

# 内蒙古盐碱土中 AM 真菌的多样性与分布\*

唐明<sup>1</sup> 黄艳辉<sup>2</sup> 盛敏<sup>2</sup> 张峰峰<sup>1</sup> 肖文发<sup>3</sup>

(1 西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100)

(2 西北农林科技大学生命科学院, 陕西杨凌 712100)

(3 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100089)

**摘要** 在内蒙古盐碱土 13 种主要植物分离到 3 属 26 种 AM 真菌, 其中球囊霉属 (*Glomus*) 22 种, 无梗囊霉属 (*Acaulospora*) 3 种, 原囊霉属 (*Archaeospora*) 1 种。地球囊霉 (*Glomus geosporum*) 和地表球囊霉 (*Glomus versiforme*) 是该区域盐碱土中的优势种。13 种主要植物均能被 AM 真菌侵染, 其中玉米和马蔺的侵染率最高, 达 100%; 根际土壤中 AM 真菌孢子密度范围为 29~182 个  $g^{-1}$  烘干土, 其中稻的孢子密度最高, 达 182 个  $g^{-1}$  烘干土; 在不同土壤类型条件下植物的菌根侵染率具有明显的差异, 其规律为草甸盐土 > 碱化盐土 > 盐化草甸土 > 碱化草甸土; 根际土壤中孢子密度以碱化草甸土最高 (101 个  $g^{-1}$  烘干土), 其次为碱化盐土、草甸盐土和盐化草甸土。相关分析表明, 根际土壤中 AM 真菌孢子密度与菌根侵染率无显著相关性。

**关键词** AM 真菌; 侵染率; 孢子密度; 盐碱土

**中图分类号** Q939 **文献标识码** A

我国盐碱地约为 9 900 万  $hm^2$ , 土壤盐害使植物生长不良、产量低、品质差, 严重影响我国农业生产。许多研究表明, 丛枝菌根 (Arbuscular mycorrhiza, AM) 真菌在盐胁迫条件下有利于植物对矿质营养的吸收<sup>[1]</sup>, 提高植物的光合作用和水分利用率<sup>[2]</sup>, 促进植物渗透调节物质和生长调节物质的产生<sup>[3]</sup>, 增强植物组织抗过氧化酶的活性<sup>[4]</sup>, 使  $Na^+$  在根部大量累积, 减轻地上部盐害, 提高植物耐盐碱能力<sup>[5]</sup>。另一方面, 各种环境因子, 特别是土壤盐碱度不仅影响植被的分布, 甚至决定着 AM 真菌的多样性及其对植物根系的侵染能力<sup>[6]</sup>。目前我国已对部分滨海盐碱土中的 AM 真菌多样性和生态分布进行了研究<sup>[7]</sup>, 但对如何利用西北地区盐碱土中 AM 真菌仍缺乏足够的认识。因此, 本文对内蒙古盐碱土中主要植物的 AM 真菌侵染状况、根际土壤中的孢子密度和 AM 真菌的分布及其与植物种类和土壤类型的关系进行研究, 分析 AM 真菌与植物共生的多样性及其对盐碱环境的适应性, 为进一步探索极端环境条件下 AM 真菌与植物的协同进化及菌根生物技术在盐碱土改良中的应用奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区域位于 40°~44°N、111°~123°E 之间的冲积平原低地, 属干旱半干旱气候, 夏季炎热, 冬季酷寒, 降雨量少, 土壤水分蒸发量大, 盐量较高, 表层土易溶性盐类的含量多在 4%~10% 之间, 个别高达 30% 甚至 50%, 心土含盐量也在 1%~2% 以上, 形成明显的盐结皮或积盐壳。盐分组成既有以氯化钠为主的, 又有以氯化物和硫酸钠为主的, 且都含有较多的碳酸氢钠, 土壤碱性较大, pH 值为 8.0~9.0<sup>[8]</sup>。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 样品采集** 在内蒙古不同类型盐碱土中, 选取具有代表性的植物进行采样。分别于各采样点随机选取同种植物 5 株, 每株按东西南北 4 个方位, 除去 5 cm 厚表层土, 挖 10~20 cm 深土壤剖面, 采集根系和根际土, 根系固定于福尔马林-醋酸-酒精固定液 (FAA) 中<sup>[9]</sup>, 根际土装入塑料袋中, 密封带回。记录采样地点、植物种类和海拔高度。采样点状况及主要植物见表 1。

