

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

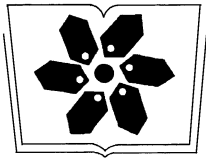
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第6期 Vol.31 No.6 **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 6 期 2011 年 3 月 (半月刊)

目 次

臭氧胁迫对水稻生长以及 C、N、S 元素分配的影响	郑飞翔,王效科,侯培强,等 (1479)
高含氮稻田深层土壤的氨氧化古菌和厌氧氨氧化菌共存及对氮循环的影响	王 雨,祝贵兵,王朝旭,等 (1487)
气候年际变率对全球植被平均分布的影响	邵 璞,曾晓东 (1494)
模拟升温 and 放牧对高寒草甸土壤有机碳氮组分和微生物生物量的影响	王 蓓,孙 庚,罗 鹏,等 (1506)
广州城区生态安全岛典型植物群落结构及物种多样性	莫 丹,管东生,黄康有,等 (1515)
中亚热带湿地松人工林生长过程	马泽清,刘琪璟,王辉民,等 (1525)
潜流人工湿地中植物对氮磷净化的影响	刘树元,阎百兴,王莉霞 (1538)
模拟氮沉降对两种竹林不同凋落物组分分解过程养分释放的影响	涂利华,胡庭兴,张 健,等 (1547)
苔藓植物对贵州丹寨汞矿区汞污染的生态监测	刘荣相,王智慧,张朝晖 (1558)
三峡库区泥、沙沉降对低位狗牙根种群的影响	李 强,丁武泉,朱启红,等 (1567)
上海崇明东滩互花米草种子产量及其萌发对温度的响应	祝振昌,张利权,肖德荣 (1574)
栲-木荷林凋落叶混合分解对土壤有机碳的影响	张晓鹏,潘开文,王进闯,等 (1582)
荒漠化对毛乌素沙地土壤呼吸及生态系统碳固持的影响	丁金枝,来利明,赵学春,等 (1594)
黄土丘陵沟壑区小流域土壤有机碳空间分布及其影响因素	孙文义,郭胜利 (1604)
种间互作和施氮对蚕豆/玉米间作生态系统地上部和地下部生长的影响	李玉英,胡汉升,程 序,等 (1617)
测墒补灌对冬小麦氮素积累与转运及籽粒产量的影响	韩占江,于振文,王 东,等 (1631)
植被生化组分光谱模型抗土壤背景的能力	孙 林,程丽娟 (1641)
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	贺学礼,陈 程,何 博 (1653)
基于水源涵养的流域适宜森林覆盖率研究——以平通河流域(平武段)为例	朱志芳,龚固堂,陈俊华,等 (1662)
黑龙江大兴安岭呼中林区火烧点格局分析及影响因素	刘志华,杨 健,贺红士,等 (1669)
大兴安岭小尺度草甸火燃烧效率	王明玉,舒立福,宋光辉,等 (1678)
长江口中华鲟自然保护区底层鱼类的群落结构特征	张 涛,庄 平,章龙珍,等 (1687)
骨顶鸡等游禽对不同的人为干扰的行为响应	张微微,马建章,李金波 (1695)
光周期对白头鹇体重、器官重量和能量代谢的影响	倪小英,林 琳,周菲菲,等 (1703)
应用稳定同位素技术分析华北部分地区第三代棉铃虫虫源性质	叶乐夫,付 雪,谢宝瑜,等 (1714)
西花蓟马对蔬菜寄主的选择性	袁成明,郅军锐,曹 宇,等 (1720)
基于 Cyt b 基因序列分析的松毛虫种群遗传结构研究	高宝嘉,张学卫,周国娜,等 (1727)
沼液的定价方法及其应用效果	张昌爱,刘 英,曹 曼,等 (1735)
垃圾堆肥基质对不同草坪植物生态及质量特征的影响	赵树兰,廉 菲,多立安 (1742)
五氯酚在稻田中的降解动态及生物有效性	王诗生,李德鹏 (1749)
专论与综述	
景观遗传学:概念与方法	薛亚东,李 丽,吴巩胜,等 (1756)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 284 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 31 * 2011-03	



