

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 10 期 Vol.32 No.10 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 10 期

2012 年 5 月 (半月刊)

目次

基于系统动力学的城市住区形态变迁对城市代谢效率的影响.....	李旋旗,花利忠 (2965)
居住-就业距离对交通碳排放的影响	童抗抗,马克明 (2975)
经济学视角下的流域生态补偿制度——基于一个污染赔偿的算例	刘涛,吴钢,付晓 (2985)
旅游开发对上海滨海湿地植被的影响.....	刘世栋,高峻 (2992)
汶川地震对大熊猫主食竹——拐棍竹竹笋生长发育的影响.....	廖丽欢,徐雨,冉江洪,等 (3001)
江西省森林碳蓄积过程及碳源/汇的时空格局.....	黄麟,邵全琴,刘纪远 (3010)
伊洛河流域草本植物群落物种多样性.....	陈杰,郭屹立,卢训令,等 (3021)
新疆绿洲农田不同连作年限棉花根际土壤微生物群落多样性.....	顾美英,徐万里,茆军,等 (3031)
荒漠柠条锦鸡儿 AM 真菌多样性.....	贺学礼,陈杰,郭辉娟,等 (3041)
彰武松、樟子松光合生产与蒸腾耗水特性	孟鹏,李玉灵,尤国春,等 (3050)
中亚热带常绿阔叶林粗木质残体呼吸季节动态及影响因素.....	刘强,杨智杰,贺旭东,等 (3061)
盐土和沙土对新疆常见一年生盐生植物生长和体内矿质组成的影响	张科,田长彦,李春俭 (3069)
长白山北坡林线灌木草本植物与岳桦的动态关系.....	王晓东,刘惠清 (3077)
不同生态条件对烤烟形态及相关生理指标的影响.....	颜侃,陈宗瑜 (3087)
基于因子分析的首蓿叶片叶绿素高光谱反演研究	肖艳芳,官辉力,周德民 (3098)
三峡库区消落带水淹初期土壤种子库月份动态.....	王晓荣,程瑞梅,唐万鹏,等 (3107)
三种利用方式对羊草草原土壤氨氧化细菌群落结构的影响.....	邹雨坤,张静妮,陈秀蓉,等 (3118)
西洋参根残体对自身生长的双重作用	焦晓林,杜静,高微微 (3128)
不同程度南方菟丝子寄生对入侵植物三叶鬼针草生长的影响	张静,闫明,李钧敏 (3136)
山东省部分水岸带土壤重金属含量及污染评价.....	张菊,陈诗越,邓焕广,等 (3144)
太湖蓝藻死亡腐烂产物对狐尾藻和水质的影响.....	刘丽贞,秦伯强,朱广伟,等 (3154)
不同生态恢复阶段无瓣海桑人工林湿地中大型底栖动物群落的演替.....	唐以杰,方展强,钟燕婷,等 (3160)
江西鄱阳湖流域中华秋沙鸭越冬期间的集群特征.....	邵明勤,曾宾宾,尚小龙,等 (3170)
秦岭森林鼠类对华山松种子捕食及其扩散的影响	常罡,王开锋,王智 (3177)
内蒙古草原小毛足鼠的活动性、代谢特征和体温的昼夜节律	王鲁平,周顺,孙国强 (3182)
温度和紫外辐射胁迫对西藏飞蝗抗氧化系统的影响.....	李庆,吴蕾,杨刚,等 (3189)
“双季稻-鸭”共生生态系统 C 循环	张帆,高旺盛,隋鹏,等 (3198)
水稻籽粒灌浆过程中蛋白质表达特性及其对氮肥运筹的响应.....	张志兴,陈军,李忠,等 (3209)
专论与综述	
海水富营养化对海洋细菌影响的研究进展	张瑜斌,章洁香,孙省利 (3225)
海洋酸化效应对海水鱼类的综合影响评述.....	刘洪军,张振东,官曙光,等 (3233)
入侵种薇甘菊防治措施及策略评估.....	李鸣光,鲁尔贝,郭强,等 (3240)
研究简报	
渭干河-库车河三角洲绿洲土地利用/覆被时空变化遥感研究	孙倩,塔西甫拉提·特依拜,张飞,等 (3252)
2009 年冬季东海浮游植物群集	郭术津,孙军,戴民汉,等 (3266)
新疆野生多伞阿魏生境土壤理化性质和土壤微生物.....	付勇,庄丽,王仲科,等 (3279)
塔里木盆地塔里木沙拐枣群落特征	古丽努尔·沙比尔哈孜,潘伯荣,段士民 (3288)
矿区生态产业共生系统的稳定性.....	孙博,王广成 (3296)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-05	



封面图说: 哈巴雪山和金沙江——“三江并流”自然景观位于青藏高原南延部分的横断山脉纵谷地区,由怒江、澜沧江、金沙江及其流域内的山脉组成。它地处东亚、南亚和青藏高原三大地理区域的交汇处,是世界上罕见的高山地貌及其演化的代表地区,也是世界上生物物种最丰富的地区之一。哈巴雪山在金沙江左岸,与玉龙雪山隔江相望。图片反映的是金沙江的云南香格里拉段,远处为哈巴雪山。哈巴雪山主峰海拔 5396 m,而最低江面海拔仅为 1550 m,山脚与山顶的气温差达 22.8℃,巨大的海拔差异形成了明显的高山垂直性气候。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201104270557

贺学礼, 陈 丞, 郭辉娟, 陈 程. 荒漠柠条锦鸡儿 AM 真菌多样性. 生态学报, 2012, 32(10): 3041-3049.

He X L, Chen Z, Guo H J, Chen C. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of *Caragana korshinskii* Kom. in desert zone. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(10): 3041-3049.

荒漠柠条锦鸡儿 AM 真菌多样性

贺学礼*, 陈 丞, 郭辉娟, 陈 程

(河北大学生命科学学院, 保定 071002)

摘要:为了阐明荒漠柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii* Kom.)根围 AM 真菌群落组成及其分布特点,2010 年 7 月从河北省与内蒙古交界荒漠带选择多伦湖、黑城子和二羊点 3 个样地,按 0—10、10—20、20—30、30—40、40—50 cm 5 个土层采集柠条根围土壤样品,研究了柠条根围 AM 真菌物种组成、生态分布及与土壤因子的相关性。共分离鉴定出 4 属 24 种 AM 真菌,其中球囊霉属(*Glomus*) 16 种,是 3 个样地共同优势属;无梗囊霉属(*Acaulospora*) 5 种,是 3 个样地共有属;盾巨孢囊霉属(*Scutellospora*) 2 种;多孢囊霉属(*Diversispora*) 1 种;网状球囊霉(*G. reticulatum*)是黑城子和多伦湖样地优势种,二羊点亚优势种;黑球囊霉(*G. melanosporum*)是黑城子和二羊点样地优势种,多伦湖亚优势种;二羊点的 AM 真菌种类和孢子密度最高;黑城子和多伦湖样地无明显差异。AM 真菌孢子密度与土壤碱解 N、有机质和速效 P 含量极显著正相关,其中土壤碱解 N 影响最大。结果表明,柠条根围 AM 真菌物种多样性丰富,具有明显空间异质性,并与土壤因子关系密切,这为进一步分离筛选优势 AM 真菌菌种,充分利用 AM 真菌资源促进荒漠柠条生长提供了依据。

