

# 毛乌素沙地豆科植物丛枝菌根真菌分布研究\*

贺学礼<sup>1,2</sup> 赵丽莉<sup>1</sup> 杨宏宇<sup>2</sup>

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

**摘要** 从毛乌素沙地柠条锦鸡儿(*Caragana Korshinskii*)、沙打旺(*Astragalus adsurgens*)和塔落岩黄耆(*Hedysarum fruticosum*)等植物根际0—10, 10—20, 20—30, 30—40和40—50 cm 5个土层分别采集了土壤样品。研究了3种豆科植物根际丛枝菌根真菌的种类和分布。结果表明, 丛枝菌根真菌种类和分布与宿主植物密切相关。在分离的2属11种丛枝菌根真菌中, 近明球囊霉(*Glomus claroideum*)仅分布在沙打旺根际, 透光球囊霉(*G. diaphanum*)仅出现在塔落岩黄耆根际, 而皱壁无梗囊霉(*Acaulospora rugosa*)仅出现在柠条锦鸡儿根际。在沙打旺根际, 丛枝菌根真菌定殖率和孢子密度高, 而在柠条锦鸡儿和塔落岩黄耆根际, 丛枝菌根真菌定殖率和孢子密度低。土壤采样深度对孢子密度和定殖率有显著影响, 最高定殖率和最大孢子密度均出现在10—20 cm土层。孢子密度与泡囊、菌丝和总定殖率呈正相关。在评估荒漠生态系统和豆科不同植物形成菌根的能力时, 丛枝菌根真菌种类、孢子密度、菌根定殖程度是十分有用的指标。

**关键词** 丛枝菌根真菌 空间分布 豆科植物 毛乌素沙地

大量研究表明, 丛枝菌根(*Arbuscular mycorrhiza*, 简称AM)真菌不仅能够促进土壤营养物质循环和利用, 稳定和改良土壤结构, 而且能够调节植物种间关系, 影响群落的演替和结构以及维持物种多样性<sup>[1-4]</sup>。宿主植物通过调节根系碳水化合物分配、产生次生代谢物质或改变根际土壤微环境等途径影响着AM真菌的分布和活动<sup>[5]</sup>。因此, 研究AM真菌资源和生态分布不仅有助于人们充分认识丛枝菌根共生体的生态学意义, 而且获得的资料对于筛选优良耐旱菌种, 通过人工接种促进荒漠植物生长有重要价值。

柠条锦鸡儿(*Caragana Korshinskii*)、沙打旺(*Astragalus adsurgens*)和塔落岩黄耆(*Hedysarum fruticosum*)隶属豆科植物, 在毛乌素沙地广泛分布。多年造林实践证明, 这3种豆科植物根系发达, 具有广泛的适应性和很强的抗逆性, 是营造水土保持林、防风固沙林、薪炭林和饲料林的优良植

物, 在荒漠地区植被建立和生态恢复方面发挥着不可替代的作用。

## 1 材料和方法

实验场地选在毛乌素沙漠南缘, 位于陕西榆林北部沙区(107°28'—111°15'E, 36°15'—39°43'N)。土壤主要为风沙土, 以固定和半固定沙丘为主。海拔1000—1050 m, 年均气温8.0℃, 年均降雨量425 mm, 且约60%集中在7—9月, 年均蒸发量2000 mm。供试植物选取毛乌素沙地广泛分布的旱生豆科植物柠条锦鸡儿、沙打旺和塔落岩黄耆。

2004年8月从所选样地每种植物分别随机选取10株高约1.5 m的植株, 距植株0—30 cm处挖土壤剖面, 按0—10, 10—20, 20—30, 30—40和40—50 cm共5个土层分别采集土样和根样, 在植物群落间的空地采集对照样品。每个土样重复10次。将土样装入塑料袋密封带回实验室, 过2 mm筛,

2005-09-08 收稿, 2005-12-23 收修改稿

\* 国家自然科学基金(批准号: 40471637)和教育部留学回国人员科研启动基金(141101)资助项目

E-mail: xuelh1256@yahoo.com.cn

用于 AM 真菌孢子观测；收集的根样切成 1 cm 根段，用于 AM 真菌定殖率测定。

AM 真菌定殖率按 Phillips 和 Hayman<sup>[6]</sup> 方法测定。从每份土样中称取 25 g 风干土，用湿筛倾析-蔗糖离心法分离 AM 真菌孢子<sup>[7]</sup>，在体视显微镜下记录孢子数量，将每克风干土中的含孢子量计为孢子密度。AM 真菌种类鉴定根据 Scheck<sup>[8]</sup> 的“VA 菌根鉴定手册”和国际 AM 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。

