Phylogeny and taxonomy of glomeromycota <http://schuessler.userweb.mwn.de/amphylo/>), 我国发现并描述的有约 130 个种<sup>[2]</sup>。AM 真菌是专性活体营养共生菌, 只有在活体植物根上形成菌根后才能繁殖产生孢子或孢子果<sup>[1]</sup>。因此, 世界各国丛枝菌根真菌的资源收集与保藏机构都是和普通、工业、农业及医学微生物菌种库分开而独立建成的。目前, 国际性 AM 真菌种质资源保藏机构有 4 个: International culture collection of (vesicular) arbuscular mycorrhizal fungi, INVAM (<http://invam.wvu.edu/>); International bank of glomeromycota: BEG (<http://www.i-beg.eu/>); Coleção internacional de cultura de glomeromycota: CIGC (<http://www.furb.br/cicg/index.php?lang=EN>); Glomeromycota in vitro collection: GINCO (<http://www.mycorrhiza.be/ginco-bel/>)。我国 2003 年由国家自然科学基金资助在北京市农林科学院植物营养与资源研究所建成了国内最早、最大的、拥有我国自主知识产权的“丛枝菌根真菌种质资源库(Bank of glomeromycota in china, BGC)”, 专门从事 AM 真菌菌种资源收集、保藏、评价研究及菌种共享工作, 也是我国唯一开展 AM 真菌菌种资源收集、保藏及菌种共享服务的科研团队。

我们通过诱导培养(Trap cultures)、单孢培养(Single species cultures)和扩繁培养(Stimulation of sporulation), 对我国大陆各个地区不同生态环境的 AM 真菌菌种进行分离收集和保藏, 对各个菌株的形态特征进行详细的描述, 为我国丛枝菌根学科学研究提供菌种来源和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 野外调查及样品采集

1.1.1 采样时间: 一般在秋季 8 月底-10 月初进行。

此时宿主植物已基本停止生长, 丛枝菌根发育完全, 大部分丛枝菌根真菌的孢子都已经成熟, 易于进行菌种鉴定、分离和培养。但是要注意各地的气候条件不同, 植物的生长时间也不同, 以植物基本停止营养生长, 开花结果期为宜。

1.1.2 根围土壤和植物根系的采集: 去掉地表大块沙石和其它杂物, 用经酒精消毒后的干净铁锹或小铲沿宿主植物周围挖掘, 尽量将整株植物的根系挖出, 连根带土放入塑料袋中, 大约 2 kg, 剪去植物地上部分, 放入标签, 同时在塑料袋上标注采样号。由于塑料袋容易扎破, 在塑料袋外再套一个布袋。

### 1.2 AM 真菌菌种的分离与纯化

1.2.1 孢子的分离提取: 土壤或盆栽培养物中 AM 真菌孢子的分离提取采用湿筛倾析法。

1.2.2 清洁孢子的分离: 在体视显微镜下, 将湿筛分离出的外表健康的孢子人工转移至表面皿中的自来水中, 小心、仔细地检查, 除去所有的菌丝和碎屑, 表面皿置于培养皿中以减少蒸发, 或放在有盖的瓶中并于 4 °C 至少存放 48 h。然后再小心地重新检查, 挑出并丢弃任何看上去不正常的孢子, 如: 变色、有斑、内含物异常、过度透明或在孢子表面有细菌或真菌生长等。换水后, 再将孢子贮于 4 °C 下 24-48 h 再观察, 去掉不典型的孢子, 然后水洗并转移至放有灭菌蒸馏水的螺旋口塑料小瓶中。可做短期保存(不长于 30 d)。

1.2.3 诱导培养(Trap cultures): 连根挖起土壤(最好是一个根团), 去掉植物地上部, 将根切碎成小段与根际土壤混匀。该根土混合物和灭菌沸沙培养基 1:1 混合(可用灭菌封口塑料袋进行)。装入塑料盆, 播种高粱 25-30 粒/盆(也可以用草本 C4 植物苏丹草和巴西草等)。温室培养至少 4 个月。将盆移至温度恒定的房间里, 在盆干燥前提取孢子, 以便得到光亮、清洁的孢子。

1.2.4 单孢培养(Single species cultures): 孢子在接种前 3-4 d 用湿筛法提取, 并分离清洁孢子(1.2.2), 然后根据孢子形态区分摆放。将 50 穴苗盘预先用 10%漂白粉消毒, 装入灭菌的沸沙培养

基质至每穴 2/3 处。在体视显微镜下用毛细吸管吸取新鲜、光亮、饱满的孢子,将孢子直接滴放在装好的基质上,再加 1–2 cm 的灭菌沸沙培养基于孢子上,并且在表面播种高粱种子 2–3 粒,覆盖 0.5 cm 灭菌基质,浇水,然后移至光照室或温室培养。

**1.2.5 扩繁培养(Stimulation of sporulation):** 扩繁培养包括单孢扩繁培养和菌剂扩繁培养,以便获得足够量的纯化菌种用于盆栽培养。可用上述单孢培养物(含有孢子、侵染的根段或菌丝),也可以用纯化菌种的培养物。单孢扩繁培养:将单孢培养苗盘中的高粱苗与培养物一起取出,放在已消毒的塘瓷盘中,用灭菌的刀切取 1/4,进行湿筛,在体视显微镜下检查其根系是否有侵染。装入灭菌的沸沙培养基至塑料盆的 1/3 处,将上述检查后确定已有侵染的剩余 3/4 培养物高粱苗,直立于塑料盆中心位置,周围再填满灭菌的沸沙培养基,浇水,播种高粱种子 25–30 粒/盆,覆盖 0.5 cm 灭菌基质,然后移至光照室或温室培养 4–5 个月。菌剂扩繁培养:称取预扩繁菌种样品 10–20 g,或在体视显微镜下挑取预扩繁菌种的孢子 50–200 个,备用。装灭菌的沸沙培养基至塑料盆的 2/3 处,将上述备用接种剂均匀平铺在基质上一薄层,或将上述备用孢子均匀滴放在基质上,再覆灭菌基质 2 cm,浇水,播种高粱种子 25–30 粒/盆,覆盖 0.5 cm 灭菌基质,然后移至光照室或温室培养 4–5 个月。

**1.2.6 收获:** 收获时,先剪去植株地上部分茎叶,将盆置于温度湿度相对稳定的房间内干燥(约 1–2 周),然后收获盆中所有培养物(包括植物根系、菌丝、孢子和基质)。

### 1.3 分离培养中的质量控制

**1.3.1 宿主与种子消毒:** 采用高粱做为宿主植物,品种为敖杂一号,购自北京禾为贵种业科技开发有限公司。种子在播种前需要消毒,在 40%甲醛的 1:100 的溶液中浸泡 15 min,然后用水冲洗数次。

**1.3.2 基质与基质灭菌:** 使用沸石和河沙混合物。

沸石购买自河北省全利饲用沸石粉有限公司,粒径 2 mm,河沙购买自京郊建筑用河沙,粒径小于 2 mm(需冲洗),沸石和河沙按 1:1 混合,装布袋,在 0.1 MPa 蒸气灭菌 1–2 h 2 次,中间间隔 24 h,放置 1–2 周后使用。