\*国家自然科学基金项目 (30225035) 和重点项目 (30630054)、国家自然科技资源共享平台 (2005DKA21207-10) 项目联合资助

作者简介: 唐明 (1962~), 女, 汉族, 安徽涡阳人, 教授, 主要从事微生物学和森林保护学教学和研究工作

收稿日期: 2006-08-28; 收到修改稿日期: 2006-11-08

表 1 采样地点状况及主要植物种类

Table 1 Conditions of the sampling sites and dominant plants therein

采样地点 Sampling site	海拔 Elevation (m)	年均温 Average temperature ( )	年均降水量 Rainfall (mm)	土壤类型 Soil types	植物 Plant species
呼和浩特托克托县 Tuoketuo County, Huhhot (40°5' ~ 40°35' N, 111°2' ~ 111°32' E)	1 052	5.8	390	草甸盐土 Meadow solonchak	冰草、芨芨草、 盐爪爪、芦苇
哲里木盟奈曼旗 Naiman Banner, Zhelimu League (42°14' ~ 43°32' N, 120°19' ~ 121°35' E)	394	5.6	320	盐化草甸土 Salined meadow soil	玉米、寸草、盐 角草、冰草、芦 苇
哲里木盟开鲁县 Kailu County, Zhelimu League (43°18' ~ 44°9' N, 120°25' ~ 121°50' E)	235	6.0	300	碱化草甸土 Alkalized meadow soil	胡杨、柳树、稻
哲里木盟科尔沁左翼中旗 Ke'erqin Left Central Banner, Zhelimu League (43°32' ~ 44°32' N, 121°08' ~ 123°32' E)	164	5.0	370	碱化盐土 Alkalized solonchak	小麦、葱、芦苇、 马蔺、冰草

1.2.2 菌根侵染状况分析 将采回的根系剪成 0.5 ~ 1.0 cm 长的根段,采用透明压片法<sup>[9]</sup>将根段用 10% KOH 透明后,进行 Trypan blue 染色,在显微镜下观察丛枝、泡囊、菌丝等结构特征,测定菌根侵染率,每种植物重复 3 次。

1.2.3 孢子密度的测定 分别从各土样中取 100 g 风干土 2 份,1 份在 105 °C 下烘干至恒重,测定土壤含水量;另 1 份用湿筛倾析法分离孢子于培养皿内,在解剖镜下分格计数(孢子果按 1 个孢子计数),计算每 g 烘干土中的孢子数<sup>[9]</sup>。各土样均重复 3 次。

$$\text{土壤含水量}(\%) = (\text{土壤湿重} - \text{土壤干重}) / \text{土壤湿重} \times 100\%$$

$$\text{每 g 烘干土中的孢子数} = \text{孢子总数} / [\text{土壤湿重} \times (1 - \text{土壤含水量})]$$

1.2.4 AM 真菌的分离和鉴定 采用湿筛倾析法分离孢子和孢子果,分别用水、乳酚、棉兰、Melzer 试剂、PVLG(聚乙烯醇-乳酸-甘油)和 PVL(聚乙烯醇-乳酸酚)等为浮载剂制片,镜检孢子颜色、形状、大小、孢子果形态、孢壁厚度及类型,连点形状、连点宽度和连孢菌丝宽度等形态特征。综合以上镜检结果,根据 Schenck 和 Perez 的“VA 菌根真菌鉴定手册”<sup>[10]</sup>和在 Internet 上<sup>(1)</sup>提供的 VA 菌根真菌种类描述和图片,并参阅近几年发表的新种、新记录种<sup>[11]</sup>,按照 Morton 和 Redecker<sup>[12]</sup>的分类系统和 AM 真菌分类的最新进展<sup>[13]</sup>进行种的鉴定。标本保存于西北

农林科技大学林学院微生物研究室。

1.2.5 数据分析 采用 Excel 和 SAS 系统分析软件进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 AM 真菌侵染状况

内蒙古主要植物菌根侵染率调查表明,所采集的 13 种植物均能被 AM 真菌侵染,且侵染率因植物种类不同而异,其中玉米和马蔺的侵染率最高,达 100%;冰草、芨芨草和芦苇次之,分别为 90.9%、83.9% 和 80.0%;盐角草最低,为 3.13% (表 2)。一些被认为不能或不易形成 AM 的植物<sup>[14]</sup>,在内蒙古盐碱土中生长时发现也能被 AM 真菌侵染,如莎草科中的寸草(*Carex duriuscula* C. A. Mey.), 藜科中的盐爪爪(*Kalidium foliatum* Moq.)、盐角草(*Salicornia europaea* L.) 均形成了典型的 AM 结构(图 1,图 2)。

