

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 3 期
Vol.31 No.3
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 3 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用	李伟峰, 欧阳志云, 肖 焱 (593)
中国特有濒危植物夏蜡梅的交配系统	赵宏波, 周莉花, 郝日明, 等 (602)
昆仑山北坡不同海拔塔里木沙拐枣的光合生理生态特性	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (611)
天山云杉天然林不同林层的空间格局和空间关联性	李明辉, 何风华, 潘存德 (620)
大气 CO ₂ 浓度升高对 B 型烟粉虱大小、酶活及其寄主的选择性影响	王学霞, 王国红, 戈 峰 (629)
桃小食心虫越冬幼虫过冷却能力及体内生化物质动态	王 鹏, 凌 飞, 于 毅, 等 (638)
象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究	廖一波, 寿 鹿, 曾江宁, 等 (646)
北部湾宝刀鱼的摄食生态	颜云榕, 杨厚超, 卢伙胜, 等 (654)
黄河三角洲自然保护区东方白鹤的巢址利用	段玉宝, 田秀华, 朱书玉, 等 (666)
贺兰山野化牦牛冬春季食性	姚志诚, 刘振生, 王兆铨, 等 (673)
杉木生长及土壤特性对土壤呼吸速率的影响	王 丹, 王 兵, 戴 伟, 等 (680)
中国干旱半干旱区潜在植被演替	李 飞, 赵 军, 赵传燕, 等 (689)
夜间增温和施肥对川西亚高山针叶林两种树苗根际效应的影响	卫云燕, 尹华军, 刘 庆, 等 (698)
洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征	鲁 静, 周虹霞, 田广宇, 等 (709)
杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应	安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳 (716)
柠条细根的空间分布特征及其季节动态	史建伟, 王孟本, 陈建文, 等 (726)
NaCl 和 Na ₂ SO ₄ 胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构	孟凡娟, 庞洪影, 王建中, 等 (734)
设施番茄果实生长与环境因子的关系	程智慧, 陈学进, 赖琳玲, 等 (742)
嫁接茄子根系分泌物变化及其对黄萎菌的影响	周宝利, 刘 娜, 叶雪凌, 等 (749)
华北地区冬小麦干旱风险区划	吴东丽, 王春乙, 薛红喜, 等 (760)
干旱胁迫条件下冷型小麦灌浆结实期的农田热量平衡	严菊芳, 张嵩午, 刘党校 (770)
秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响	高 飞, 贾志宽, 路文涛, 等 (777)
盐胁迫下不同基因型冬小麦渗透及离子的毒害效应	徐 猛, 马巧荣, 张继涛, 等 (784)
阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮及相关微生物的影响	母 容, 潘开文, 王进闯, 等 (793)
岷江上游油松与云杉人工林土壤微生物生物量及其影响因素	江元明, 庞学勇, 包维楷 (801)
荒漠沙蒿根围 AM 真菌和 DSE 的空间分布	贺学礼, 王银银, 赵丽莉, 等 (812)
百菌清对落叶松人工防护林土壤微生物群落的影响	邵元元, 王志英, 邹 莉, 等 (819)
居住区植物绿量与其气温调控效应的关系	李英汉, 王俊坚, 李贵才, 等 (830)
近 33 年白洋淀景观动态变化	庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华, 等 (839)
舟山群岛旅游交通生态足迹评估	肖建红, 于庆东, 刘 康, 等 (849)
¹⁵ N 交叉标记有机与无机肥料氮的转化与残留	彭佩钦, 仇少君, 侯红波, 等 (858)
沉积物老化过程中 DOC 含量变化对菲吸附-解吸的影响	焦立新, 孟 伟, 郑丙辉, 等 (866)
湖南石门、冷水江、浏阳 3 个矿区的苧麻重金属含量及累积特征	余 玮, 揭雨成, 邢虎成, 等 (874)
问题讨论	
近 55a 来河西走廊荒漠绿洲区季节变化特征及其对胡杨年生长期的影响	刘普幸, 张克新 (882)
利用 HYSPLIT 模型分析麦蚜远距离迁飞前向轨迹	郁振兴, 武予清, 蒋月丽, 等 (889)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-02

荒漠沙蒿根围 AM 真菌和 DSE 的空间分布

贺学礼*, 王银银, 赵丽莉, 钱伟华

(河北大学生命科学学院, 河北保定 071002)

摘要:2009 年 7 月在内蒙古黑城子北、多伦县城东和正蓝旗元上都遗址 3 个样地分别从 0—10 cm、10—20 cm、20—30 cm、30—40 cm 和 40—50 cm 5 个土层采集沙蒿(*Artemisia sphaerocephala*)根围土壤和根样,系统研究了沙蒿根围 AM 真菌和 DSE(Dark septate endophytes)的空间分布及与土壤因子的相关性。结果表明,沙蒿根系能被 AM 真菌高度侵染形成典型的 I-型(Intermediate type)丛枝菌根,并发育形成泡囊和丛枝结构,并与 DSE 形成良好的共生关系,样地生态条件和采样深度对 AM 真菌分布和活动有显著影响。黑城子样地孢子密度最高,元上都样地泡囊定殖率最高,不同样地间丛枝、菌丝、总定殖率和 DSE 定殖率无显著差异。孢子密度峰值出现在 0—10 cm 表层土,并随土壤剖面深度增加而降低;泡囊定殖率峰值出现在 10—20 cm 土层;AM 真菌其他结构定殖率及 DSE 定殖率在各土层间差异不显著或变化无规律。孢子密度与 AM 真菌不同结构定殖率无显著相关性,与各土壤因子极显著正相关。泡囊定殖率与脲酶和碱性磷酸酶极显著负相关,与酸性磷酸酶显著负相关。菌丝定殖率、总定殖率及 DSE 定殖率与各土壤因子均无显著相关性。土壤碱解 N 和有机 C 与脲酶、酸性磷酸酶和碱性磷酸酶极显著正相关;土壤速效 P 与碱性磷酸酶极显著正相关,与脲酶显著正相关。对沙蒿根系 AM 真菌和 DSE 真菌分布和定殖规律的研究,可进一步明确 AM 真菌和 DSE 的生态功能,为利用菌根生物技术促进荒漠植被恢复和生态重建提供依据。