**1.3.3 培养容器消毒:** 所有容器使用前均需消毒灭菌,可以用 10%次氯酸钠(漂白粉)溶液浸泡 30 min,清洗,淋干。也可以用 75%的乙醇溶液浸泡或擦拭。

**1.3.4 生长管理的质量控制:** 营养液:采用霍格兰 Hoagland(减磷)营养液,每周浇一次营养液,每次 30–100 mL/盆。光照:光照培养室使用农艺钠灯(飞利浦 SON-T AGRO 423W)和日光灯(飞利浦 36W) 8 000–10 000 lx,每天补光 14 h。温度:光照培养室温度维持在 20–30 °C。湿度:人工适量浇水,做到基质的干湿交替,尽量避免过湿或过干。

**1.3.5 取样检查、收获等操作的质量控制:** 取样检查盆栽培养情况、收获盆栽培养物、干燥培养物的处理(如邮寄菌种的分装、筛孢子或染根的取样等)应在专门的房间进行,要严格遵守操作规程以最大限度地减少操作过程中培养物微粒在空气中散布所造成的交叉污染。

**1.3.6 光照室和温室的质量控制:** 光照室和温室的质量控制是为了最大限度地培养出 AM 真菌菌种培养物(使植物生长、真菌生物量、真菌产孢之间有最适当的关系),并保证无病原菌,无虫卵;其它腐生菌的数量达到最低。要建立专门用于 AM 真菌培养的光照室或温室,设专人管理,严格禁止在培养室内进行土壤和植物的处理操作。光照室或温室地板,培养架要在每一个培养周期完成后彻底清洗消毒。严格观察、控制病虫害的发生,如果观察到有土传病害存在的症状(如生长下降、失绿、叶片变薄等)应立即检查基质和根系,如检测到病原菌,应立即丢弃,重新开始盆栽。

### 1.4 保藏方法

AM 真菌通常保藏盆栽的“全培养物”,即收获

后剪去植株地上部后培养容器中的所有材料和培养物,包括:基质、孢子、根系和菌丝。干燥的全培养物装入封口塑料袋(双层)中密封,将塑料袋放入铁皮柜中,室温控制在 18–20 °C 保藏。由于保藏材料的活性不能预测,所有保藏菌株在保存 1–2 年后需重新繁殖一次。

### 1.5 AM 真菌的鉴定

根据《Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi》<sup>[3]</sup>、Phylogeny and taxonomy of glomeromycota (<http://schuessler.userweb.mwn.de/amphylo/>)和 INVAM (<http://invam.wvu.edu/>)网站菌种的描述文献,进行属、种检索和鉴定。

## 2 结果与分析

### 2.1 AM 真菌菌种资源的分离鉴定

从北京、江西、香港、新疆、云南、贵州、广西、湖南、湖北、河北、广东、内蒙、青海、黑龙江、河南、安徽、西藏、山东的 45 个地区分离到 AM 真菌 23 个种 135 株(表 1)。

北京 12 株、香港 5 株、新疆 25 株、江西 2 株、云南 6 株、贵州 11 株、广西 1 株、湖南 10 株、四川 3 株、湖北 3 株、内蒙 18 株、西藏 5 株、河北 9 株、广东 3 株、青海 13 株、河南 3 株、黑龙江 3 株、安徽 1 株、山东 2 株。包括了我国所有气候带中的多种地形和生态环境,如热带和中温带的山地与林地、干旱半干旱草原、沙漠、荒漠、平原、湿地等自然生态系统;以及耕地、草地、苗圃、果园、设施农田等人工生态系统,有非常丰富的菌种生物多样性。

菌种的宿主来源也十分广泛,在自然生态系统中有草本植物、灌木,也有高大的乔木;在农田生态系统中有大田作物也有设施园艺作物,大约有 50 余种宿主植物,包括:银杏、紫荆花、新疆韭、水稻、葱、桂花、玉米、辣椒、云南含笑、兰桉、芋头、槐、野葡萄、棕榈、大豆、臭椿、杉树、鹅观草、丝瓜、桃、白薯、蜈蚣草、艾蒿、沙打旺、苜蓿、番茄、黄瓜、藏蒿草、小蒿草、骆驼刺、胡杨、披碱草、蜈蚣草、狗牙根、白茅、狗牙草、双蕙雀稗、洋葱、

藏菠萝花、囊吾、桃、黄檗、黄芪、火绒草、豆角花、黄花蒿、苦豆子、细叶葱、青蒿、青稞、棉花、竹子、沙蒿、柠条、阿拉伯婆婆纳、忍冬等。

上述从我国大陆各地分离保藏的 AM 真菌菌种 23 种,约占世界已知 AM 真菌菌种的 10%,占我国已发现 AM 真菌菌种的 20%,各个菌种的菌株情况见表 2。

### 2.2 AM 真菌菌种资源种的形态学特征

**2.2.1 密色无梗囊霉(*A. mellea* Spain & Schenck):** 孢子浅桔至深桔棕色。球形或近球形,120 μm–150 μm。孢子壁 3 层,外层 L1 无色透明,易逝壁,未见或仅见部分残留;L2 浅桔黄色,层状,3 μm–4 μm;L3 浅棕黄色,1 μm–2 μm,较易与 L2 分开。发芽壁 2 层,韧性,易与孢子壁分开,GW<sub>1</sub> 无色至浅黄色,0.5 μm–1.0 μm 2 层;GW<sub>2</sub> 无色透明膜质壁,0.5 μm,2 层,其外层有颗粒附着,内层在 Melzer's 试剂中染成红紫色到深红紫色。产孢子囊无色透明,脱落痕直径 6 μm–7 μm。

**2.2.2 脆无梗囊霉(*A. delicate* Walker, Pfeiffer & Bloss):** 孢子半透明至浅黄色。球形或近球形,80 μm–120 μm。孢子壁 2 层,外层 L1 无色透明,易逝壁,未见或仅见部分残留;L2 浅黄色,层状,1.8 μm–3.2 μm。发芽壁 2 层,韧性,GW<sub>1</sub> 1 层,0.5 μm–0.8 μm;GW<sub>2</sub> 紧贴在一起的 2 层,L1 0.5 μm,有颗粒附着,L2 0.6 μm–1.9 μm 在 Melzer's 试剂中染成浅粉红色到粉红色。产孢子囊无色透明,脱落痕直径 6 μm–7 μm。

