

旱生条件下柠条锦鸡儿 AM 真菌生态学研究

方 菲¹, 贺学礼^{1,2*}

(1. 西北农林科技大学生命科学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 河北大学生命科学学院, 河北 保定 071002)

摘 要: 通过从分布于山西、陕西和内蒙古三省区 12 个样地中的柠条锦鸡儿 (*Caragana korshinskii*) 根围采集土样和根样, 系统研究了柠条锦鸡儿 AM 真菌种类组成和生态分布。试验结果表明, 在已分离鉴定出的 12 种 AM 真菌中, 球囊霉属 (*Glomus*) 6 种, 无梗囊霉属 (*Acaulospora*) 3 种, 巨孢囊霉属 (*Gigaspora*) 1 种, 盾巨孢囊霉属 (*Scutellospora*) 2 种, 而摩西球囊霉 (*Glomus mosseae*) 和缩球囊霉 (*Glomus constrictum*) 是优势菌种。AM 真菌能与柠条锦鸡儿形成良好的共生结构, AM 真菌平均总定殖率 59.98%, 平均孢子密度为 830.59 个/100 g 土。不同采样地之间的 AM 真菌种类和分布差异显著。孢子密度与菌丝和总定殖率呈显著正相关; 孢子密度与土壤速效 N 呈极显著正相关, 丛枝定殖率与土壤有机质呈显著正相关, 总定殖率和菌丝定殖率与土壤 pH 呈极显著正相关。

关键词: 柠条锦鸡儿; AM 真菌; 生态分布; 干旱地区

中图分类号: Q949.32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)02-0201-05

我国西北大部分是干旱和半干旱地区, 水源不足是植物生长的限制因子。研究提高植物抗旱性的途径不但有利于从干旱瘠薄的土地上获得生态环境效益, 而且有利于提高经济产出。丛枝菌根 (*Arbuscular mycorrhiza*, AM) 真菌是一类能与大多数高等植物根系形成共生结构的有益微生物, 具有扩大宿主植物根系吸收范围, 改善植物对土壤中低含量或是移动性差的矿质元素的吸收作用, 能够改善植物的水分状况, 提高植物抗旱能力, 对于宿主植物抗逆性、抗病性的增强也有显著作用。AM 真菌在植物根际形成的庞大菌丝网络结构能够稳定土壤结构, 维持土壤生态环境良性循环。大量研究表明^[1~3], 不同 AM 真菌与宿主植物的亲和性不同, 人类活动对菌根效应影响很大, 人为引入 AM 菌剂可以加速被破坏生态环境中植被的恢复。因此, 根据目标植物和土壤环境筛选适应当地条件的高效 AM 真菌菌种, 是菌根应用的前提。本试验在西北干旱地区选取多个样地, 系统研究了豆科植物柠条锦鸡儿 AM 真菌多样性及其空间分布异质性, 以便充分利用 AM 真菌资源促进旱区植物生长和植被恢复提供材料和依据。

1 材料和方法

1.1 材 料

柠条锦鸡儿 (*Caragana korshinskii*) 系旱生灌木, 天然分布于甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、新疆

等省区。柠条根系发达, 分蘖力强, 生长旺盛, 抗旱耐寒, 是旱区营造薪炭林、饲料林、防护林的理想树种。

采样地共设 17 个, 采样地信息见表 1。

2005 年 7 月在每个样地分别随机选取柠条 4 株, 采集根际土壤, 记录采样时间、地点、海拔等信息后装塑封袋封装。将土样带回实验室后过 2 mm 筛, 用于土壤理化性质和孢子密度测定, 收集的根样用于 AM 真菌定殖率检测。

1.2 方 法

AM 真菌定殖率按 Phillips 和 Hayman 方法测定。从每份土样中取 25 g 风干土壤, 用湿筛倾析—蔗糖离心法筛取分离 AM 真菌孢子。体视显微镜下于培养皿中分格计数, 记录孢子数量, 统计孢子总数, 以每 100 g 干土中的含孢量计为孢子密度。