不同土壤类型植物菌根侵染率差异较大,草甸盐土中植物菌根侵染率较高,平均为 84.8%,碱化草甸土中植物菌根侵染率相对较低,平均为 46.0%。同种植物在不同土壤类型中菌根侵染率也有差异,如冰草的菌根侵染率在草甸盐土和碱化盐土中较高,分别为 90.0% 和 90.9%,而在盐化草甸土中较低,为 29.4%;芦苇的菌根侵染率也表现出相同的规律,草甸盐土和碱化盐土中较高,分别为

(1) <http://invam.caf.wvu.edu>

表 2 不同植物 AM 真菌侵染状况及其多样性

Table 2 Colonization and diversity of AM fungi of the dominant plants

土壤类型 Soil types	宿主植物及学名 Hosts and their scientific names	侵染率 <sup>1)</sup> Infection rate (%)	孢子密度 <sup>1)</sup> Spore density (ind g <sup>-1</sup> soil)	真菌丰富度 <sup>2)</sup> Species richness
草甸盐土 Meadow solonchak	冰草 <i>Agropyron cristatum</i> L.	90.0 ±2.1a	41 ±6b	3
	芨芨草 <i>Achnatherum splendens</i> Nevski.	83.9 ±1.6b	50 ±2a	4
	盐爪爪 <i>Kalidium foliatum</i> Moq.	32.4 ±4.1c	29 ±5c	4
	芦苇 <i>Phragmites australis</i> Trin.	80.0 ±2.4b	56 ±7a	4
盐化草甸土 Salined meadow soil	寸草 <i>Carex duriuscula</i> C. A. Mey.	52.9 ±4.7b	78 ±5a	2
	盐角草 <i>Salicornia europaea</i> L.	3.13 ±0.22d	30 ±5d	3
	玉米 <i>Zae mays</i> L.	100 ±0a	49 ±3c	9
	冰草 <i>Agropyron cristatum</i> L.	29.1 ±1.5c	79 ±10a	4
	芦苇 <i>Phragmites australis</i> Trin.	57.1 ±2.8b	63 ±9b	5
碱化盐土 Alkalized solonchak	小麦 <i>Triticum aestivum</i> L.	43.8 ±9.4c	78 ±4c	4
	葱 <i>Allium fistulosum</i> L.	74.4 ±1.8b	139 ±8a	7
	芦苇 <i>Phragmites australis</i> Trin.	68.6 ±7.6b	64 ±11c	5
	马蔺 <i>Iris lactea</i> Pall.	100 ±0a	106 ±9b	5
	冰草 <i>Agropyron cristatum</i> L.	90.9 ±2.4a	30 ±6d	3
碱化草甸土 Alkalized meadow soil	砂柳 <i>Salix gordejewii</i> Chang et Skv.	48.8 ±3.8a	72 ±7b	4
	稻 <i>Oryza sativa</i> L.	44.4 ±4.5a	182 ±23a	6
	胡杨 <i>Populus euphratica</i> Oliv.	44.7 ±1.5a	49 ±6c	9

1) 平均值 ±标准差 Mean ±SD; 2) 真菌丰富度指各土壤样品中鉴定出的 AM 真菌种的数量 Species richness means the quantity of AM fungi species identified in different soils

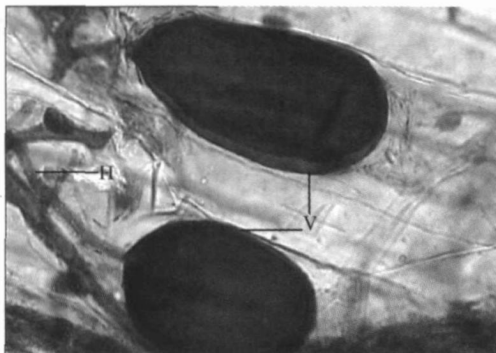


图 1 寸草根内的菌丝(H)和泡囊(V) (10 ×40)  
Fig. 1 Hyphae (H) and vesicles (V) in *Carex duriuscula*