封面图说:美丽优雅的新疆夏尔西里森林草地原始景观。夏尔西里国家级自然保护区建立在新疆博乐北部山区无人干扰的中哈边境上,图中雪地云杉为当地的优势树种。

彩图提供:国家林业局陈建伟教授 E-mail: cites.chenjw@163.com

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

贺学礼^{1,*}, 陈程¹, 何博²

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

摘要: 2009 年 7 月在内蒙古和河北两省农牧交错带沙棘 (*Hippophae rhamnoides* L.) 集中分布区选取 3 个典型样地, 分别从 0—10 cm、10—20 cm、20—30 cm、30—40 cm 和 40—50 cm 土层采集沙棘根围土壤样品, 研究了沙棘根围 AM 真菌与球囊霉素空间分布及与土壤因子的相关性。结果表明, 沙棘能与 AM 真菌形成良好的疆南星型 (Arum-type) 丛枝菌根。AM 真菌定殖率和孢子密度与样地生态条件密切相关。大梁底村和多伦东样地 AM 真菌不同结构定殖率及孢子密度无明显差别, 但均显著高于黄柳条村样地, 只在大梁底村发现丛枝定殖; 孢子密度在 3 个样地均随土层加深而降低, 不同结构定殖率在大梁底村随土层加深而降低, 其他 2 个样地无明显变化规律; AM 真菌最高定殖率和最大孢子密度均出现在 0—30 cm 浅土层。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。相关性分析表明, 孢子密度与菌丝定殖率、泡囊定殖率和总定殖率极显著正相关。AM 真菌菌丝、泡囊和总定殖率与土壤 pH 值、有机 C、碱解 N 和速效 P 含量、脲酶和碱性磷酸酶活性极显著正相关, 丛枝定殖率与土壤碱解 N 含量和脲酶活性显著正相关。多元线性回归方程表明, AM 真菌不同定殖结构和土壤因子对 TEG 和 EEG 含量贡献不同, 对于 TEG: 菌丝 > 孢子 > 泡囊; 有机 C > 速效 P > 酸性磷酸酶 > pH 值, 对于 EEG: 泡囊 > 孢子 > 菌丝; 有机 C > 速效 P。结果建议, AM 真菌孢子密度、菌丝定殖程度和土壤球囊霉素含量在一定程度上能综合反应土壤 AM 真菌群落、有机 C 动态和养分循环进程, 可以作为土壤质量及功能评价的新指标进一步深入研究。

关键词: AM 真菌; 球囊霉素; 空间分布; 沙棘; 农牧交错带

Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin of *Hippophae rhamnoides* L in farming-pastoral zone from the two northern provinces of China

HE Xueli^{1,*}, CHEN Cheng¹, HE Bo²

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

2 College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

Abstract: Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are important functional components of ecosystems and are the most widely distributed microbes among the soil microorganisms. Glomalin, which is produced by AMF, is a kind of glycoprotein that can be extracted from soil. Its ubiquity, coupled with apparent recalcitrance of glomalin and consequent long residence time in soil, can result in glomalin comprising large pools of soil carbon and nitrogen. *Hippophae rhamnoides* L is one of the excellent sand-fixation plants that can not only well adapt to arid desert environment, but also fix sand and improve the texture or fertility of soil, so as to keep the balance and stability of the desert ecosystem. In this paper, the spatial distribution of AMF and glomalin, and the relativity of AMF and glomalin with environmental factors in rhizosphere of *Hippophae rhamnoides* L were investigated in farming-pastoral zone between Inner Mongolia and Hebei province. In July 2009, we collected the root and soil samples from three different sample sites, which are Da Liandi, Huang Liutiao and east of Duo Lun, respectively. Root samples were collected from four robust *Hippophae rhamnoides* L, and soil samples were collected from three sample sites and divided into five layers on the basis of depth, from top to bottom: 0—10 cm, 10—

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30670371, 40471637)