土壤有机质用重铬酸钾氧化法, 土壤 pH 用电位法, 土壤有效 N 用碱解扩散法, 土壤有效 P 用碳酸氢钠—钼锑抗比色法^[4]。

AM 真菌种类鉴定根据 Scheck^[5] 的《VA 菌根鉴定手册》和国际丛枝菌根真菌保藏中心 (INVAM) 在 Internet 上 <http://invam.caf.wvu.edu> 提供的种类描述及图片进行种属鉴定。

AM 真菌在各样地分布的普遍性以种群频度 F (某种 AM 真菌在总土样中出现的频率) 表示, 即: $F = (\text{某种出现的次数} / \text{总的土样数}) \times 100\%$, 以 $F > 50\%$ 为优势种, $50\% > F > 30\%$ 为常见种, $30\% > F$

收稿日期: 2006-09-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40471637)

作者简介: 方菲 (1981—), 女, 贵州安顺市人, 硕士研究生, 主要从事生物多样性方向的研究。

* 通讯作者: 贺学礼, E-mail: xuelh1256@yahoo.com.cn.

$>10\%$ 为少见种, $10\% > F$ 为偶见种^[6]。

采用 SPSS13.0 统计分析软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 AM 真菌种类

本试验共分离鉴定出 AM 真菌 4 属 12 种(表 1), 其中球囊霉属 6 种, 即近明球囊霉 (*Glomus claroideum* Schenck & Smith)、缩球囊霉 (*G. constrictum* Trappe)、幼套球囊霉 (*G. etunicatum* Becker & Gerdemann)、地球囊霉 (*G. geosporum* Gerd &

Trappe)、摩西球囊霉 [*G. mosseae* (Nicol & Gerd) Gerd & Trappe]和膨果球囊霉 (*G. pansihalos* Berch & Koske);无梗囊霉属 3 种, 即皱壁无梗囊霉 (*Acaulospora rugosa* Morton)、瑞氏无梗囊霉 (*A. rehmi* Sieverding & Toro)和浅窝无梗囊霉 (*A. lacunosa* Morton);巨孢囊霉属 1 种, 即易误巨孢囊霉 (*Gigaspora decipiens* Hall & Abbott);盾巨孢囊霉属 2 种, 即美丽盾巨孢囊霉 [*Scutellospora calospora* (Nicol & Gerd) Walker & Sanders]和红色盾巨孢囊霉 [*S. erythropha* (Koske & Walker) Walker & Sanders]。

表 1 采样地信息

Table 1 The information of sampling sites

采样地点 Sampling sites	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Elevation (m)
1. 山西省中阳县 I Zhongyang, Shanxi I	37°14'23"N	111°21'50"E	1437
2. 山西省中阳县 II Zhongyang, Shanxi II	37°19'70"N	111°13'01"E	886
3. 山西省广陵县 Guangling, Shanxi	39°46'89"N	114°01'30"E	1324
4. 陕西省靖边县小河乡 Xiaohe, Jinbian, shaanxi	37°22'74"N	108°59'85"E	1408
5. 陕西省靖边县梁家会 Liangjiahui, Jinbian, Shaanxi	37°29'73"N	111°04'52"E	891
6. 陕西省靖边县宁条梁 Ningtiaoliang, Jinbian, Shaanxi	37°31'09"N	108°1'98"E	1565
7. 陕西省吴堡县 Wubao, Shaanxi	37°30'66"N	110°37'05"E	844
8. 陕西省定边县 Dingbian, Shaanxi	39°56'18"N	111°13'04"E	1236
9. 陕西省横山县 Hengshan, Shaanxi	38°02'24"N	109°15'10"E	1096
10. 陕西省绥德县 Suide, Shaanxi	37°31'13"N	110°22'07"E	935
11. 陕西省神木县大柳塔 Daliuta, Shenmu, Shaanxi	39°18'95"N	110°16'59"E	1235
12. 陕西省榆林市郊 Yulin, Shaanxi	38°20'02"N	109°42'77"E	1108
13. 内蒙古伊金霍洛旗中科院研究站 Research station of CAS in Yijinhuoluo	39°29'57"N	110°11'39"E	1281
14. 内蒙古东胜姑子梁 Guziliang, dongsheng, Inner Mongolia	39°34'91"N	109°43'37"E	1211
15. 内蒙古东胜 Dongsheng, Inner Mongolia	39°35'04"N	109°46'45"E	1231
17. 内蒙古丰镇 Fengzhen, Inner Mongolia	40°21'20"N	113°14'63"E	1208
18. 内蒙古集宁 Ji'ning, Inner Mongolia	40°38'30"N	113°11'61"E	1348