关键词:AM 真菌;DSE;空间分布;沙蒿;荒漠环境

Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the rhizosphere of *Artemisia sphaerocephala* from Inner Mongolia desert

HE Xueli*, WANG Yinyin, ZHAO Lili, QIAN Weihua

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

Abstract: *Artemisia sphaerocephala* is one of the excellent sand-fixation plants that can not only well stand up to arid desert environment, but also fix sand and promote desert management, so as to maintain the balance and stability of desert ecosystem. To elucidate the spatial distribution of AM fungi and dark septate endophytes (DSE) and the relativity of AM fungi and DSE with environmental factors associated with the common desert plant *A. sphaerocephala*, we sampled from three different sites in Inner Mongolia in July 2009, which are north of Hei Chengzi, east of Duo Lun and Yuan Shangdu, respectively. Root samples were collected from four robust *A. sphaerocephala*, and soil samples were taken from the rhizosphere of *A. sphaerocephala* in three sites and divided into five depth intervals, 0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm, 30—40 cm and 40—50 cm respectively. The results showed that the roots of *A. sphaerocephala* could be highly infected by AM fungi and form a typical type of arbuscular mycorrhizal-Intermediate type (I-type). The distribution and activity of AM fungi were significantly affected by ecological conditions and soil depth and DSE established well symbiosis with rhizosphere of host plant as well. There were significant differences in spore density among the three sites. Spores were the densest in Hei Chengzi site and infecting rate reached the peak at the 0—10 cm layer, and then gradually decreased with the increasing of soil depth. The colonization of vesicular in Yuan Shangdu site was higher than that in the other two sites and infecting rate reached the peak at the 10—20 cm layer. No significant differences were found in the colonization of DSE and other structures of AM fungi, such as arbuscule, hypha and total colonizations, among different soil layers and different

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30670371,40471075)

收稿日期:2009-12-26; 修订日期:2010-04-01

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

sample sites. There were significant positive correlations between spore density and each soil factors, such as available P, available N, organic matter, urease, acid phosphatase and alkaline phosphatase activity. Vesicular colonization had negative correlations with the activity of soil urease, alkaline phosphatase and acid phosphatase. Soil available N and organic matter had extreme positive correlations with the activity of soil urease, alkaline phosphatase and acid phosphatase ($P < 0.01$). Soil available P was extremely positively correlated with the activity of alkaline phosphatase ($P < 0.01$) and significantly positively correlated with soil urease ($P < 0.05$). However, total colonizations and the colonizations of hyphae, and DSE had not significantly correlated to the soil factors ($P > 0.05$). The formation of arbuscular mycorrhizal may be one of the effective countermeasures for *A. sphaerocephala* adapting barren drought desert environment. The research results provided basis and references for making full use of AM fungi resources and the foundation for further clarifying the ecological functions of DSE, and indicated that the ecological distribution and abundance of AM fungi and DSE might be a useful index to evaluate soil quality and function of desert ecosystem. Further research should concentrate on going into the dynamics of the relationships among AM fungi, DSE and the roots of the host plant.

Key Words: AM fungi; DSE; spatial distribution; *Artemisia sphaerocephala*; desert

沙蒿(*Artemisia sphaerocephala*)为菊科蒿属半灌木,生长于流动沙丘、沙地、覆沙戈壁及半荒漠带半固定沙地,抗旱能力强,是我国草原带和荒漠带的优良固沙植物,在荒漠生态系统稳定、退化生态系统恢复和重建中发挥着重要作用^[1]。保护和利用沙蒿资源,不仅可为农牧业生产提供优质饲草,促进沙区人民脱贫致富,而且能够防沙固沙,促进沙漠治理,从而维护荒漠生态系统平衡和稳定。

AM(arbuscular mycorrhiza)真菌是一类植物营养专性共生菌,可与80%以上高等植物形成丛枝菌根共生体。AM真菌广泛分布于各种陆地生态系统中,在高山^[2]、沙漠^[3]、盐碱地^[4]、重金属污染土壤^[5]及一些工业污染区^[6]等逆境环境中也有AM真菌的活动。大量研究证实,AM真菌与植物共生后,能够促进宿主植物对土壤矿质元素和水分的吸收和利用,调节宿主体内代谢活动,增强抗逆性,促进植物生长,提高作物产量和品质。尤其是AM真菌在植物根际形成的庞大菌丝网络系统,对于稳定土壤结构、控制水土流失、抑制沙尘暴、保持植物根际土壤生态系统良性发展有重要意义^[7-8]。

深色有隔内生真菌(dark septate endophytes, DSE)是定居在植物根组织细胞内或细胞间隙的一群分类混杂的子囊菌和营无性繁殖的真菌^[9],目前发现这类真菌在胁迫生态系统(如干旱、寒冷等环境)中常常在植物根组织内形成较高定居率^[10],并与AM真菌共享生态位,但其与植物的关系、在生态系统中的功能尚不清楚。