**2.2.3 细凹无梗囊霉(*A. scrobiculata* Trappe):** 孢子侧生于产孢子囊柄上。孢子浅黄,有时偏深或稻草色,球形、近球形,120 μm–165 μm。孢壁 3 层:L1 透明,1.0 μm;L2 浅黄色,5 μm,表面遍布小凹坑形纹饰,凹坑为圆形、长形或不规则形(1.0–2.5) μm×(2.5–5.0) μm,深 1 μm–2 μm;L3 无色透明,小于 1 μm,紧贴 L2。发芽壁 2 层:GW<sub>1</sub> 双层,均为无色透明,紧密的贴在一起,1 μm,在 Melzer's 试剂中不染色;GW<sub>2</sub> 双层,无色透明,紧密的贴在一起,外层厚 1.0 μm,外层表面附有珠状颗粒;内层厚 1.5 μm,在 Melzer's 试剂中呈紫红色。

表 1 从中国大陆各地区分离获得的菌种  
Table 1 The species which were isolated from the different regions in Mainland China

AM 真菌种类 AM fungi species	分离地 Site	宿主植物 Host	BGC 编号 The number of BGC	国家微生物菌种平台编号 The number of microorganism strains of national platform
密色无梗囊霉 <i>Acaulospora mellea</i>	北京昌平	银杏	BGC BJ02A	1511C0001BGCAM0020
脆无梗囊霉 <i>A. delicate</i>	北京昌平	银杏	BGC BJ02B	1511C0001BGCAM0036
细凹无梗囊霉 <i>A. scrobiculata</i>	香港	紫荆花	BGC HK02A	1511C0001BGCAM0035
摩西球囊霉 <i>Glomus mosseae</i>	新疆昭苏	新疆韭	BGC XJ01	1511C0001BGCAM0016
	新疆康苏		BGC XJ02	1511C0001BGCAM0021
	新疆阿克苏	水稻	BGC XJ03A	
	北京大兴	葱	BGC BJ01	1511C0001BGCAM0010
	江西上饶	桂花	BGC JX01	
	江西南昌		BGC JX02	
	云南丽江	玉米	BGC YN01	
	云南曲靖	辣椒	BGC YN02	1511C0001BGCAM0022
	云南楚雄	云南含笑	BGC YN03	
	云南楚雄	兰桉	BGC YN04	
	云南楚雄	芋头	BGC YN05	1511C0001BGCAM0013
	云南楚雄	辣椒	BGC YN06	
	贵州毕节	槐	BGC GZ01A	1511C0001BGCAM0012
	贵州贵阳	野葡萄	BGC GZ02	
	贵州晴隆	银杏	BGC GZ03A	
	贵州贵阳	棕榈	BGC GZ04A	
	广西平果	大豆	BGC GX01	
	贵州毕节	臭椿	BGC GZ06A	
	湖南湘大	杉树	BGC HUN01A	1511C0001BGCAM0011
	湖南郴州	鹅观草	BGC HUN03B	1511C0001BGCAM0059
	四川奉节	丝瓜	BGC SC01A	
	湖北宜昌	玉米	BGC HUB01A	1511C0001BGCAM0050
	内蒙锡盟	细叶葱	BGC NM01A	1511C0001BGCAM0023
	西藏当雄	黄芪	BGC XZ01	1511C0001BGCAM0024
	西藏当雄	藏菠萝花	BGC XZ02A	1511C0001BGCAM0014
	西藏堆龙德庆	青稞	BGC XZ03A	1511C0001BGCAM0044
	香港	毛竹	BGC HK01	1511C0001BGCAM0064
	内蒙巴林左旗	青蒿	BGC NM02A	1511C0001BGCAM0045
	北京平谷	桃	BGC BJ04A	1511C0001BGCAM0065
	河北怀来	玉米	BGC HEB02	1511C0001BGCAM0063

(待续)

(续表)

	河北正定	白薯	BGC HEB06	
	广东韶关	蜈蚣草	BGC GD01A	
	北京门头沟	艾蒿	BGC BJ05A	1511C0001BGCAM0062
	内蒙伊金霍洛旗	沙打旺	BGC NM04A	1511C0001BGCAM0003
	内蒙伊金霍洛旗	苜蓿	BGC NM03D	1511C0001BGCAM0025
	香港	紫金花	BGC HK02B	1511C0001BGCAM0026
	河北廊坊	番茄/黄瓜	BGC HEB07B	1511C0001BGCAM0049
	青海果洛藏族自治州	藏蒿草	BGC QH02E	
	青海果洛藏族自治州	小蒿草	BGC QH04B	
	黑龙江		BGC HLJ02	1511C0001BGCAM0051
	新疆轮台	骆驼刺	BGC XJ05A	
	新疆昌吉	骆驼刺	BGC XJ06A	
	新疆昌吉	胡杨	BGC XJ07A	1511C0001BGCAM0061
	新疆轮台	胡杨	BGC XJ08A	1511C0001BGCAM0060
近明球囊霉 <i>G. claroideum</i>	新疆昌吉	骆驼刺	BGC XJ06F	
	新疆轮台	胡杨	BGC XJ08E	
	青海果洛藏族自治州	披碱草	BGC QH09D	
苏格兰球囊霉 <i>G. caledonium</i>	河南封丘		BGC HEN01	
	新疆轮台	胡杨	BGC XJ09	
<i>G. geosporum</i> 地球囊霉	贵州毕节	槐	BGC GZ01B	
	广东韶关	蜈蚣草	BGC GD01B	
	湖南桂阳	狗牙根	BGC HUN02A	
	贵州晴隆	银杏	BGC GZ03B	
根内球囊霉 <i>G. intraradices</i>	贵州毕节	臭椿	BGC GZ06B	
	安徽铜陵	白茅/狗牙草/ 双蕙雀稗	BGC AH01	1511C0001BGCAM0030
	河北固安	洋葱	BGC HEB05	
	湖南郴州	鹅观草	BGC HUN04B	
	北京朝来农场	番茄	BGC BJ09	1511C0001BGCAM0042
	河北廊坊	番茄/黄瓜	BGC HEB07D	1511C0001BGCAM0056
何氏球囊霉 <i>G. hoi</i>	西藏当雄	藏菠萝花	BGC XZ02B	
缩球囊霉 <i>G. constrictum</i>	内蒙伊金霍洛旗	苜蓿	BGC NM03B	1511C0001BGCAM0002
	青海果洛藏族自治州	橐吾	BGC QH01A	1511C0001BGCAM0052
微丛球囊霉 <i>G. microaggregatum</i>	黑龙江哈尔滨	黄檗	BGC HLJ01A	

(待续)

(续表)