关键词:AM 真菌;物种多样性;柠条锦鸡儿;荒漠带

Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of *Caragana korshinskii* Kom. in desert zone

HE Xueli*, CHEN Zheng, GUO Huijuan, CHEN Cheng

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

Abstract: Arbuscular mycorrhizal (AM) fungi play an important role in maintaining the ecosystem function and plant biodiversity in arid lands, and serving as the indispensable factor in the restoration and reestablishment of vegetation. AM fungi are widely distributed in global terrestrial ecosystems and play a bridge role in the cycle of nutrient material between plant and soil. Many studies on the survey of AM fungi resources, ecological distribution, symbiotic relationship and AM fungi related with different environmental factors had been conducted now. *Caragana korshinskii* Kom. was widely used for vegetation rehabilitation for its high ecological and economic values in China. In addition, it has certain features such as the ability that easy to sprout and forest, rooted deep and the strong resistance to stress. And it also has nodule formation so that can help restore degraded land by atmospheric nitrogen fixation and improve the soil structure and ecological environment. In order to elucidate the diversity and distribution of AM fungi associated with the major desert plant *Caragana korshinskii* Kom. in desert zone. In July 2010, the soil samples were collected from a depth of 50cm in the rhizosphere of *Caragana korshinskii* Kom. and were divided into five depth intervals: 0—10, 10—20, 20—30, 30—40, 40—50cm in three sampling sites in the desert zone of Hebei and Inner Mongolia province north China including Duolun Lake, Hei Chengzi and Er Yangdian. The annual precipitation, average altitude and coordinate of Duolun Lake were 384.5mm, 1312m and

基金项目:国家自然科学基金项目(30670371,40471637)

收稿日期:2011-04-27; 修订日期:2011-10-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xuelh1256@yahoo.com.cn

N42°11'601"E116°36'870"respectively; of Hei Chengzi were 250–350mm, 1321m and N42°09'817", E115°56'107"; of Er Yangdian were 426mm, 1386m and N41°51'095", E115°47'657". In this study, 24 AM fungal species from four genera were isolated in three sampling sites. In these species, 16 species belonged to *Glomus*, five to *Acaulospora*, two to *Scutellospora* and one to *Diversispora*. *Glomus* was the dominant genus and *Acaulospora* was the subdominant genus in the three sampling sites. *G. reticulatum* was the dominate species in Duolun Lake and Hei Chengzi, and was the subdominant species in Er Yangdian; *G. melanosporum* was the dominate species in Hei Chengzi and Er Yangdian, and was the subdominant species in Duolun Lake. Spore density of AM fungi in Er Yangdian was the highest, and had no obvious differences between Duolun Lake and Hei Chengzi. Spore density had a significant positive correlation with the available N, soil organic carbon and available P, and the available N was the highest. The results showed that the diversity of AM fungal species was rich in the rhizosphere of *Caragana korshinskii* Kom., and they had significant spatial distribution dynamics. The paper described the diversity and distribution of AM fungi in the rhizosphere of *Caragana korshinskii* Kom., so that it will provide great help to ecosystem reestablishment, isolation of dominate species and sustainable economic development in desert zone.

Key Words: AM fungi; species diversity; *Caragana korshinskii* Kom.; desert zone

AM(arbuscular mycorrhiza)真菌作为一类广泛分布的土壤微生物,对于植物与土壤之间营养物质的循环起着十分重要的桥梁作用^[1-3]。同时,AM真菌产生的球囊霉素不仅对维护其本身生物及生理功能极为重要,而且对于土壤颗粒形成与稳定起到重要作用^[4-5]。目前,有关荒漠生态系统AM真菌的研究主要集中在AM真菌资源调查,生态分布,共生关系及其与环境因子关系方面^[6-9]。荒漠生境下已发现AM真菌寄主植物69科389种,AM真菌7属89种,其中无梗囊霉属和球囊霉属真菌是荒漠生态系统中的优势类群,2个属的真菌占全部真菌80%以上。冀春花等^[10]研究了西北荒漠土壤AM真菌生态分布情况,发现水分条件可能是AM真菌发生和分布的重要制约因素。张好强和唐明^[11]发现不同土壤因子对柠条和沙棘根围AM真菌多样性及侵染起到直接或间接的影响。钱伟华和贺学礼^[12]研究表明,不同样地AM真菌孢子密度、种丰度、物种多样性指数与土壤肥力显著相关,在此基础上,杨静等^[13]研究发现AM真菌物种多样性具有明显的季节异质性,温度和湿度对AM真菌发生和分布有重要作用。然而,对荒漠生境中柠条AM真菌群落空间组成及其分布规律尚缺乏系统研究。

土壤荒漠化不仅是十分严重的环境问题,而且能够引发一系列社会与生态问题。柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii* Kom.)是豆科具刺灌木,萌蘖力强,易成林,根深叶茂,抗旱、耐贫瘠、抗逆性强,其根系具有根瘤,能固定空气中的游离氮,增加土壤含氮量,主要分布于我国北方干旱和半干旱地区,是北方荒漠地区防风固沙优良树种^[14]。本试验选取内蒙古和河北省交界3个不同样地研究了柠条锦鸡儿AM真菌多样性和空间分布异质性,以便为筛选优良AM真菌菌种,利用菌根生物技术促进柠条锦鸡儿生长和荒漠植被恢复提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

2010年7月在内蒙古和河北省两省交界荒漠带3个样地采集柠条根围土壤样品,3个样地分别是内蒙古多伦湖(N42°11'601",E116°36'870"),平均海拔1312m,土壤类型为沙质栗钙土,年降水量384.5mm;内蒙古黑城子(N42°09'817",E115°56'107"),平均海拔1321m,土壤类型以暗栗灰黄土和暗栗淤土为主,年均降水量250—350mm;河北沽源县二羊点(N41°51'095",E115°47'657"),平均海拔1386m,土壤类型为沙质栗钙土,年降水量426mm。

1.2 样品采集

2010年7月分别在3个样地随机各选取4株生长良好的柠条植株,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—40cm和40—50cm共5个土层采集根样和土样,将土样装入隔热性

能良好的塑料袋密封,带回实验室自然风干,过 2 mm 筛,分别从每层取同等重量土混匀,用于 AM 真菌孢子和土壤理化性质测定。

1.3 AM 真菌多样性

取 20 g 风干土样,用湿筛倾析-蔗糖离心法^[15-16]分离 AM 真菌孢子,在解剖镜下记录孢子数量(1 个孢子果按 1 个孢子计数)。将颜色相同、大小相近的孢子分别置于不同浮载剂中(水、乳酸甘油、Melzer 试剂、PVLG)进行压片观察。根据 Schenck 和 Perez^[17],Morton 和 Redecker^[18]提出的分类系统,并参阅 INVAM (<http://invam.caf.wvu.edu>)和 IBG (International Bank of Glomeromycota)上的图片以及近期发表的新种进行分类鉴定。

