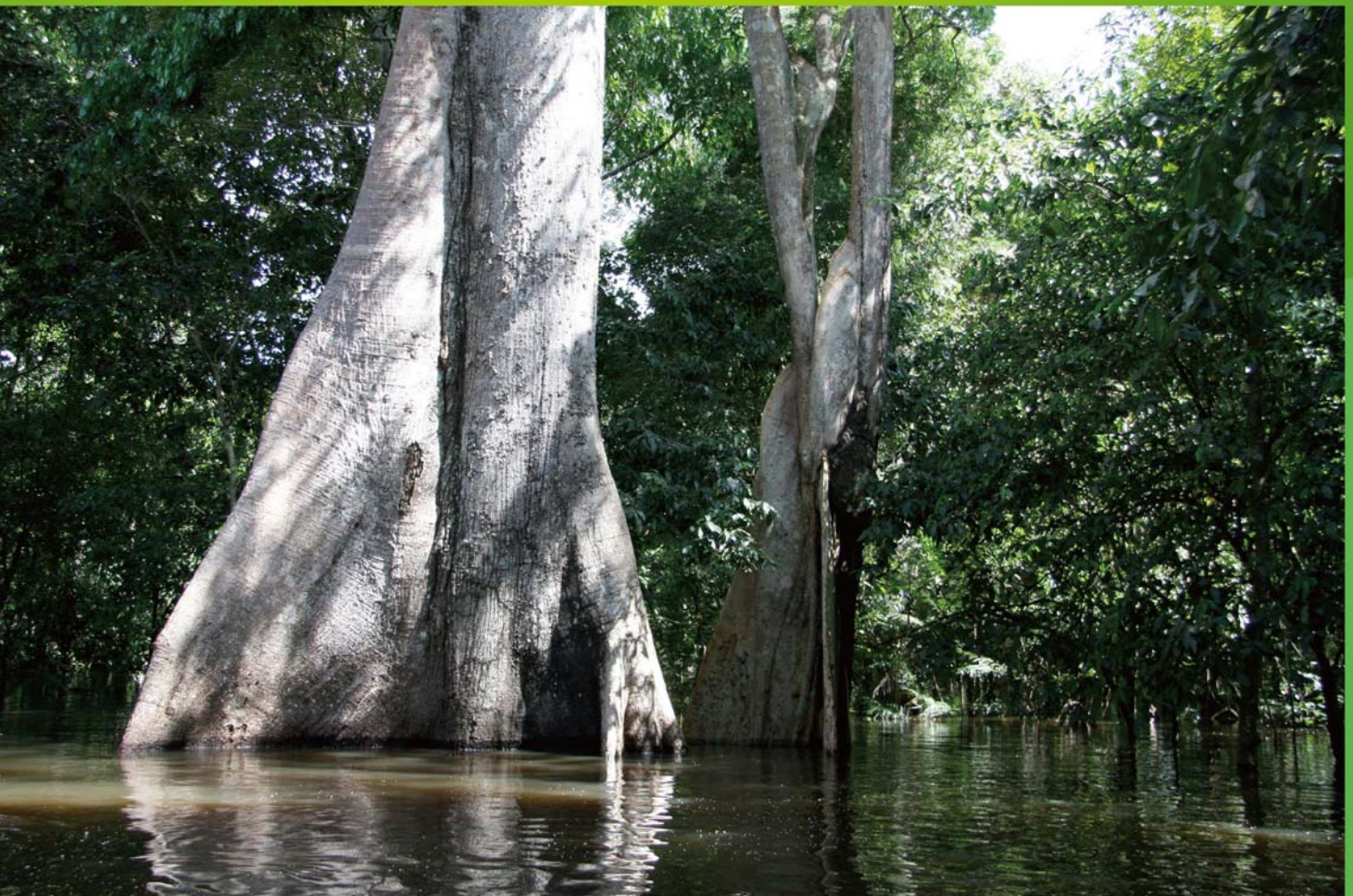


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

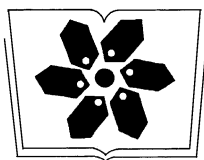
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第8期 Vol.31 No.8 **2011**

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 31 卷 第 8 期

2011 年 4 月 (半月刊)

目 次

塔里木河下游胡杨径向生长与地下水的关系·····	安红燕,徐海量,叶 茂,等 (2053)
冲积平原区高程因子对土壤剖面质地构型的影响——以封丘县为例·····	檀满枝,密术晓,李开丽,等 (2060)
臭氧胁迫对大豆叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响·····	王俊力,王 岩,赵天宏,等 (2068)
重要理化因子对小球藻生长和油脂产量的影响·····	张桂艳,温小斌,梁 芳,等 (2076)
北亚热带马尾松净生产力对气候变化的响应·····	程瑞梅,封晓辉,肖文发,等 (2086)
亚热带沟叶结缕草草坪土壤呼吸·····	李熙波,杨玉盛,曾宏达,等 (2096)
UV-B 辐射对马尾松凋落叶分解和养分释放的影响·····	宋新章,张慧玲,江 洪,等 (2106)
干旱胁迫下内生真菌感染对羽茅的生理生态影响·····	韩 荣,李 夏,任安芝,等 (2115)
蜜环菌对锌的耐性和富集特性·····	朱 林,程显好,李维焕,等 (2124)
干旱荒漠区狭叶锦鸡儿灌丛扩展对策·····	张建华,马成仓,刘志宏,等 (2132)
黄土高原区不同植物凋落物搭配对土壤微生物量碳、氮的影响·····	王春阳,周建斌,夏志敏,等 (2139)
内蒙古典型草原克氏针茅与冰草的生存策略·····	孙 建,刘 苗,李胜功,等 (2148)
荒漠沙柳根围 AM 真菌的空间分布·····	贺学礼,杨 静,赵丽莉 (2159)
开放式昼夜不同增温对单季稻影响的试验研究·····	董文军,邓艾兴,张 彬,等 (2169)
醉马草免培养内生细菌的多样性·····	张雪兵,史应武,曾 军,等 (2178)
河南生态足迹驱动因素的 Hi_PLS 分析及其发展对策·····	贾俊松 (2188)
禹城市耕地土壤盐分与有机质的指示克里格分析·····	杨奇勇,杨劲松,余世鹏 (2196)
旋覆花提取物对朱砂叶螨的生物活性及酶活性的影响·····	段丹丹,王有年,成 军,等 (2203)
白洋淀湖滨湿地岸边带氨氧化古菌与氨氧化细菌的分布特性·····	叶 磊,祝贵兵,王 雨,等 (2209)
干旱胁迫条件下 6 种喀斯特主要造林树种苗木叶片水势及吸水潜能变化·····	王 丁,姚 健,杨 雪,等 (2216)
桉树人工林物种多样性变化特征·····	刘 平,秦 晶,刘建昌,等 (2227)
海河流域湿地生态系统服务功能价值评价·····	江 波,欧阳志云,苗 鸿,等 (2236)
芦苇在微咸水河口湿地甲烷排放中的作用·····	马安娜,陆健健 (2245)
云南不同土壤铅背景值下大叶茶种群对铅的吸收积累特征及其遗传分化·····	刘声传,段昌群,李振华,等 (2253)
长江口和杭州湾凤鲚胃含物与海洋浮游动物的种类组成比较·····	刘守海,徐兆礼 (2263)
江西大岗山地区 7—9 月降水量的重建与分析·····	乔 磊,王 兵,郭 浩,等 (2272)
山核桃免耕经营的经济效益和生态效益·····	王正加,黄兴召,唐小华,等 (2281)
基于 GIS 的广州市中心城区城市森林可达性分析·····	朱耀军,王 成,贾宝全,等 (2290)
专论与综述	
土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性·····	杨庆朋,徐 明,刘洪升,等 (2301)
植物代谢速率与个体生物量关系研究进展·····	程栋梁,钟全林,林茂兹,等 (2312)
耕地生态补偿实践与研究进展·····	马爱慧,蔡银莺,张安录 (2321)
问题讨论	
元谋干热河谷三种植被恢复模式土壤贮水及入渗特性·····	刘 洁,李贤伟,纪中华,等 (2331)
研究简报	
中微量元素和有益元素对水稻生长和吸收镉的影响·····	胡 坤,喻 华,冯文强,等 (2341)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-04



