

## 蒙古沙冬青 AM 真菌物种多样性研究

刘春卯, 贺学礼\*, 徐浩博, 张淑容, 牛凯

河北大学生命科学学院, 河北 保定 071002

**摘要:** 2012年7月选取宁夏银川、沙坡头和甘肃民勤3个样地,分0-10、10-20、20-30、30-40、40-50 cm 5个土层采集蒙古沙冬青(*Ammopiptanthus monglicus*)根围土壤样品,研究了AM真菌物种多样性和土壤因子生态作用。共分离AM真菌4属36种,其中,球囊霉属(*Glomus*)19种,无梗囊霉属(*Acaulospora*)13种,盾孢囊霉属(*Scutellospora*)3种,多孢囊霉属(*Diversispora*)1种。黑球囊霉(*G.melanosporum*)是银川和沙坡头优势种,网状球囊霉(*G.reticulatum*)是民勤优势种。民勤孢子密度、种丰度和物种多样性最高,孢子密度和种丰度随土层加深而递减,在0-20 cm土层达最大值。总球囊霉素(TEG)和易提取球囊霉素(EEG)含量在3个样地均随土层加深而降低。孢子密度与土壤有机质、碱解氮、速效钾显著正相关,与总球囊霉素极显著正相关。结果表明,AM真菌物种多样性具有明显空间异质性,并与土壤环境密切相关,这为筛选优良菌种,充分利用AM真菌资源促进沙冬青生长和荒漠植被恢复提供了依据。

**关键词:** AM真菌;物种多样性;土壤因子;蒙古沙冬青(*Ammopiptanthus monglicus*)

**中图分类号:** S154.36

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5906(2013)07-1148-05

**引用格式:** 刘春卯,贺学礼,徐浩博,张淑容,牛凯.蒙古沙冬青AM真菌物种多样性研究[J].生态环境学报,2013,22(7):1148-1152.

LIU Chunmao, HE Xueli, XU Haobo, ZHANG Shurong, NIU Kai. Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of *Ammopiptanthus monglicus* [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(7): 1148-1152.

AM真菌是自然界广泛分布的一种内生真菌,能与绝大多数高等植物根系形成共生关系,庞大的菌丝网络结构能够扩大宿主植物根系吸收范围,提高植物对营养物质利用率,AM真菌分泌的球囊霉素,能够改善土壤微环境<sup>[1-2]</sup>。目前,荒漠生境已发现AM真菌7属89种,其中球囊霉属和无梗囊霉属真菌占全部真菌80%以上,是荒漠生态系统的优势类群<sup>[3]</sup>。

沙冬青属(*Ammopiptanthus*)仅含2种,即蒙古沙冬青(*A.monglicus*)和新疆沙冬青(*A.nanus*),均属国家三级濒危保护植物<sup>[4]</sup>。蒙古沙冬青主要分布于内蒙古磴口、乌海、贺兰山、阿左旗、阿右旗,宁夏吴忠、中卫和甘肃民勤等地,具有耐干旱,耐高温,抗寒抗冻等特性,是荒漠地区防风固沙的优良灌木<sup>[5]</sup>。近年来对沙冬青区系分布、濒危原因与迁地保护、生态学等方面进行了深入研究,但有关沙冬青AM真菌资源和物种多样性研究甚少<sup>[6]</sup>。

本研究选取宁夏银川、沙坡头和甘肃民勤样地,对蒙古沙冬青AM真菌多样性及土壤因子生态作用进行研究,以便为充分利用AM真菌资源

促进蒙古沙冬青生长和荒漠植被恢复提供依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 样地概况

宁夏银川样地(N38°27',E106°34'),海拔1169 m,以沙土为主,伴生植物有沙蒿(*Artemisia desteriorum*),白刺(*Nitraria tangutorum*),骆驼蓬(*Peganum harmala*);沙坡头样地(N37°27',E104°57'),海拔1280 m,多以沙丘为主,伴生植物有毛头刺(*Oxytropis aciphylla*),柠条(*Caragana korshinskii*),苦豆子(*Sophora alopecuroides*);甘肃民勤样地(N38°35',E102°58'),海拔1355 m,以荒漠土为主,伴生植物有沙拐枣(*Calligonum mongolicum*),沙棘(*Hippophae rhamnoides*),沙蒿(*A.desterorum*)等。