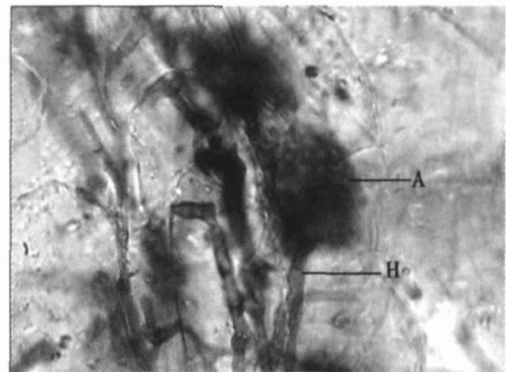


图 2 盐爪爪根内的菌丝(H)和丛枝(A) (10 ×40)  
Fig. 2 Hyphae (H) and arbuscules (A) in *Kalidium foliatum*

80.0%和 68.6%, 盐化草甸土中较低, 为 57.1% (图 3)。总而言之, 在不同土壤类型条件下, 无论宿主植物是否相同, 植物的菌根侵染率呈现相对一致性的变化趋势, 即草甸盐土 > 碱化盐土 > 盐化草甸土 > 碱化草甸土。可见, 不同植物侵染率的差异既与植物和 AM 真菌的亲性和有关, 也与真菌对不同土壤条件的适应性有关, 是多种因子综合作用的结果。

## 2.2 AM 真菌的孢子密度

13 种植物根际土 AM 真菌孢子密度均较高, 在 29 ~ 182 个 g<sup>-1</sup> 烘干土范围, 其中稻的孢子密度最高, 为 182 个 g<sup>-1</sup> 烘干土; 其次为葱和马蔺, 均超过 100 个 g<sup>-1</sup> 烘干土; 最低为盐爪爪, 为 29 个 g<sup>-1</sup> 烘干土 (表 2)。可见, 内蒙古盐碱土中 AM 真菌具有较高的产孢能力。AM 真菌的产孢数量主要取决于真菌本身产孢的生物学特性和宿主植物的生物学特

性,不同宿主植物根系形态结构、根系分泌物的种类、数量和性质均会影响植物根际土壤中的孢子密度。

土壤类型对植物根际土壤中孢子密度的影响亦明显不同。碱化草甸土植物根际土壤中孢子密度平均为 101 个  $g^{-1}$  烘干土,明显高于碱化盐土(84 个  $g^{-1}$  烘干土),且较草甸盐土和盐化草甸土分别增加

128%和 68.6%,说明碱化草甸土中 AM 真菌的产孢能力较强。同种植物根际土壤中的孢子密度差异较大,冰草根际土壤中的孢子密度以盐化草甸土中较高(79 个  $g^{-1}$  烘干土),明显高于草甸盐土(41 个  $g^{-1}$  烘干土)和碱化盐土(30 个  $g^{-1}$  烘干土);而芦苇根际土壤中的孢子密度在碱化盐土、盐化草甸土和草甸盐土中差异不大(图 4)。