收稿日期: 2010-07-05; **修订日期:** 2011-01-11

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

20 cm, 20—30 cm, 30—40 cm, 40—50 cm, respectively. The results showed that a good symbioses relation is formed between AMF and *Hippophae rhamnoides* L. Mycorrhizal type is Arum-type. The distribution and activity of AMF, the content of total extractable glomalin (TEG) and easily extractable glomalin (EEG) were significantly affected by ecological conditions and soil depth. In Daliangdi and Duolun sites, there was no obvious difference in the spore density, but in Huangliutiao site was much higher; the colonization of AMF showed the same trend with spore density. Meanwhile the arbuscule was only found in Daliangdi site. The maximal value of the spore density occurred at the 0—10 cm soil layer in three sites, and then decreased with the increasing of the soil depth, and the percentage of AM fungal colonization showed the same trend in Daliangdi site, while no obvious difference was found in the variation laws of different structures of AM fungal colonization in other sample sites. The highest colonization rate and spore density of AMF were found in the 0—30 cm soil layer in each site. The highest contents of TEG and EEG occurred at the 0—10 cm soil layer, and then gradually decreased with the increasing of soil depth. Spore density had significantly positive effects on total, hyphal and vesicular colonization. Different structures of AMF had significantly positive effects on soil pH, organic C, alkaline N, available P, urease and alkaline phosphatase. Arbuscular colonization had a positive effect on alkaline N and urease. The result of multiple linear regression equation showed that different colonial structures of AMF and different soil factors had different impact on the content of TEG and EEG. For TEG: hyphae>spore>vesicale; organic C>available P>acid phosphatase. For EEG: vesicale>spore>hyphae; organic C>available P. Spore density, colonisation of hyphae, the contents of TEG and EEG were remarkably correlated with the contents of soil nutritions and the activities of soil enzymes, and in the future research, these indexes can be used as parameters to monitor the development of AMFcommunity, organic carbon dynamic and nutrition cycle in sand soil.

Key Words: arbuscular mycorrhizal fungi; Glomalin; spatial distribution; *Hippophae rhamnoides* L; farming-pastoral zone

AM(arbuscular mycorrhiza)真菌是一类广泛分布于陆地生态系统中的有益土壤微生物,能与80%以上高等植物形成互惠共生联合体^[1]。共生联合体的形成对于旱生植物定植和生长具有重要意义^[2-3],特别是在植物根围土壤中形成的庞大菌丝网络系统和产生的球囊霉素,能够提高土壤团聚体的稳定性,固定沙丘和改善土壤理化性状,并在生态系统保护、恢复和重建中发挥重要作用^[4]。

球囊霉素(Glomalin)是由AM真菌产生的一种含金属离子的糖蛋白,主要存在于AM真菌菌丝体和孢子壁层结构中,对维护AM真菌本身的生物及生理功能极为重要^[5]。当球囊霉素随菌丝和孢子降解而进入土壤后,又成为土壤有机源,参与土壤C、N循环。对球囊霉素的研究可进一步明确AM真菌在维持土壤结构、促进营养物质循环中的地位和作用。

沙棘(*Hippophae rhamnoides* L)属于胡颓子科(Elaeagnaceae)沙棘属(*Hippophae*),落叶灌木或小乔木,广泛分布于欧洲、亚洲温带地区,尤其我国是拥有世界90%沙棘资源的大国。沙棘的果实、种子、叶、皮等器官含有丰富的营养和药用成分,同时沙棘枝叶茂密,根系发达,生长迅速,具有水土保持、防风固沙、改良土壤的作用,是干旱地区水土保持和植被建设的先锋树种和关键树种,此外,沙棘根系能被弗兰克氏内生菌感染而形成根瘤,具有极强的固氮能力,对于增加土壤肥力、提高林地生产力具有重要意义^[6]。任嘉红等^[7]研究发现,接种AM真菌的沙棘*Frankia*结瘤量增加,更有效地促进了沙棘苗木的生长。近年来,由于人类过度放牧以及全球气候变化的影响,沙棘生长环境受到严重破坏,其生产及生态功能被严重削弱。利用生物技术保护和利用沙棘资源,不仅能促进当地人民脱贫致富,而且能够改善恶化的自然环境,从而维护干旱地区生态系统平衡和稳定。