2.2 AM 真菌定殖空间差异性分析

17 个样地中柠条均有 AM 真菌定殖(表 2, 表 3), 总定殖率为 42.08%~78.25%; 菌丝定殖率为 58.94%, 孢囊定殖率为 18.27%, 丛枝定殖率最低仅为 1.05%; 孢子密度平均达到 758 个/100 g 土。

从 AM 真菌对各地柠条的定殖情况看, 孢囊最大定殖率为 31.75%, 出现在内蒙古集宁样地, 最小 5%定殖率出现在内蒙古东胜样地; 丛枝定殖率在各地差异不大, 最大值为 3.75%, 发生在陕西靖边县宁条梁和吴堡县, 在部分地区未观察到丛枝结构; 菌丝定殖率最大值为陕西神木县大柳塔的 74.5%, 最小值为 40.58% 出现在山西广陵县; 陕西靖边县小河乡孢子密度最大, 为 1 750 个/100 g 土, 最小为山

西中阳县 II (886 m) 的 160 个/100 g 土。

相关性分析结果表明, 孢子密度与菌丝和总定殖率呈显著正相关; 孢子密度与土壤速效 N 呈极显著正相关, 丛枝定殖率与土壤有机质呈显著正相关, 总定殖率和菌丝定殖率与土壤 pH 呈极显著正相关。

3 讨论与结论

从我国西北旱区 17 个样地柠条锦鸡儿根围共分离 AM 真菌 4 属 12 种, 其中 *Glomus* 属所占比例最大, 约为 50%, *Acaulospora* 属次之, 约占 25%, 其他属所占比例较少。 *G. constrictum* 和 *G. mosseae* 广泛分布在各采样地且丰度较大, 为旱生条件下柠

表 2 柠条锦鸡儿根际 AM 真菌生态分布及种群频度

Table 2 The ecological distribution and specie frequency of AM fungi in the rhizosphere of *Caragana Korshinskii*

AM 真菌种类 Fungi species	山西省 Shanxi				陕西省 Shaanxi							内蒙古自治区 Nei meng gu						F 频 度 (%)
	1* 中阳县 I	2 中阳县 II	3 广陵 县	4 靖边县小 河乡	5 靖边县梁 家会	6 靖边县宁 条梁	7 吴堡 县	8 定边 县	9 横山 县	10 绥德 县	11 神木县大 柳塔	12 榆林市郊	13 中科院研 究站	14 东胜姑子 梁	15 东胜 镇	16 丰镇 镇	17 集宁 市	
皱壁无梗囊霉 (<i>A. rugosa</i>)	+++	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	+	35.2
瑞氏无梗囊霉 (<i>A. rehmi</i>)	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	+	41.1
浅窝无梗囊霉 (<i>A. lacunosa</i>)	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	17.6
近明球囊霉 (<i>G. claroidium</i>)	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	17.6
缩球囊霉 (<i>G. constrictum</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100
幼套球囊霉 (<i>G. etunicatum</i>)	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	29.4
摩西球囊霉 (<i>G. mosseae</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100
膨果球囊霉 (<i>G. fasciculatum</i>)	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	35.2
地球囊霉 (<i>G. geosporum</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100
易误巨孢囊霉 (<i>Gi. decipiens</i>)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	5.9
红色盾巨孢囊霉 (<i>S. calospora</i>)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	5.9
美丽盾巨孢囊霉 (<i>S. calospora</i>)	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	5.9