本试验通过对内蒙古不同样地沙蒿根围土壤样品采集和分析,研究了漠境沙蒿根围土壤AM真菌和DSE的空间分布及其与土壤因子的相关性,以便为充分利用AM真菌资源,促进荒漠植被恢复和生态重建提供依据,同时为进一步明确DSE的生态功能奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

试验所选3个样地分别位于内蒙古的黑城子北(42°09'817"N, 115°56'107"E)、多伦县城东(42°11'601"N, 116°36'870"E)和正蓝旗元上都遗址(42°15'842"N, 116°10'741"E),该区域属中温带大陆性气候,冬季严寒、夏季温暖。海拔1312—1321m,年均气温0—3.4℃,年均降水量200—365mm,其中全年降水的70%集中在夏季,年蒸发量1000—2600mm,全年无霜期95—120d。

2009年7月从所选样地随机选取4株生长良好的沙蒿植株,在距植株主干0—30cm范围内挖土壤剖面,按0—10cm、10—20cm、20—30cm、30—40cm和40—50cm5个土层分别采集土壤和根样约1kg。将土样装入隔热性能良好的塑料袋密封带回实验室后4℃冷藏,过2mm筛,用于土壤理化成分和AM真菌孢子密度测定;根样用于AM真菌和DSE定殖结构观测。

1.2 方法

土壤有机 C 用重铬酸钾氧化法,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^[11]。土壤磷酸酶用改进的 Hoffmann 法和 Tabatabai & Bremner 法^[12]测定,活性以 1g 风干土样 1h 催化 PNPP 分解生成对硝基苯酚(转换为 Gly)的质量(μg)表示。土壤脲酶用改进的 Hoffmann 和 Tabatabai 比色法^[12]测定,活性以 1g 风干土样 1h 催化尿素分解生成 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的质量(μg)表示。

AM 真菌不同结构(丛枝、泡囊、菌丝)和 DSE 定殖率按 Phillips 和 Hayman 方法测定^[13]。从每份土样中称取 20g 风干土,用湿筛倾析-蔗糖离心法^[14]分离 AM 真菌孢子,在体视显微镜下记录孢子数量,将每 100g 风干土中的含菌量计为孢子密度。

数据经 Excel 整理后,采用 SPSS 16.0 统计软件进行单因子方差(One-Way ANOVA)分析和 Pearson 法两两相关分析。

2 结果与分析

2.1 菌根结构和类型

观察结果表明,沙蒿根系能被 AM 真菌高度侵染形成典型的 I-型(intermediate type)丛枝菌根,并发育形成泡囊和丛枝结构。菌丝无隔膜,可在宿主植物根皮层细胞间延伸生长,形成大量胞间菌丝(图 1:1),同时在皮层细胞内有大量圈状菌丝(图 1:2)。在皮层细胞间隙或细胞内,由菌丝顶端膨大形成大小不等、形态多样的泡囊,多为圆形和椭圆形(图 1:3),另有杆状(图 1:4a)和不规则形(图 1:4b)。在沙蒿菌根中亦能观察到由菌丝二叉分支后在细胞内形成的典型树枝状(图 1:5a)或花椰菜状(图 1:5b)丛枝结构。

在被 AM 真菌侵染的同时,沙蒿根系还被一类非菌根内生真菌——深色有隔内生真菌(DSE)普遍侵染。这类真菌特征明显,菌丝有隔,但横隔之间间隔距离不一;根段经碱解离-乳酸品红染色后,菌丝呈深棕色至黑褐色;菌丝可在根表层分布,也可深入根内(图 1:6)。

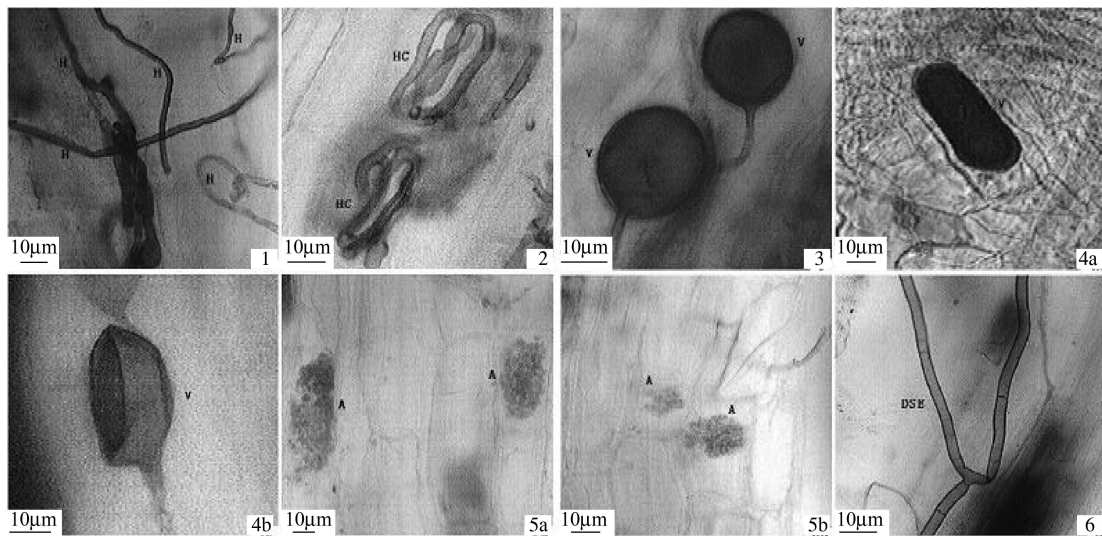


图 1 沙蒿菌根和 DSE 形态结构($\times 400$)