河北省和内蒙古两省农牧交错带位于我国干旱半干旱地区,其独特的气候和地理状况为草原荒漠的发生和发育提供了条件。本试验对河北省和内蒙古两省农牧交错带沙棘根围AM真菌和球囊霉素空间分布及与土壤因子的关系进行了研究,以便为充分利用AM真菌资源,促进旱生植物生长和荒漠植被恢复提供依据,也

可为加强沙棘林的管理提供新的思路。

1 材料和方法

1.1 样地概况

河北省沽源县大梁底村,位于 $41^{\circ}52'724''\text{N}$ 、 $115^{\circ}51'891''\text{E}$,海拔 1355m,土壤类型为沙质栗钙土;内蒙古正蓝旗黄柳条村,位于 $42^{\circ}15'842''\text{N}$ 、 $116^{\circ}10'741''\text{E}$,海拔 1313m,土壤类型为风沙土;内蒙古多伦县城东,位于 $42^{\circ}11'601''\text{N}$ 、 $116^{\circ}36'870''\text{E}$,海拔 1312m,土壤类型为沙质栗钙土。

1.2 研究方法

2009 年 7 月份分别从大梁底村、黄柳条村和多伦县城东 3 个样地随机选取 4 株生长良好的沙棘,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—40、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 2mm 筛,用于 AM 真菌孢子分离和土壤理化性质测定,收集的根样用于菌根结构和定殖率观测。

土壤 pH 值用精密酸度计测定,有机 C 用重铬酸钾氧化法^[8],碱解 N 用碱解扩散法,速效 P 用 NaHCO_3 浸提-钼锑抗比色法。脲酶用 Hoffman 与 Teicher 法,碱性磷酸酶和酸性磷酸酶用改进的 Tabatabai 和 Brimmer 方法^[4]测定,活性以每克风干土培养 1 h 碱性磷酸酶或酸性磷酸酶转化对硝基苯磷酸二钠(pNPP)的量($\mu\text{g/g}$)表示。

球囊霉素按照 Wright^[9]和修改后的 David 等^[4]的方法测定。易提取球囊霉素(EEG):取 1g 风干土于试管中,加入 8 mL、20 mmol/L (pH 7.0)的柠檬酸钠浸提剂,在 103 kPa、121℃ 条件下连续提取 90 min 后,在 $10000\times g$ 下离心 6 min,收集上清液;总球囊霉素(TEG):取 1 g 风干土于试管中,加入 8 mL、50mmol/L (pH 8.0)的柠檬酸钠浸提剂,在 103 kPa、121℃ 条件下连续提取 60 min,再重复提取 2 次; $10000\times g$ 下离心 5 min,收集上清液。分别吸取上清液 0.5 mL 加入 5 mL 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。

根据 Smith 等人^[10]方法确定菌根类型,按 Phillips 和 Hayman^[11]方法测定 AM 真菌定殖率。从每份土样中取 20g 风干土,用筛筛析-蔗糖离心法分离 AM 真菌孢子^[12],在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。

采用 SPSS 13.0 生物统计分析软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 沙棘丛枝菌根结构和类型

研究发现,沙棘根系能被 AM 真菌高度感染,并形成疆南星型(Arum-type)丛枝菌根。孢子萌发后产生大量外生菌丝(图 1-1),侵入根组织后在根皮层形成大量胞间菌丝(图 1-2),发现少量菌丝圈(图 1-3)。孢囊存在于根皮层细胞间隙或细胞内,由菌丝顶端膨大而成(图 1-4),大小不等,形状多为圆形和椭圆形,极少数形状不规则(图 1-5)。丛枝较少,花椰菜状(图 1-6)。

2.2 沙棘根围 AM 真菌空间分布

由表 1 可见,同一样地不同土层,AM 真菌孢子密度随土层加深而减少。大梁底村 0—30cm 土层孢子密度显著高于 30—50cm 土层;黄柳条村 0—10cm 土层孢子密度显著高于 20—50cm 土层;多伦东 0—10cm 土层孢子密度显著高于 30—50cm 土层。不同样地同一土层,大梁底村各土层孢子密度最大,显著高于多伦东(0—20cm 土层除外)和黄柳条村。