采用 SPSS12.0 生物统计分析软件对实验数据进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 AM 真菌种类

本实验共分离出 2 属 11 种 AM 真菌，具体情况见表 1。

表 1 11 种 AM 真菌的生态分布

AM 真菌	<i>Caragana Korshinskii</i>	<i>Astragalus adsurgens</i>	<i>Hedysarum fruticosum</i>
瑞氏无梗囊霉 <i>Acaulospora rehmsii</i>		+	+
皱壁无梗囊霉 <i>A. rugosa</i>	+		
近明球囊霉 <i>Glomus claroideum</i>		+	
缩球囊霉 <i>G. constrictum</i>	+	+	+
卷曲球囊霉 <i>G. convolutum</i>	+	+	+
透光球囊霉 <i>G. diaphanum</i>			+
幼套球囊霉 <i>G. etunicatum</i>	+	+	+
地球囊霉 <i>G. geosporum</i>	+	+	+
根内球囊霉 <i>G. intraradices</i>	+	+	+
摩西球囊霉 <i>G. mosseae</i>	+	+	+
膨果球囊霉 <i>G. pansihalos</i>	+	+	+

+ 表示有 AM 真菌分布

### 2.2 AM 真菌分布

实验结果发现，3 种豆科植物 AM 真菌定殖率和孢子密度均在 10—20 cm 土层达到最大值，然后随土壤深度增加而降低；而对照 AM 真菌定殖率和孢子密度在 0—10 cm 土层有最大值，且随土壤深度增加一直下降。AM 真菌定殖率和孢子密度在沙打旺根际最高，塔落岩黄耆和柠条锦鸡儿次之，对照最低(图 1, 表 2, 3)。

表 2 不同土层中同一样本 AM 真菌孢子密度和定殖率的方差分析

宿主	土层 /cm	孢囊 /%	丛枝 /%	菌丝 /%	总定殖率 /%	孢子密度 (个/g)
NT	0—10	43.3a	12.2a	52.2ab	57.8ab	2.169ab
	10—20	45.6a	12.2a	57.8a	63.3a	2.404a
	20—30	36.1ab	8.3ab	42.8bc	48.3bc	2.058bc
	30—40	32.2bc	6.7b	41.1c	45.0cd	1.760cd
	40—50	25.6c	6.1b	32.8c	36.1d	1.591d
SD	0—10	61.1ab	17.8ab	65.6ab	76.7ab	2.458b
	10—20	73.9a	22.2a	77.2a	87.8a	2.871a
	20—30	58.3b	16.7ab	65.6ab	72.8b	2.462a
	30—40	57.8b	15.6b	63.3b	71.7bc	2.196bc
	40—50	47.8b	12.2b	47.8c	60.0c	1.973c
TL	0—10	53.3ab	15.0a	63.3a	70.0ab	2.231ab
	10—20	61.1a	16.1a	65.6a	73.9a	2.529a
	20—30	47.8ab	15.0a	55.1ab	58.3abc	2.227ab
	30—40	45.6ab	12.2ab	47.8ab	52.8bc	2.022bc
	40—50	41.1b	8.3b	41.7b	47.8c	1.716c
DZ	0—10	35.6a	10.6a	48.3a	53.3a	1.502b
	10—20	36.7a	8.9ab	46.1ab	49.4a	1.658a
	20—30	36.1a	9.4ab	40.6abc	47.2ab	1.427bc
	30—40	26.7ab	8.3ab	32.2bc	35.6bc	1.320cd
	40—50	23.3b	5.3b	26.7c	29.4c	1.227d

NT, 柠条锦鸡儿; SD, 沙打旺; TL, 塔落岩黄耆; DZ, 对照。表中数据为 AM 真菌各项指标的平均值; 同一列数据中字母不同者表示在  $p < 0.05$  水平上差异显著