聚丛球囊霉 <i>G. aggregatum</i>	青海果洛藏族自治州	藁吾	BGC QH01C	
	青海果洛藏族自治州	黄芪	BGC QH06A	
	青海果洛藏族自治州	火绒草	BGC QH07A	
	北京门头沟	艾蒿	BGC BJ05B	
	北京门头沟	豆角花	BGC BJ06	1511C0001BGCAM0005
	北京门头沟	黄花蒿	BGC BJ07	1511C0001BGCAM0006
	北京门头沟	菊科	BGC BJ08	
	内蒙伊金霍洛旗	沙打旺	BGC NM04E	1511C0001BGCAM0033
	内蒙伊金霍洛旗	苜蓿	BGC NM03G	
	香港	紫金花	BGC HK02D	1511C0001BGCAM0043
地表球囊霉 <i>G. versiforme</i>	河北廊坊	番茄/黄瓜	BGC HEB07C	
	湖南桂阳	狗牙根	BGC HUN02D	
	新疆昌吉	骆驼刺	BGC XJ06D	
	新疆昌吉	胡杨	BGC XJ07C	
	湖南郴州	鹅观草	BGC HUN04A	
	湖南桂阳	狗牙根	BGC HUN02B	
	广东韶关	蜈蚣草	BGC GD01C	1511C0001BGCAM0031
	内蒙伊金霍洛旗	沙打旺	BGC NM04B	1511C0001BGCAM0008
	内蒙伊金霍洛旗	苜蓿	BGC NM03C	1511C0001BGCAM0032
	新疆轮台	胡杨	BGC XJ08F	1511C0001BGCAM0057
幼套球囊霉 <i>G. etunicatum</i>	贵州晴隆	银杏	BGC GZ03C	1511C0001BGCAM0046
	贵州贵阳	棕榈	BGC GZ04B	
	新疆阿克苏	水稻	BGC XJ03C	1511C0001BGCAM0018
	新疆沙湾	苦豆子	BGC XJ04B	1511C0001BGCAM0027
	四川奉节	丝瓜	BGC SC01C	
	内蒙锡盟	细叶葱	BGC NM01B	1511C0001BGCAM0017
	内蒙巴林左旗	青蒿	BGC NM02B	1511C0001BGCAM0019
	西藏堆龙德庆	青稞	BGC XZ03B	1511C0001BGCAM0015
	黑龙江哈尔滨	黄檗	BGC HLJ01B	
	北京平谷	桃	BGC BJ04C	
(待续)	河北	棉花	BGC HEB03	
	河北	玉米	BGC HEB04	1511C0001BGCAM0054
	河南封丘	玉米	BGC HEN02A	1511C0001BGCAM0028
	内蒙鄂尔多斯	苜蓿	BGC NM03F	1511C0001BGCAM0041
	内蒙伊金霍洛旗	沙打旺	BGC NM04D	
	湖南桂阳	狗牙根	BGC HUN02C	

(待续)

(续表)

	河北廊坊	番茄/黄瓜	BGC HEB07A	1511C0001BGCAM0048
	青海果洛藏族自治州	藏蒿草	BGC QH01B	1511C0001BGCAM0053
	山东寿光	番茄	BGC SD03B	
	新疆昌吉	骆驼刺	BGC XJ06C	
	新疆昌吉	胡杨	BGC XJ07B	
	新疆轮台	胡杨	BGC XJ08B	
透光球囊霉 <i>G. diaphanum</i>	新疆沙湾	苦豆子	BGC XJ04A	
	新疆阿克苏	水稻	BGC XJ03B	
	贵州毕节	槐	BGC GZ01C	1511C0001BGCAM0029
	湖南湘大	杉树	BGC HUN01B	
	四川奉节	丝瓜	BGC SC01B	
	湖北宜昌	玉米	BGC HUB01B	
	湖北武汉	竹子	BGC HUB02	
副冠球囊霉 <i>G. coronatum</i>	内蒙伊金霍洛旗	沙打旺	BGC NM04C	
	内蒙伊金霍洛旗	沙蒿	BGC NM06A	1511C0001BGCAM0004
扭形球囊霉 <i>G. tortuosum</i>	内蒙伊金霍洛旗	苜蓿	BGC NM03A	1511C0001BGCAM0001
	内蒙伊金霍洛旗	柠条	BGC NM05A	1511C0001BGCAM0040
	河南封丘	玉米	BGC HEN02B	1511C0001BGCAM0034
层状球囊霉 <i>G. lamellosum</i>	内蒙伊金霍洛旗	苜蓿	BGC NM03E	1511C0001BGCAM0038
	新疆轮台	胡杨	BGC XJ08C	
	青海果洛藏族自治州	藏蒿草	BGC QH02C	
	青海果洛藏族自治州	黄芪	BGC QH06B	
象牙白球囊霉 <i>G. eburneum</i>	香港	紫荆花	BGC HK02C	1511C0001BGCAM0039
	新疆轮台	骆驼刺	BGC XJ05B	
	新疆昌吉	骆驼刺	BGC XJ06B	
大果球囊霉 <i>G. macrocarpum</i>	湖南郴州	阿拉伯婆婆纳	BGC HUN03A	1511C0001BGCAM0058
黄金球囊霉 <i>G. aureum</i>	青海果洛藏族自治州	忍冬	BGC QH03A	
	青海果洛藏族自治州	小蒿草	BGC QH04A	
	青海果洛藏族自治州	披碱草	BGC QH09C	
隐类球囊霉 <i>Paraglomus occultum</i>	北京平谷	桃	BGC BJ04B	1511C0001BGCAM0007
沾屑多样孢囊霉 <i>Diversispora spurcum</i>	山东寿光	番茄	BGC SD03A	1511C0001BGCAM0047
	新疆昌吉	骆驼刺	BGC XJ06E	
	新疆轮台	胡杨	BGC XJ08D	



表 2 从中国大陆各地分离菌种的菌株数

Table 2 The amount of strains which were isolated from the different regions in Mainland China

AM 真菌种类 AM fungi species	分离保藏的菌株数(个) The amount of strains collected
密色无梗囊霉 <i>A. mellea</i>	1
脆无梗囊霉 <i>A. delicata</i>	1
细凹无梗囊霉 <i>A. scrobiculata</i>	1
摩西球囊霉 <i>G. mosseae</i>	44
近明球囊霉 <i>G. claroideum</i>	3
苏格兰球囊霉 <i>G. caledonium</i>	2
地球囊霉 <i>G. geosporum</i>	4
根内球囊霉 <i>G. intraradices</i>	6
何氏球囊霉 <i>G. hoi</i>	1
缩球囊霉 <i>G. constrictum</i>	2
微丛球囊霉 <i>G. microaggregatum</i>	4
聚丛球囊霉 <i>G. aggregatum</i>	11
地表球囊霉 <i>G. versiforme</i>	6
幼套球囊霉 <i>G. etunicatum</i>	22
透光球囊霉 <i>G. diaphanum</i>	7
副冠球囊霉 <i>G. coronatum</i>	2
扭形球囊霉 <i>G. tortuosum</i>	3
层状球囊霉 <i>G. lamellosum</i>	4
象牙白球囊霉 <i>G. eburneum</i>	3
大果球囊霉 <i>G. macrocarpum</i>	1
黄金球囊霉 <i>G. aureum</i>	3
隐类球囊霉 <i>P. occultum</i>	1
沾屑多样孢囊霉 <i>D. spurcum</i>	3