Fig. 1 The mycorrhizal and DSE structures of *Artemisia sphaerocephala* ($\times 400$)

1. AM 真菌外生菌丝;2. 胞内圈状菌丝;3. 圆形泡囊;4a. 杆状泡囊;4b. 不规则泡囊;5a. 树状丛枝;5b. 花椰菜状丛枝;6. DSE 菌丝

2.2 AM 真菌的空间分布

由表 1 可知,沙蒿根围 AM 真菌的分布和定殖与样地生态环境和采样深度密切相关。3 个样地平均孢子密度差异显著,为黑城子 > 元上都 > 多伦,但垂直分布规律相同,即最大值都出现在 0—10 cm 表层土,且孢子密度随土壤剖面深度增加而下降。

泡囊定殖率在 3 个样地间差异显著,为元上都(71.63%) > 多伦(62.86%) > 黑城子(56.79%),且各样

地最大值均发生在 10—20cm 土层。丛枝定殖率在 3 个样地间无显著差异,但亦有元上都 > 多伦 > 黑城子的规律。除元上都 30—40cm 土层丛枝定殖率显著低于其余土层外,其他样地各土层间均无显著差异。菌丝定殖率在 3 个样地间无显著差异,各样地土层间变化不规律。总定殖率在各样地较高,但样地之间差异不显著。

DSE 定殖率在样地间差异不显著,除元上都 20—30cm 土层显著高于 40—50cm 土层外,其他样地各土层间均无显著差异。

表 1 沙蒿根围 AM 真菌,DSE 和土壤因子空间分布

Table 1 The spatial distribution of AM fungi, DSE and soil factors in the rhizosphere of <i>Artemisia sphaerocephala</i>							
样地 Site	土层 Soil layer /cm	菌丝 Hypha /%	泡囊 Vesicule /%	丛枝 Arbuscule /%	总定殖率 Total /%	DSE /%	孢子密度 Spore density /(个/100g)
元上都 Yuan Shangdu	0—10	100.00b	55.32a	66.77b	100.00b	54.28ab	1690.0b
	10—20	100.00b	85.36a	69.34b	100.00b	77.46ab	1686.3b
	20—30	100.00b	68.90a	72.57b	94.45b	84.15b	1161.3ab
	30—40	94.41a	76.28a	26.54a	94.84b	62.30ab	691.3a
	40—50	100.00b	72.27a	68.99b	82.55a	36.82a	513.3a
均值 Average		98.88A	71.63B	60.84A	94.37A	63.00A	1168.9B
黑城子 Hei Chengzi	0—10	97.62ab	63.77bc	47.23a	90.28ab	89.83a	2218.8a
	10—20	100.00b	77.31c	57.05a	100.00b	75.94a	1953.8a
	20—30	94.45ab	46.67ab	57.22a	81.44a	72.22a	1551.7a
	30—40	90.68ab	58.34abc	41.14a	100.00b	52.25a	1557.5a
	40—50	83.68a	37.91a	29.57a	100.00b	59.24a	1183.8a
均值 Average		93.28A	56.79A	46.44A	94.34A	69.90A	1711.7C
多伦 Duo Lun	0—10	90.28ab	36.94a	32.50a	100.00a	45.28a	1088.8b
	10—20	100.00b	82.14b	54.84a	97.44a	80.24a	708.8a
	20—30	81.44a	50.77ab	54.93a	100.00a	64.39a	500.0a
	30—40	94.44ab	78.89b	58.89a	100.00a	77.78a	521.3a
	40—50	94.19ab	65.60ab	60.92a	100.00a	61.30a	405.0a
均值 Average		92.07A	62.86AB	52.42A	99.49A	65.80A	644.8A
样地 Site	土层 Soil layer /cm	碱解 N Available N /(μg/g)	速效 P Available P /(μg/g)	有机 C Organic matter /(mg/g)	脲酶 Urease /(μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	酸性磷酸酶 Acid phosphatase /(μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase /(μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)
元上都 Yuan Shangdu	0—10	30.52a	4.42b	1.99b	44.90b	37.70c	76.92b
	10—20	23.24a	1.29a	1.06a	16.48a	27.27b	40.00a
	20—30	23.24a	1.38a	0.86a	8.83a	18.94a	24.43a
	30—40	23.52a	1.71a	0.91a	9.92a	16.07a	21.70a
	40—50	19.32a	1.84a	0.62a	4.73a	13.34a	18.70a
均值 Average		23.97A	2.13A	1.09B	17.56A	22.66A	36.35A
黑城子 Hei Chengzi	0—10	40.04a	2.58b	1.40ab	82.89b	36.80a	106.04a
	10—20	31.92a	1.26a	1.74b	60.75ab	39.76a	83.68a
	20—30	38.92a	0.92a	1.97b	58.56a	35.53a	86.65a
	30—40	30.24a	1.12a	1.49ab	38.61a	29.97a	60.59a
	40—50	31.08a	0.76a	0.89a	40.53a	28.30a	70.52a
均值 Average		34.44B	1.34A	1.50C	56.27B	34.07B	81.50B
多伦 Duo Lun	0—10	24.36a	4.50b	1.30b	53.92b	26.17b	81.22b
	10—20	20.72a	1.16a	0.80a	23.68a	21.17b	36.33a
	20—30	17.92a	0.94a	0.58a	27.32ab	14.14a	29.33a
	30—40	18.48a	1.00a	0.59a	9.46a	13.37a	20.64a
	40—50	18.76a	1.24a	0.72a	9.10a	13.24a	21.90a
均值 Average		20.05A	1.77A	0.80A	24.70A	17.62A	37.88A