#### 1.2 样品采集

2012年7月分别在3个样地随机选取5株生长良好的沙冬青植株,贴近植株根颈部去其枯枝落叶层挖土壤剖面,按0-10、10-20、20-30、30-40和40-50 cm共5个土层采集土样,将土样编号装入塑料袋密封。土样风干后过2 mm筛备用。AM真菌种类鉴定和频度、相对多度、重要值、多样

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(31170488)

**作者简介:** 刘春卯(1987年生),女,硕士研究生,主要从事菌根生物学研究。

\*通信作者: 贺学礼; E-mail: xuelh1256@aliyun.com

**收稿日期:** 2013-04-23

性指数等指标分析限于样地, 即同一样地同一土层土样混合后称取 4 g, 再将其混匀形成 20 g 土样; 孢子密度、种丰度和土壤理化性质分析包括样地和土层。

### 1.3 AM 真菌多样性

采用湿筛倾析-蔗糖离心法分离孢子<sup>[7]</sup>。将筛取的 AM 真菌孢子在体视显微镜下观察, 记录孢子数量、颜色、大小、连孢菌丝特征等。然后挑取孢子置于载玻片上, 分别用水、乳酚、Melzer 试剂、PVLG 和 PVL 为浮载剂制片, 观测孢子大小、厚度、颜色、纹饰、类型等特征, 种类鉴定根据 Schenck D C 等<sup>[8]</sup>的“VA 菌根鉴定手册”和 INVAM(<http://invam.caf.wvu.edu>)提供的鉴定资料进行分类。

孢子密度: 20 g 土样的孢子数; 种丰度: 20 g 土样含有的 AM 真菌种数; 相对多度: 某样地 AM 真菌某种或属的孢子数/该样地 AM 真菌总孢子数 $\times 100\%$ ; 频度: AM 真菌某属或种出现次数/土样数 $\times 100\%$ , 重要值: 某样地 AM 真菌种或属分离频度与相对多度之和平均值, 即  $I=(F+RA)/2$ ; 将 AM 真菌优势度按重要值(I)划分为 4 个等级, 即  $I > 60\%$  为优势属(种),  $40\% < I \leq 60\%$  为亚优势属(种),  $20\% < I \leq 40\%$  为伴生属(种),  $I \leq 20\%$  为偶见属(种), 多样性采用 Shannon-Wiener 指数(H)和 Simpson 指数(D)来表示:

$$H=-\sum(P_i \times \ln P_i) \quad (1)$$

$$D=1/\sum(P_i^2) \quad (2)$$

式中:  $P_i$  为某样地种  $i$  的孢子级数( $N_i$ )与该地区 AM 真菌孢子总级数( $N$ )之比, 即  $P_i=N_i/N$ ,  $S$  为某样地 AM 真菌种数。

### 1.4 土壤指标测定

脲酶用 He X L 等<sup>[9]</sup>方法测定, 球囊霉素用 Wright D P 等<sup>[10]</sup>方法测定, 有机质用重铬酸钾容量法, 速效氮用碱解扩散法, 速效磷用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法, 速效钾用四苯硼钠比浊法测定。

### 1.5 数据处理

采用 SPSS19.0 生物统计软件对试验数据进行方差、Pearson correlation 相关分析、主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 AM 真菌种类、分离频度、相对多度和重要值

本试验共分离鉴定出 AM 真菌 4 属 36 种, 其中球囊霉属 (*Glomus*) 19 种, 无梗囊霉属 (*Acaulospora*) 13 种, 盾巨孢囊霉属 (*Scutellospora*) 3 种, 多孢囊霉属 (*Diversispora*) 1 种。黑球囊霉是银川样地优势种, 双网无梗囊霉、黑色盾巨孢囊霉和网状球囊霉是亚优势种; 黑球囊霉是沙坡头