孢子密度 (spore density, SD)以每克土样中含有的孢子数表示,即 $SD = \text{某采样点 AM 真菌所有孢子数} / \text{土样数}$;相对多度 (relative abundance, RA)指该采样点 AM 真菌某属或种孢子数占总孢子数的比率,即 $RA = (\text{该采样点 AM 真菌某属或种孢子数} / \text{该采样点 AM 真菌总孢子数}) \times 100\%$;频度 (frequency, F)是指某物种在样本总体中的出现率,即 $F = (\text{AM 真菌某属或种出现次数} / \text{土样数}) \times 100\%$;重要值 (importance value, I)即频度和相对多度的平均值,即 $I = (F + RA) / 2$;丰度 (species richness, SR)指 20 g 土样中含有 AM 真菌种数,即 $SR = \text{AM 真菌总种数} / \text{土样数}$;香农维纳指数公式: $H = - \sum (P_i) \ln(P_i)$, $P_i = n_i / N$, n_i 是每个样地中每种 AM 真菌个数, N 是该样地 AM 真菌孢子总数。

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)。

1.4 土壤因子测定

土壤有机质用重铬酸钾容量法^[19],土壤速效 P^[20]用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法,碱解土壤碱解 N 用扩散法,土壤 pH 值用 pH 计测定。

1.5 数据处理及分析

采用 SPSS16.0 生物统计软件 ANOVA 模块对土壤因子与 AM 真菌进行 Pearson correlation 检验。为了更好地说明 AM 真菌种群分布与环境因素间的关系,采用 CANOCO 4.5 软件进行分析,其中用到了冗余分析 RDA,因为在去趋势对应分析 (Redundancy analysis DCA) 过程中“成分长度”值小于 3。在 DCA 过程中数据被对数化,同时进行了蒙特卡罗变量测定,最后由 CanoDraw 4.0 软件制图。

2 结果与分析

2.1 AM 真菌资源

本试验共分离鉴定出 AM 真菌 4 属 24 种 (图 1),其中,球囊霉属 (*Glomus*) 16 种,占 66.7%;无梗囊霉属 (*Acaulospora*) 5 种,占 20.8%;盾巨孢囊霉属 (*Scutellospora*) 2 种,占 8.3%;多孢囊霉属 (*Diversispora*) 1 种,占 4.2%。

二羊点 AM 真菌有 20 种,多伦湖有 17 种,黑城子有 12 种。球囊霉属和无梗囊霉属在 3 个样地都有分布,盾巨孢囊霉属仅在多伦湖和二羊点出现,多孢囊霉属仅在二羊点出现。有些 AM 真菌种仅在 1 个样地出现,如宽柄球囊霉 (*G. magnicaule*),微丛球囊霉 (*G. microaggregatum*) 和美丽盾巨孢囊霉 (*S. calospora*) 仅出现在多伦湖样地;沙荒球囊霉 (*G. deserticola*),缩球囊霉 (*G. constrictumtrappe*),光壁无梗囊霉 (*A. laevis*) 和刺状无梗囊霉 (*A. spinosa*) 仅出现在二羊点样地。

2.2 AM 真菌样地间的差异

2.2.1 AM 真菌属分离频度、相对多度和重要值

由表 1 可知,黑城子,多伦湖和二羊点样地中,球囊霉属 AM 真菌频度、相对多度和重要值最高,是 3 个样地共有优势属;无梗囊霉属是 3 个样地共有亚优势属;盾巨孢囊霉属只出现在多伦湖和二羊点样地,是偶见属;多孢囊霉属只出现在二羊点样地,是二羊点偶见属。

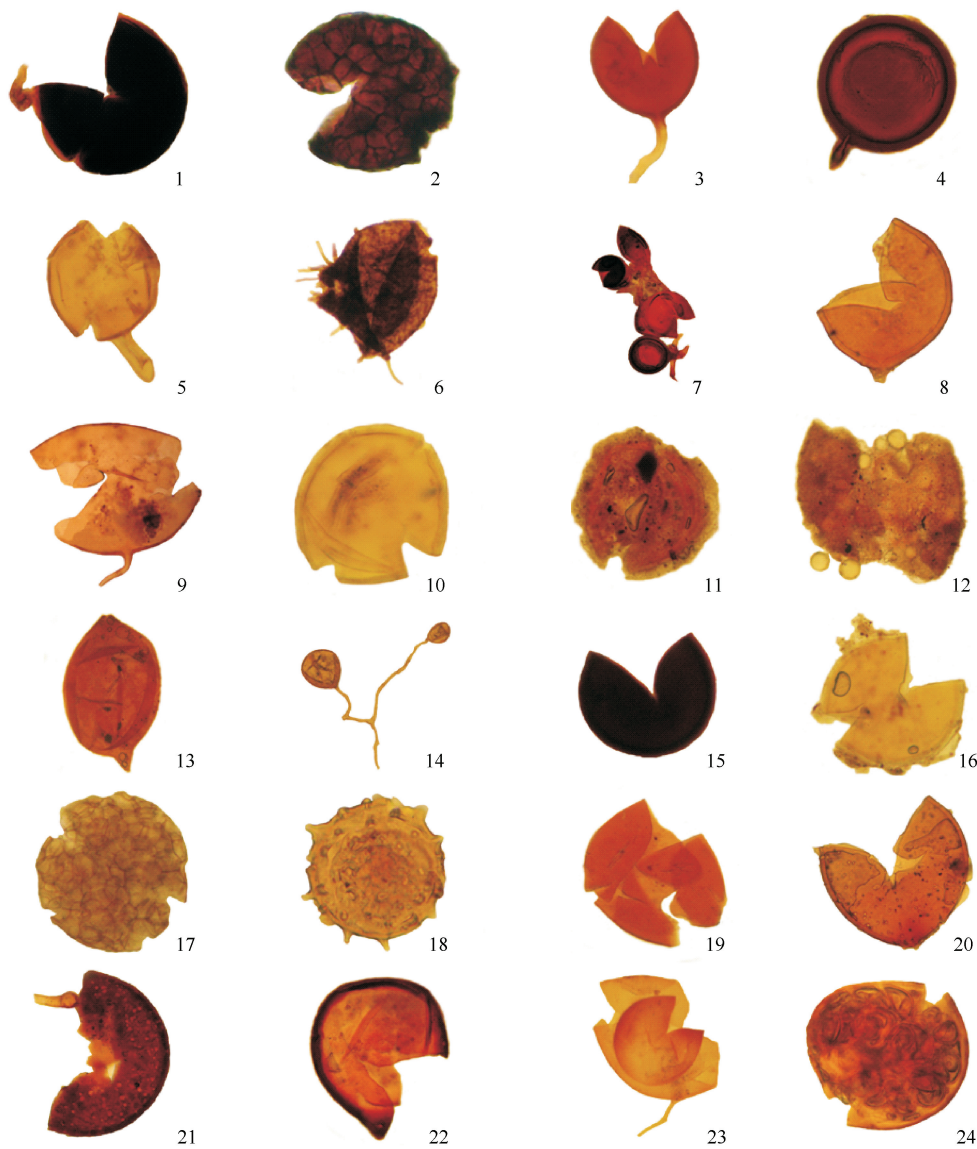


图1 本研究分离的4属24种AM真菌

Fig. 1 24 AM fungal species isolated in the present study

1:缩球囊霉 *Glomus constrictum* trappe; 2:网状球囊霉 *G. reticulatum*; 3:沙荒球囊霉 *G. deserticola*; 4:地球囊霉 *G. geosporum*; 5:宽柄球囊霉 *G. magnicaule*; 6:多梗球囊霉 *G. multicaule*; 7:集球囊霉 *G. fasciculatum*; 8:地表球囊霉 *G. versiforme*; 9:近明球囊霉 *G. claroideum*; 10:明球囊霉 *G. clarum*; 11:卷曲球囊霉 *G. convolutum*; 12:微丛球囊霉 *G. microaggregatum*; 13:长孢球囊霉 *G. dolichosporum*; 14:聚丛球囊霉 *G. aggregatum*; 15:黑球囊霉 *G. melanosporum*; 16:粘质球囊霉 *G. viscosum*; 17:双网无梗囊霉 *Acaulospora bireticulata*; 18:刺状无梗囊霉 *A. spinosa*; 19:光壁无梗囊霉 *A. laevis*; 20:孔窝无梗囊霉 *A. foveata*; 21:凹坑无梗囊霉 *A. excauata*; 22:亮色盾巨孢囊霉 *Scutellospora fulgida*; 23:美丽盾巨孢囊霉 *S. calospora*; 24:幼套多孢囊霉 *Diversispora. etunicatum*