封面图说:巴西热带雨林——美丽的巴西北部玛瑙斯热带雨林景观。位于南美洲的亚马逊河是世界上流域最广、流量最大的河流,孕育了世界面积最大的热带雨林,雨林中蕴藏着极丰富的生物资源。

彩图提供:中国科学院生态环境研究中心徐卫华博士 E-mail:xuweihua@rcees.ac.cn

荒漠沙柳根围 AM 真菌的空间分布

贺学礼*, 杨 静, 赵丽莉

(河北大学生命科学学院, 河北保定 071002)

摘要:为探明荒漠植物沙柳(*Salix psammophila*)根围 AM 真菌空间分布和土壤因子生态作用, 2009 年 5 月在内蒙古黑城子、正蓝旗、元上都 3 个样地分别从 0—10、10—20、20—30、30—40、40—50 cm 5 个土层采集沙柳根围土壤样品, 系统研究了 AM 真菌空间分布及与土壤因子的相关性。结果表明, 沙柳根围 AM 真菌平均孢子密度为 108 个/100 g 土, 平均定殖率 61.7%; 沙柳与 AM 真菌可形成良好的 I 型丛枝菌根。不同样地和采样深度对 AM 真菌孢子密度和定殖率有显著影响, 最大孢子密度和最高定殖率均出现在 0—10 cm 土层, 并随土层深度增加而下降。黑城子样地孢子密度显著高于其它样地。沙柳根围土壤总球囊霉素 (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, 平均值分别为 0.24 mg/g 和 0.16 mg/g, 占土壤有机 C 23.6%—24.6% 和 14.9%—17.3%。相关分析表明, 土壤速效 P、碱解 N 与孢子密度显著负相关; 土壤有机 C 与菌丝定殖率显著正相关, 与孢囊定殖率显著负相关; 土壤磷酸酶与孢子密度和侵染强度极显著正相关; 土壤脲酶与孢子密度和定殖率极显著正相关; 土壤总球囊霉素和易提取球囊霉素与土壤有机 C 极显著正相关。主成分分析表明, 土壤有机 C、磷酸酶和碱解 N 是影响荒漠土壤 AM 真菌分布和活动的主要因子。结果对进一步探明宿主植物、菌根和土壤三者之间的内在联系, 充分利用 AM 真菌资源, 促进荒漠植被恢复和生态重建具有重要意义。

关键词: AM 真菌; 土壤因子; 空间分布; 沙柳; 内蒙古荒漠

Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in *Salix psammophila* root-zone soil in Inner Mongolia desert

HE Xueli*, YANG Jing, ZHAO Lili

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

Abstract: Arbuscular mycorrhizal fungi are important soil microorganisms belonging to the phylum Glomeromycota, and have a ubiquitous distribution in global terrestrial ecosystems. They are a living bridge for the translocation of nutrients from soil to plant roots and of carbon from plant roots to the soil. Glomalin is a recently discovered glycoproteinaceous substance produced by hyphae and spores of AM fungi that play an important role in structuring soil. *Salix psammophila* is one of the excellent sand-fixation plants that can not only well stand up to arid desert environment, but also maintain the balance and stability of desert ecosystem. To elucidate the spatial distribution of AM fungi and glomalin and explain the relativity of AM fungi and glomalin with soil factors in rhizosphere of *S. psammophila*, we sampled from three different sites such as Heichengzi, Zhenglanqi and Yuanshangdu in Inner Mongolia in May 2009. Root samples were taken from four robust *S. psammophila*, and soil samples from five strata, from ground to deeper layers: 0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm, 30—40 cm, 40—50 cm, respectively. The results showed that a good symbiotic relation, intermediate type of clumping mycorrhizomata, was formed between AM fungi and *S. psammophila*; the mean density of AM fungi was 108 spores per 100 g of soil, with a mean of total colonization of 61.7%. There was no significant difference on the total colonization of AM fungi among the three sampling sites ($P > 0.05$); but the spore densities of AM fungi differed significantly ($P < 0.05$), with the value at Heichengzi ranking the first. All the highest spore densities were found in the layer of 0—10 cm, and the values decreased with layers deepened. The contents of total extractable glomalin (TEG) and easily extractable glomalin

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30670371, 40471075)

收稿日期: 2010-04-06; 修订日期: 2010-07-07

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

(EEG) were affected by ecological conditions, and also decreased with layers deepened. The means of TEG and EEG were 0.24 and 0.16 mg/g, accounting for 23.6%—24.6% and 14.9%—17.3% of soil organic matter. Both available P and available N in the soil samples showed a negative correlation on spore density ($P < 0.05$); hyphal colonization was positively correlated with soil organic matter ($P < 0.05$), but was vesicular colonization negatively done ($P < 0.05$). Soil phosphatase had a significantly positive correlation with spore density and colonization intensity ($P < 0.01$). Soil urease was extremely positively correlated with the spore density and colonization ($P < 0.01$). TEG and EEG were closely related to soil organic matter ($P < 0.01$). Principal component analysis showed that soil organic matter, phosphatase and available N were the key factors affecting distributions and activities of AM fungi in the desert of Inner Mongolia. The results of the study suggested that glomalin be an appropriate index related to the level of soil fertility, especially in desert areas. Moreover, the paper revealed the relationship among the host plant, AM fungi and the soils, which might be significant to promote vegetative and ecological restoration in deserts.