样地优势种, 双网无梗囊霉、网状球囊霉、地球囊霉、集球囊霉和聚丛球囊霉是亚优势种; 网状球囊霉是民勤样地优势种, 双网无梗囊霉、黑球囊霉、摩西球囊霉和黑色盾巨孢囊霉是亚优势种; 瑞士无梗囊霉、詹氏无梗囊霉和缩球囊霉是 3 个样地共同伴生种; 英弗梅球囊霉、帚状球囊霉、海德拉巴球囊霉、幼套多孢囊霉是 3 个样地偶见种(表 1)。

### 2.2 AM 真菌孢子密度、种丰度和物种多样性

由表 2 可知, 民勤样地孢子密度、种丰度和辛普森指数显著高于银川和沙坡头样地; 民勤和沙坡头样地香浓维纳指数显著高于银川样地。

### 2.3 AM 真菌和土壤因子空间分布

由表 3 可知, 同一样地不同土层, 孢子密度和种丰度随土层加深而减少, 0-20 cm 显著高于 20-50 cm 土层。不同样地同一土层, 民勤孢子密度显著高于银川和沙坡头, 民勤和沙坡头种丰度显著高于银川。

同一样地不同土层, 脲酶和有机质 0-20 cm 显著高于 20-50 cm 土层; 总球囊霉素和易提取球囊霉 0-10 cm 显著高于 10-50 cm 土层; 碱解氮仅在银川和民勤 0-10 cm 显著高于 10-50 cm 土层; 速效磷仅银川 0-10 cm 显著高于其他土层, 沙坡头 0-20 cm 显著高于 20-50 cm 土层; 3 样地速效钾 0-10 cm 显著高于 10-50 cm 土层。

不同样地同一土层, 银川 0-10 cm 土层脲酶显著高于沙坡头和民勤, 民勤有机质在 0-20 cm 土层显著高于银川和沙坡头, 总球囊霉素民勤各土层显著高于其他样地, 沙坡头各土层易提取球囊霉素和速效磷显著高于银川和沙坡头, 民勤碱解氮和速效钾各土层含量明显高于其他样地。

### 2.4 AM 真菌物种多样性和土壤因子的关系

由表 4 可知, 孢子密度与有机质、碱解氮、速效钾显著正相关, 与总球囊霉素极显著正相关, 与辛普森指数极显著负相关; 种丰度与脲酶显著正相关, 与有机质极显著正相关; 辛普森指数与碱解氮显著负相关, 与总球囊霉素和速效钾极显著负相关。

### 2.5 土壤因子主成分分析

由于不同样地生态环境的差异, 土壤因子含量不同, 因此对 AM 真菌生长的影响也不尽相同, 通过主成分分析, 筛选出不同样地主要土壤因子, 以便更好地了解 AM 真菌和土壤因子的关系。

根据相关矩阵特征值大于 1, 方差累计贡献率大于 70% 的原则, 入选 2 个主成分。这两个主成分方差累积贡献率为 77.446%。第一主成分中碱解氮、有机质、速效钾有较高载荷(权重在

表1 3个样地 AM 真菌种分离频度(F)、相对多度(RA)、重要值(I)和优势度(Dom)

Table 1 The frequency(F),relative abundance(RA),importance value(I) and dominance of AM fungal species in the three sampling sites