表1 3个样地AM真菌各属分离频度(F)、相对多度(RA)和重要值(I)

AM 真菌 AM fungal genera	黑城子 Hei Chengzi			多伦湖 Duolun Lake			二羊点 Er Yangdian		
	F/%	RA/%	I/%	F/%	RA/%	I/%	F/%	RA/%	I/%
球囊霉属 <i>Glomus</i>	100.0a	73.7a	86.9a	100.0a	54.6a	77.3a	100.0a	56.2a	78.6a
无梗囊霉属 <i>Acaulospora</i>	100.0a	8.1b	54.1b	100.0a	8.5b	54.3b	100.0a	7.8b	53.9b
盾巨孢囊霉属 <i>Scutellospora</i>	0.0b	0.0c	0.0c	25.0b	0.7c	12.9c	25.0b	2.3c	13.7c
多孢囊霉属 <i>Diversispora</i>	0.0b	0.0c	0.0c	0.0c	0.0d	0.0d	25.0b	0.4c	12.7c

同一列数据中不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著; F% 是指某物种在样本总体中的出现率; RA% 指该采样点 AM 真菌某属或种孢子数占总孢子数的比率; I% 即频度和相对多度的平均值

2.2.2 AM 真菌种分离频度、相对多度和重要值

24 种 AM 真菌中,网状球囊霉 (*G. reticulatum*) 是黑城子和多伦湖的优势种,二羊点亚优势种;黑球囊霉 (*G. melanosporum*) 是黑城子和二羊点的优势种,多伦湖亚优势种;双网无梗囊霉 (*A. bireticulata*) 和孔窝无梗囊霉 (*A. foveata*) 是 3 个样地共有亚优势种;凹坑无梗囊霉 (*A. excauata*) 是 3 个样地共有伴生种;沙荒球囊霉 (*G. deserticola*)、缩球囊霉 (*G. constrictumtrappe*)、光壁无梗囊霉 (*A. laevis*)、刺状无梗囊霉 (*A. spinosa*)、亮色盾巨孢囊霉 (*S. fulgida*) 和幼套多孢囊霉 (*D. etunicatum*) 只出现在二羊点样地,除了刺状无梗囊霉 (*A. spinosa*) 是二羊点伴生种外,其他 5 种为其偶见种;宽柄球囊霉 (*G. magnicaule*)、微丛球囊霉 (*G. microaggregatum*) 和美丽盾巨孢囊霉 (*S. calospora*) 只出现在多伦湖样地,为其偶见种。

表 2 不同样地 AM 真菌种分离频度 (*F*)、相对多度 (*RA*)、重要值 (*I*) 和优势度 (*Dom*)

Table 2 The frequency, relative abundance, importance value and dominance of AM fungal species in the three sampling sites

AM 真菌 AM fungal species	黑城子				多伦湖				二羊点			
	<i>F</i> /%	<i>RA</i> /%	<i>I</i> /%	Dom	<i>F</i> /%	<i>RA</i> /%	<i>I</i> /%	Dom	<i>F</i> /%	<i>RA</i> /%	<i>I</i> /%	Dom
网状球囊霉 <i>Glomus reticulatum</i>	100.0	31.4	65.7	A	100.0	24.0	62.0	A	100.0	17.5	58.7	B
黑球囊霉 <i>G. melanosporum</i>	100.0	20.6	60.3	A	100.0	9.6	54.8	B	100.0	21.0	60.5	A
卷曲球囊霉 <i>G. convolutum</i>	50.0	2.0	26.0	C	75.0	3.0	39.0	C	100.0	1.8	50.9	B
地球囊霉 <i>G. geosporum</i>	50.0	1.5	25.7	C	75.0	1.9	38.5	C	75.0	1.1	38.1	C
地表球囊霉 <i>G. versiforme</i>	25.0	2.9	13.9	D	0.0	0.0	0.0	—	75.0	0.6	37.8	C
明球囊霉 <i>G. clarum</i>	75.0	3.4	39.2	C	75.0	1.4	38.2	C	100.0	1.3	50.6	B
近明球囊霉 <i>G. claroideum</i>	0.0	0.0	0.0	—	75.0	2.8	38.9	C	100.0	1.2	50.6	B
沙荒球囊霉 <i>G. deserticola</i>	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	—	25.0	0.8	12.9	C
长孢球囊霉 <i>G. dolichosporum</i>	0.0	0.0	0.0	—	25.0	1.7	13.4	D	25.0	0.4	12.7	D
集球囊霉 <i>G. fasciculatum</i>	75.0	1.4	38.2	C	75.0	3.0	39.0	C	100.0	1.0	50.5	B
多梗球囊霉 <i>G. multicaule</i>	25.0	2.9	13.9	D	25.0	1.1	13.0	D	25.0	0.6	12.8	D
粘质球囊霉 <i>G. viscosum</i>	50.0	2.6	26.3	C	75.0	1.8	38.4	C	100.0	1.1	50.5	B
聚丛球囊霉 <i>G. aggregatum</i>	25.0	1.4	13.2	D	25.0	0.7	12.8	D	50.0	1.2	25.6	C
缩球囊霉 <i>G. constrictumtrappe</i>	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	—	25.0	1.1	13.0	D
宽柄球囊霉 <i>G. magnicaule</i>	0.0	0.0	0.0	—	25.0	1.0	13.0	D	0.0	0.0	0.0	—
微丛球囊霉 <i>G. microaggregatum</i>	0.0	0.0	0.0	—	25.0	0.4	12.7	D	0.0	0.0	0.0	—
凹坑无梗囊霉 <i>Acaulospora excauata</i>	75.0	1.4	38.2	C	50.0	2.0	26.0	C	50.0	0.6	25.3	C
孔窝无梗囊霉 <i>A. foveata</i>	100.0	5.7	52.8	B	100.0	3.0	51.5	B	100.0	2.5	51.3	B
双网无梗囊霉 <i>A. bireticulata</i>	100.0	2.5	51.2	B	100.0	3.7	51.9	B	100.0	3.7	51.8	B
光壁无梗囊霉 <i>A. laevis</i>	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	—	25.0	0.6	12.8	D
刺状无梗囊霉 <i>A. spinosa</i>	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	—	50.0	0.5	25.2	C
美丽盾巨孢囊霉 <i>Scutellospora calospora</i>	0.0	0.0	0.0	—	25.0	0.7	12.8	D	0.0	0.0	0.0	—
亮色盾巨孢囊霉 <i>S. fulgida</i>	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	—	25.0	0.4	12.7	D
幼套多孢囊霉 <i>Diversispora etunicatum</i>	0.0	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	—	25.0	0.5	12.8	D