表 3 同一土层中不同样本 AM 真菌孢子密度和定殖率的方差分析

土层 /cm	宿主	孢囊 /%	丛枝 /%	菌丝 /%	总定殖率 /%	孢子密度 (个/g)
0—10	NT	43.3bc	12.2ab	52.2a	57.8b	2.169a
	SD	61.1a	17.8a	65.6a	76.7a	2.458a
	TL	53.3ab	15.0ab	63.3a	70.0ab	2.231a
	DZ	35.6c	10.6b	48.3a	53.3b	1.502b
10—20	NT	45.6b	12.2bc	57.8bc	63.3bc	2.404b
	SD	73.9a	22.2a	77.2a	87.8a	2.871a
	TL	61.1a	16.1b	65.6ab	73.9ab	2.529b
	DZ	36.7b	8.9c	46.1c	49.4c	1.658c
20—30	NT	36.1b	8.3b	42.8bc	48.3b	2.058b
	SD	58.3a	16.7a	65.6a	72.8a	2.462a
	TL	47.8ab	15.0a	55.0ab	58.3ab	2.227ab
	DZ	36.1b	9.4b	40.6c	47.2b	1.427c
30—40	NT	32.2bc	6.7c	41.1bc	45.0bc	1.760b
	SD	57.8a	15.6a	63.3a	71.7a	2.196a
	TL	45.6ab	12.2ab	47.8b	52.8b	2.022ab
	DZ	26.7c	8.4bc	32.2c	35.6c	1.320c
40—50	NT	25.6b	6.1b	32.8bc	36.1bc	1.591b
	SD	47.8a	12.2a	47.8a	60.0a	1.973a
	TL	41.1a	8.3b	41.7ab	47.8ab	1.716ab
	DZ	23.3b	5.6b	26.7c	29.4c	1.227c

表注同表 2

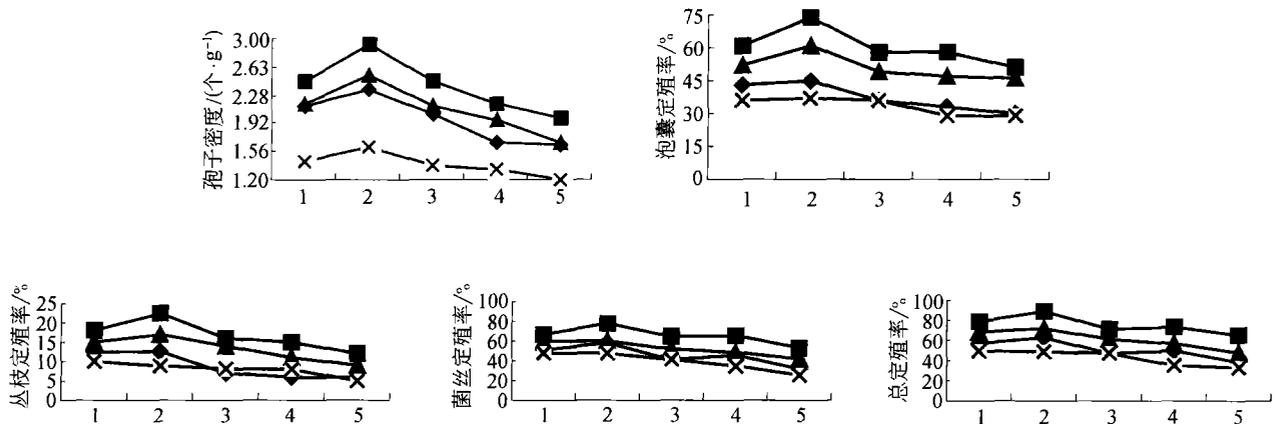


图1 AM真菌孢子密度和定殖率

—◆— *Caragana Korshinskii*, —■— *Astragalus adsurgens*, —▲— *Hedysarum fruticosum*, —×— Contrast.

横坐标 1—5 分别表示 0—10, 10—20, 20—30, 30—40 和 40—50 cm 土层

泡囊定殖率在 3 种植物根际 10—20 cm 土层显著高于 40—50 cm 土层, 柠条锦鸡儿根际 0—10 和 30—50 cm 土层、10—20 和 30—40 cm 土层有显著差异; 沙打旺根际 10—20 cm 土层显著高于 20—40 cm 土层, 而对照 0—30 cm 土层显著高于 40—50 cm 土层. 在 0—50 cm 土层沙打旺显著高于柠条锦鸡儿和对照, 在 10—20 和 40—50 cm 土层塔落岩黄耆显著高于柠条锦鸡儿, 在 0—20 和 30—50 cm 土层塔落岩黄耆显著高于对照.