同列数据后不同小写字母表示各土层间在 $P < 0.05$ 水平差异显著;同列均值后不同大写字母表示各样地在 $P < 0.05$ 水平差异显著

2.3 土壤因子的空间分布

由表 1 可知,土壤有机 C 在样地间差异显著,黑城子最高,多伦最低;其中元上都和多伦两样地 0—10cm

土层有机 C 含量显著高于 10—50cm 土层,黑城子样地 10—30cm 土层有机 C 含量显著高于 40—50cm 土层。土壤速效 P 含量在样地间差异不显著,但各样地最大值均出现在 0—10cm 土层,且含量显著高于其他土层,而 10—50cm 各土层差异不显著。土壤碱解 N 含量黑城子显著高于元上都和多伦,元上都和多伦之间差异不显著;同一样地不同土层间虽无显著差异,但各样地最大值均出现在 0—10cm 土层。

沙蒿根围脲酶、酸性磷酸酶和碱性磷酸酶活性变化规律与样地及采样深度密切相关。3 个样地脲酶活性由大到小依次是黑城子 > 多伦 > 元上都,黑城子样地脲酶活性显著高于元上都和多伦;各样地脲酶活性最大值均出现在 0—10cm 土层,其余土层间差异不显著。酸性磷酸酶和碱性磷酸酶活性均是黑城子最高,并显著高于其他样地;各样地 0—20cm 土层酸性磷酸酶活性大于 20—50cm 土层;碱性磷酸酶活性在 0—10cm 土层最大,并随土层深度增加而降低。

2.4 AM 真菌、DSE 及土壤因子间的相关性

由表 2 可知,土壤碱解 N、有机 C、脲酶、酸性磷酸酶和碱性磷酸酶均与 AM 真菌孢子密度极显著正相关;泡囊定殖率与脲酶和碱性磷酸酶极显著负相关,与酸性磷酸酶显著负相关;丛枝定殖率与脲酶显著负相关;土壤碱解 N 和有机 C 与脲酶、酸性磷酸酶和碱性磷酸酶极显著正相关;土壤速效 P 与碱性磷酸酶极显著正相关,与脲酶显著正相关;AM 真菌菌丝定殖率、总定殖率及 DSE 定殖率与各土壤因子均无显著相关性。

表 2 沙蒿根围 AM 真菌、DSE 与土壤因子相关性分析

Table 2 Relativity analysis among AM fungi, DSE and soil factors of *Artemisia sphaerocephala*

项目 Item	碱解 N Available N	速效 P Available P	有机 C Organic matter	脲酶 Urease	酸性磷酸酶 Acid phosphatase	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	孢子密度 Spore density
脲酶 Urease	0.628 **	0.277 *	0.587 **				
酸性磷酸酶 Acid phosphatase	0.862 **	0.234	0.745 **				
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.752 **	0.365 **	0.648 **				
孢子密度 Spore density	0.634 **	0.206	0.593 **	0.548 **	0.706 **	0.676 **	
菌丝 Hypha	-0.088	0.121	0.084	-0.146	-0.107	-0.109	0.032
泡囊 Vesicule	-0.248	-0.233	-0.159	-0.449 **	-0.295 *	-0.429 **	-0.125
丛枝 Arbuscule	-0.217	0.067	-0.111	-0.322 *	-0.236	-0.218	-0.231
总定殖率 Total	-0.108	-0.010	-0.069	0.015	-0.022	-0.050	-0.113
DSE 定殖率 DSE colonization	-0.076	-0.146	-0.056	-0.129	-0.108	-0.070	-0.036

* 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

3 讨论

研究结果表明,内蒙古荒漠各样地生长的沙蒿根围 AM 真菌平均总定殖率为 96.07%,孢子平均密度为 1175.1 个/(100 g)土。说明荒漠环境中沙蒿能与 AM 真菌形成良好的共生关系,而丛枝菌根的形成可能是沙蒿适应贫瘠干旱环境的有效对策之一。

本试验中,各样地 AM 真菌孢子密度最大值出现在 0—10cm 土层,菌丝和泡囊定殖率最大值出现在 10—20cm 土层,总定殖率与孢子密度无显著相关性,这与前人研究结果一致^[15]。也有研究表明,AM 真菌较高的定殖率经常伴有较高的孢子数量^[16]。这种差异可能是由于 AM 真菌定殖受宿主植物根系特性、宿主植物菌根依赖性、产孢特性、土壤微环境变化以及其他未知因素共同影响的结果^[17]。此外,在自然条件下,相邻植物的根系经常交错生长,因而宿主根围的孢子也可能来自其他植物,从而导致孢子密度与 AM 真菌定殖情况不对应。本试验中,3 个样地 AM 真菌定殖率都很高,达到 90% 以上,但其定殖率在不同样地各土层间变化不一,这可能是由于试验根段的粗细和老幼程度不同所致。在对龙脑香科植物的调查中发现,即使同一树种其粗的根段比细根段感染率要低^[18]。贺学礼等^[19]研究发现,泡囊作为一个静止储藏器官,其生长发育较晚,主要发生于植物生长后期和在植物老根组织内存在。刘润进等^[20]指出,在丛枝菌根形成过程中,AM 真菌菌丝最初侵染的位置是幼嫩的细根,即较细的根段菌根侵染强,较老的根段泡囊定殖率高。因此,在以后的研究中