A: 优势种; B: 亚优势种; C: 伴生种; D: 偶见种; — 未出现

2.2.3 AM 真菌和土壤因子差异

由表 3 可见,多伦湖、黑城子和二羊点孢子密度平均值是 30.08 个/g,其中二羊点的显著高于其他样地,达到 62.03 个/g;种丰度、土壤碱解 N、有机质、速效 P 显著高于多伦湖和黑城子;二羊点的香农维纳指数显著高于黑城子;其它指标无显著变化。

2.3 AM 真菌样地内差异

2.3.1 4 属 AM 真菌空间变化

由表 4 可见,就 AM 真菌相对多度而言,同一样地同一土层,球囊霉属显著高于其他属。同一样地不同土层,黑城子球囊霉属在 40—50 cm 土层显著高于 0—10 cm 土层,无梗囊霉属在 0—20 cm 土层显著高于 30—50 cm 土层;多伦湖球囊霉属在 20—50 cm 土层显著高于 0—20 cm 土层,无梗囊霉属在 0—10 cm 土层显著高于 40—50 cm 土层,盾巨孢囊霉属只出现在 0—20 cm 土层;二羊点球囊霉属随土层加深无显著差异,无梗囊霉属在 0—20 cm 土层显著高于 40—50 cm 土层,盾巨孢囊霉属和多孢囊霉属只在 0—20 cm 土层出现。

表 3 不同样地间 AM 真菌及土壤因子的差异

Table 3 Difference of AM fungi and soil factors among different sampling sites

样地 Site	孢子密度 Spore density /(个/g)	种丰度 Richness	碱解 N Available N/(μg/g)	有机质 Organic matter /(mg/g)	速效 P Available P /(μg/g)	pH	香农维纳指数 Shannon-Weiner
多伦湖	13.44b	10.75ab	23.24b	1.94b	0.70b	7.81a	1.64ab
黑城子	14.76b	8.50b	26.04b	1.60b	0.55b	7.72a	1.42b
二羊点	62.03a	14.25a	73.36a	9.80a	1.02a	7.61a	1.87a
平均值	30.08	11.17	40.88	4.45	0.74	7.71	1.64

表 4 不同样地 4 属 AM 真菌相对多度 (RA) 空间变化

Table 4 The RA of four AM fungal genus in different soil layers of different sampling sites

样地 Site	AM 真菌 AM fungal genera	相对多度 RA/%				
		0—10 cm	10—20 cm	20—30 cm	30—40 cm	40—50 cm
黑城子	球囊霉属 <i>Glomus</i>	69.2aC	71.5aBC	72.5aAB	73.6aAB	76.2aA
	无梗囊霉属 <i>Acaulospora</i>	12.7bA	11.6bA	8.9bAB	8.1bB	5.2bC
	盾巨孢囊霉属 <i>Scutellospora</i>	0.0c	0.0c	0.0c	0.0c	0.0c
	多孢囊霉属 <i>Diversispora</i>	0.0c	0.0c	0.0c	0.0c	0.0c
多伦湖	球囊霉属 <i>Glomus</i>	50.3aBC	49.8aB	56.0aA	57.1aA	59.8aA
	无梗囊霉属 <i>Acaulospora</i>	11.5bA	8.1bAB	8.7bAB	8.4bAB	5.8bBC
	盾巨孢囊霉属 <i>Scutellospora</i>	0.7cA	0.7cA	0.0cB	0.0cB	0.0Cb
	多孢囊霉属 <i>Diversispora</i>	0.0d	0.0d	0.0d	0.0c	0.0c
二羊点	球囊霉属 <i>Glomus</i>	55.6aA	56.9aA	55.7aA	58.3aA	58.6aA
	无梗囊霉属 <i>Acaulospora</i>	9.9bA	9.3aA	7.3bAB	7.3bAB	5.1bBC
	盾巨孢囊霉属 <i>Scutellospora</i>	2.4cA	2.2cA	0.0cB	0.0cB	0.0cB
	多孢囊霉属 <i>Diversispora</i>	0.5cA	0.3cA	0.0dB	0.0dB	0.0dB

小字母纵向;大字母横向

2.3.2 AM 真菌种丰度、孢子密度及土壤因子空间分布

由表 5 可见,AM 真菌孢子密度,同一样地随土层加深而减少;多伦湖 0—30 cm 土层显著高于 30—50 cm 土层;黑城子 0—20 cm 土层显著高于 20—50 cm 土层;二羊点 0—20 cm 土层显著高于 20—50 cm 土层。种丰度,多伦湖 0—10 cm 土层显著高于 30—40 cm 土层;黑城子 0—20 cm 土层显著高于 40—50 cm 土层;二羊点 0—20 cm 土层显著高于 20—50 cm 土层。

表 5 样地内 AM 真菌及土壤因子空间分布

Table 5 The spatial distribution of AM fungi and soil factors in the sampling sites

样地 Site	土层 Layer /cm	有机质 Organic matter /(mg/g)	碱解 N Available N/(μg/g)	速效 P Available P /(μg/g)	pH	种丰度 Richness	孢子密度 Spore density /(个/g)
多伦湖	0—10	2.05a	24.50a	1.33a	7.56c	12.25a	17.35a
	10—20	2.06a	24.10ab	0.93b	7.68bc	10.00ab	15.70b
	20—30	1.96a	23.10bc	0.48c	7.80b	10.00ab	14.95b
	30—40	1.82a	22.50bc	0.35c	7.89b	8.50b	9.75c
	40—50	1.80a	22.10c	0.40c	8.10a	9.25ab	9.44c
黑城子	0—10	2.13a	30.80a	1.06a	7.61c	16.50a	22.10a
	10—20	1.81b	28.00b	0.58b	7.63bc	17.00a	21.05a
	20—30	1.48c	26.30b	0.34c	7.73abc	14.75ab	13.95b
	30—40	1.35c	22.10c	0.32c	7.83a	10.25b	8.95c
	40—50	1.23c	23.20c	0.48bc	7.81ab	10.00b	7.75c
二羊点	0—10	10.48a	76.30a	1.15a	7.52b	21.00a	72.85a
	10—20	9.81a	75.60a	1.24a	7.59ab	19.75a	69.10ab
	20—30	10.16a	73.50ab	0.89b	7.60ab	14.50b	64.30c
	30—40	9.61ab	71.40b	0.99b	7.64a	13.75bc	55.25d
	40—50	8.95b	70.00b	0.84b	7.70a	11.75c	48.65e

土壤有机质,多伦湖随土层加深无明显差异,黑城子 0—20 cm 土层显著高于 20—50 cm 土层;二羊点 0—30 cm 土层显著高于 40—50 cm。土壤碱解 N 仅二羊点 0—20 cm 土层显著高于 30—50 cm 土层。土壤速效 P,多伦湖 0—20 cm 土层显著高于 20—30 cm 土层;黑城子 0—10 cm 土层显著高于 10—50 cm 土层;二羊点 0—20 cm 土层显著高于 20—50 cm 土层。土壤 pH 值在 7.52—8.10 之间变化,40—50 cm 土层显著高于 0—10 cm 土层。