丛枝定殖率在柠条锦鸡儿和沙打旺根际 10—20 cm 土层显著高于 30—50 cm 土层, 柠条锦鸡儿根际 0—10 cm 土层亦显著高于 30—50 cm 土层, 塔落岩黄耆根际 0—30 cm 土层显著高于 40—50 cm 土层, 对照 0—10 cm 土层显著高于 40—50 cm 土层. 在 10—20 和 40—50 cm 土层沙打旺显著高于其他 3 个样本, 在 20—40 cm 土层沙打旺显著高于柠条锦鸡儿和对照, 在 0—10 cm 土层沙打旺亦显著高于对照; 在 20—40 cm 土层塔落岩黄耆显著高于柠条锦鸡儿, 在 10—30 cm 土层塔落岩黄耆亦显著高于对照.

菌丝定殖率在 4 个样本中 0—20 cm 土层均显著高于 40—50 cm 土层, 柠条锦鸡儿根际菌丝定殖率在 0—20 和 30—40 cm 土层、10—20 和 20—30 cm 土层有显著差异; 沙打旺根际菌丝定殖率在 10—20 和 30—40 cm 土层、20—40 和 40—50 cm 土层有显著差异; 而对照 0—10 cm 土层显著高于 30—40 cm

土层. 在 10—50 cm 土层沙打旺显著高于柠条锦鸡儿, 塔落岩黄耆显著高于对照; 在 0—20 cm 土层沙打旺显著高于对照.

总定殖率在 4 个样本中 0—20 cm 土层均显著高于 40—50 cm 土层, 10—20 cm 土层显著高于 30—40 cm 土层; 除塔落岩黄耆外其他 3 个样本 20—30 cm 土层显著高于 40—50 cm 土层, 柠条锦鸡儿和对照 10—20 cm 土层显著高于 20—30 cm 土层, 0—10 cm 土层显著高于 30—40 cm 土层. 在 0—50 cm 土层沙打旺显著高于柠条锦鸡儿和对照, 而在 10—20 和 30—50 cm 土层塔落岩黄耆显著高于对照.

AM 真菌孢子密度在 4 个样本中 0—30 和 40—50 cm 土层、10—20 和 30—40 cm 土层有显著差异; 除塔落岩黄耆外其他 3 个样本 10—20 cm 土层显著高于 20—30 cm 土层, 柠条锦鸡儿和对照 0—10 cm 土层显著高于 30—40 cm 土层. 沙打旺和对照 10—20 cm 土层显著高于 0—10 cm 土层. 在 0—50 cm 土层 3 种植物均显著高于对照, 在 10—50 cm 土层沙打旺显著高于柠条锦鸡儿, 在 10—20 cm 土层沙打旺显著高于塔落岩黄耆.

### 2.3 相关性分析

相关性分析表明, 毛乌素沙地 AM 真菌孢子密度在塔落岩黄耆根际与泡囊和总定殖率呈显著正相关; 在沙打旺根际与泡囊和菌丝定殖率呈显著正相关, 与总定殖率呈极显著正相关; 在柠条

锦鸡儿根际与泡囊、菌丝和总定殖率均呈极显著正相关(表4)。

表4 AM真菌孢子密度与不同结构定殖率之间的相关性

	孢子密度 (个·g <sup>-1</sup> )			泡囊 /%			丛枝 /%			菌丝 /%			总定殖率 /%		
	NT	SD	TL	NT	SD	TL	NT	SD	TL	NT	SD	TL	NT	SD	TL
标准差	0.4485	0.4261	0.4437	12.65	16.06	20.31	5.46	6.68	6.48	13.87	16.78	21.09	15.43	15.12	22.32
平均值	1.996	2.392	2.145	36.6	59.8	49.8	9.1	16.9	13.3	45.3	63.9	54.7	50.1	73.8	60.6
孢子密度	1.000	1.000	1.000	0.454**	0.344*	0.317*	0.162	0.191	0.293	0.390**	0.350*	0.283	0.438**	0.391**	0.324*