应注意植物根系的发育程度。

AM 真菌作为宿主植物根系与土壤环境之间沟通的桥梁,其定殖率的高低直接影响到宿主植物生长及其根围土壤环境的变化。本试验中,AM 真菌定殖和孢子密度在 0—20 cm 浅土层活动旺盛,这可能是由于土壤表层累积了较多枯枝落叶和腐殖质,土壤养分和通气状况好,而 AM 真菌为好气性真菌的缘故^[21]。此外,沙蒿根围土壤碱解 N、速效 P 和有机 C 含量也是表层土较高,并与 AM 真菌孢子密度极显著正相关,这种对应关系表明 AM 真菌的生长发育与土壤养分密切相关。这可能是由于孢子为 AM 真菌的繁殖体,泡囊为 AM 真菌储存养分的器官,它们的形成以及孢子萌发都需要从土壤中吸收养分^[22]的缘故。这些养分在一定范围内含量较高时,利于被沙蒿吸收,促进沙蒿根系分泌更多营养物质,为更多孢子、泡囊的形成提供养料,从而提高沙蒿根系 AM 真菌定殖率。

土壤酶是土壤组分中最活跃的有机成分之一,与土壤微生物一起推动土壤的代谢过程,其活性反映了土壤中各种生物化学过程的方向和强度^[12]。AM 真菌对细根的侵染会影响宿主根系代谢活动,促使丛枝菌根分泌土壤酶^[23],或通过根外菌丝分泌土壤酶。磷酸酶是催化土壤中磷酸单酯和磷酸二酯水解的酶,能将有机磷酸酯水解为无机态磷酸^[19],从而为植物吸收利用。脲酶是土壤酶中唯一对尿素往后转化和作用具有重大影响的酶,它的活性在一定程度上决定了植物对尿素氮的利用程度^[12]。本试验结果表明,孢子密度与脲酶、酸性磷酸酶和碱性磷酸酶极显著正相关,泡囊和丛枝定殖率也与这 3 种土壤酶具有显著或极显著相关性,这一方面说明土壤酶影响了 AM 真菌对宿主根系的侵染和定殖,另一方面也说明丛枝菌根通过土壤酶的作用改变了土壤有效成分和土壤肥力,改善了土壤结构和健康状况。

本试验还观察到 AM 真菌与 DSE 常在同一根段出现,但尚不清楚二者的关系如何。相关性分析结果表明,DSE 定殖率与土壤因子、AM 真菌定殖率之间均无显著相关性,同一样地不同土层间变化不规律。3 个样地沙蒿根围 DSE 定殖率均达 60% 以上,但与王桂文等^[24]研究红树林根部 DSE 的定殖情况时所得到的 80% 的定殖率尚有差距。这可能与宿主植物种类、土壤性质和营养状况、宿主植物根系分布特征等因素有关。国外一些研究表明,DSE 与宿主植物的关系正如丛枝菌根真菌与其宿主植物的关系一样,是一种共生关系,DSE 可以促进宿主植物对 N、P 的吸收;此外,DSE 在特殊环境中可与宿主植物共生,并在这些环境中取代 AM 真菌的功能,因此提出 DSE 与宿主植物间的共生关系是一种新型的菌根^[25-27]。另有研究表明,DSE 在干旱环境中植物根上的广泛定居预示着 DSE 可能在干旱环境中是一群具有重要生态功能的真菌,它们可能与菌根真菌一样,在植物吸收矿质营养和水分方面具有重要作用^[28]。DSE 与宿主植物互惠共生还能加强对植物不能直接利用的非有效磷的吸收。在干旱贫瘠土壤中,这类真菌还可维持生态系统的生存与稳定^[29,30]。但与沙蒿根系共生的 DSE 是否将其吸收的非有效磷转化成了植物可以利用的有效磷、其吸收转化机制以及与宿主植物和 AM 真菌的关系如何等问题尚需进一步深入研究。

实际上,土壤共生真菌、宿主植物和环境三者之间构成一个动态平衡体系,各环境因子之间相互制约、相互联系,共同作用于这一平衡体系。通过检测荒漠地区 AM 真菌和 DSE 定殖程度及其与土壤因子的相关性,不仅可评估荒漠环境中植物与土壤真菌共生体形成的生态进程、更全面地认识荒漠地区 AM 真菌和 DSE 的生态作用和意义,而且有助于建立和完善荒漠土壤环境状况评价的生物指标体系,为充分利用土壤真菌资源,促进荒漠环境的植被恢复和生态重建提供依据。

References:

- [1] Zhang D M, Tang J N, Xu X Y, Jin H X. Research on photosynthesis characteristic of two plants of genus *Artemisia*. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2009, 18(2): 163-168.
- [2] Lesica P, Antibus R K. Mycorrhizae of alpine fell-field communities on soils derived from crystalline and calcareous materials. *Canadian Journal of Botany*, 1986, 64: 1691-1697.
- [3] Bethlenfalvag G J, Dakessian S, Pacovsky R S. Mycorrhizae in a southern California desert: ecological implication. *Canadian Journal of Botany*, 1984, 62: 519-524.
- [4] Wang F Y, Liu R J. A preliminary survey of arbuscular mycorrhizal fungi in saline-alkaline soils of Yellow River Delta. *Biodiversity Science*, 2001, 9(4): 389-392.