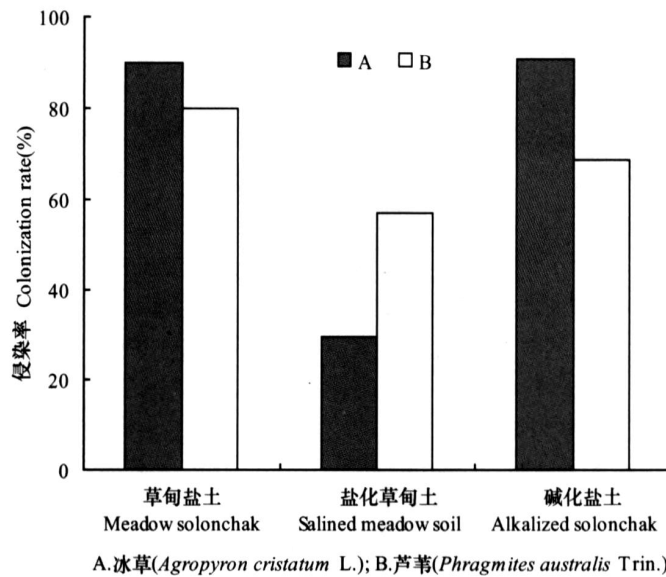


图 3 不同类型土壤中 AM 真菌侵染率的比较

Fig. 3 AM fungal colonization rate in different soil types

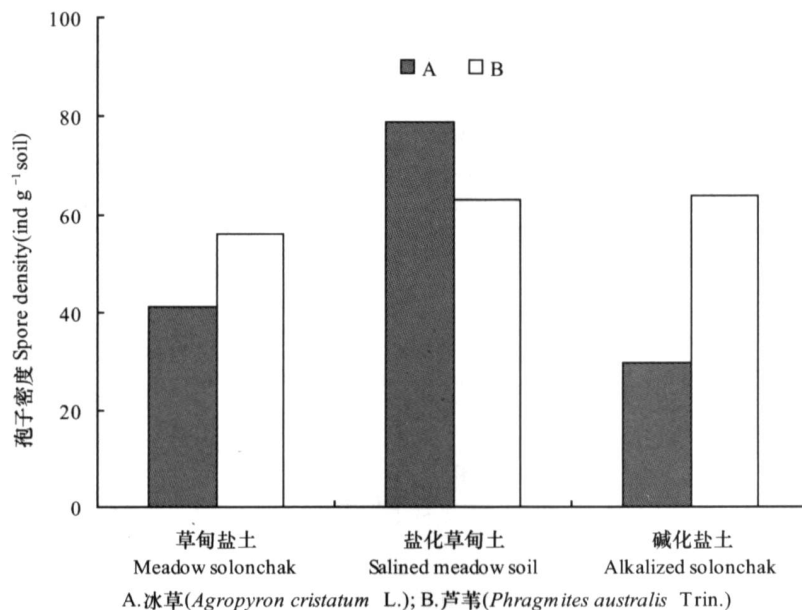


图 4 不同类型土壤中 AM 真菌孢子密度的比较

Fig. 4 AM fungal spore density in different soil types

另外,通过对内蒙古盐碱土主要植物根系 AM 真菌侵染率与根际土壤 AM 真菌孢子密度进行相关

分析,结果表明它们之间无显著的相关性(相关系数  $r = -0.1144$ ,  $p = 0.6618$ ),这与前人的研究结论一致<sup>[15]</sup>。其原因可能是:(1)AM 真菌孢子在部分植物根系失去活性后仍可在土壤中存活较长时间;(2)随AM 真菌根外菌丝在土壤中的延伸而在其他植物根围产生孢子;(3)土壤中部分失去活力或处于休眠状态的 AM 真菌孢子降低或丧失了对植物根系的侵染能力<sup>[15]</sup>。

### 2.3 AM 真菌的多样性

在 13 种主要植物中共分离、鉴定出 AM 真菌 23 种,尚有 3 个待定种,其中球囊霉属 (*Glomus*) 22 种,占 84.6%;无梗囊霉属 (*Acaulospora*) 3 种,占 11.5%;原囊霉属 (*Archaeospora*) 1 种,占 3.85% (表 3)。进一步分析调查区域内 AM 真菌种的出现频率,结果表明 *Glomus geosporum* 和 *Glomus versiforme* 的出现频率最高,分别为 30.8% 和 29.9%,是该区域盐碱土中的优势种。

内蒙古盐碱土不同植物根际土壤中 AM 真菌的种类构成差异较大,其中玉米和胡杨根际 AM 真菌物种丰度较大,均为 9 种;寸草、盐角草和冰草根际 AM 真菌物种丰度较小,为 2~3 种(表 2),说明玉米和胡杨对根际 AM 真菌种类选择性弱,其根际能分布多种 AM 真菌,而一些盐碱土中的代表性植物对 AM 真菌种类选择性较高。不同 AM 真菌对宿主植物的侵染力和亲和力也存在明显差异,其中 *Ar-*

*chaospora leptoticha*、*Glomus constrictum*、*G. etunicatum*、*G. geosporum*、*G. intraradices*、*G. monosporum*、*G. mosseae*、*G. multiforum*、*G. versiforme* 能在 3 种以上植物根际分布,但以 *G. geosporum* 和 *G. versiforme* 宿主范围最广,分别为 10 种和 9 种,是内蒙古盐碱土中的广谱生态型真菌。由此可见,AM 真菌与其宿主植物间没有严格的专一性,但存在一定的相互选择性,宿主植物选择 AM 真菌,AM 真菌也选择宿主植物。