Key Words: AM fungi; soil factors; spatial distribution; *Salix psammophila*; Inner Mongolia desert

AM(arbuscular mycorrhiza)真菌是一类分布广泛、适应性强、宿主植物极为广泛的内生真菌。研究表明,AM 真菌不仅能够促进植物根系对土壤矿质元素和水分吸收,调节植物代谢活动,增强抗逆性,而且 AM 真菌外生菌丝在植物根围形成庞大菌丝网络系统及菌丝分泌的粘性物质,对于稳定土壤结构、固定沙丘、改善土壤理化性质,促进荒漠地区植被恢复具有重要价值^[1]。

AM 真菌的分布、侵染、产孢及其生理效应受各种生态因子的影响,尤以土壤因子对其影响最为突出。迄今为止,国内外学者对荒漠土壤 AM 真菌的研究主要集中在菌根结构类型及侵染状况、多样性、菌根资源调查,菌根对植物生长、群落结构调节及土壤特性变化等方面^[2-5]。关于荒漠植物菌根状况与土壤因子相互作用的研究相对较少^[6],尤其缺乏对荒漠 AM 真菌生态进程中主要土壤因子的筛选,以及土壤酶和球囊霉毒素的研究。

沙柳(*Salix psammophila*)属杨柳科柳属植物,主要分布于河北、内蒙古、陕西、山西和甘肃等地的温带荒漠,由于长期适应干旱荒漠环境,使得沙柳具有抗逆性强、耐旱、抗风沙、耐盐碱、生长迅速、枝叶茂密、根系发达、固沙保土力强等特性,在荒漠植被恢复和生态重建方面发挥着不可替代的作用。

本试验通过对内蒙古荒漠地区沙柳根围土壤样品采集和分析,研究了 AM 真菌空间分布及与土壤因子的相关性,以便为进一步阐明荒漠植物、丛枝菌根和土壤环境三者之间的关系,充分利用 AM 真菌资源促进荒漠植被恢复和生态重建提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

试验样地选在内蒙古额济纳旗黑城子遗址(42°09'N,115°56'E)、锡林郭勒盟正蓝旗城南(42°12'N,115°57'E)和元上都遗址(42°15'N,116°10'E)。土壤为风沙土,以固定半固定沙丘为主。海拔 1300—1400m,年均气温 0.1—5℃,降水量 185—387mm,季节分配不均,6—8 月降水占全年降水量的 70% 左右,年蒸发量为 1572—2524mm。无霜期 100—120d,多大风和沙尘暴天气。

1.2 样品采集

2009 年 5 月,从所选样地随机选取生长良好的沙柳植株,在距植株主干 0—30 cm 范围内挖土壤剖面,分 0—10 cm、10—20 cm、20—30cm、30—40 cm 和 40—50 cm 5 个土层采集土样和根样约 1kg,每个样品重复 4 次,并记录采样时间、地点和根围环境等并编号。将土样装入隔热性能良好的塑料袋密封带回实验室,阴干后 4℃ 冷藏;部分土样过 2 mm 筛,用于土壤理化成分、球囊霉素和 AM 真菌孢子密度测定;样品过筛后收集根样切成 1cm 根段,用于 AM 真菌定殖率和侵染强度测定。

1.3 试验方法

AM 真菌定殖率和侵染强度按 Phillips 和 Hayman^[7] 方法测定。从每份土样中取 20 g 风干土,用湿筛倾析-蔗糖离心法^[8] 分离 AM 真菌孢子。体视显微镜下记录孢子数量,以每 100g 风干土中含孢量计为孢子密度。

土壤有机 C 用重铬酸钾氧化法,土壤 pH 用电位法,土壤碱解 N 用碱解扩散法,土壤速效 P 用碳酸氢钠-钼锑抗比色法^[9]。

球囊霉素按 Wright^[10] 和 David 等^[11] 的方法测定。易提取球囊霉素(EEG):取 1 g 风干土于试管中,加入 20mmol/L(pH 7.0)的柠檬酸钠浸提剂 8 mL,在 103 kPa、121℃ 条件下连续提取 90 min,后在 10000×g 下离心 6 min,收集上清液;总球囊霉素(TEG)测定:取 1g 风干土于试管中,加入 50 mmol/L(pH 8.0)的柠檬酸钠浸提剂 8 mL,在 103 kPa、121℃ 条件下连续提取 60 min,再重复提取 2 次;10000×g 下离心 5 min,收集上清液。分别吸取上清液 0.5 mL,加入 5mL 考马斯亮蓝 G-250 染色剂,在 595 nm 波长下比色。用牛血清蛋白标液考马斯亮蓝法显色,绘制标准曲线,求出球囊霉素含量。

土壤磷酸酶用改进的 Tabatabai 和 Brimner 方法^[12] 测定,活性以每克风干土培养 1h 催化 PNPP 分解产生对硝基苯酚的微克数(μg)表示;土壤脲酶用改进的 Hoffmann 与 Teicher 比色法^[12] 测定,活性以每克风干土培养 1h 催化尿素分解产生 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的微克数(μg)表示。

采用 SPSS 16.0 统计软件对试验数据进行方差(One-Way ANOVA)、Pearson 法两两相关分析、主成分分析。

2 结果与分析

2.1 菌根形态结构

观察结果表明,沙柳根系能被 AM 真菌侵染形成典型的 I-型丛枝菌根,即宿主植物细胞内既有胞间菌丝,又有胞内圈状菌丝。菌丝延伸生长,多为有隔菌丝,偶见无隔菌丝;菌丝侧向分支进入细胞内形成典型的树枝状和花椰菜状丛枝,也能见到丛枝消解在细胞内呈点状分布;孢囊以球形和椭球形为主,偶见不规则形(图 1)。

2.2 AM 真菌的空间分布

由表 1 可知,不同样地沙柳根围 AM 真菌孢子密度差异显著。黑城子样地平均孢子密度最高,为 154 个/100g 土,显著高于元上都样地。黑城子样地孢子密度随土壤深度增加而减少,0—10cm 土层孢子密度显著高于 30—50cm 土层;正蓝旗样地 0—10cm 土层孢子密度显著高于 20—30cm 和 40—50cm 土层;元上都样地孢子密度随土壤深度增加而下降(除 30—40cm 土层),0—10cm 土层孢子密度显著高于其它土层。同一土层不同样地,0—40cm 土层,黑城子孢子密度显著高于元上都;20—50cm 土层,正蓝旗样地孢子密度显著高于元上都。

不同样地间,孢囊定殖率大小依次是正蓝旗>黑城子>元上都;3 样地孢囊定殖率随土壤深度增加而下降,最大值均出现在 0—10cm 土层;黑城子样地 0—10cm 土层孢囊定殖率显著高于其它土层;正蓝旗样地 0—30cm 土层孢囊定殖率显著高于 30—50cm 土层;元上都样地 40—50cm 土层未发现孢囊定殖。同一土层不同样地,0—10cm 土层和 30—50cm 土层,黑城子样地孢囊定殖率显著高于元上都。

黑城子样地丛枝定殖率显著高于正蓝旗和元上都样地;同一样地不同土层丛枝定殖率无显著差异;黑城子样地 40—50cm 土层没有丛枝定殖;正蓝旗和元上都样地 30cm 以下土层均未发现丛枝定殖。同一土层不同样地,20—30cm 土层,黑城子丛枝定殖率显著高于其它样地,其它土层 3 样地丛枝定殖率无显著差异。