**2.2.4 摩西球囊霉 [*G. mosseae* (Nicolson & Gerdemann) Gerdemann & Trappe]:** 厚垣孢子在土壤中单生、根外菌丝从顶端生、根内生或孢子果内形成。幼嫩孢子乳白色，成熟时浅黄-黄褐色，直径一般 110  $\mu\text{m}$ -290  $\mu\text{m}$ 。孢壁 3 层，5  $\mu\text{m}$ -17  $\mu\text{m}$  厚，外壁 L1 无色透明，易脱落，厚约 1.4  $\mu\text{m}$ -2.5  $\mu\text{m}$ ，Melzer's 试剂中呈粉红色；L2 无色透明，0.8  $\mu\text{m}$ -1.6  $\mu\text{m}$ ；内壁 L3 浅黄至黄褐色，层状壁，厚 3.2  $\mu\text{m}$ -6.4  $\mu\text{m}$ 。孢子内含物为大小不等的油滴或颗粒。连孢菌丝漏斗形，连点宽 16  $\mu\text{m}$ -32  $\mu\text{m}$ ，连点处菌丝壁稍增厚；连孢菌丝底部有一厚凹隔，为本种的典型特征。孢子果多为不规则球形，200  $\mu\text{m}$ -600  $\mu\text{m}$ ，黄棕至浅褐色，内含一至多个孢

子，由松散的网状菌丝形成孢被。

**2.2.5 近明球囊霉(*G. claroideum* Schenck & Smith):** 孢子乳白至亮黄色，球形，近球形，75  $\mu\text{m}$ -150  $\mu\text{m}$ 。孢子壁 4 层：L1 无色透明，0.6  $\mu\text{m}$ -1.0  $\mu\text{m}$ ，Melzer's 试剂中呈浅粉，与 L2 紧贴着，易脱落；L2 无色透明，0.6  $\mu\text{m}$ -1.5  $\mu\text{m}$ ，Melzer's 试剂中不染色，易脱落；L3 浅黄色，3.0  $\mu\text{m}$ -4.5  $\mu\text{m}$ ，层状；L4 同色，小于 0.5  $\mu\text{m}$ ，孢子破裂时起皱。连孢菌丝呈圆柱或小喇叭形，连点宽 8  $\mu\text{m}$ -15  $\mu\text{m}$ ，连点孔由隔封闭。

**2.2.6 苏格兰球囊霉 [*G. caledonium* (Nicolson & Gerdemann) Trappe & Gerdemann]:** 孢子在土壤中单生，淡黄色，球形至近球形，100  $\mu\text{m}$ -300  $\mu\text{m}$ 。孢子壁：2 层。L1 无色透明，均一壁，厚 1  $\mu\text{m}$ -2  $\mu\text{m}$ ，在连点处略增厚，易和 L2 分离。在 Melzer's 试剂中 L1 呈粉红至红。L2 层状壁，淡黄色，厚 2  $\mu\text{m}$ -8(-10)  $\mu\text{m}$ 。在 Melzer's 试剂中 L2 呈鲜黄至桔黄。连孢菌丝：大多顺直或小喇叭形，宽 9  $\mu\text{m}$ -12(-20)  $\mu\text{m}$ ，色较浅。连点宽 10  $\mu\text{m}$ -35  $\mu\text{m}$ ，连点处有一薄隔(偶在连点下方 15  $\mu\text{m}$  以内)。

**2.2.7 地球囊霉 [*G. geosporum* (Nicolson and Gerdemann) Walker]:** 孢子圆形、椭圆形，成熟孢子大小为(234-260)  $\mu\text{m}$ ×(305-273)  $\mu\text{m}$ 。在落射光照明下为黄棕色至红棕色。孢子壁：2 层。L1 (W1)薄，厚 3.5  $\mu\text{m}$ -4.5  $\mu\text{m}$ ，无色透明，易剥落，在 Melzer's 试剂反应中，为浅红色。L2 (W2)稍厚，6.0  $\mu\text{m}$ -7.5  $\mu\text{m}$ ，黄棕到红棕色，层状壁，在 Melzer's 试剂反应中，L2 为鲜黄色。连孢菌丝：菌丝宽 15  $\mu\text{m}$ -18(-23)  $\mu\text{m}$ ，连点下方约 30  $\mu\text{m}$  以内的这段菌丝粗而硬，不易弯曲。菌丝壁分为 2 层，L1 (W1)无色透明，1.5  $\mu\text{m}$ -2.4  $\mu\text{m}$ ，L2 (W2)黄至黄棕色，2  $\mu\text{m}$ -4  $\mu\text{m}$ 。连点下方的菌丝内部充满了堵塞物，且在连点下方约 30  $\mu\text{m}$  处的菌丝开始变细，至 70  $\mu\text{m}$ -90  $\mu\text{m}$  处菌丝壁变薄至 1  $\mu\text{m}$ 。连孢菌丝还有分枝并连着其它孢子，但孢间连丝较细，约 8  $\mu\text{m}$  宽，菌丝壁厚约 0.5  $\mu\text{m}$ ，无色透明。连点宽 21  $\mu\text{m}$ -24  $\mu\text{m}$ ，连丝在连点处略有扩张，菌丝壁也有增厚。

**2.2.8 根内球囊霉 (*G. intraradices* Schenck & Smith):** 孢子浅黄棕色。球形，近球形，75  $\mu\text{m}$ -120  $\mu\text{m}$ 。

根内有孢子。孢壁3层 L1 无色透明, 1.0  $\mu\text{m}$ –2.5  $\mu\text{m}$ , 在 Melzer's 试剂中染成红色, 在成熟孢子中脱落; L2 无色透明, 紧贴 L1, 1.0  $\mu\text{m}$ –3.5  $\mu\text{m}$ , 在成熟孢子中也脱落; L3 浅黄棕, 3  $\mu\text{m}$ –4  $\mu\text{m}$ , 层状, 有时能分开形成亚层。连孢菌丝筒状或小喇叭形, 宽 12  $\mu\text{m}$ –15  $\mu\text{m}$ , 3 层孢壁都伸入连孢菌丝, 使连点呈张开的火焰状。