注: * 1.Zhongyang, Shanxi I; 2.Zhongyang, Shanxi II; 3. Guangling county; 4. Xiaoheshan, jingbian; 5. Liangjiashui, jingbian; 6. Ningtiaoliang, jingbian; 7. Wubao county; 8. Dingbian county; 9. Hengshan county; 10. Suide county; 11. Daluota, shenmu; 12. Yulin city; 13. Research station of CAS; 14. Guziliang, dongsheng; 15. Dongsheng; 16. Fengzhen; 17. Jining; 18. Frequency. The same below.

** +表示有 AM 真菌分布, -表示无真菌分布。“+”means having AM fungi distribution, “-” means not having AM fungi distribution.

表 3 不同样地柠条根际 AM 真菌定殖和土壤因子

Table 3 AM fungal colonization and soil factors of *Caragana Korshinskii* in the different sampling sites

样地 Sites	泡囊 Vesicule (%)	丛枝 Arbuscule (%)	菌丝 Hypha (%)	总值 Total (%)	孢子密度 Spore density (spore/100g)	pH	有机质 Organic matter (%)	速效 N Available N (μg/g)	速效 P Available P (μg/g)	速效 K Available K (μg/g)
1 中阳县 I	26.50 ^a	2.50 ^a	73.50 ^a	73.50 ^a	568 ^{ab}	7.723 ^a	0.328 ^a	24.50 ^a	6.195 ^{ab}	136.576 ^{ab}
2 中阳县 II	11.75 ^{ab}	0.50 ^a	44.00 ^{ab}	46.00 ^{ab}	160 ^{ab}	7.595 ^a	0.149 ^{ab}	17.50 ^{ab}	3.601 ^{ab}	111.785 ^{ab}
3 广陵县	13.83 ^{ab}	0.00 ^a	40.58 ^{ab}	42.42 ^{ab}	1039 ^a	7.648 ^a	0.175 ^{ab}	31.50 ^a	2.292 ^{abc}	65.125 ^{abc}
4 靖边小河乡	10.00 ^{ab}	0.63 ^a	62.5 ^a	62.50 ^a	1750 ^a	7.735 ^a	0.125 ^{abc}	17.50 ^{ab}	2.054 ^{abc}	66.743 ^{abc}
5 靖边梁家会	18.75 ^a	0.00 ^a	45.00 ^{ab}	50.00 ^{ab}	299 ^{ab}	7.418 ^a	0.473 ^a	21.00 ^{ab}	13.550 ^a	194.666 ^a
6 靖边宁条梁	13.96 ^{ab}	3.75 ^a	47.5 ^{ab}	48.75 ^{ab}	245 ^{ab}	7.675 ^a	0.254 ^{ab}	14.00 ^{ab}	3.387 ^{ab}	42.317 ^{abc}
7 吴堡县	26.88 ^a	3.75 ^a	40.83 ^{ab}	42.08 ^{ab}	785 ^{ab}	7.568 ^a	0.092 ^{abc}	22.75 ^a	4.077 ^{ab}	106.174 ^{ab}
8 定边县	23.96 ^a	0.00 ^a	56.46 ^a	56.46 ^{ab}	359 ^{ab}	7.830 ^a	0.130 ^{ab}	21.00 ^{ab}	3.339 ^{ab}	86.498 ^{ab}
9 横山县	27.00 ^a	0.00 ^a	66.50 ^a	71.00 ^a	1005 ^a	7.630 ^a	0.278 ^{ab}	29.75 ^a	4.053 ^{ab}	90.725 ^{ab}
10 绥德县	6.25 ^{ab}	0.00 ^a	71.25 ^a	71.25 ^a	1028 ^a	7.620 ^a	0.192 ^{ab}	31.50 ^a	10.563 ^a	173.37 ^a
11 神木大柳塔	16.00 ^a	0.00 ^a	74.5 ^a	74.50 ^a	482 ^{ab}	7.580 ^a	0.168 ^{ab}	17.50 ^{ab}	2.494 ^{abc}	29.478 ^{abc}
12 榆林市郊	13.00 ^{ab}	0.50 ^a	68.00 ^a	68.50 ^a	1495 ^a	7.538 ^a	0.128 ^{abc}	26.25 ^a	4.934 ^{ab}	33.810 ^{abc}
13 中科院研究站	17.75 ^a	0.00 ^a	72.75 ^a	73.75 ^a	782 ^{ab}	7.173 ^a	0.073 ^{abc}	15.75 ^{ab}	2.744 ^{abc}	49.703 ^{abc}
14 东胜姑子梁	23.33 ^a	0.00 ^a	47.50 ^{ab}	44.17 ^{ab}	240 ^{ab}	7.660 ^a	0.059 ^{abc}	10.50 ^{ab}	1.246 ^{abc}	67.972 ^{abc}
15 东胜市郊	5.00 ^{ab}	0.00 ^a	56.79 ^a	56.79 ^{ab}	1429 ^a	7.318 ^a	0.087 ^{abc}	29.75 ^a	3.946 ^{ab}	175.172 ^a
16 内蒙丰镇	24.88 ^a	2.75 ^a	55.13 ^a	59.75 ^a	929 ^a	7.328 ^a	0.259 ^{ab}	33.25 ^a	2.435 ^{abc}	44.796 ^{abc}
17 内蒙集宁	31.75 ^a	3.50 ^a	71.50 ^a	78.25 ^a	1525 ^a	7.468 ^a	0.213 ^{ab}	31.50 ^a	3.815 ^{ab}	129.63 ^{abc}
18 平均值	18.27	1.05	58.49	59.98	830.59	7.448	0.187	23.26	4.396	94.39
19 标准差	13.317	3.337	17.645	17.795	758.026	0.936	0.138	9.633	3.598	60.354