菌丝和总定殖率的空间变化在各样地间不同。黑城子样地,0—40cm 土层菌丝和总定殖率显著高于 40—50cm 土层;正蓝旗样地,0—20cm 土层菌丝和总定殖率显著高于 30—50cm 土层;元上都样地,0—10cm 土层菌丝和总定殖率显著高于 30—50cm 土层,10—30cm 土层菌丝和总定殖率显著高于 40—50cm 土层。同一土层不同样地,0—10cm 土层,元上都样地菌丝定殖率显著高于正蓝旗;30—40cm 土层,黑城子样地菌丝定

殖率显著高于正蓝旗。

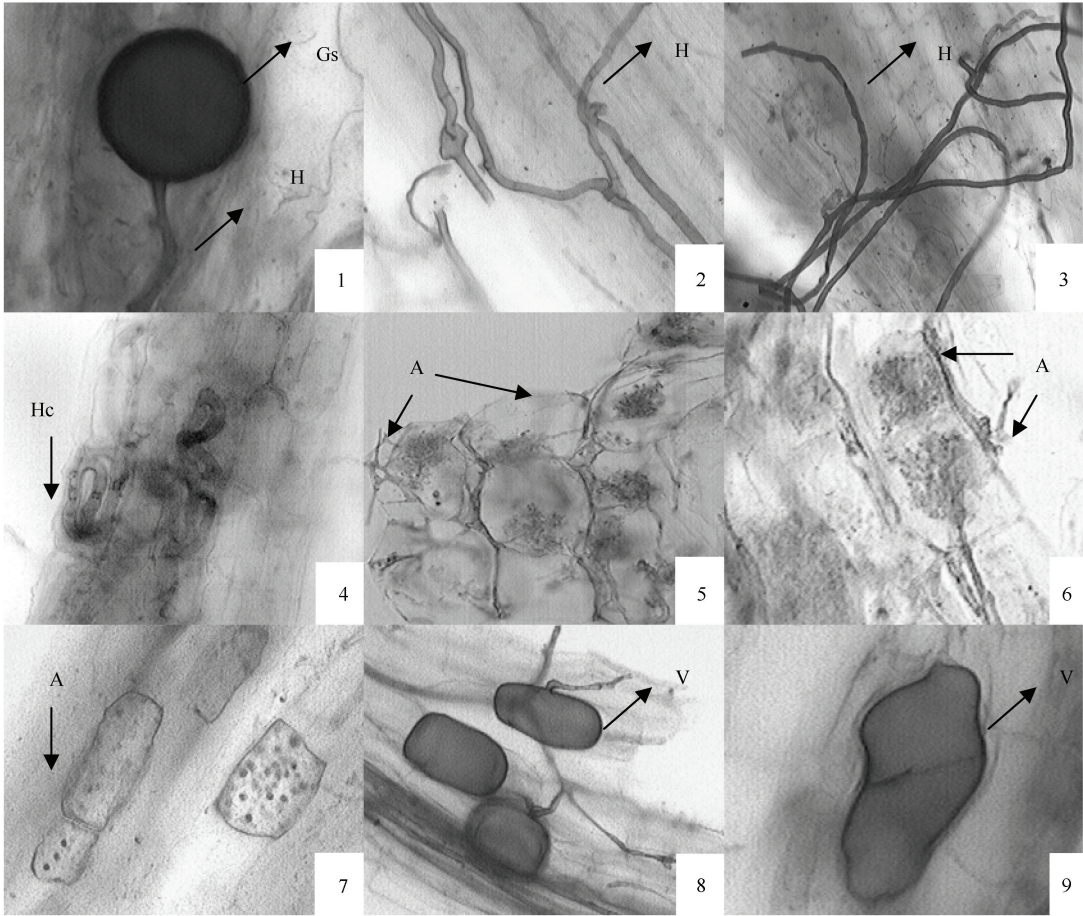


图1 沙柳丛枝菌根结构(×400)

Plate 1 Arbuscular mycorrhizal structure of *Salix psammophila* (×400)

1. 萌发的孢子 2. 有隔菌丝;3. 无隔菌丝;4. 菌丝圈;5. 树枝状丛枝;6. 花椰菜状丛枝; 7. 丛枝消解; 8. 椭圆形泡囊;9. 不规则泡囊(GS: 萌发的孢子;H: 菌丝;HC: 菌丝圈;A: 丛枝;V: 泡囊)

表1 沙柳根围 AM 真菌空间分布 (n=60)

Table 1 The spatial distribution of AM fungi in the rhizosphere of *Salix psammophila*

样地 Site	土层 Soil layer /cm	泡囊 Vesicule/%	丛枝 Arbuscule/%	菌丝 Hypha/%	总定殖率 Total/%	侵染强度 Colonization intensity	孢子密度 Spore density /(个/100g)
黑城子	0—10	0.43aA	0.03aA	0.78aAB	0.70aA	0.69aA	303aA
Heichengzi	10—20	0.26bA	0.03aA	0.69aA	0.69aA	0.45abA	180abA
	20—30	0.25bA	0.03aA	0.63aA	0.64aA	0.36bA	161abA
	30—40	0.22bA	0.01aA	0.61aA	0.61aA	0.31bA	77bA
	40—50	0.15bA	0.00aA	0.37bA	0.36bA	0.25bA	54bAB
均值 Average		0.27a	0.021a	0.62a	0.61a	0.41a	154a
正蓝旗	0—10	0.45aA	0.008aA	0.61aB	0.79aA	0.62aA	196aAB
Zhenglanqi	10—20	0.36aA	0.003aA	0.65aA	0.75aA	0.60aA	148abA
	20—30	0.33aA	0.005aB	0.45abA	0.62abA	0.36abA	81bB
	30—40	0.17bAB	0.000aA	0.35bB	0.45bA	0.24bA	133abA
	40—50	0.07bAB	0.000aA	0.38bA	0.41bA	0.17bA	80bA
均值 Average		0.28a	0.003b	0.49b	0.60a	0.40a	128a

续表

样地 Site	土层 Soil layer /cm	泡囊 Vesicule/%	丛枝 Arbuscule/%	菌丝 Hypha/%	总定殖率 Total/%	侵染强度 Colonization intensity	孢子密度 Spore density /(个/100g)
元上都	0—10	0.14aB	0.022aA	0.80aA	0.95aA	0.74aA	84aB
Yuanshangdu	10—20	0.08abA	0.015aA	0.71abA	0.72abA	0.53abA	34bB
	20—30	0.10abA	0.028aB	0.58abA	0.58bcA	0.35bcA	31bC
	30—40	0.02bB	0.000aA	0.53bcAB	0.53bcA	0.36bcA	44bB
	40—50	0.00bB	0.000aA	0.39cA	0.39cA	0.20cA	23bB
均值 Average		0.07b	0.008b	0.60ab	0.64a	0.44a	43b