不同土壤类型 AM 真菌分布差异较大,*Glomus* 属和 *Archaeospora* 属在 4 种土壤类型中都有分布,且分布比较均匀,而 *Acaulospora* 属仅分布于碱化盐土中。同种 AM 真菌在不同土壤类型中的分布也有差异,*Ar. leptoticha*、*G. geosporum* 和 *G. versiforme* 在 4 种土壤类型中都有发现,*G. monosporum* 和 *G. multiforum* 出现于 3 种土壤类型中,而有些种仅出现于一种特定的土壤类型中,如 *G. aggregatum* 仅出现于碱化盐土,*G. albidum* 仅出现于盐化草甸土。虽然优势种 *G. versiforme* 在 4 种盐碱土类型中都有出现,但以草甸盐土中较多,出现频率占 57.8%,另 3 类土壤中出现较少。4 种不同土壤类型,以碱化盐土中 AM 真菌的物种丰度较大,为 14 种;其次为碱化草甸土,为 12 种;盐化草甸土和草甸盐土中 AM 真菌的物种丰度较低,分别为 9 种和 7 种(表 3)。

表 3 不同土壤类型中的 AM 真菌

Table 3 AM fungi in different soil types

AM 真菌 AM fungi	草甸盐土 Meadow solonchak	盐化草甸土 Salined meadow soil	碱化草甸土 Alkalized meadow soil	碱化盐土 Alkalized solonchak	AM 真菌 AM fungi	草甸盐土 Meadow solonchak	盐化草甸土 Salined meadow soil	碱化草甸土 Alkalized meadow soil	碱化盐土 Alkalized solonchak
<i>G. aggregatum</i>	-	-	-	+	<i>G. monosporum</i>	+	-	+	+
<i>G. albidum</i>	-	+	-	-	<i>G. mosseae</i>	+	-	-	+
<i>G. ambisporum</i>	-	-	+	-	<i>G. multiforum</i>	-	+	+	+
<i>G. claroidium</i>	-	-	-	+	<i>G. pansihalos</i>	-	-	+	-
<i>G. clarum</i>	-	+	-	-	<i>G. pustulatum</i>	-	+	-	-
<i>G. constrictum</i>	-	-	+	-	<i>G. reticulatum</i>	-	-	+	-
<i>G. coronatum</i>	-	+	-	-	<i>G. rubiform</i>	-	-	-	+
<i>G. etunicatum</i>	+	-	+	-	<i>G. versiforme</i>	+	+	+	+
<i>G. fasciculatum</i>	-	+	-	-	<i>G. sp1</i>	+	-	-	-
<i>G. geosporum</i>	+	+	+	+	<i>Ar. leptoticha</i>	+	+	+	+
<i>G. intraradices</i>	-	-	+	+	<i>A. spinosa</i>	-	-	-	+
<i>G. manihotis</i>	-	-	-	+	<i>A. sp1</i>	-	-	-	+
<i>G. microcarpum</i>	-	-	+	-	<i>A. sp2</i>	-	-	-	+

注: + 表示有分布; - 表示无分布 Note: + Denotes possible distribution; - Represents no distribution

### 3 结论与讨论

AM 真菌是专性共生真菌,植物的多样性在一定程度上决定 AM 真菌的多样性。内蒙古盐碱土中主要植物以草本为主,间有乔木和灌木,具有较为丰富的植物多样性,相应的与这些植物共生的 AM 真菌多样性亦较高,不仅主要的建群种植物冰草、芨芨草、芦苇等具有较高的菌根侵染率,且一些过去认为不能或不易被 AM 真菌侵染的莎科和藜科植物也形成了典型的 AM 结构。这一结果说明在内蒙古盐碱土生态系统中,盐生植物对 AM 真菌的依赖性较大,这是否与 AM 真菌的存在缓解了环境胁迫对植物的有害作用有关尚需进一步研究、证实。

从菌根侵染率和孢子密度来看,内蒙古盐碱土中 AM 真菌的侵染活性和产孢能力很强,其平均侵染率和孢子密度高达 61.44 % 和 71 个  $g^{-1}$  烘干土。在这种极端的环境条件下,植物长期处于“生理性干旱”状态,根系吸水困难,更多的依赖于 AM 真菌的菌丝网吸收水分和矿质营养,提高植物的抗逆性。而土壤盐碱度较高阻碍了菌丝在土壤中的生长,使 AM 真菌新的侵染点增多,增加了植物根系皮层内细胞间隙的菌丝密度,提高了植物的菌根侵染率。此外,盐胁迫促进了 AM 真菌产孢能力的提高<sup>[16]</sup>。