注: 1) 表中数据为 AM 真菌定殖和土壤因子各项指标的平均值。

2) 同一列数据中字母不同者表示在 P<0.05 水平上差异显著。

Note: 1) Mean inside number is means of arbuscular mycorrhizal fungal status and soil factors.

2) Data with different letters in the same column indicate statistically significant differences at P<0.05.

表 4 柠条根际 AM 真菌定殖与土壤因子之间的相关性

Table 4 Correlation analysis between AM fungal colonization and soil factors of *Caragana Korshinskii*

真菌定殖指标 Indexes of AM fungal colonization	孢子密度 Spore density	pH	有机质 Organic matter	速效 N Available N	速效 P Available P	速效 K Available K
孢子密度 Spore density	1.000	0.097	-0.164	0.493 **	0.012	0.079
泡囊 Vesicule	0.022	0.173	-0.027	0.014	-0.086	-0.165
丛枝 Arbuscule	0.028	0.027	0.261 *	-0.002	-0.086	-0.14
菌丝 Hypha	0.285 *	0.382 **	-0.005	0.092	0.017	-0.009
总定殖率 Total	0.304 *	0.397 **	0.044	0.145	0.042	-0.02

注: 1). 表中数值为 AM 真菌定殖与土壤因子的相关性系数 R 。

2). * 表示两者之间在 $P < 0.05$ 水平有显著相关性; ** 表示两者之间在 $P < 0.01$ 水平有极显著相关性。

Note: 1). The number is correlation coefficient R between soil factors and arbuscular mycorrhizal fungal status.