大梁底村总定殖率随土层加深逐渐降低;黄柳条村和多伦东总定殖率变化无规律,总定殖率最大值出现在 20—30cm 土层。不同样地同一土层,0—20cm 土层总定殖率变化规律为:大梁底村>多伦东>黄柳条村;20—50cm 土层总定殖率,大梁底村和多伦东样地无明显差别,但均显著高于黄柳条村。大梁底村和多伦东平均总定殖率无明显差异,均显著高于黄柳条村。

大梁底村菌丝定殖率 0—30cm 土层显著高于 30—50cm 土层。黄柳条村菌丝定殖率随土层加深先升后

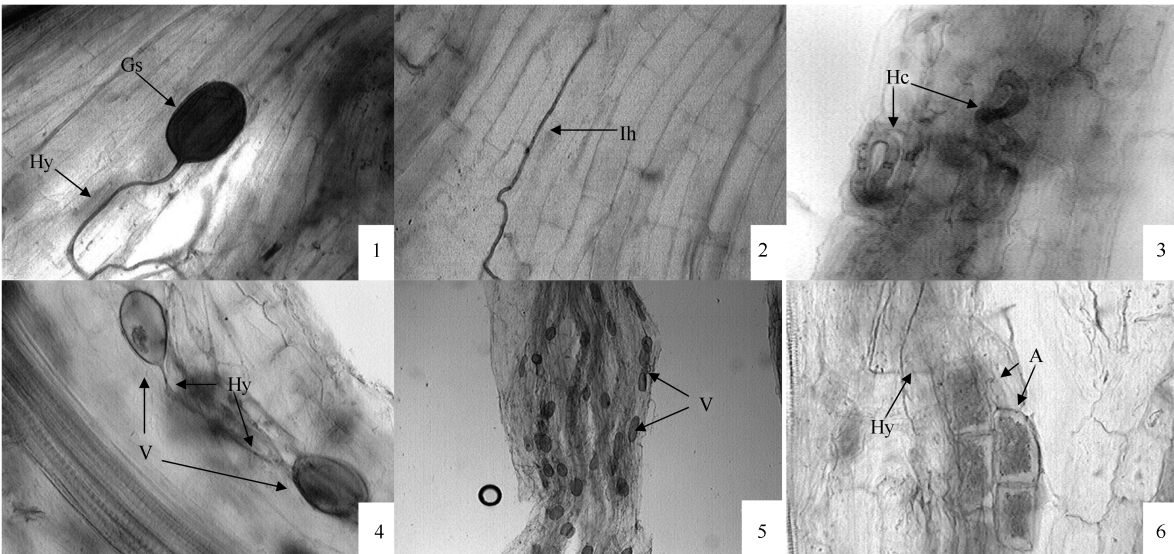


图1 沙棘丛枝菌根结构

Fig. 1 Arbuscular mycorrhizal structures of *Hippophae rhamnoides* L

1. 萌发的孢子(×400);2. 外生菌丝(×400);3. 菌丝圈(×400);4. 菌丝顶端形成泡囊(×400);5. 泡囊(×100);6. 丛枝(×400)(Gs: 萌发的孢子;lh: 外生菌丝;Hc: 菌丝圈;v: 泡囊;A: 丛枝;Hy: 菌丝)

降,20—30cm 土层最高。多伦东菌丝定殖率在各土层间无明显变化。不同样地同一土层,0—20cm 土层菌丝定殖率变化规律为:大梁底村>多伦东>黄柳条村;大梁底村和多伦东 20—50cm 土层菌丝定殖率无明显差别,但均显著高于黄柳条村。大梁底村平均菌丝定殖率最高,黄柳条村最低。

表1 沙棘根围 AM 真菌空间分布

Table 1 The spatial distribution of AM fungi in the rhizosphere of *Hippophae rhamnoides* L.