**2.2.9 何氏球囊霉(*G. hoi* Berch & Trappe):** 孢子单生、簇生或根内生。圆形或椭圆形, 在落射光下呈黄色或黄褐色, (80–120)  $\mu\text{m}$ ×(75–135)  $\mu\text{m}$ 。孢子壁: 总厚(2.5–)3.5(–4.5)  $\mu\text{m}$ , 由易分离的2层组成。L1 外层, 桔黄至浅黄, 厚(2.0–)3.5(–4.0)  $\mu\text{m}$ 。L2 内层, 膜状, 无色透明, 厚 0.5  $\mu\text{m}$ –1.0  $\mu\text{m}$ 。连孢菌丝: 单根, 圆筒形, 连丝宽 8.0  $\mu\text{m}$ , 菌丝壁厚 1.5  $\mu\text{m}$ –2.0  $\mu\text{m}$ 。连点宽(11–)13(–15)  $\mu\text{m}$ , 在近连点处的内部有可见一纤细横隔。

**2.2.10 缩球囊霉(*G. constrictum* Trappe):** 孢子近球形–球形, 深黄棕–深红棕–黑棕色, 孢壁光滑透亮, 有时有碎颗粒附着, 孢子直径 150  $\mu\text{m}$ –330  $\mu\text{m}$ 。孢壁1层, 厚 6  $\mu\text{m}$ –12  $\mu\text{m}$ , 层状壁。连孢菌丝在连点处缢缩, 宽 11  $\mu\text{m}$ –15  $\mu\text{m}$ , 连点处壁增厚封闭孔口或仅留一狭小通道, 连点下方连孢菌丝膨大至 17  $\mu\text{m}$ –19  $\mu\text{m}$  宽, 连孢菌丝颜色自连点处向下逐渐变浅, 由黑红棕–浅黄棕–浅黄。连孢菌丝常向一侧弯曲, 有时在连孢菌丝变宽部位下方有一隔, 隔下有细分枝。

**2.2.11 微丛球囊霉(*G. microaggregatum* Koske Gemma & Olexia):** 孢子成丛或团在土壤中生成。孢子无色至淡黄、淡黄棕色, 形状多样, 圆形至近圆形, 19  $\mu\text{m}$ –38  $\mu\text{m}$ , 椭圆或不规则形, (20–39)  $\mu\text{m}$ ×(17–36)  $\mu\text{m}$ 。孢子壁: 1层, 厚 1–2  $\mu\text{m}$ 。偶有2层, 每层厚 0.5  $\mu\text{m}$ –1.0  $\mu\text{m}$ , 基部有时增厚。连孢菌丝: 宽 2.5  $\mu\text{m}$ –4.0  $\mu\text{m}$ , 壁厚 1  $\mu\text{m}$ 。连点与孢子同色, 连点不封闭, 有时有隔或在连点下堵塞。

**2.2.12 聚丛球囊霉 [*G. aggregatum* (Schenck & Smith) Koske]:** 孢子果为疏松的串状, 无孢被。孢子无色透明至浅黄棕色, 近球形、卵形或不规

则形, (37–65)  $\mu\text{m}$ ×(30–55)  $\mu\text{m}$ 。孢壁1层或2层, 厚 2.0  $\mu\text{m}$ –2.5  $\mu\text{m}$ , 浅黄至黄棕色。连孢菌丝直或弯曲, 连点不封闭, 宽 4  $\mu\text{m}$ –10  $\mu\text{m}$ , 有时有一个薄隔或因孢壁增厚堵塞。

**2.2.13 地表球囊霉 [*G. versiforme* (Karsten) Berch]:** 孢子在土壤中单生, 或形成孢子果。浅黄棕色, 球形, 近球形, 85  $\mu\text{m}$ –120  $\mu\text{m}$ 。孢壁2层, 厚 4  $\mu\text{m}$ –10  $\mu\text{m}$ , 外层 L1 半透明, 0.5  $\mu\text{m}$ –1.0  $\mu\text{m}$ , 有时脱落, 在 Melzer's 试剂中不染色; 内壁 L2, 层状壁, 浅黄棕–桔棕色, 4.5  $\mu\text{m}$ –8.0  $\mu\text{m}$ 。连孢菌丝直或小喇叭形, 连点宽 4.5  $\mu\text{m}$ –12.0  $\mu\text{m}$ , 2 层孢壁都伸入连丝, 连孢菌丝无色透明, 易断, 连点处有弯隔。

**2.2.14 幼套球囊霉 (*G. etunicatum* Becker & Gerdeman):** 孢子在土壤中单生。球形或近球形。黄棕色, 直径 70  $\mu\text{m}$ –140  $\mu\text{m}$ , 大多小于 100  $\mu\text{m}$ 。孢壁2层: 外层 L1 黏液状, 1.0  $\mu\text{m}$ –2.5  $\mu\text{m}$ , 在 Melzer's 试剂中染成粉到浅红紫色, 易脱落; 内壁 L2, 层状壁, 浅黄棕至红棕色, 3  $\mu\text{m}$ –7  $\mu\text{m}$ 。连孢菌丝圆柱或小喇叭形, 孢壁延伸入连孢菌丝, 易断, 连点宽 5  $\mu\text{m}$ –10  $\mu\text{m}$ , 连点孔由隔封闭。

**2.2.15 透光球囊霉 (*G. diaphanum* Morton & Walker):** 孢子单生于土壤中。球形或近球形, 无色透明到白色, 大小 80  $\mu\text{m}$ –95  $\mu\text{m}$ 。孢壁3层: L1 小于 0.5  $\mu\text{m}$ , 在成熟的孢子中很难看到, 在 Melzer's 试剂中呈浅粉色; L2 层状, 3.5  $\mu\text{m}$ –5.0  $\mu\text{m}$ ; L3 膜状小于 1.0  $\mu\text{m}$ , 孢子破裂时起皱。连孢菌丝圆柱或小火焰形, 连点宽大约 10  $\mu\text{m}$ , L3 经常跨过连点孔好像一个隔。

**2.2.16 副冠球囊霉 (*G. coronatum* Giovannetti & Salutini):** 孢子黄棕色–桔棕色。球形、近球形, 大小 80  $\mu\text{m}$ –220  $\mu\text{m}$ 。孢壁2层, 外壁 L1 无色透明, 在 Melzer's 试剂中染成粉红色, 易脱落, 厚约 2.5  $\mu\text{m}$ –3.5  $\mu\text{m}$ ; 内壁 L2 浅桔棕色, 层状, 厚约 3.2  $\mu\text{m}$ –6.5  $\mu\text{m}$ 。连孢菌丝漏斗形, 连点宽 30  $\mu\text{m}$ –42  $\mu\text{m}$ , 虽然距离连点 40  $\mu\text{m}$ –60  $\mu\text{m}$  处有一个薄的弯隔, 但是大部分孢子有开放的孔, 不易看见。