2). * correlation is significant at $P < 0.05$; ** correlation is very significant at $P < 0.01$.

条锦鸡儿共生的优势菌种; *G. geosporum* 在各地均有分布但丰度小。 *A. rugosa*、*A. rehmi*、*G. pansihalos* 为常见种, *A. lacunosa*、*G. claroideum*、*G. etunicatum* 为少见种, *Gigaspora decipiens*、*Scutellospora calospora*、*S. erythropora* 等只出现在个别样地且为数稀少为偶见种。

试验结果表明, 17 个样地柠条锦鸡儿 AM 真菌总定殖率为 42.1%~78.3%, 孢子密度平均达到 758 个/100 g。说明柠条锦鸡儿能与 AM 真菌形成良好的共生关系, 而丛枝菌根的形成也可能是柠条锦鸡儿适应贫瘠干旱环境的有效对策之一。

张美庆^[6,7]等人研究表明, AM 真菌种类组成的地域性差异与 AM 真菌对环境因子的适应性有关。 *Glomus* 属种类对不同生境有广谱适应性, 因此分布广泛。土壤 pH 值是土壤化学性质中一项稳定可靠的特性, 17 个样地 pH 值均为中性偏碱, 范围在 7~8 之间, 这一范围适宜 *Glomus* 属真菌生活^[8], 而对 pH 的适应能力不同可能是造成其他种属 AM 真菌分布较少的原因之一。

本试验结果表明, AM 真菌定殖率随环境因子不同而有差异, 并且菌根不同结构的定殖率也有所不同, 变化趋势为菌丝 > 泡囊 > 丛枝, 这一结果可能与 AM 真菌发育过程和侵染宿主的定殖特性有密切关系^[9]。

土壤有机质与 AM 真菌的发育有关, 它可能是通过作为保存菌丝的机制而在保存 AM 真菌侵染力方面起作用。同时, AM 真菌在土壤中具有一定的腐生能力, 而有机质在这一过程中可能起着重要作用^[2]。Joner 等人^[10]研究发现, 一定范围内土壤有机质含量的提高对 AM 真菌菌丝生长和菌根发育具有不同程度的促进作用。贺学礼^[11]对丛枝霸王根际 AM 真菌生态学研究结果表明, 土壤有机质含量与丛枝定殖率呈正相关。本试验中, 土壤

有机质与丛枝定殖率呈显著正相关, 这与前人的研究结果一致。而土壤速效 N 与孢子密度呈显著正相关可能是氮素含量高对孢子萌发有抑制作用的缘故^[12]。

植物根引起的根际动态变化, 从多方面影响着植物营养状况乃至植物生长和发育, 根际 pH 值是最敏感的因子之一。AM 真菌可通过扩大植物根的表面积, 从而改变植物根际土壤 pH 值已被证实^[13]。有的研究表明, 土壤 pH 与 AM 真菌总定殖率和菌丝定殖率呈显著负相关^[14], 而有的研究则表明土壤 pH 与菌根定殖率呈正相关^[15], 本试验结果表明, 土壤 pH 与 AM 真菌总定殖率和菌丝定殖率呈极显著正相关。这可能是由于土壤 pH 直接影响着 AM 真菌的种属分布、产孢以及菌根的形成, AM 真菌的有效性因 pH 不同而异的缘故^[16]。

相关性分析表明, 孢子密度与菌丝和总定殖率呈显著正相关。这个结果与 AM 真菌的发育阶段密切相关。孢子作为 AM 真菌的主要繁殖体, 能在土壤中存活较长时间, 而孢子萌发首先形成根外菌丝, 根外菌丝侵染宿主植物根组织, 并在根皮层组织形成根内菌丝、丛枝和泡囊结构, 这些定殖结构能够继续起到繁殖体的作用, 再侵染其他植物根系^[17~18]。因此, 通过检测 AM 真菌孢子密度和定殖结构, 不仅可评估干旱生态系统中植物的发育进程和同一种植物在不同环境中与 AM 真菌形成菌根的能力, 而且可检测干旱地区植物根际土壤环境状况的变化规律。