样地 Site	土层深度/cm Soil layer	菌丝定殖率/% Hyphal colonization	泡囊定殖率/% Vesicular colonization	丛枝定殖率/% Arbuscular colonization	总定殖率/% Total colonization	孢子密度 /(个/100g) Spore density
大梁底村 Da Liangdi	0—10	95.00±3.56Aa	70.00±4.97Aa	12.00±2.58a	97.00±0.82Aa	1614±328Aa
	10—20	93.00±2.58Aa	55.00±4.55Ab	14.00±2.94a	94.00±1.83Aab	1453±189Aab
	20—30	92.00±4.08Aa	40.00±4.97Ac	3.00±1.83b	92.00±5.60Abc	1148±212Ab
	30—40	80.00±4.16Ab	28.00±4.24Bd	2.00±1.41b	89.00±2.94Ac	729±162Ac
	40—50	81.00±6.06Ab	20.00±4.69Ae	2.00±0.82b	83.00±1.83Ad	501±84Ac
平均值 Average		88.20A	42.60A	6.60	91.00A	1089A
黄柳条村 Huang Liutiao	0—10	23.00±7.02Cc	5.00±2.58Cc	0.00	26.00±1.83Cd	565±363Ba
	10—20	48.00±6.48Cb	15.00±2.16Cab	0.00	50.00±3.65Cb	350±135Bab
	20—30	66.00±8.04Ba	16.00±2.94Ca	0.00	71.00±3.16Ba	230±78Cb
	30—40	29.00±8.52Bc	13.00±2.58Cab	0.00	33.00±3.37Bc	104±48Cb
	40—50	30.00±5.35Bc	12.00±1.83Bb	0.00	32.00±2.71Bc	70±16Bb
平均值 Average		39.20B	12.20B	0.00	42.40B	264B
多伦东 Duo Lundong	0—10	82.00±4.69Ba	21.00±4.97Bc	0.00	85.00±2.58Bbc	1141±711ABa
	10—20	73.00±7.16Ba	24.00±3.16Bc	0.00	73.00±4.08Bd	878±178ABab
	20—30	88.00±7.35Aa	31.00±2.94Bb	0.00	90.00±3.56Aa	661±158Babc
	30—40	80.00±14.3Aa	45.00±4.76Aa	0.00	87.00±1.83Aab	459±98Bbc
	40—50	74.00±15.0Aa	23.00±2.58Ac	0.00	82.00±1.83Ac	204±139Bc
平均值 Average		79.40A	28.80AB	0.00	83.40A	669AB

同列数据后标不同小写字母者表示同一样地不同土层之间差异显著 ($P<0.05$); 标不同大写字母者表示同一土层不同样地之间差异显著 ($P<0.05$)

大梁底村泡囊定殖率随土层加深而减少,各土层间差异显著。黄柳条村和多伦东泡囊定殖率随土层加深

先升后降,黄柳条村在 20—30cm 土层最大,多伦东在 30—40cm 土层最大。不同样地同一土层,大梁底村 0—30cm 土层泡囊定殖率显著高于其他样地;30—40cm 土层泡囊定殖率在多伦东样地最大;大梁底村和多伦东 40—50cm 土层泡囊定殖率显著高于黄柳条村。大梁底村平均泡囊定殖率最高,黄柳条村最低。丛枝只在大梁底村样地中发现,0—20cm 土层丛枝定殖率显著高于 20—50cm 土层。

2.3 沙棘根围土壤因子空间分布

如表 2 所示,3 个样地土壤总球囊霉素和易提取球囊霉素含量均随土层加深而降低。不同样地同一土层,大梁底村>多伦东>黄柳条村。土壤 pH 在 6.82—7.96 之间变化,除黄柳条村样地 0—20cm 土层为弱酸性外,其他均为碱性。

表 2 沙棘根围土壤因子空间分布

Table 2 The spatial distribution of soil factors in the rhizosphere of *Hippophae rhamnoides* L