种类	银川				沙坡头				民勤			
	F/%	RA/%	I/%	Dom	F/%	RA/%	I/%	Dom	F/%	RA/%	I/%	Dom
双网无梗囊霉 <i>Acaulospora bireticulata</i>	100	7.7	53.8	B	100	7.7	53.8	B	100	5.2	52.6	B
凹坑无梗囊霉 <i>A.excauata</i>	47	2.4	24.7	C	47	1.3	24.2	C	56	1.3	28.7	C
光壁无梗囊霉 <i>A.laevis</i>									47	1.2	24.1	C
孔窝无梗囊霉 <i>A.foveata</i>	47	1.6	24.3	C					44	1.4	22.7	C
丽袍无梗囊霉 <i>A.elegans</i>	49	2.4	25.7	C								
毛氏无梗囊霉 <i>A.morrowae</i>									44	1.2	22.6	C
蜜色无梗囊霉 <i>A.mellea</i>					44	0.6	22.3	C	44	1.7	22.9	C
膨胀无梗囊霉 <i>A.dilatata</i>	47	2.0	24.5	C					47	1.7	24.4	C
细凹无梗囊霉 <i>A.scrobiculata</i>	51	1.6	26.3	C	78	1.3	39.6	C				
瑞士无梗囊霉 <i>A.rehmii</i>					76	0.6	38.3	C	58	1.6	29.8	C
詹氏无梗囊霉 <i>A.gerdemannii</i>	73	1.6	37.3	C	73	1.3	37.1	C	73	1.3	37.2	C
皱壁无梗囊霉 <i>A.rugosa</i>					64	0.0	32.0	C				
浅窝无梗囊霉 <i>A.lacunosa</i>					49	1.3	25.1	C	67	1.8	34.4	C
层状球囊霉 <i>Glomus lamellosum</i>					73	1.0	37.0	C	40	2.4	21.2	C
网状球囊霉 <i>G.reticulatum</i>	100	8.5	54.2	B	100	8.7	54.3	B	100	20.9	60.5	A
地表球囊霉 <i>G.versiforme</i>	73	2.4	37.7	C								
地球囊霉 <i>G.geosporum</i>	60	4.0	32.0	C	78	1.9	40.0	B	73	4.9	39	C
黑球囊霉 <i>G.melanosporum</i>	100	27.8	63.9	A	100	25.6	62.8	A	100	9.2	54.6	B
集球囊霉 <i>G.fasciculatum</i>	62	3.2	32.6	C	78	2.2	40.1	B				
近明球囊霉 <i>G.claroidium</i>					76	2.9	39.4	C	73	4.0	38.5	C
具孢球囊霉 <i>G.pustulatum</i>									40	2.3	21.2	C
聚丛球囊霉 <i>G.gregatum</i>	76	3.6	39.8	C	78	3.2	40.6	B				
聚集球囊霉 <i>G.glomerulatum</i>	76	2.8	39.4	C					73	3.9	38.5	C
明球囊霉 <i>G.clarum</i>									47	3.6	25.3	C
摩西球囊霉 <i>G.mosseae</i>	71	3.2	37.1	C	47	3.5	25.3	C	80	11.4	45.7	B
沙荒球囊霉 <i>G.deserticola</i>	53	2.4	27.7	C	60	3.0	31.5	C				
缩球囊霉 <i>G.constritumtrappe</i>	60	3.2	31.6	C	58	3.0	30.5	C	27	0.2	13.6	C
微丛球囊霉 <i>G.microaggregatum</i>	44	1.6	22.8	C	47	2.2	24.6	C				
英弗梅球囊霉 <i>G.invermaium</i>									27	0.2	13.6	D
帚状球囊霉 <i>G.coremioides</i>					36	1.1	18.6	D				
海德巴球囊霉 <i>G.hyderabadensis</i>					38	0.7	19.4	D				
疣壁球囊霉 <i>G.verruculosum</i>									58	0.4	29.2	C
黑色盾巨孢囊霉 <i>Scaeliosporamigna</i>	100	15.4	57.7	B	62	3.0	32.5	C	100	6.7	53.4	B
异配盾巨孢囊霉 <i>S.heterogama</i>					47	1.5	24.3	C				
美丽盾巨孢囊霉 <i>S.fulgida</i>					44	1.5	22.8	C	22	0.5	11.3	C
幼囊多孢囊霉 <i>Diversispora.Etunicatum</i>					29	0.4	14.7	D				

表2 3个样地 AM 真菌孢子密度、种丰度和物种多样性指标

Table 2 Spore density, species richness and species diversity index of AM fungi isolated the three sampling sites

项目	银川	沙坡头	民勤
孢子密度	6.18 b	6.38 b	49.82 a
种的丰度	5.53 c	6.60 b	6.87a
香浓维纳指数	2.44b	2.51a	2.55a
辛普森指数	0.88b	0.87b	0.94a

0.814~0.951),第二主成分中易提取球囊霉和速效磷有较高载荷(权重在 0.933~0.971),但第一主成分信息量大,所以碱解氮、有机质和速效钾是主要影响因子。