**2.2.17 扭形球囊霉 (*G. tortuosum* Schenck & Smith):** 孢子果由单个或者 2–6 个孢子组成, 直径

290  $\mu\text{m}$ –540  $\mu\text{m}$ , 表面由紧密的、厚的菌丝孢被包裹; 菌丝孢被由薄壁菌丝(菌丝壁厚小于 0.5  $\mu\text{m}$ )紧密交织组成菌丝套, 菌丝套厚 25  $\mu\text{m}$ 。孢子浅黄棕–桔棕色, 球形或者近球形, 很少有不规则形, 直径 120  $\mu\text{m}$ –220  $\mu\text{m}$ 。孢子壁 1 层, 浅黄棕色层状壁; 有时分成 2–3 层; 成熟孢子孢壁厚度不均匀; 分层延伸至连孢菌丝。连孢菌丝圆柱形, 因有孢被遮掩, 连点不易观察清楚, 宽 12.5  $\mu\text{m}$ –15.0  $\mu\text{m}$ 。

**2.2.18 层状球囊霉(*G. lamellosum* Dalpé, Koske & Tews):** 孢子乳白至浅黄 球形 近球形 90  $\mu\text{m}$ –135  $\mu\text{m}$ 。孢子壁 3 层: L1 透明至亮黄色, 6.5  $\mu\text{m}$ –10.0  $\mu\text{m}$ , 鳞片状; L2 浅黄至黄色, 5.0  $\mu\text{m}$ –9.0  $\mu\text{m}$ , 层状; L3 黄色, 膜状, 小于 0.5  $\mu\text{m}$ , 有时分开, 有些孢子的此层在 Melzer's 试剂中显浅粉色。连孢菌丝呈圆柱或小喇叭形, 有时弯曲, 连点宽 8  $\mu\text{m}$ –13  $\mu\text{m}$ , 有隔。

**2.2.19 象牙白球囊霉(*G. eburneum* Kennedy, Stutz & Morton):** 孢子亮白色至乳白色, 近球形, (45–65)  $\mu\text{m}$ ×(90–110)  $\mu\text{m}$ 。孢壁 2 层: L1 透明, 0.9  $\mu\text{m}$ –1.0  $\mu\text{m}$ , 有时有碎屑; L2 透明, 层状, 2.1  $\mu\text{m}$ –3.0  $\mu\text{m}$ 。连孢菌丝呈圆柱或小喇叭形, 连点宽 5.5  $\mu\text{m}$ –7.5  $\mu\text{m}$ , 连点孔由隔封闭。

**2.2.20 大果球囊霉(*G. macrocarpum* Tulasne & Tulasne):** 孢子在土壤中单生, 黄色, 球形、近球形, 100  $\mu\text{m}$ –155  $\mu\text{m}$ 。孢子壁: 2 层。L1 薄, 2  $\mu\text{m}$ –3  $\mu\text{m}$ , 透明, 在乳酸中膨胀。L2 黄色, 层状, 3  $\mu\text{m}$ –6  $\mu\text{m}$  厚。连孢菌丝: 直或稍似漏斗状, 从连点处壁持续增厚, 直达菌丝。连点宽 12  $\mu\text{m}$ –15  $\mu\text{m}$ , 连孔常由 L2 加厚封闭, 有时由薄隔膜所封闭。

**2.2.21 黄金球囊霉(*G. aureum* Oehl & Sieverding):** 孢子果: 浅橘至橘色, 不规则形, 400  $\mu\text{m}$ –1 600  $\mu\text{m}$ , 无包被, 由紧密堆积的孢子组成。孢子果内互相交织的菌丝为透明至稻草黄, 宽 3  $\mu\text{m}$ –10  $\mu\text{m}$ , 菌丝壁 1 层或 2 层, 厚 0.5  $\mu\text{m}$ –2.0  $\mu\text{m}$ 。孢子和菌丝嵌在无定形的胶冻状物中, 胶冻状物在 Melzer's 试剂中呈粉红色至桔红色。孢子: 着生在二叉分枝的主菌丝或垂直分支的顶端, 浅橘至橘色, 通常呈卵形, (35–65)  $\mu\text{m}$ ×(30–65)  $\mu\text{m}$ , 少数球形,

30  $\mu\text{m}$ –60  $\mu\text{m}$ 。孢子壁: L1 易逝壁, 无色透明, 衰解前厚约 1.5  $\mu\text{m}$  在 Melzer's 试剂中呈粉红色至桔红色。L2 层状壁 无色透明、浅橘至橘色 厚 1.5  $\mu\text{m}$ –3.0  $\mu\text{m}$ , 连点处厚至 6  $\mu\text{m}$ 。连孢菌丝: 浅橘至橘色, 直或弯曲, 呈圆柱形或微漏斗形, 在孢子基部宽 6  $\mu\text{m}$ –10  $\mu\text{m}$ , 与孢子壁 L1 和 L2 相延续, 孢子基部壁厚 3  $\mu\text{m}$ –5  $\mu\text{m}$ 。连点孔径 1.0  $\mu\text{m}$ –1.5  $\mu\text{m}$ , 由 L2 的最内亚层延伸形成的弯隔封闭。

**2.2.22 隐类球囊霉[*P. occultum* (Walker) Morton & Redecker]:** 孢子在土壤中单生或簇生。孢子无色透明–浅乳白色。球形, 近球形, 60  $\mu\text{m}$ –100  $\mu\text{m}$ 。孢壁 3 层, 外层 L1 无色透明, 小于 1  $\mu\text{m}$ , 易脱落, 残留在表面呈颗粒状, Melzer's 试剂中不染色; L2 永久壁 0.5  $\mu\text{m}$ –1.2  $\mu\text{m}$ , 在连点处增厚, Melzer's 试剂中呈现亮黄色; 内层 L3 同 L2。孢子表面常沾碎屑。连孢菌丝圆柱形到小漏斗形, 延续孢壁的 3 层, 连点宽 3.0  $\mu\text{m}$ –5.2  $\mu\text{m}$ 。

**2.2.23 沾屑多样孢囊霉[*D. spurcum* (Pfeiffer, Walker & Bloss) Walker & Schüssler]:** 孢子半透明至浅黄, 表面有碎屑, 球形, 近球形, 45  $\mu\text{m}$ –90  $\mu\text{m}$ 。孢壁 2 层: L1 透明至浅黄, 0.5  $\mu\text{m}$ –1.1  $\mu\text{m}$ , 外裹碎屑; L2 透明半透明, 层状, 1.8  $\mu\text{m}$ –4.0  $\mu\text{m}$ 。在压力下能分开, 最内层可产生褶皱, 像一层膜状壁。连孢菌丝呈圆柱或小喇叭形, 连点宽 4.8  $\mu\text{m}$ –7.9  $\mu\text{m}$ , 在连点处易断裂。