参考文献:

- [1] 弓明钦, 陈应龙, 仲崇禄. 菌根研究及应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1997.
- [2] 刘润进, 李晓林. 丛枝菌根及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

- [3] 李晓林, 冯 固. 丛枝菌根生态生理[M]. 北京: 华文出版社, 2001.
- [4] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学简易分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [5] Schenck NC, Perez Y. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi (2nd edition) [M]. Florida: FNVAM Gainesville, 1988. 91—97.
- [6] 张美庆, 王幼珊, 邢礼军. 环境因子和 AM 真菌分布的关系[J]. 菌物系统, 1999, 18(1): 25—29.
- [7] 王发园, 刘润进. 环境因子对 AM 真菌多样性的影响[J]. 生物多样性, 2001, 9(3): 301—305.
- [8] 张美庆, 王幼珊, 张 驰, 等. 我国北方 VA 菌根真菌某些属和种的分布[J]. 真菌学报, 1994, 13(3): 166—172.
- [9] Smith M D, Hartnett D C, Wilson G W T. Interacting influence of mycorrhizal symbiosis and competition on plant diversity in tall grass prairie[J]. Oecologia, 1999, 121: 574—582.
- [10] Joner E J, Jakobsen I. Contribution and extracellular phosphate activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influence by organic matter[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1995, 27(9): 1153—1159.
- [11] 贺学礼. 丛枝霸王 (*Zygothellium dumosum*) 根际 AM 真菌生态学研究[J]. 西北植物学报, 2001, 21(6): 1070—1077.
- [12] 王红新, 李富平, 国巧真, 等. AM 真菌生长发育影响因素及其对植物作用的研究[J]. 土壤肥料, 2006, (1): 52—56.
- [13] Smith S E and Smith F A. Structure and function of the interfaces in biotrophic symbioses as they relate to nutrient transport [J]. New Phytol, 1990, 114: 1—38.
- [14] 王 庆, 贺学礼, 陈铁山. 关中西部葛藤 (*Pueraria*) 根区 AM 真菌分布和定殖[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 211—214.
- [15] 蔡晓布, 钱 成, 彭岳林, 等. 环境因子对西藏高原草地植物丛枝菌根真菌的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 859—864.
- [16] 王发园, 刘润进. 环境因子对 AM 真菌多样性的影响[J]. 生物多样性, 2001, 9(3): 301—305.
- [17] Brundrett M. Mycorrhizas in natural ecosystems[J]. Advances in Ecological Research, 1991, 21: 171—313.
- [18] Smith S E. Discoveries, discussions and directions in mycorrhizal research [A]. Verma A, B Hoek. Mycorrhiza [C]. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 3—24.

Ecological research on *Arbuscular mycorrhizal* fungi from the rhizosphere of *Caragana korshinskii* in Northwest arid region

FANG Fei¹, HE Xue-li^{1,2*}

(1. College of Life Sciences, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi, 712100;

2. College of Life Sciences, Hebei University, Baoding Hebei, 071002)

Abstract: In this investigation we separated 12 AMF species of 4 genera, among which 6 species belong to *Glomus*, 3 species belong to *Acaulospora*, 1 species belongs to *Gigaspora*, and 2 species belong to *Scutellospora*. *G. constrictum* and *G. mosseae* are dominate species. The total colonization is up to 59.98% and the average spore density is 830.59/100 g soil. The species and ecological distribution of AM fungi in different sites are notably different. The spore density has a positive correlation with hypha and total colonization rate; moreover it is significantly correlated with soil available N content. Arbuscule and soil organic matter are positively correlated. Total and hypha colonization are positively correlated with soil pH.

Keywords: *Caragana korshinskii*; *Arbuscular mycorrhizal* fungi; ecological distribution; arid region