### 3 讨论和结论

#### 3.1 讨论

AM 真菌是与植物关系最为密切的土壤微生物。本研究共分离 4 属 36 种 AM 真菌,银川和沙坡头优势种是黑球囊霉,民勤优势种是网状球囊霉。说明沙冬青根围土壤环境有利于黑球囊霉和网状球囊霉生长发育,这为筛选 AM 真菌优势菌种提供了依据。不同样地,孢子密度最大值在 0-20 cm 土层,并随土层加深而递减,这可能是表层土有机质含量高,通气状况好,有利于好气性 AM 真菌生长的缘故<sup>[11]</sup>。土壤碱解 N、速效 K 和有机 C 含量也是表层土较高,说明 AM 真菌生长发育与土壤养分密切相关。

蒙古沙冬青根围 36 种 AM 真菌,多于钱伟华等<sup>[12]</sup>在毛乌素沙地油蒿(*Artemisia sphaerocephala*)根围分离到的 28 种,贺学礼等<sup>[3]</sup>在柠条锦鸡儿

表 3 3 个样地 AM 真菌和土壤因子空间分布<sup>1)</sup>  
Table 3 The spatial distribution of AM fungi and soil factors in the three sampling sites

样地	土层/cm	脲酶/ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )	w(有机质)/ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	w(TEG)/ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	w(EEG)/ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	w(碱解氮)/ ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	w(速效磷)/ ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	w(速效钾)/ ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	种丰度	孢子密度 <sup>2)</sup>
银川 Yin Chuan	0-10	0.25Aa	35.34Ab	123.76 Ac	46.23Ac	33.60 Aa	1.30Ab	23.39 Aa	6.33Ab	7.26Ab
	10-20	0.18Aa	32.76ABb	109.10Bc	31.61Bc	23.80 Bb	1.05Cb	15.87 Bb	6.00Ab	7.09Ab
	20-30	0.07Ba	27.58Ba	91.92 Bb	25.21Cb	17.27BCb	0.95Cb	11.37Cc	4.67Bb	5.99Bb
	30-40	0.05Ba	21.55Ca	68.30 Cb	22.87Cb	10.27 Cc	0.85Cb	10.25Cc	4.00BCb	5.27 Bb
	40-50	0.02Bb	13.79Da	41.14 Cb	17.05Cb	9.37 Cb	0.55Bb	9.55 Cc	3.33Cb	5.27 Bb
沙坡头 Sha Potou	0-10	0.11Ab	33.62Ab	137.02 Ab	98.92Aa	18.67ABb	2.50Aa	24.02 Aa	8.00Aa	7.49Ab
	10-20	0.07Ba	30.17Ab	124.47ABb	86.93Ba	18.20ABc	2.25ABa	16.87BCb	8.00Aa	6.98Ab
	20-30	0.06Ba	29.31Ba	83.33A Bc	81.88Ca	17.27 Bc	1.75Ca	15.97BCb	6.67Ba	6.51Bb
	30-40	0.05Ba	26.72Ba	57.26 Cc	63.58Da	21.00 Ab	1.75Ca	14.47 Cb	5.00Ca	5.60Cb
	40-50	0.05Ba	15.52Ca	30.52 Cc	50.33Da	18.20ABa	1.75Ca	18.10 Bb	5.33Ca	5.33Cb
民勤 Min Qin	0-10	0.16Ab	41.38Aa	883.90 Aa	56.01Ab	32.67 Aa	1.30Ab	26.34 Aa	8.33Aa	69.55Aa
	10-20	0.10Ba	41.38Aa	717.31Ba	45.91Bb	27.07 Ca	1.20ABb	24.70 Ba	8.33Aa	68.76Aa
	20-30	0.08Ba	36.20Ba	713.53 Ba	6.79Cc	30.80Ba	1.10ABb	24.28 Ba	7.00Ba	56.49Ba
	30-40	0.06Ba	29.31Ca	510.34 Ca	5.88 Cc	26.13 Ca	1.00ABb	23.42BCa	5.33Ca	27.60Ca
	40-50	0.06Ba	12.07Da	361.42Ca	4.26 Cc	18.67 Da	0.90Bb	22.61Ca	5.33Ca	26.69Ca

1)大写字母表示同一样地不同土层之间的差异性;小写字母表示不同样地同一土层之间的差异性;2)孢子密度以 20 g 土壤中的数值计。

表 4 AM 真菌物种多样性与土壤因子相关性  
Table 4 Correlation analysis between AM fungal species diversity and soil factors