同列数据不同小写字母表示同一地不同土层在 $P<0.05$ 水平上差异显著;同列数据不同大写字母表示同一土层不同样地在 $P<0.05$ 水平上差异显著

AM 真菌侵染强度样地间无显著差异。同一样地侵染强度随土壤深度增加而下降。黑城子和元上都样地,0—10cm 土层侵染强度显著高于 20—50cm 土层;正蓝旗样地,0—20cm 土层侵染强度显著高于 30—50cm 土层。

2.3 球囊霉素和土壤因子空间分布

由表 2 可知,总球囊霉素在元上都样地显著高于黑城子和正蓝旗。黑城子和正蓝旗样地,总球囊霉素随土壤深度增加而下降,0—10cm 土层显著高于 30—50cm 土层;元上都样地土层间无显著差异。易提取球囊霉素与总球囊霉素在样地间变化规律相似,元上都显著高于黑城子和正蓝旗;黑城子和正蓝旗易提取球囊霉素在 0—10cm 土层达最大值,元上都 30—40cm 土层值最大。20—50cm 土层,元上都样地总球囊霉素和易提取球囊霉素显著高于其它样地。

表 2 沙柳根围土壤因子和球囊霉素空间分布 ($n=60$)

Table 2 The spatial distribution of soil factors and glomalin in the rhizosphere of *Salix psammophila*

样地 Site	土层 Soil Layer /cm	TEG /(mg/g)	EEG /(mg/g)	酸性磷酸酶 Acid phosphatase /($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase /($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	脲酶 Urease /($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	pH	速效 P Available P /($\mu\text{g/g}$)	碱解 N Available N /($\mu\text{g/g}$)	有机 C Organic matter /(mg/g)
黑城子	0—10	0.33aA	0.23aA	42.68aA	46.68aA	0.17aA	7.20aA	1.29aA	17.29aA	1.34aA
Heichengzi	10—20	0.20aAB	0.15bAB	37.70aA	22.58bAB	0.09bA	7.34aA	0.78bB	13.02abB	0.74bB
	20—30	0.15abB	0.13bB	31.80aA	17.12bAB	0.06bcA	7.35aA	1.02aA	12.46abB	0.67bB
	30—40	0.12bB	0.10bcB	31.24aA	11.22bB	0.02cA	7.36aA	0.88bB	10.78abB	0.56bcB
	40—50	0.09bB	0.06cB	28.65aA	9.72bB	0.01cA	7.21aA	1.01aA	9.17bB	0.41cB
均值 Average		0.18b	0.13b	34.41a	21.46a	0.07a	7.29ab	0.89b	12.54b	0.58b
正蓝旗	0—10	0.22aA	0.15aA	26.36aA	30.54aA	0.20aA	7.19aA	3.00aA	13.37aA	0.88aA
Zhenglanqi	10—20	0.15abB	0.09bB	30.21aA	10.09aB	0.08bA	7.21aA	2.67aAB	10.71bB	0.51bB
	20—30	0.111bB	0.07bB	26.57aA	9.80aB	0.043bA	7.25aA	2.56aA	10.57bB	0.39bB
	30—40	0.12bB	0.076bB	23.43aA	12.01aB	0.044bA	7.22aA	2.90aA	11.34bB	0.53bB
	40—50	0.113bB	0.081bB	32.20aA	21.91aA	0.04bA	7.23aA	2.99aA	10.15bB	0.57abB
均值 Average		0.14b	0.09b	33.72a	16.87a	0.08a	7.22b	2.63a	11.23b	0.74b
元上都	0—10	0.39aA	0.26aA	40.72aA	31.69aA	0.091aA	7.27aA	2.63bA	19.95aA	1.59aA
Yuanshangdu	10—20	0.371aA	0.252aA	39.65aA	26.09aA	0.095aA	7.28aA	3.14abA	19.74aA	1.56aA
	20—30	0.38aA	0.251aA	25.27aA	27.00aA	0.021aA	7.37aA	2.63bA	19.01aA	1.60aA
	30—40	0.42aA	0.29aA	33.39aA	26.38aA	0.016aA	7.43aA	2.92abA	17.67aA	1.83aA
	40—50	0.367aA	0.24aA	29.56aA	26.51aA	0.01aA	7.47aA	4.78aA	17.92aA	1.63aA
均值 Average		0.39a	0.26a	27.76a	27.53a	0.05a	7.36a	3.27a	18.86a	1.64a

TEG:总球囊霉素;EEG:易提取球囊霉素

土壤酸性磷酸酶和碱性磷酸酶在样地间无显著差异。碱性磷酸酶在黑城子样地,0—10cm 土层显著高于 20—50cm 土层,其它样地各土层差异不显著。同一土层不同样地酸性磷酸酶无显著差异,而 10—50cm 土层,元上都样地碱性磷酸酶显著高于正蓝旗样地。

土壤脲酶活性在样地间差异不显著,随土层加深,脲酶活性下降。黑城子 0—20cm 土层脲酶活性显著高于 30—50cm 土层,正蓝旗 0—10cm 土层显著高于其它土层,元上都各土层间无显著差异。

土壤 pH 值在元上都最大,显著高于正蓝旗。同一样地不同土层或同一土层不同样地,pH 值均无显著差异。

不同样地间,元上都、正蓝旗样地土壤速效 P 显著高于黑城子;同一样地不同土层间,速效 P 含量差异显著。同一土层不同样地,仅 10—20cm 和 30—40cm 土层,元上都速效 P 显著高于黑城子。

土壤碱解 N 元上都最高,显著高于其它样地。同一样地不同土层,黑城子 0—10cm 土层碱解 N 显著高于 40—50cm 土层;正蓝旗 0—10cm 土层显著高于 10—50cm。随土层加深,碱解 N 含量下降(除 30—40cm 土层)。同一土层不同样地,10—50cm 土层,碱解 N 含量元上都显著高于黑城子和正蓝旗。

有机 C 含量元上都最高,显著高于黑城子和正蓝旗;同一样地不同土层,黑城子和正蓝旗 0—10cm 土层有机 C 显著高于 10—40cm 土层,元上都各土层无显著差异。同一土层不同样地,仅 10—50cm 土层,有机 C 元上都显著高于黑城子和正蓝旗。

2.4 AM 真菌与土壤因子的相关性

由表 3 可知,孢子密度与土壤酸性磷酸酶、碱性磷酸酶和脲酶极显著正相关,与总球囊霉素和易提取球囊霉素显著正相关,与速效 P 和碱解 N 显著负相关;泡囊定殖率与脲酶极显著正相关,与酸性磷酸酶显著正相关,与有机 C 显著负相关;丛枝定殖率与脲酶显著正相关;菌丝定殖率与速效 P 极显著负相关,与酸性磷酸酶和脲酶极显著正相关,与有机 C 和碱性磷酸酶显著正相关;总定殖率与碱性磷酸酶和脲酶极显著正相关,与 pH 值和速效 P 显著负相关;侵染强度与酸性磷酸酶、碱性磷酸酶和脲酶极显著正相关;总球囊霉素和易提取球囊霉素与碱解 N、有机 C 和碱性磷酸酶极显著正相关。