- [5] Turnau K, Ryszka P, Gianinazzi-Pearson V, van Tuinen D. Identification of arbuscular mycorrhizal fungi in soils and roots of plants colonizing zinc wastes in southern Poland. *Mycorrhiza*, 2001, 10: 169-174.
- [6] Ganesan V, Ragupathy S, Parthipan B, Rajini Rani D B, Mahadevan A. Distribution of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in coal, lignite and calcite mine soils of India. *Biology and Fertility of Soils*, 1990, 12: 131-136.
- [7] Brundrett M C. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plant. *New Phytologist*, 2002, 154: 275-304.
- [8] Karen O, Hogberg N, Dahlberg A, Jonsson L, Nylund J E. Inter-and intraspecific variation in the ITS region of rDNA of ectomycorrhizal fungi in *Fennoscandia* as detected by endonuclease analysis. *New Phytologist*, 1997, 136: 313-325.
- [9] Jumpponen A. Dark septate endophytes — Are they mycorrhizal?. *Mycorrhiza*, 2001, 11: 207-211.
- [10] Liang C C, Xiao Y P, Zhao Z W. Arbuscular mycorrhiza and dark septate endophytes in an abandoned lead-zinc mine in Huize, Yunnan, China. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2007, 13(6): 811-817.
- [11] Lu R K. *Analysis Methods of Soil Agro-Chemistry*. Beijing: China Agriculture Press, 1999.
- [12] Zhou L K. *Soil Enzymology*. Beijing: Science Press, 1987.
- [13] 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.
- [14] Ianson D C, Allen M F. The effects of soil texture on extraction of vesicular arbuscular mycorrhizal spores from arid soil. *Mycologia*, 1986, 78: 164-168.
- [15] 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 & Biochemistry*, 2009, 41: 941-947.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] Shi Z Y, Chen Y L, Liu R J, Wang W H. Preliminary research on arbuscular mycorrhizal fungi of *Dipterocarpaceae* in Xishuangbanna, Southern Yunnan. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27 (3): 360-365.
- [19] 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.
- [20] Liu R J, Chen Y L. *Mycorrhizology*. Beijing: Science Press, 2007.
- [21] Brady N C, Wei R R. Organisms and ecology of the soil. *The Nature and Properties of Soil*, 1996, 11: 328-360.
- [22] Duan X Y, He X L. Ecological research on arbuscular mycorrhizal fungi from the rhizosphere of *Hedysarum scoparium* in MuUs sandland. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2008, 26 (5): 234-238.
- [23] He X L, Li S X. Resources and ecological distribution of VA mycorrhizal fungi in Shanxi farmland. *Mycosystema*, 1999, 18(3): 337-340.
- [24] Wang G W, Li H Y. Preliminary study on the fungal endophytes in the root of mangrove plants at Qinzhou Bay, China. *Guangxi Forestry Science*, 2003, 32(3): 121-124.
- [25] Haselwandter K, Read D J. The significance of a root-fungus association in two *Carex* species of high-alpine plant communities. *Oecologia*, 1982, 53: 352-354.
- [26] Mullen R B, Schmidt S K, Jaeger C H. Nitrogen uptake during snowmelt by the snow buttercup. *Ranunculus adoneus*. *Arctic and Alpine Research*, 1998, 30: 121-125.
- [27] Treu R, Laursen G A, Stephenson S L, Landolt J C, Densmore R. Mycorrhizae from Denali National Park and Preserve, Alaska. *Mycorrhiza*, 1996, 6: 21-29.
- [28] Barrow J R. A typical morphology of dark septate fungal root endophytes of *Bouteloua* in arid southwestern USA rangelands. *Mycorrhiza*, 2003, 13: 239-247.
- [29] Christopher W S, Renee B M, Steven K S. Isolation and phylogenetic identification of a dark-septate fungus associated with the alpine plant *Ranunculus adoneus*. *New Phytologist*, 2001, 150: 747-755.
- [30] Barrow J R, Osuna P. Phosphorus solubilization and uptake by dark septate fungi in four wing saltbush, *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. *Journal of Arid Environments*, 2002, 51(3): 449-459.

参考文献:

- [1] 张吨明, 唐进年, 徐先英, 金红喜. 两种蒿属植物的光合特性研究. *西北农业学报*, 2009, 18(2): 163-168.
- [4] 王发园, 刘润进. 黄河三角洲盐碱土壤中 AM 真菌的初步调查. *生物多样性*, 2001, 9(4): 389-392.
- [10] 张昌聪, 肖艳萍, 赵之伟. 云南会泽废弃铅锌矿区植物丛枝菌根和深色有隔内生真菌研究. *应用与环境生物学报*, 2007, 13(6): 811-817.
- [11] 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.
- [18] 石兆勇, 陈应龙, 刘润进, 王维华. 西双版纳地区龙脑香科植物 AM 真菌的初步研究. *植物生态学报*, 2003, 27(3): 360-365.
- [19] 贺学礼, 侯晓飞. 荒漠植物油蒿根围 AM 真菌的时空分布. *植物生态学报*, 2008, 32(6): 1373-1377.
- [20] 刘润进, 陈应龙. *菌根学*. 北京: 科学出版社, 2007.
- [22] 段小圆, 贺学礼. 毛乌素沙地花棒 (*Hedysarum scoparium*) 根围 AM 真菌生态学研究. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(5): 234-238.
- [23] 贺学礼, 李生秀. 陕西农田土壤中 VA 菌根真菌资源及生态分布. *菌物系统*, 1999, 18(3): 337-340.
- [24] 王桂文, 李海鹰. 钦州湾红树植物根部内生真菌初步研究. *广西林业科学*, 2003, 32(3): 121-124.