指标	孢子密度	脲酶	有机质	TEG	EEG	碱解氮	速效磷	速效钾
孢子密度	1	0.166	0.562*	0.971**	-0.241	0.638*	-0.208	0.610*
种的丰度	0.562*	0.446	0.775**	0.518*	0.538*	0.603*	0.590*	0.648**
香浓维纳指数	0.687**	-0.194	0.248	0.738**	0.053	0.420	0.259	0.725**
辛普森指数	0.872**	0.050	0.279	0.944**	-0.570*	0.546*	-0.436	0.663**

\*表示两者之间在  $p < 0.05$  水平上有显著相关性; \*\*表示两者之间在  $p < 0.01$  水平上有极显著相关性

表 5 主成分载荷矩阵、特征值和贡献率  
Table 5 Principle component loading matrix, eigenvalue and contribution rate

指标	第一主成分 PC1	第二主成分 PC2
总球囊霉素 TEG	0.712	-0.473
易提取球囊霉素 EEG	0.068	0.971
有机质	0.824	0.226
碱解氮	0.951	-0.107
速效磷	0.158	0.933
速效钾	0.814	-0.066
脲酶	0.720	0.129
特征值 $\lambda$	3.301	2.12
贡献率/%	47.159	30.287

(*Caragana korshinskii*)根围分离到的 20 种,而 Ferrol N 等<sup>[13]</sup>在地中海荒漠土壤仅分离到 5 种。Sykorová Z 等<sup>[14]</sup>利用分子生物学技术证实了 AM 真菌群落组成受宿主植物的影响。沙冬青根系丰富,常生长在沙质松软、土壤透气性好的沙丘,有利于 AM 真菌生长发育。

本试验中,民勤孢子密度和种丰度高于银川和沙坡头,可能与所选样地植被类型、土壤环境差异有关。在较低的植被密度和覆盖条件下,植

物根系所能提供的碳水化合物比 AM 真菌需要少得多,导致 AM 真菌孢子数量减少<sup>[15]</sup>。

球囊霉素是 AM 真菌分泌的一种含金属离子的糖蛋白,是土壤有机 C、N 的一个重要来源,其粘附力有利于土壤结构稳定<sup>[16]</sup>。本研究总球囊霉素和易提取球囊霉素均随土层加深而递减,与有机质和孢子密度变化规律相同。主成分分析结果表明,碱解氮和有机质是影响 AM 真菌生长的主要因子,而球囊霉素又是土壤有机 C、N 的重要来源,球囊霉素与土壤养分的相关性充分说明 AM 真菌与土壤环境的密切关系。本试验球囊霉素含量明显高于毛乌素沙地油蒿和沙打旺根围球囊霉素含量<sup>[16-17]</sup>,不仅说明球囊霉素含量受宿主植物、AM 真菌和样地环境等因素综合影响,也说明不同环境和宿主植物对 AM 真菌代谢活动影响程度不同。

### 3.2 结论

蒙古沙冬青 AM 真菌物种多样性具有明显空间异质性,并与土壤因子密切相关。这不仅为研究极端荒漠环境中蒙古沙冬青与 AM 真菌共生关系,筛选适合植物-菌根-土壤三者最佳组合的优势