表 3 AM 真菌与土壤因子相关性分析($n=60$)

Table 3 Relativity analysis between AM fungi and soil factors

项目 Item	pH	速效 P Available P	碱解 N Available N	有机 C Organic matter	孢子密度 Spore density	TEG	EEG	酸性磷酸酶 Acid phosphatase	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	脲酶 Urease
孢子密度 Spore density	-0.072	-0.186 *	-0.010 *	0.145	1	0.195 *	0.261 *	0.470 **	0.340 **	0.469 **
泡囊 Vesicle	-0.115	-0.104	-0.233	-0.278 *	0.536 **	-0.213	-0.187	0.303 *	-0.036	0.430 **
丛枝 Arbuscule	-0.191	-0.039	0.087	-0.006	0.239	0.030	0.016	-0.157	0.239	0.277 *
菌丝 Hypha	-0.253	-0.370 **	0.215	0.268 *	0.328 *	0.322	0.357	0.334 **	0.328 *	0.339 **
总定殖 Total	-0.258 *	-0.272 *	0.142	0.170	0.405 **	0.247	0.262	0.221	0.405 **	0.446 **
侵染强度 Colonization intensity	-0.167	-0.196	0.155	0.165	0.345 **	0.211	0.218	0.340 **	0.345 **	0.432 **
TEG	0.071	-0.095	0.787 **	0.985 **	0.195 *	1	0.977 **	0.187	0.519 **	0.118
EEG	0.045	-0.115	0.750 **	0.976 **	0.261 *	0.977 **	1	0.204	0.549 **	0.095

* 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

2.5 土壤因子相关性分析

由表 4 可知:荒漠主要土壤因子之间有一定相关性,土壤 pH 值与速效 P 显著正相关;土壤碱解 N 与有机

C、碱性磷酸酶极显著正相关,与酸性磷酸酶和脲酶显著正相关;土壤有机 C 与碱性磷酸酶极显著正相关;土壤酸性磷酸酶与脲酶极显著正相关。

表 4 土壤因子相关性分析($n=60$)

Table 4 Correlation analysis of soil factors

项目 Item	pH	速效 P Available P	碱解 N Available N	有机 C Organic matter	酸性磷酸酶 Acid phosphatase	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	脲酶 Urease
pH	1	0.260 *	0.004	0.093	0.013	0.023	-0.060
速效 P Available P	0.260 *	1	0.022	-0.060	-0.235	-0.097	-0.021
碱解 N Available N	0.004	0.022	1	0.783 **	0.083 *	0.333 **	0.269 *
有机 C Organic matter	0.093	-0.060	0.783 **	1	0.148	0.518 **	0.058
酸性磷酸酶 Acid phosphatase	0.013	-0.235	0.083 *	0.148	1	0.017	0.467 **
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.023	-0.097	0.333 **	0.518 **	0.017	1	0.206
脲酶 Urease	-0.060	-0.021	0.269 *	0.058	0.467 **	0.206	1

2.6 土壤因子主成分分析

土壤因子养分含量的相关性,决定了土壤因子状况分析时可能存在信息重叠,因此通过主成分分析,提取出多个指标体系中的综合指标,以便筛选荒漠生境主要土壤因子。

利用 SPSS16.0 统计软件对土壤因子进行主成分分析,根据相关矩阵特征值大于 1,方差累积贡献率大于 85% 的原则,入选 2 个主成分。主成分载荷矩阵、特征值及贡献率见表 5。入选的 2 个主成分方差累积贡献率达 87.06%,提取的主成分能基本反映全部指标信息。

第一主成分中,土壤有机 C、碱性磷酸酶、碱解 N 和酸性磷酸酶有较高的载荷(权重在 0.805—0.957),速效 P 次之(0.604),第二主成分中,土壤 pH 值、脲酶有较高载荷,(权重在 0.604—0.602),但第一主成分所占信息量大,所以土壤有机 C、磷酸酶、碱解 N 是主要因子,能首先反映荒漠营养状况。

表 5 主成分载荷矩阵、特征值、贡献率

Table 5 Principle component loading matrix, eigenvalue, contribution rate

理化因子 Physico-chemical factors	第一主成分 PC1	第二主成分 PC2
pH	-0.399	0.662
速效 P Available P	0.604	0.553
碱解 N Available N	0.937	-0.071
有机 C Organic matter	0.957	-0.084
酸性磷酸酶 Acid phosphatase	0.805	0.350
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.951	-0.071
脲酶 Urease	-0.228	0.604
特征值(λ) Eigenvalue	3.923	1.248
贡献率 Contribution rate/%	66.046	21.011

3 讨论

3.1 AM 真菌的空间分布

试验结果表明沙柳能与 AM 真菌形成良好共生关系。沙柳植株沙埋后可由根颈发出无数纤细小根,这些短而簇状数量庞大的次生须根为 AM 真菌提供了特殊的生存环境;同时沙柳主根垂直沙面向下延伸,近地面的侧根多分支为Ⅲ、Ⅳ级侧根,由于 AM 真菌菌丝最初侵染部位是幼嫩细根,因此沙柳根系特征对 AM 真菌侵染极为有利。

沙柳根系能被 AM 真菌侵染形成典型的 I-型丛枝菌根,I-型菌根结构介于疆南星型和重楼型之间,既有胞间菌丝,又有胞内圈状菌丝。沙柳庞大的须根系为 AM 真菌生存提供环境,丰富的菌丝网络对根系既能产生

机械保护作用,又能以“菌丝桥”形式将多株同种或不同种类植物根系联结,进行养分、水分和其它代谢物传递。菌根结构类型主要与植物科属分布密切相关,不同科属植物根细胞形态结构的差异可能是导致真菌侵染行为产生差异的基础,但丛枝菌根真菌遗传特性的差异也可能引起不同结构类型的形成^[13]。关于菌根结构类型与植物根系类型、植物生活型、菌根侵染率及外界环境条件的关系无明确定论,尚需进一步研究。

本试验中,不同样地 AM 真菌孢子密度和定殖率最大值均出现在 0—20cm 浅土层,这可能是由于土壤表层累积了较多的枯枝落叶和腐殖质,土壤养分和通气状况好,而 AM 真菌属好气性真菌的缘故^[14]。有些研究表明,AM 真菌最高定殖率经常伴随有较高孢子数量,而另一些研究却发现当孢子数量高时,定殖率较低,或孢子数量低时,定殖率较高,二者之间不存在相关性。本试验中,沙柳 AM 真菌最高定殖率并不伴随有最大的孢子密度,如黑城子样地孢子密度最大,元上都样地定殖率最高,说明定殖率与孢子密度间无严格对应关系,这可能是与植物生长状况、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^[15-16],另外植物根系经常交错生长,因而宿主植物根围孢子也可能来自其它植物,这也导致 AM 真菌孢子密度与定殖状况不一致。