### 3 讨论

丛枝菌根真菌是土壤中与植物关系最为密切的微生物之一。在自然生态系统或低投入有机农业中, 即低投入、土壤有效磷严重缺乏的条件下 AM 真菌改善植物营养(尤其是磷营养)提高植物抵御生物和非生物胁迫的作用已经得到广泛的认可。随着人们对协调作物生产中高产、资源高效、环境友好意识的不断强化, 对于高投入高产出的集约化体系中根际微生物在作物营养和产量形成中作用的关注不断加强<sup>[4]</sup>。因此, 作为研究工作最基本的保障菌种资源的分离鉴定保藏就显得更为重要。1991–2010 年间中国菌根有关丛枝菌根真菌的物种

丰富度研究显示, 中国丛枝菌根真菌物种十分丰富多样, 且具有一定地域独特性。在全国共发现 150 科 800 余种植物能够形成丛枝菌根, 包括 400 余种野生植物和 150 余种大田栽培植物, 包括了主要粮食作物、水果、蔬菜和传统中药材等<sup>[5]</sup>。到 2011 年我国发现并描述的 AM 真菌有约 130 个种, 但真正能够分离获得并被保藏的菌种资源很少。本文描述的菌种资源是目前从我国大陆地区获得的种类和数量最多、覆盖范围最广的 AM 真菌菌种资源, 同时, 这些资源也被国内广大科研工作者用于丛枝菌根的各种研究。

AM 真菌菌种的鉴定主要以真菌结构, 特别是孢子的形态特征为依据, 根据孢子形态特征鉴定的 AM 真菌的种类大约有 150–200 个<sup>[6–7]</sup>。分子生物技术的快速发展, 使过去分布在根际土壤和根系内部的大量不能培养的 AM 真菌种类被逐渐发现, 并且根际中存在的 AM 真菌种类的实际数量要比人们以往想象中的数量大得多<sup>[8]</sup>。分子生物学技术引入丛枝菌根真菌分类鉴定中后, Schüßler 等对 AM 真菌的 SSU rRNA 基因序列进行系统分析, 发现 AM 真菌与接合菌门、子囊菌门和担子菌门中的真菌具有共同的起源, 因此把 AM 真菌从接合菌门中移出, 建立了具有同等分类地位的球囊菌门 (Glomeromycota)<sup>[9–10]</sup>。借助分子生物学手段的发展与应用, 此后的十年在促进传统的 AM 真菌分类学发展的同时也引起了分类系统的不稳定、意见分歧及可能的错误命名和混乱。直至 2013 年 Redecker 等 AM 真菌资深分类学家们经过反复讨论和总结, 基于核糖体 RNA 基因: 18S (SSU)、ITS1-5.8S-ITS2 (ITS) 和 28S (LSU) 序列的相似性, 在 AM 真菌系统发育分类重建的基础上, 就 AM 真菌新的分类单元与命名达成共识。AM 真菌属于球囊菌门下 9 个科 18 个属<sup>[11]</sup>。

本文描述从我国大陆地区分离的 23 个种中有 11 个种在新的分类系统中的分类地位和命名有变更。*G. claroideum* 在新的分类系统的命名为 *Claroideoglomus claroideum*, *G. etunicatum* 在新的分类系统的命名为 *C. etunicatum*, *G. lamellosum* 在新的

分类系统的命名为 *C. lamellosum*, *G. eburneum* 在新的分类系统的命名为 *D. eburnea*, *G. caledonium* 在新的分类系统的命名为 *Funneliformis caledonius*, *G. constrictum* 在新的分类系统的命名为 *F. constrictus*, *G. coronatum* 在新的分类系统的命名为 *F. coronatus*, *G. geosporum* 在新的分类系统的命名为 *F. geosporus*, *G. mosseae* 在新的分类系统的命名为 *F. mosseae*, *G. diaphanum* 在新的分类系统的命名为 *Rhizophagus diaphanus*, *G. intraradices* 在新的分类系统的命名为 *R. intraradices*。

## 参 考 文 献

- [1] Liu RJ, Chen YL. Mycorrhizology[M]. Beijing: Science Press, 2007: 447 (in Chinese)  
刘润进, 陈应龙. 菌根学[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 447
- [2] Wang YS, Zhang SB, Zhang MQ. Resources and Germplasm Resources of Chinese Mycorrhizal Fungi[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2012: 264 (in Chinese)  
王幼珊, 张淑彬, 张美庆. 中国丛枝菌根真菌资源与种质资源[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012: 264
- [3] Scheck NC, Pérez Y. Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi[M]. 2nd Edition. Gainesville, USA: University of Florida, 1988: 238
- [4] Feng G, Zhang FS, Li XL, et al. Functions of arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture and their manipulation[J]. Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(5): 995-1004 (in Chinese)  
冯固, 张福锁, 李晓林, 等. 丛枝菌根真菌在农业生产中的作用与调控[J]. 土壤学报, 2010, 47(5): 995-1004
- [5] He XH, Duan YH, Chen YL, et al. A 60-year journey of mycorrhizal research in China: past, present and future directions[J]. Science China Life Sciences, 2012, 42(6): 431-454 (in Chinese)  
何新华, 段英华, 陈应龙, 等. 中国菌根研究 60 年: 过去、现在和将来[J]. 中国科学: 生命科学, 2012, 42(6): 431-454
- [6] Gai JP, Feng G, Li XL. Review of researches on biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi[J]. Soils, 2005, 37(3): 236-242 (in Chinese)  
盖京苹, 冯固, 李晓林. 丛枝菌根真菌的生物多样性研究进展[J]. 土壤, 2005, 37(3): 236-242
- [7] Morton JB, Benny GL. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae[J]. Mycotaxon, 1990, 37: 471-491
- [8] Vandenkoornhuysen P, Husband R, Daniell TJ, et al. Arbuscular mycorrhizal community composition associated with two plant species in a grassland ecosystem[J]. Molecular Ecology, 2002, 11(8): 1555-1564
- [9] Schüßler A, Schwarzott D, Walker C. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution[J]. Mycological Research, 2001, 105(12): 1413-1421
- [10] Schüßler A. Molecular phylogeny, taxonomy, and evolution of *Geosiphon pyriformis* and arbuscular mycorrhizal fungi[J]. Plant and Soil, 2002, 244(1): 75-83
- [11] Redecker D, Schüßler A, Stockinger H, et al. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota)[J]. Mycorrhiza, 2013, 23(7): 515-531