内蒙古盐碱土主要植物根围的 AM 真菌具有丰富的多样性,共分离到 3 属 26 种 AM 真菌,其中以 *Glomus* 属为优势属,而该属内 *Glomus geosporum* 和 *Glomus versiforme* 出现频率较高,宿主植物范围较广,是潜在适合内蒙古盐碱土接种的菌种。土壤类型对 AM 真菌的侵染、产孢及分布具有不同程度的影响。4 种不同土壤类型中,植物菌根侵染率以草甸盐土中较高,碱化草甸土较低;根际土壤中孢子密度以碱化草甸土较高,盐化草甸土较低;而 AM 真菌的物种丰度以碱化盐土中较大,草甸盐土较小。Hildebrandt 等<sup>[17]</sup>发现在德国盐碱土中 *G. geosporum* 和 *G. caledonium* 占优势,而在邻近的非盐碱土中 *G. geosporum* 的孢子数量很少。Landwehr 等<sup>[18]</sup>通过 RFLP-PCR 克隆孢子 DNA 上的 ITS 区并进行测序,结果也表明 *G. geosporum* 和 *G. caledonium* 是匈牙利盐碱土中的优势种。而在另外一些盐碱土中,*G. mosseae* 则是分布最广泛的菌种<sup>[6, 19]</sup>。这说明菌根真菌的多样性、分布和产孢能力不仅受地理和气候等生态因子的影响,而且在漫长的进化过程中,不同

菌根真菌和宿主植物的协同进化产生了具有生态环境特异性的菌根真菌多样性。因此,对盐碱胁迫环境中 AM 真菌的多样性开展调查工作,对于筛选具有耐盐碱能力的 AM 真菌及其菌根生物技术在退化土壤修复中的应用具有重要的意义。

### 参考文献

- [1] Zandavalli R B, Dillenburg L R, Paulo V D. Growth responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) to inoculation with the mycorrhizal fungus *Glomus clarum*. *Appl. Soil Ecol.*, 2004, 25 (3): 245 ~ 255
- [2] Diallo A, Samb P, Macauley H. Water status and stomatal behavior of cowpea, *Vigna unguiculata* (L) Walp, Plants inoculated with two *Glomus* species at low soil moisture levels. *Eur. J. Soil Biol.*, 2001, 37: 187 ~ 196
- [3] Rabie G H. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and kinetin on the response of mungbean plants to irrigation with seawater. *Mycorrhiza*, 2005, 15: 225 ~ 230
- [4] Ghorbanli M, Ebrahimzadeh H, Sharifi M. Effects of NaCl and mycorrhizal fungi on antioxidative enzymes in soy bean. *Biologia Plantarum*, 2004, 48 (4): 575 ~ 581
- [5] 申连英,毛永民,鹿金颖,等. 丛枝菌根对酸枣实生苗耐盐性的影响. *土壤学报*, 2004, 41 (3): 426 ~ 433. Shen L Y, Mao Y M, Lu J Y, et al. Effects of arbuscular mycorrhizae on salt tolerance of wild jujube (*Zizyphus spinosushu*) seedlings (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41 (3): 426 ~ 433
- [6] 蔡晓布,彭岳林,冯固,等. 西藏高原草地植物 AM 真菌多样性及其环境影响因子研究. *土壤学报*, 2005, 42 (4): 641 ~ 650. Cai X B, Peng Y L, Feng G, et al. AM fungi diversity and their environmental factors in altiplate grassland in Tibet (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42 (4): 641 ~ 650
- [7] 王发园,刘润进. 黄河三角洲盐碱土中 AM 真菌的初步调查. *生物多样性*, 2001, 9 (4): 389 ~ 392. Wang F Y, Liu R J. A preliminary survey of arbuscular mycorrhizal fungi in saline-alkaline soil of the Yellow River Delta (In Chinese). *Biodiversity Science*, 2001, 9 (4): 389 ~ 392
- [8] 赵俊寿. 中国内蒙古土种志. 北京:中国农业出版社, 1994. Zhao J S. ed. *Soil Species of Inner Mongolia* (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1994
- [9] 弓明钦,陈应龙,仲崇禄. 菌根研究及应用. 北京:中国林业出版社, 1997. 133 ~ 149. Gong M Q, Chen Y L, Zhong C L. eds. *Research and Application of Mycorrhiza* (In Chinese). Beijing: China Forestry Press, 1997. 133 ~ 149
- [10] Schenck N C, Perez Y. *Manual for the Identification of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi*. 2nd Ed. INVAM. Gainesville, Florida, USA: University of Florida, 1988. 1 ~ 233
- [11] 赵丹丹,李凌飞,赵之伟. 中国丛枝菌根真菌的三个新记录种. *菌物学报*, 2006, 25 (1): 142 ~ 144. Zhao D D, Li L F, Zhao Z W. Three new records of arbuscular mycorrhizal fungi in China (In Chinese). *Mycosystema*, 2006, 25 (1): 142 ~ 144
- [12] Morton J B, Redecker D. Two new families of Gomales, Ar-

- chaetosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera *Archaeospora* and *Paraglomerum*, based on concordant molecular and morphological characters. *Mycologia*, 2001, 93: 181 ~ 195
- [13] 王发园, 林先贵, 周健民. 丛枝菌根真菌分类最新进展. 微生物学杂志, 2005, 25(5): 41 ~ 45. Wang F Y, Lin X G, Zhou J M. Latest advances in the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (In Chinese). *Journal of Microbiology*, 2005, 25(5): 41 ~ 45
- [14] 刘润进, 李晓林. 丛枝菌根及其应用. 北京: 科学出版社, 2000. 93 ~ 97, 148 ~ 149. Liu R J, Li X L. *Arbuscular Mycorrhizae and Application* (In Chinese). Beijing: Science Press, 2000. 93 ~ 97, 148 ~ 169
- [15] 林先贵, 郝文英. 不同植物对 VA 菌根的依赖. 植物学报, 1989, 31(9): 721 ~ 725. Lin X G, Hao W Y. Mycorrhizal dependency of various kinds of plants (In Chinese). *Acta Botanica Sinica*, 1989, 31(9): 721 ~ 725
- [16] Hirrell M C. The effect of sodium and chloride salts on the germination of *Gigaspora margarita*. *Mycorrhiza*, 1981, 73: 610 ~ 617
- [17] Hildebrandt U, Janetta K, Ouziad F, et al. Arbuscular mycorrhizal colonization of halophytes in Central European salt marshes. *Mycorrhiza*, 2001, 10: 175 ~ 183
- [18] Landwehr M, Hildebrandt U, Wilde P. The arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus geosporum* in European saline, sodium and gypsum soils. *Mycorrhiza*, 2002, 12: 199 ~ 211
- [19] Sengupta A, Chaudhuri S. Vesicular-arbuscular mycorrhiza (VAM) in pioneer salt marsh plants of the Ganges River delta in West Bengal (India). *Plant Soil*, 1990, 122: 111 ~ 113

## DIVERSITY AND DISTRIBUTION OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN SALINE ALKALINE SOIL, INNER MONGOLIA

Tang Ming<sup>1</sup> Huang Yanhui<sup>2</sup> Sheng Min<sup>2</sup> Zhang Fengfeng<sup>1</sup> Xiao Wenfa<sup>3</sup>

(1 College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

(2 College of Life Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

(3 Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100089, China)

**Abstract** Out of 13 dominant species of plants growing in saline alkaline soil in Inner Mongolia, 3 genera, 26 species of AM fungi were isolated. Among them 3 species of *Acaulospora*, 1 species of *Archaeospora* and 22 species of *Glomus* were identified, and *Glomus geosporum* and *Glomus versiforme* were the dominant ones in the region. All the 13 species of plants were susceptible to infection of AM fungi, and *Zae mays* and *Iris lactea* were the highest in AM fungal colonization rate, reaching 100%; AM fungal spore density of rhizosphere soil ranged from 29 to 182 ind g<sup>-1</sup> dry soil, and among the 13 species, *Oryza sativa* was the highest (182 ind g<sup>-1</sup> dry soil). Furthermore, AM fungal colonization rate of the dominant plants varied with soil types, showing an decreasing order of meadow solonchak > alkalized solonchak > salined meadow soil > alkalized meadow soil, but in terms of AM fungal spore density, alkalized meadow soil was the highest (101 ind g<sup>-1</sup> dry soil), followed by alkalized solonchak, meadow solonchak and salined meadow soil. No significant correlation was detected between AM fungal spore density and colonization rate.

**Key words** AM fungi; Colonization rate; Spore density; Saline alkaline soil