本试验中,不同样地生态环境和土壤微环境的变化是导致 AM 真菌空间异质性的主要原因^[15]。例如,元上都样地土壤速效 P、碱解 N、有机 C 都显著高于黑城子样地,但孢子密度黑城子样地却显著高于元上都,这可能是由于沙柳长期生长在贫瘠环境,相对肥沃的土壤限制了 AM 真菌活动和繁殖的缘故。

3.2 AM 真菌与土壤因子的关系

大量研究表明,AM 真菌孢子密度和定殖状况与土壤因子关系密切^[17-21],本试验结果也证实了这一点。土壤 pH 直接影响 AM 真菌产孢及菌根形成,本试验 3 样地的 pH 在 7.19—7.47 之间,说明中性—微碱性土壤中 AM 真菌也能与沙柳根系形成良好共生关系,这是沙柳根围 AM 真菌在盐碱性条件下长期适应的结果还是不同 AM 真菌种属对 pH 值适应性不同有待进一步研究;另外本试验中 AM 真菌孢子密度与速效 P 显著负相关,高 P 土壤导致根系细胞膜透性降低与根系分泌物数量下降或分泌物成分发生变化,对菌根侵染有抑制作用。主成分分析得知,土壤有机 C、磷酸酶和碱解 N 是内蒙古荒漠生境最主要的土壤因子,相关性分析也表明 AM 真菌的活动与这 3 种因子密切相关。一定范围内有机 C 的提高,对 AM 真菌菌丝生长和菌根发育都有促进作用,本试验土壤有机 C 主要体现在对孢囊和菌丝的提高上;AM 真菌与植物共生,能吸收铵态氮、硝态氮、一些氨基酸和复杂的有机氮素,吸收的氮素在根外菌丝中转化为精氨酸运输到根内菌丝,进一步转化为 NH_4^+ 后参与植物氮素代谢^[22]。研究表明,土壤磷酸酶与土壤有机 C、全 P、全 N 存在明显相关性,土壤 pH 值也对磷酸酶活性呈酸化抑制碱化激活的作用^[23]。AM 真菌与植物共生后对细根的侵染会影响宿主根系代谢活动,促使丛枝菌根分泌磷酸酶^[24],或通过根外菌丝分泌磷酸酶^[24],加速有机磷矿化过程,荒漠低磷的刺激能诱导并促使磷酸酶活性增加,磷酸酶活性的提高进而改变土壤磷素状况,增强植物对磷的吸收。因而,土壤因子影响 AM 真菌对宿主根系的侵染和定殖,AM 真菌与植物共生改善土壤有效成分和土壤肥力,提高植物对营养物质的吸收利用,增强抗逆性。

3.3 球囊霉素与土壤有机 C 的关系

本试验中,沙柳根围土壤球囊霉素含量随土层深度增加而递减,总球囊霉素含量在 0.09—0.42 mg/g 之间,平均值 0.24mg/g,占有机 C 的比例为 23.6%—24.6%;易提取球囊霉素含量在 0.06—0.29mg/g 之间,平均值 0.16mg/g,占有机 C 的比例为 14.9%—17.3%,这不仅证实了球囊霉素是土壤有机 C 的重要来源和组成,也验证了荒漠贫瘠土壤中球囊霉素含量通常高于肥沃土壤这一结论^[24-26]。同时,高含量球囊霉素的存在,说明 AM 真菌菌丝生长活跃,并通过水稳定团聚体,保持湿度,提高植物抗旱能力,促进沙生植物生长。

4 结论

内蒙古荒漠环境中,沙柳能与 AM 真菌形成良好共生关系,AM 真菌孢子密度和定殖率随样地和土壤深度而变化,表现出明显的空间异质性;环境因子直接影响 AM 真菌定殖程度和丰富度;荒漠土壤球囊霉素含量较高,是土壤有机 C 重要来源和组成部分。因此,研究荒漠植物与 AM 真菌共生关系,筛选适合土壤-植物-菌

根最佳组合的优势菌种,可为充分利用土壤 AM 真菌资源,促进荒漠植被恢复和生态重建提供依据。

References:

- [1] Bagayoko M, Buerkert A, Lung G, Bationo A, Romheld V. Cereal / legume rotation effects on cereal growth in Sudano-Sahelian West Africa: soil mineral nitrogen, mycorrhizae and nematodes. *Plant and Soil*, 2000, 218(1): 103-116.
- [2] He X L, Li Y P, Zhao L L. Dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in the rhizosphere of *Artemisia ordosica* Krasch. in Mu Us sandland, China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, 42(8): 1313-1319.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] He X L, Zhao L L, Yang H Y. Studies about distribution of arbuscular mycorrhizal fungi of legumes in Maowusu sandy land. *Progress in Natural Science*, 2006, 16(6): 484-487.
- [7] 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: 157-160.
- [8] Danielson R M. Taxonomic affinities and criteria for identification of the common ectendo-mycorrhizal symbiont of pines. *Canadian Journal of Botany*, 1982, 60: 7-18.
- [9] Lu R K. *Methods of Agricultural Chemical Analysis in Soil*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999.
- [10] Wright S F, Upadhyaya A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 1998, 198(1): 97-107.
- [11] Janos D P, Garamszegi S, Beltran B. Glomalin extraction and measurement. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(3): 728-739.
- [12] Zhou L K. *Soil Enzymology*. Beijing: Science Press, 1987.
- [13] Cavagnaro T R, Smith F A, Lorimer, M F, Haskard K A, Ayling S M, Smith S E. Quantitative development of Paris-type arbuscular mycorrhizas formed between *Asphodelus fistulosus* and *Glomus coronatum*. *New Phytologist*, 2001, 149(1): 105-113.
- [14] He X L, Hou X F. Spatio-temporal distribution of arbuscular mycorrhizal fungi from *Artemisia ordosica* in Yulin of Shanxi, China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(6): 1373-1377.
- [15] Fontenla S, Godoy R, Rosso P, Havrylenko M. Root associations in *Austrocedrus* forests and seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizas. *Mycorrhiza*, 1998, 8(1): 29-33.
- [16] Siguenza I C, Espejel I, Allen E B. Seasonality of mycorrhizae in coastal sand dunes of Baja California. *Mycorrhiza*, 1996, 6(2): 151-157.
- [17] Biermann B, Linderman R G. Use of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots, intraradical vesicles and extraradical vesicles as inoculum. *New Phytologist*, 1983, 95: 97-105.
- [18] Wallander H, Nylund J E. Nitrogen nutrition and mycorrhiza development. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 1990, 28(1/4): 547-552.
- [19] 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.
- [20] Feng H Y, Feng G, Wang J G, Li X L. Regulation of P status in host plant on alkaline phosphatase (ALP) activity in intraradical hyphae and development of extraradical hyphae of AM fungi. *Mycosystema*, 2003, 22(4): 589-598.
- [21] Dhillon S S, Zak J C. Microbial dynamics in arid ecosystems: desertification and potential role of mycorrhizas. *Revista Chilena de Historia Natural*, 1993, 66: 253-270.
- [22] 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.
- [23] Nie D G, Wang L, Yin C Q, Wang W D. Soil phosphatase activity and its affecting factors in Baiyangdian wetland. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(4): 698-703.
- [24] Bai C M, He X L, Tang H L, Shan B Q, Zhao L L. Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi, glomalin and soil enzymes under the canopy of *Astragalus adsurgens* Pall. in the Mu Us sandland, China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41: 941-947.
- [25] Rillig M C, Maestre F T, Lamit L J. Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean

steppes. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35(9): 1257-1260.