表中数值为 AM 真菌孢子密度与定殖率的相关性系数  $r$ ; \* 表示两者之间在  $p < 0.05$  水平有显著差异, \*\* 表示两者之间在  $p < 0.01$  水平有极显著差异

### 3 讨论和结论

AM 真菌的分布和活动与宿主植物和土壤条件密切相关<sup>[9,10]</sup>。本实验从毛乌素沙地 3 种豆科植物根际共分离出 2 属 11 种 AM 真菌, 3 种豆科植物根际 AM 真菌定殖率和孢子密度明显高于对照, 总定殖率平均在 50% 以上, 孢子密度平均为 217.7 个/100 g 土, 说明荒漠豆科植物能与 AM 真菌形成良好的共生关系, 而丛枝菌根的形成可能是豆科植物适应贫瘠干旱环境的有效对策之一。

本实验发现同一生境中 3 种豆科植物根际 AM 真菌空间分布和定殖的变化规律大致相同, 即 AM 真菌定殖率与孢子密度的最大值都发生在 10—20 cm 土层, 然后随土层深度而减小。正如有些实验表明 AM 真菌最高定殖率经常伴随着较高的孢子数量<sup>[11, 12]</sup>, 而另一些研究结果则发现当孢子数量高时, 定殖率较低, 或孢子数量低, 而定殖率较高<sup>[13]</sup>。这可能与宿主植物种类和生长特性、产孢特性、植物根际微环境以及土壤营养物质的有效性等有关<sup>[9-14]</sup>。

由于植物与真菌共生关系有一定的选择性<sup>[15]</sup>, 因此不同宿主植物根围内的 AM 真菌组成和丰富度不同。宿主植物可能通过许多潜在的机制对 AM 真菌发挥作用, 包括宿主种类、根系特性、菌根依赖性、宿主植物对根际土壤环境的改变等方面的差异<sup>[10]</sup>。如本实验分离的 *G. claroideum* 仅分布在沙打旺根际, *G. diaphanum* 仅出现在塔落岩黄耆根际, 而 *A. rugosa* 仅发生在柠条锦鸡儿根际(表 1); 沙打旺根际孢子密度和菌根定殖率明显高于柠条锦鸡儿和塔落岩黄耆。

AM 真菌主要垂直分布在近土壤表面, 由于

AM 真菌本身和新的有机物的分解, 这个区域具有不稳定营养, 因此被认为垂直分布是资源分布的一个主要功能<sup>[10,16]</sup>。而 Schwab<sup>[17]</sup> 和 Virginia<sup>[18]</sup> 则发现 AM 真菌也能够深入土壤深层。我们的结果表明, 毛乌素沙地 3 种豆科植物 AM 真菌孢子密度和定殖与土壤深度有关, 特别在 0—30 cm 的浅层土壤中活动旺盛。这是由于土壤物理、化学和通气特性直接影响着土壤生物的分布, 而 AM 真菌对低氧环境特别敏感的缘故<sup>[19]</sup>。

相关性分析结果表明, 毛乌素沙地 3 种豆科植物根际土壤 AM 真菌孢子密度与泡囊、菌丝和总定殖率有显著正相关, 而与丛枝定殖率无相关性。在其他研究中也得到了类似的结论<sup>[10, 20]</sup>。这个结果可能与 AM 真菌的发育阶段有密切关系, 孢子作为 AM 真菌的主要繁殖体能在土壤中存活较长时间; 丛枝生命较短, 仅几天至十多天就完全消解; 而菌丝是丛枝菌根定殖结构中最丰富的部分, 在植物根系内大量分布, 且较高的菌丝定殖率还帮助宿主植物在干旱环境中的水分吸收和营养利用; 另外泡囊在丛枝快衰老的时候开始形成, 定殖时间长, 在根组织内大量存在, 有时还可随受损组织进入土壤中, 起繁殖体的作用来继续感染其他植物根系<sup>[21]</sup>。因此, 通过检测 AM 真菌孢子密度和菌根不同结构的定殖程度, 不仅可评估荒漠生态系统中植物的发育进程和不同植物与 AM 真菌形成菌根共生体的能力, 而且有助于荒漠土壤生态系统评价体系中生物指标的建立和完善。