菌种提供了依据,也为进一步阐明蒙古沙冬青适应极端荒漠环境的内在机理提供了新的途径。

#### 参考文献:

- [1] KAHILUOTO H, KETOJA E, VESTBERG M. Contribution of arbuscular mycorrhiza to soil quality in contrasting cropping systems[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2009, 134(1/2): 36-45.
- [2] SMITH S E, FACELLI E, POPE S, et al. Plant performance in stressful environments: Interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas[J]. *Plant and Soil*, 2009, 326(1/2): 3-20.
- [3] 贺学礼, 陈杰, 郭辉娟, 等. 荒漠柠条锦鸡儿 AM 真菌多样性[J]. *生态学报*, 2012, 32(10): 3041-3049.
- [4] 王庆锁, 李勇, 张灵芝. 珍稀濒危植物沙冬青研究概况[J]. *生物多样性*, 1995, 3(3): 153-156.
- [5] 尉秋实, 王继和, 李昌龙, 等. 不同生境条件下沙冬青种群分布格局与特征的初步研究[J]. *植物生态学报*, 2005, 29(4): 591-598.
- [6] 贺学礼, 刘雪伟, 李英鹏. 沙坡头地区沙冬青 AM 真菌的时空分布[J]. *生态学报*, 2010, 30(2): 0370-0376.
- [7] 盖京苹, 冯固, 李晓林. 我国北方农田土壤 AM 真菌多样性[J]. *生物多样性*, 2004, 12(4): 435-440.
- [8] IANSON D C, ALLEN M F. The effects of soil texture on extraction of vesicular arbuscular mycorrhizal spores from arid soils[J]. *Mycologia*, 1986, 78: 164-168.
- [9] HE X L, L Y P, ZHAO L L. Dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in the rhizosphere of *Artemisia ordosica* Krasch. in Mu Us sandland, China[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2010, 42(8): 1313-1319.
- [10] JANOS D P, GARAMSZEGI S, BELTRAN B. Glomalin extraction and measurement[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(3): 728-739.
- [11] SCHENCK N C, PEREZ Y. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi [M]. 2nd ed. Florida: FNVAM Gainesville, 1988: 91-97.
- [12] 钱伟华, 贺学礼. 荒漠生境油蒿根围 AM 真菌多样性[J]. *生物多样性*, 2009, 17(5): 506-511.
- [13] FERROL N, CALVENTE R, CANO C, et al. Analysing arbuscular mycorrhizal fungal diversity in shrub-associated resource islands from a desertification-threatened semiarid Mediterranean ecosystem[J]. *Applied Soil Ecology*, 2004, 25, 123-133.
- [14] SYKOROVA Z, WIEMKEN A, REDECKER D. Cooccurring *Gentiana verna* and *Gentiana acaulis* and their neighboring plants in two Swiss upper montane meadows harbor distinct arbuscular mycorrhizal fungal communities[J]. *Applied Environmental Microbiology*, 2007, 73(17): 5426-5434.
- [15] 杨静, 贺学礼, 赵丽莉. 内蒙古荒漠沙 AM 真菌物种多样性[J]. *生物多样性*, 2011, 19(3): 377-385.
- [16] 陈颖, 贺学礼, 山宝琴, 等. 荒漠油蒿根围 AM 真菌与球囊霉素的时空分布[J]. *生态学报*, 2009, 29(11): 6010-6016.
- [17] 贺学礼, 白春明, 赵丽莉. 毛乌素沙地沙打旺根围 AM 真菌的空间分布[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(12): 2711-2716.

## Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of *Ammopiptanthus mongolicus*

LIU Chunmao, HE Xueli\*, XU Haobo, ZHANG Shurong, NIU Kai

College of Life Sciences, Hebei University, Baoding 071002, China

**Abstract:** Arbuscular mycorrhizal fungi (AM) are important functional components of ecosystems. In order to elucidate the diversity and distribution of AM fungi in the rhizosphere of *Ammopiptanthus mongolicus*, soil samples in the rhizosphere of *A. mongolicus* were collected from three samples sites (Yin Chuan, Sha Potou and Min Qin) and divided into five layers on the basis of depth, from top to bottom: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm in July 2012. In this study, 36 species of AM fungi were isolated from four genera isolated in three sampling sites. Among these species, nineteen of them belonged to *Glomus*, thirteen of them to *Acaulospora*, three of them to *Scutellospora* and one of them to *Diversispora*. AM fungal species diversity was closely related to the soil environments. *G.melanosporum* was the dominant species in Yinchuan and Shapotou, *G.reticulatum* was the dominate species in Min Qin. AM fungal spore density, species richness and species diversity were the highest in Min Qin site, and the value was maximum in the 0-20 cm soil layer and decreased with soil depth. The contents of total extractable glomalin (TEG) and easily extractable glomalin (EEG) also decreased with layers deepened. The correlation analysis showed that spore density had a significant positive correlation with soil organic matter, available N, available P, and TEG. The results showed that the AM fungal species diversity has obvious spatial distribution of heterogeneity and closely related with soil environments.

**Key words:** AM fungi; species diversity; soil factors; *Ammopiptanthus mongolicus*