2.4 AM 真菌与土壤因子相关性分析

由表 6 可知,AM 真菌香农维纳指数和土壤碱解 N 显著正相关,孢子密度与土壤碱解 N、有机质和速效 P 极显著正相关。

表 6 AM 真菌与土壤因子相关性分析
Table 6 Correlation analysis between AM fungi and soil factors

指标 Item	碱解 N Available N / ($\mu\text{g/g}$)	有机质 Organic matter / (mg/g)	速效 P Available P / ($\mu\text{g/g}$)	pH
孢子密度 Spore density	0.973 **	0.952 **	0.741 **	-0.443
种丰度 Richness	0.495	0.49	0.225	-0.009
香农维纳指数 Shannon-Weiner	0.674 *	0.535	0.253	-0.321

* 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

2.5 AM 真菌与土壤因子之间 RDA 分析

基于 AM 真菌各种相对多度进行了 RDA 分析,从图 2 可知,土壤有机质、碱解 N、速效 P 和 pH 值与第一轴(横轴)有很好的相关性,其中土壤有机质、碱解 N 和速效 P 与第一轴呈现正相关,尤其是土壤碱解 N 与第一轴的相关性最高;pH 值与其呈负相关。其中第一、二轴能够解释的响应变量比例为 28.5%。

3 讨论与结论

AM 真菌与植物协同进化,是目前已探明的与植物关系最为密切的土壤微生物^[21]。AM 真菌是宿主植物根系与土壤环境联系的桥梁,关于土壤因子对 AM 真菌与宿主植物形成共生体的影响尚有不同的研究结果^[22]。

3.1 AM 真菌空间分布异质性

研究表明,AM 真菌是好气性真菌,其生长发育需要适合氧气和土壤营养^[23]。本研究也证实了这一点,即不同样地表层土壤 AM 真菌种丰度,孢子密度都显著高于深层土壤。含水量少,透气良好的土壤有利于 AM 真菌孢子萌发和生长。球囊霉属和无梗囊霉属在 3 个样地不同土层普遍存在,证实两个属 AM 真菌为广谱生态型^[24]。

与国内外相关研究相比发现,本试验分离的 AM 真菌属种数高于对其他沙化土壤调查的结果,如 Kennedy 等在北美西南部 *Sporobolus wrightii* 根围分离到 15 种;Ferrol 等在地中海荒漠灌丛仅分离到 5 种,但与钱伟华等在毛乌素沙地分离出的 28 种相差不多,少于杨静等在沙柳根围土壤分离的 37 种 AM 真菌。本研究 中,3 个样地平均孢子密度为 30.08 个/g 土,显著高于毛乌素沙地 7.42 个/g 土和沙坡头 3.15 个/g 土。其主要原因可能与宿主植物特性和气候条件有关。大量研究表明,植物多样性影响着 AM 真菌多样性,不同宿主植物,或同一宿主植物不同生长时期,根系分泌物差异明显^[25];柠条属于豆科植物,能够形成根瘤,有固氮作用,影响了 AM 真菌侵染植物根部等许多生理过程^[26]。气候因子对 AM 真菌孢子形成具有较大影响,其中温度能够影响植物光合作用降低 AM 真菌所需 C 源而限制了其生长发育^[27]。

3.2 土壤因子对 AM 真菌的影响

本研究中,土壤碱解 N、速效 P 和有机质与孢子密度极显著正相关,与 pH 值负相关。AM 真菌能够帮助宿主植物吸收 NH_4^+ ,AM 真菌吸收铵态氮、硝态氮、氨基酸和复杂的有机氮素后,经菌丝进一步处理,参与植物氮素代谢;AM 真菌吸收 NH_4^+ 并释放 H^+ ,导致土壤 pH 显著下降,进一步促进土壤难溶性 P 活化和 AM 真菌对

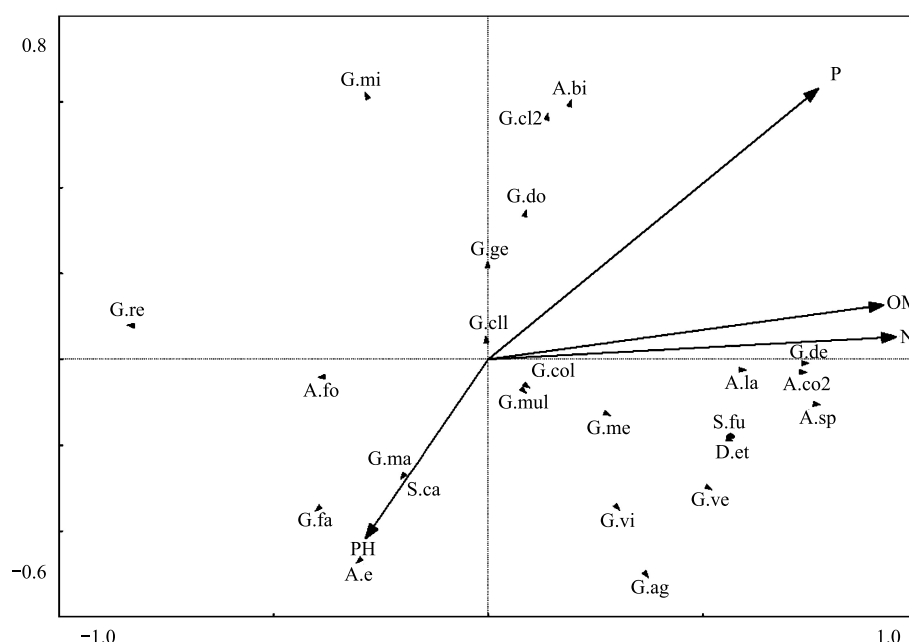


图2 AM真菌群落组成与土壤因子的RDA排序

Fig. 2 RDA pattern of AM fungal community and soil factors

G. re:网状球囊霉、G. me:黑球囊霉、G. col:卷曲球囊霉、G. ge:地球囊霉、G. ve:地地球囊霉、G. cl1:明球囊霉、G. cl2:近明球囊霉、G. de:沙荒球囊霉、G. do:长孢球囊霉、G. fa:集球囊霉、G. mul:多梗球囊霉、G. vi:粘质球囊霉、G. ag:聚丛球囊霉、G. co2:缩球囊霉、G. ma:宽柄球囊霉、G. mi:微丛球囊霉、A. e:凹坑无梗囊霉、A. fo:孔窝无梗囊霉、A. bi:双网无梗囊霉、A. la:光壁无梗囊霉、A. sp:刺状无梗囊霉、S. ca:美丽盾巨孢囊霉、S. fu:亮色盾巨孢囊霉、D. et:幼套多孢囊霉。P:速效P、OM:有机质、N:碱解N、PH:pH值