### 参 考 文 献

- 1 Bagayoko M, Buerkert A, Lung G, et al. Cereal/legume rotation effects on cereal growth in Sudano-sahelian West Africa; Soil

- mineral nitrogen, mycorrhizae and nematodes. *Plant and Soil*, 2000, 218: 103—116
- 2 Pare T, Gregorich E G, Nelson S D. Mineralization of nitrogen from crop residues and N recovery by maize inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 2000, 218: 11—20
  - 3 Barni E, Siniscalco C. Vegetation dynamics and arbuscular mycorrhiza in old-field succession of the western Italian Alps. *Mycorrhiza*, 2000, 10: 63—72
  - 4 van der Heijden G A, Klironomos J N, Ursic M, et al. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 1998, 396: 69—72
  - 5 Bever J D, Morton J, Antonovics J, et al. Host-dependent sporulation and species diversity of mycorrhizal fungi in a mown grassland. *Journal of Ecology*, 1996, 75: 1965—1977
  - 6 Phillips J M, Hayman D S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 1970, 55: 158—161
  - 7 Ianson D C, Allen M F. The effects of soil texture on extraction of vesicular arbuscular mycorrhizal spores from arid soils. *Mycologia*, 1986, 78: 164—168
  - 8 Schenck N C, Perez Y. *Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi*. 2nd edition. Gainesville: FNVAM, 1988, 91—97
  - 9 Lorgio E A, Julio R G, Peter L M. Variation in soil micro-organisms and nutrients underneath and outside the canopy of *Adesmia bedwellii* (Papilionaceae) shrubs in arid coastal Chile following drought and above average rainfall. *Journal of Arid Environments*, 1999, 42: 61—70
  - 10 He X L, Mouratov S, Steinberger Y. Spatial distribution and colonization of arbuscular mycorrhizal fungi under the canopies of desert halophytes. *Arid Land Research & Management*, 2002, 16 (2): 149—160
  - 11 Ebberts B C, Anderson R C, Liberta A E. Aspects of the mycorrhizal ecology of prairie dropseed *Sporobolus heterolepis* (Poaceae). *American Journal of Botany*, 1987, 74: 564—573
  - 12 Sigüenza C, Espejel I, Allen E B. Seasonality of mycorrhizae in coastal sand dunes of Baja California. *Mycorrhiza*, 1996, 6: 151—157
  - 13 Fontenla S, Godoy R, Rosso P, et al. Root associations in Austrocedrus forests and seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizas. *Mycorrhiza*, 1998, 8: 29—33
  - 14 Bundrett M C, Ashwarth N, Jasper D A. Mycorrhizas in the Kakadu region of tropical Australia. I. Propagules of mycorrhizal fungi and soil properties in natural habitat. *Plant and Soil*, 1996, 184: 159—171
  - 15 贺学礼, 李 斌. VA 菌根真菌与植物相互选择性的研究. *西北植物学报*, 1999, 19(3): 471—475
  - 16 Kabir Z, Halloran I P O, Widden P, et al. Vertical distribution of arbuscular mycorrhizal fungi under corn (*Zea mays* L.) in no-till and conventional tillage systems. *Mycorrhiza*, 1998, 8: 53—55
  - 17 Schwab S, Reeve F B. The role of endomycorrhizae in revegetation practices in the semi-arid west III: Vertical distribution of (VA) mycorrhiza Tnocolum potential. *American Journal of Botany*, 1981, 8(10): 93—97
  - 18 Virginia R A, Jeakins M B, Janell W M. Depth of root symbiont occurrence in soil. *Biology and Fertility of Soil*. 1986, 2 (3): 127—130
  - 19 Brady N C, Weil R R. *Organisms and ecology of the soil. The Nature and Properties of Soil*, 1996, 11: 328—360
  - 20 He X L, Mouratov S, Steinberger Y. Temporal and spatial dynamics of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi under the canopy of *Zygophyllum dumosum* Boiss in the Negev Desert. *Journal of Arid Environments*, 2002, 52(3): 379—387
  - 21 Biermann B, Linderman R G. Use of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots, intraradical vesicles and extraradical vesicles as inoculum. *New Phytologist*, 1983, 95: 97—105