- [26] 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.

参考文献:

- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 贺学礼, 赵丽莉, 杨宏宇. 毛乌素沙地豆科植物丛枝菌根真菌分布研究. *自然科学进展*, 2006, 16(6): 484-487.
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1999.
- [12] 周礼恺. 土壤酶学. 北京: 科学出版社, 1987.
- [14] 贺学礼, 侯晓飞. 荒漠植物油蒿根 AM 真菌时空分布. *植物生态学报*, 2008, 32(6): 1373-1377.
- [20] 冯海燕, 冯固, 王敬国, 李晓林. 植物磷营养状况对丛枝菌根真菌生长及代谢活性的调控. *菌物系统*, 2003, 22(4): 589-598.
- [22] 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.
- [23] 聂大刚, 王亮, 尹澄清, 王为东. 白洋淀湿地磷酸酶活性及其影响因素. *生态学杂志*, 2009, 28(4): 698-703.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 8 April, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

The relationship between <i>Populus euphratica</i> 's radial increment and groundwater level at the lower reach of Tarim River	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (2053)
Influence of elevation factor on soil profile texture configuration: a case study of the alluvial plain of Fengqiu County	TAN Manzhi, MI Shuxiao, LI Kaili, et al (2060)
Effects of ozone on AsA-GSH cycle in soybean leaves	WANG Junli, WANG Yan, ZHAO Tianhong, et al (2068)
The effects of physical and chemical factors on the growth and lipid production of <i>Chlorella</i>	ZHANG Guiyan, WEN Xiaobin, LIANG Fang, et al (2076)
Response of net productivity of masson pine plantation to climate change in North Subtropical Region	CHENG Ruimei, FENG Xiaohui, XIAO Wenfa, et al (2086)
Soil respiration of <i>Zoysia matrella</i> turfgrass in subtropics	LI Xibo, YANG Yusheng, ZENG Hongda, et al (2096)
Effect of UV-B radiation on the leaf litter decomposition and nutrient release of <i>Pinus massoniana</i>	SONG Xinzhang, ZHANG Huiling, JIANG Hong, et al (2106)
Physiological ecological effect of endophyte infection on <i>Achnatherum sibiricum</i> under drought stress	HAN Rong, LI Xia, REN Anzhi, et al (2115)
Zinc Tolerance and Accumulation Characteristics of <i>Armillaria mellea</i>	ZHU Lin, CHENG Xianhao, LI Weihuan, et al (2124)
Expansion strategies of <i>Caragana stenophylla</i> in the arid desert region	ZHANG Jianhua, MA Chengchang, LIU Zhihong, et al (2132)
Effects of mixed plant residues from the Loess Plateau on microbial biomass carbon and nitrogen in soil	WANG Chunyang, ZHOU Jianbin, XIA Zhimin, et al (2139)
Survival strategy of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Agropyron cristatum</i> in typical steppe of Inner Mongolia	SUN Jian, LIU Miao, LI Shengcong, et al (2148)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in <i>Salix psammophila</i> root-zone soil in Inner Mongolia desert	HE Xueli, YANG Jing, ZHAO Lili (2159)
An experimental study on the the effects of different diurnal warming regimes on single cropping rice with Free Air Temperature Increased (FATI) facility	DONG Wenjun, DENG Aixin, ZHANG Bin, et al (2169)
Endophytic bacterial diversity in <i>Achnatherum inebrians</i> by culture-independent approach	ZHANG Xuebing, SHI Yingwu, ZENG Jun, et al (2178)
Hierarchical Partial Least Squares (Hi_PLS) model analysis of the driving factors of Henan's Ecological Footprint (EF) and its development strategy	JIA Junsong (2188)
Evaluation on spatial distribution of soil salinity and soil organic matter by indicator Kriging in Yucheng City	YANG Qiyong, YANG Jinsong, YU Shipeng (2196)
The toxicity of lupeol of <i>Inula britannica</i> on <i>Tetranychus cinnabarinus</i> and its effects on mite enzyme activity	DUAN Dandan, WANG Younian, CHENG Jun, et al (2203)
Abundance and biodiversity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria in littoral wetland of Baiyangdian Lake, North China	YE Lei, ZHU Guibing, WANG Yu, et al (2209)
Changes of leaf water potential and water absorption potential capacities of six kinds of seedlings in Karst mount area under different drought stress intensities: Taking six forestation seedlings in karst Mountainous region for example	WANG Ding, YAO Jian, YANG Xue, et al (2216)
Comparison of structure and species diversity of <i>Eucalyptus</i> community	LIU Ping, QIN Jing, LIU Jianchang, et al (2227)
Ecosystem services valuation of the Haihe River basin wetlands	JIANG Bo, OUYANG Zhiyun, MIAO Hong, et al (2236)
Effects of <i>Phragmites australis</i> on methane emission from a brackish estuarine wetland	MA Anna, LU Jianjian (2245)
Genetic differentiation and the characteristics of uptake and accumulation of lead among <i>Camellia sinensis</i> populations under different background lead concentrations of soils in Yunnan, China	LIU Shengchuan, DUAN Changqun, LI Zhenhua, et al (2253)
Comparison of zooplankton lists between <i>Coilia mystus</i> food contents and collections from the Yangtze River Estuary & Hangzhou Bay	LIU Shouhai, XU Zhaoli (2263)
Reconstruction and analysis of July-September precipitation in Mt. Dagangshan, China	QIAO Lei, WANG Bing, GUO Hao, et al (2272)
Analysis on economic and ecological benefits of no-tillage management of <i>Carya cathayensis</i>	WANG Zhengjia, HUANG Xingzhao, TANG Xiaohua, et al (2281)
GIS-based analysis of the accessibility of urban forests in the central city of Guangzhou, China	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (2290)
Review and Monograph	
Impact factors and uncertainties of the temperature sensitivity of soil respiration	YANG Qingpeng, XU Ming, LIU Hongsheng, et al (2301)
The advance of allometric studies on plant metabolic rates and biomass	CHENG Dongliang, ZHONG Quanlin, LIN Maozi, et al (2312)
Practice and the research progress on eco-compensation for cultivated land	MA Aihui, CAI Yinying, ZHANG Anlu (2321)
Discussion	
Soil water holding capacities and infiltration characteristics of three vegetation restoration models in dry-hot valley of Yuanmou	LIU Jie, LI Xianwei, JI Zhonghua, et al (2331)
Scientific Note	
Effects of secondary, micro- and beneficial elements on rice growth and cadmium uptake	HU Kun, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (2341)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 8 期 (2011 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 8 2011

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:100717	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