P的吸收^[28-29]。本试验AM真菌处于低P环境,张好强通过通经分析报道了低P环境下,柠条根际有效P通过直接作用影响AM真菌侵染率,过高速效P含量对AM真菌生长发育有明显抑制作用,这种抑制作用可能是P含量增加导致了根系分泌物数量下降或分泌物成份发生了变化与植物细胞膜透性降低。一定范围内土壤有机质含量提高,对AM真菌生长发育也有促进作用^[30]。3个样地pH值介于7.5—8.5间,随土壤加深pH和球囊霉属相对多度逐渐升高,无梗囊霉属相对多度逐渐下降。这与冀春花和张美庆^[31]的报道一致,球囊霉属适应性强,在所有pH范围内分布较均衡,而无梗囊霉属喜偏酸性土壤。土壤pH除了直接影响AM真菌孢子萌发外,还影响着土壤其他微生物的活动、有机质合成与分解、营元素运转和释放、微量元素有效性以及植物生长,提高土壤部分物质可溶性间接影响孢子形成。

在荒漠条件下,柠条根围AM真菌资源丰富,AM真菌种类分布和丰富度具有明显的空间异质性,并与土壤因子密切相关。这为进一步分离筛选优势AM真菌菌种,充分利用AM真菌资源促进荒漠柠条生长提供了依据。

References:

- [1] Zhu Y G, Miller R M. Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil-plant systems. *Trends in Plant Science*, 2003, 8(9): 407-409.
- [2] Smith S E, Read D J. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd ed. Cambridge: Academic Press, 2008.
- [3] Scervino J M, Gottlieb A, Silvani V A, Pérzola M, Fernández L, Godeas A M. Exudates of dark septate endophyte (DSE) modulate the development of the arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) *Gigaspora rosea*. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(8): 1753-1756.
- [4] Driver J D, Holben W E, Rillig M C. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(1): 101-106.
- [5] Nichols K A, Wright S F. Contributions of soil fungi to organic matter in agricultural soils//Magdoff F, Weil R, eds. *Functions and Management of Soil Organic Matter in Agroecosystems*. Washington DC: CRC, 2004: 179-198.
- [6] Qiao H Q, Zhang Y, Guo L D, Fu J F. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with most common plants in north Xinjiang. *Mycosystema*, 2005, 24(1): 130-136.
- [7] Masahide Y, Shiho I, Koji I. Community of arbuscular mycorrhizal fungi in drought-resistant plants, *Moringa* spp., in semiarid regions in

- Madagascar and Uganda. *Mycoscience*, 2009, 50(2): 100-105.
- [8] Shi Z Y, Feng G, Christie P, Li X L. Arbuscular mycorrhizal status of spring ephemerals in the desert ecosystem of Junggar Basin, China. *Mycorrhiza*, 2006, 16(4): 269-275.
- [9] Zhang H Q, Tang M, Chen H, Tian Z Q, Xue Y Q, Feng Y. Communities of arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria in the rhizosphere of *Caragana korshinskii* and *Hippophae rhamnoides* in Zhifanggou watershed. *Plant and Soil*, 2009, 326(1/2): 415-424.
- [10] Ji C H, Zhang S B, Gai J P, Bai D S, Li X L, Feng G. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in arid zones in northwestern China. *Biodiversity Science*, 2007, 15(1): 77-83.
- [11] Zhang H Q, Tang M, Zhang H H. Influences of soil factors on diversity and colonization of AM fungi in the rhizosphere of *C. korshinskii* and *H. rhamnoides*. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(4): 721-724.
- [12] Qian W H, He X L. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with a desert plant *Artemisia ordosica*. *Biodiversity Science*, 2009, 17(5): 506-511.
- [13] Yang J, He X L, Zhao L L. Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of *Salix psammophila* in Inner Mongolia desert. *Biodiversity Science*, 2011, 19(3): 377-385.
- [14] Zheng Y R, Xie Z X, Gao Y, Jiang L H, Shimizu H, Tobe K. Germination responses of *Caragana korshinskii* Kom. to light, temperature and water stress. *Ecological Research*, 2004, 19(5): 553-558.
- [15] Gerdemann J W, Nicolson T H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 1963, 46(2): 235-244.
- [16] Ianson D C, Allen M F. The effects of soil texture on extraction of vesicular arbuscular mycorrhizal spores from arid sites. *Mycologia*, 1986, 78(2): 164-168.
- [17] Schenck N C, Perez Y. *Manual for Identification of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi*. 2nd ed. Gainesville: INVAM, University of Florida, 1988.
- [18] Morton J B, Redecker D. Two new families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera *Archaeospora* and *Paraglomus*, based on concordant molecular and morphological characters. *Mycologia*, 2001, 93(1): 181-195.
- [19] Rowell D L. *Soil Science: Methods and Applications*. London: Longman Group UK Ltd, 1994.
- [20] Olsen S R, Cole C V, Watanabe F S, Dean L A. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Washington DC: Circular US Department of Agriculture, 1954: 939-939.
- [21] Schüßler A, Schwarzott D, Walker C. A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 2001, 105(12): 1413-1421.
- [22] He X L, Mouratov S, Steinberger Y. Spatial distribution and colonization of arbuscular mycorrhizal fungi under the canopies of desert halophytes. *Arid Land Research and Management*, 2002, 16(2): 149-160.
- [23] He X L, Chen C, He B. Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin of *Hippophae rhamnoides* L. in farming-pastoral zone from the two northern provinces of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(6): 1653-1661.
- [24] Shi Z Y, Gao S C, Wang F Y. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in desert ecosystems. *Arid Zone Research*, 2008, 25(6): 783-789.
- [25] Batten K M, Scow K M, Davies K F, Harrison S P. Two invasive plants alter soil microbial community composition in serpentine grasslands. *Biological Invasions*, 2006, 8(2): 217-230.
- [26] Benbrahim K F, Ismaili M. Interactions in the symbiosis of *Acacia saligna* with *Glomus mosseae* and *Rhizobium* in a fumigated and unfumigated soil. *Arid Land Research and Management*, 2002, 16(4): 365-376.
- [27] Gavito M E, Olsson P A, Rouhier H, Medina-Peñafiel A, Jakobsen I, Bago A, Azcón-Aguilar C. Temperature constraints on the growth and functioning of root organ cultures with arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 2005, 168(1): 179-188.
- [28] Li X, Zhang J L. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to N uptake by plants. *Journal of Shanxi Datong University: Natural Science*, 2008, 24(6): 75-78.
- [29] Muthukumar T, Udaiyan K. Growth and yield of cowpea as influenced by changes in arbuscular mycorrhiza in response to organic manuring. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2002, 188(2): 123-132.
- [30] Liu R J, Li X L. *Arbuscular Mycorrhizal and Its Application*. Beijing: Science Press, 2000.
- [31] Zhang M Q, Wang Y S, Zhang C, Huang L. The ecological distribution characteristics of some genera and species of VAM fungi in Northern China. *Mycosystema*, 1994, 13(3): 166-172.