CONTENTS

Applying landscape ecological concepts in urban land use classification	LI Weifeng, OUYANG Zhiyun, XIAO Yi (593)
Mating system of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang, an endangered, indigenous species in China	ZHAO Hongbo, ZHOU Lihua, HAO Riming, et al (602)
Photosynthetically and ecophysiological characteristics of <i>Calligonum roborowasikii</i> in different altitudes on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (611)
Spatial distribution pattern of different strata and spatial associations of different strata in the Schrenk Spruce Forest, northwest China	LI Minghui, HE Fenghua, PAN Cunde (620)
Effect of elevated CO ₂ on the body size, enzyme activity and host selection behavior of <i>Bemisia tabaci</i> biotype B	WANG Xuexia, WANG Guohong, GE Feng (629)
The dynamics of super-cooling ability and biochemical substances in the overwintering <i>Carposina niponensis</i> Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae) larvae	WANG Peng, LING Fei, YU Yi, et al (638)
A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China	LIAO Yibo, SHOU Lu, ZENG Jiangning, et al (646)
Feeding ecology of dorab wolf-herring, <i>Chirocentrus dorab</i> from the Beibu Gulf	YAN Yunrong, YANG Houchao, LU Huosheng, et al (654)
Make use of nest-site of oriental white stork in the Yellow River Estuary Nature Reserve	DUAN Yubao, TIAN Xiuhua, ZHU Shuyu, et al (666)
Winter and spring diet composition of feral yak in Helan Mountains, China	YAO Zhicheng, LIU Zhensheng, WANG Zhaoding, et al (673)
Effects of tree growth and soil properties on soil respiration rate in Chinese fir plantations	WANG Dan, WANG Bing, DAI Wei, et al (680)
Succession of potential vegetation in arid and semi-arid area of China	LI Fei, ZHAO Jun, ZHAO Chuanyan, ZHANG Xiaoqiang (689)
Responses on rhizosphere effect of two subalpine coniferous species to night-time warming and nitrogen fertilization in western Sichuan, China	WEI Yunyan, YIN Huaqun, LIU Qing, et al (698)
Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin	LU Jing, ZHOU Hongxia, TIAN Guangyu, et al (709)
Growth and physiological responses of the <i>Periploca sepium</i> Bunge seedlings to drought stress	AN Yuyan, LIANG Zongsuo, HAO Wenfang (716)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a mature <i>Caragana korshinskii</i> plantation	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (726)
The ultrastructure of chloroplast in mesophyll cell on two robinias under NaCl and Na ₂ SO ₄ stress	MENG Fanjuan, PANG Hongying, WANG Jianzhong, et al (734)
Relationship between tomato fruit growth and environmental factors under protected facility cultivation	CHENG Zhihui, CHEN Xuejin, LAI Linling, et al (742)
Effect of grafting eggplant on root exudates and disease resistance under <i>Verticillium dahliae</i> stress	ZHOU Baoli, LIU Na, YE Xueling, et al (749)
The drought risk zoning of winter wheat in North China	WU Dongli, WANG Chunyi, XUE Hongxi, et al (760)
Heat balance of cold type wheat field at grain-filling stage under drought stress condition	YAN Jufang, ZHANG Songwu, LIU Dangxiao (770)
Effects of different straw returning treatments on soil water, maize growth and photosynthetic characteristics in the semi-arid area of Southern Ningxia	GAO Fei, JIA Zhikuan, LU Wentao, et al (777)
Osmotic and ionic stress effects of high NaCl concentration on seedlings of four wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) genotypes	XU Meng, MA Qiaorong, ZHANG Jitao, et al (784)
Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on mineral nitrogen and relative microbial function groups in forest soils	MU Rong, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (793)
Soil microbial biomass and the influencing factors under <i>Pinus tabulaeformis</i> and <i>Picea asperata</i> plantations in the upper Min-jiang River	JIANG Yuanming, PANG Xueyong, BAO Weikai (801)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the rhizosphere of <i>Artemisia sphaerocephala</i> from Inner Mongolia desert	HE Xueli, WANG Yinyin, ZHAO Lili, et al (812)
Effect of chlorothalonil on soil microbial communities of <i>Larix</i> artificial shelter-forest	SHAO Yuanyuan, WANG Zhiying, ZOU Li, et al (819)
Research of the vegetation's cooling effect in city's residential quarter	LI Yinghan, WANG Junjian, LI Guicai, et al (830)
Landscape dynamics of Baiyangdian Lake from 1974 to 2007	ZHUANG Changwei, OUYANG Zhiyun, XU Weihua, et al (839)
Evaluation of tourism transport ecological footprint in Zhoushan islands	XIAO Jianhong, YU Qingdong, LIU Kang, et al (849)
Nitrogen transformation and its residue in pot experiments amended with organic and inorganic ¹⁵ N cross labeled fertilizers	PENG Peiqin, QIU Shaojun, HOU Hongbo, et al (858)
Effects of dissolve organic carbon (DOC) contents on sorption and desorption of phenanthrene on sediments during ageing	JIAO Lixin, MENG Wei, ZHENG Binghui, et al (866)
Heavy metal concentrations and bioaccumulation of ramie (<i>Boehmeria nivea</i>) growing on 3 mining areas in Shimen, Lengshuijiang and Liuyang of Hunan Province	SHE Wei, JIE Yucheng, XING Hucheng, et al (874)
Discussion	
Climate characteristic of seasonal variation and its influence on annual growth period of <i>populus euphratica</i> Oliv in Hexi Corridor in recent 55 years	LIU Puxing, ZHANG Kexin (882)
Forward trajectory analysis of wheat aphids during long-distance migration using HYSPLIT model	YU Zhenxing, WU Yuqing, JIANG Yueli, et al (889)

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 3 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 3 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		