参考文献:

- [6] 乔红权, 张英, 郭良栋, 傅俊范. 新疆北部地区常见植物根围的丛枝菌根真菌. *菌物系统*, 2005, 24(1): 130-136.
- [10] 冀春花, 张淑彬, 盖京苹, 白灯莎, 李晓林, 冯固. 西北干旱区 AM 真菌多样性研究. *生物多样性*, 2007, 15(1): 77-83.
- [11] 张好强, 唐明, 张海涵. 土壤因子对柠条和沙棘根际 AM 真菌多样性及侵染状况的影响. *土壤学报*, 2009, 46(4): 721-724.
- [12] 钱伟华, 贺学礼. 荒漠生境油蒿根围 AM 真菌多样性. *生物多样性*, 2009, 17(5): 506-511.
- [13] 杨静, 贺学礼, 赵丽莉. 内蒙古荒漠沙柳 AM 真菌物种多样性. *生物多样性*, 2011, 19(3): 377-385.
- [23] 贺学礼, 陈程, 何博. 北方两省农牧交错带沙棘根围 AM 真菌与球囊霉素空间分布. *生态学报*, 2011, 31(6): 1653-1661.
- [24] 石兆勇, 高双成, 王发园. 荒漠生态系统中丛枝菌根真菌多样性. *干旱区研究*, 2008, 25(6): 783-789.
- [28] 李侠, 张俊伶. 丛枝菌根真菌对氮素的吸收作用和机制. *山西大同大学学报: 自然科学版*, 2008, 24(6): 75-78.
- [30] 刘润进, 李晓林. *丛枝菌根及其应用*. 北京: 科学出版社, 2000.
- [31] 张美庆, 王幼珊, 张弛, 黄磊. 我国北方 VA 菌根真菌某些属和种的生态分布. *菌物系统*, 1994, 13(3): 166-172.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 10 May, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Landscape aesthetic assessment based on experiential paradigm assessment technology	LI Xuanqi, HUA Lizhong (2965)
Significant impact of job-housing distance on carbon emissions from transport: a scenario analysis	TONG Kangkang, MA Keming (2975)
The watershed eco-compensation system from the perspective of economics: the cases of pollution compensation	LIU Tao, WU Gang, FU Xiao (2985)
The tourism development impact on Shanghai coastal wetland vegetation	LIU Shidong, GAO Jun (2992)
Effects of the Wenchuan Earthquake on shoot growth and development of the umbrella bamboo (<i>Fargesia robusta</i>), one of the giant panda's staple bamboos	LIAO Lihuan, XU Yu, RAN Jianghong, et al (3001)
Forest carbon sequestration and carbon sink/source in Jiangxi Province	HUANG Lin, SHAO Quanqin, LIU Jiyuan (3010)
Species diversity of herbaceous communities in the Yiluo River Basin	CHEN Jie, GUO Yili, LU Xunling, et al (3021)
Microbial community diversity of rhizosphere soil in continuous cotton cropping system in Xinjiang	GU Meiying, XU Wanli, MAO Jun, et al (3031)
Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. in desert zone	HE Xueli, CHEN Zheng, GUO Huijuan, et al (3041)
Characteristics of photosynthetic productivity and water-consumption for transpiration in <i>Pinus densiflora</i> var. <i>zhangwuensis</i> and <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	MENG Peng, LI Yuling, YOU Guochun, et al (3050)
Seasonal dynamic and influencing factors of coarse woody debris respiration in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest	LIU Qiang, YANG Zhijie, HE Xudong, et al (3061)
Influence of saline soil and sandy soil on growth and mineral constituents of common annual halophytes in Xinjiang	ZHANG Ke, TIAN Changyan, LI Chunjian (3069)
Dynamics change of <i>Betula ermanii</i> population related to shrub and grass on treeline of northern slope of Changbai Mountains	WANG Xiaodong, LIU Huiqing (3077)
Effects of ecological conditions on morphological and physiological characters of tobacco	YAN Kan, CHEN Zongyu (3087)
A study on the hyperspectral inversion for estimating leaf chlorophyll content of clover based on factor analysis	XIAO Yanfang, GONG Huili, ZHOU Demin (3098)
Monthly dynamic variation of soil seed bank in water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir at the beginning after charging water	WANG Xiaorong, CHENG Ruimei, TANG Wanpeng, et al (3107)
Effects of three land use patterns on diversity and community structure of soil ammonia-oxidizing bacteria in <i>Leymus chinensis</i> steppe	ZOU Yukun, ZHANG Jingni, CHEN Xiurong, et al (3118)
Autotoxicity and promoting: dual effects of root litter on American ginseng growth	JIAO Xiaolin, DU Jing, GAO Weiwei (3128)
Effect of differing levels parasitism from native <i>Cuscuta australis</i> on invasive <i>Bidens pilosa</i> growth	ZHANG Jing, YAN Ming, LI Junmin (3136)
Heavy metal concentrations and pollution assessment of riparian soils in Shandong Province	ZHANG Ju, CHEN Shiyue, DENG Huanguang, et al (3144)
Effect of decomposition products of cyanobacteria on <i>Myriophyllum spicatum</i> and water quality in Lake Taihu, China	LIU Lizhen, QIN Boqiang, ZHU Guangwei, et al (3154)
Succession of macrofauna communities in wetlands of <i>Sonneratia apetala</i> artificial mangroves during different ecological restoration stages	TANG Yijie, FANG Zhanqiang, ZHONG Yanting, et al (3160)
Group characteristics of Chinese Merganser (<i>Mergus squamatus</i>) during the wintering period in Poyang Lake watershed, Jiangxi Province	SHAO Mingqin, ZENG Binbin, SHANG Xiaolong, et al (3170)
Effect of forest rodents on predation and dispersal of <i>Pinus armandii</i> seeds in Qinling Mountains	CHANG Gang, WANG Kaifeng, WANG Zhi (3177)
Circadian rhythms of activity, metabolic rate and body temperature in desert hamsters (<i>Phodopus roborovskii</i>)	WANG Luping, ZHOU Shun, SUN Guoqiang (3182)
Effects of temperature stress and ultraviolet radiation stress on antioxidant systems of <i>Locusta migratoria tibetensis</i> Chen	LI Qing, WU Lei, YANG Gang, et al (3189)
Carbon cycling from rice-duck mutual ecosystem during double cropping rice growth season	ZHANG Fan, GAO Wangsheng, SUI Peng, et al (3198)
Protein expression characteristics and their response to nitrogen application during grain-filling stage of rice (<i>Oryza Sativa</i> L.)	ZHANG Zhixing, CHENG Jun, LI Zhong, et al (3209)
Review and Monograph	
Advances in influence of seawater eutrophication on marine bacteria	ZHANG Yubin, ZHANG Jiexiang, SUN Xingli (3225)
A review of comprehensive effect of ocean acidification on marine fishes	LIU Hongjun, ZHANG Zhendong, GUAN Shuguang, et al (3233)
Evaluation of the controlling methods and strategies for <i>Mikania micrantha</i> H. B. K.	LI Mingguang, LU Erbei, GUO Qiang, et al (3240)
Scientific Note	
Dynamics of land use/cover changes in the Weigan and Kuqa rivers delta oasis based on Remote Sensing	SUN Qian, TASHPOLAT. Tiyp, ZHANG Fei, et al (3252)
Phytoplankton assemblages in East China Sea in winter 2009	GUO Shujin, SUN Jun, DAI Minhan, et al (3266)
On the physical chemical and soil microbial properties of soils in the habitat of wild Ferula in Xinjiang	FU Yong, ZHUANG Li, WANG Zhongke, et al (3279)
The community characteristics of <i>Calligonum roborovskii</i> A. Los in Tarim Basin	Gulnur Sabirhazi, PAN Borong, DAUN Shimin (3288)
Stability analysis of mine ecological industrial symbiotic system	SUN Bo, WANG Guangcheng (3296)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 10 期 (2012 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 10 (May, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元