样地 Site	土层深度/ cm Soil layer	总球囊霉素 (TEG) /(g/kg)	易提取球囊 霉素(EEG) /(g/kg)	pH	有机 C /(g/kg) Organic matter	碱解 N /(mg/kg) Alkaline N
大梁底	0—10	3.81±0.21Aa	2.39±0.19Aa	7.72±0.19Aa	14.09±0.98Aa	127.68±15.1Aa
Da Liangdi	10—20	3.29±0.11Ab	1.70±0.32Ab	7.8±0.18Aa	11.24±1.87Aa	101.08±16.8Aab
	20—30	2.92±0.37Ab	1.54±0.43Ac	7.83±0.18Aa	10.58±2.62Aab	93.52±20.2Ab
	30—40	2.80±0.30Ab	1.40±0.35Ac	7.88±0.19Aa	10.67±2.78Aab	94.36±21.2Ab
	40—50	2.19±0.13Ac	0.86±0.24Ad	7.96±0.24Aa	7.16±2.57Ab	64.12±15.6Ac
	平均值 Average	3.00A	1.58A	7.84A	10.75A	96.15A
黄柳条村	0—10	0.32±0.12Ca	0.20±0.05Ca	6.82±0.16Cb	1.70±0.54Ca	18.48±5.08Ca
Huang Liutiao	10—20	0.29±0.13Ca	0.15±0.04Cab	6.94±0.12Cab	1.27±1.16Ca	17.99±11.4Ca
	20—30	0.17±0.14Cab	0.10±0.06Cbc	7.01±0.15Bab	1.23±1.34Ba	14.70±11.1Ba
	30—40	0.08±0.02Cb	0.05±0.01Cc	7.10±0.14Ba	0.43±0.13Ca	7.35±1.34Ca
	40—50	0.05±0.03Cb	0.04±0.02Cc	7.12±0.14Ba	0.38±0.32Ba	6.79±3.92Ba
	平均值 Average	0.18C	0.11C	7.00C	1.00C	13.06C
多伦东	0—10	2.19±0.13Ba	1.16±0.02Ba	7.27±0.22Bc	9.24±2.41Ba	73.08±8.20Ba
Duo Lundong	10—20	1.83±0.11Bb	1.04±0.06Bb	7.38±0.24Bbc	7.58±1.88Ba	70.84±11.7Ba
	20—30	1.60±0.24Bc	0.94±0.09Bb	7.67±0.30Aabc	8.18±1.49Aa	72.80±14.5Aa
	30—40	1.43±0.13Bcd	0.82±0.08Bc	7.85±0.32Aa	6.93±1.29Ba	61.32±7.78Ba
	40—50	1.27±0.03Bd	0.74±0.08Bc	7.73±0.29Aab	6.79±1.30Aa	70.56±18.2Aa
	平均值 Average	1.66B	0.94B	7.58B	7.74B	69.72B

样地 Site	土层深度/cm Soil layer	速效 P /(mg/kg) Available P	脲酶 /(μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹) Urease	碱性磷酸酶 /(μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹) Alkaline phosphatase	酸性磷酸酶 /(μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹) Acid phosphatase
大梁底	0—10	12.65±4.06Aa	0.30±0.08Aa	145.52±27.5Aa	28.08±5.13Aa
Da Liangdi	10—20	7.20±2.05Aab	0.16±0.03Ab	100.77±16.1Ab	23.85±6.16Aa
	20—30	5.40±2.95Ab	0.10±0.03Ab	85.70±21.0Abc	23.79±6.12Aa
	30—40	5.02±2.65Ab	0.13±0.02Ab	68.60±8.74Abc	22.71±7.26Aab
	40—50	5.89±5.10Aab	0.11±0.04Ab	43.86±9.53Bc	14.40±3.42Ab
	平均值 Average	7.23A	0.16A	88.89A	22.56A
黄柳条村	0—10	1.00±0.41Ca	0.08±0.04Ba	25.72±10.2Ba	6.94±1.28Ca
Huang Liutiao	10—20	0.24±0.21Ca	0.04±0.04Bab	19.85±16.4Bab	6.74±3.47Ca
	20—30	0.18±1.75Ba	0.03±0.03Aab	16.33±15.1Bab	4.88±3.16Ca
	30—40	0.46±0.36Ba	0.01±0.01Cb	4.05±1.95Bb	4.25±1.57Ba
	40—50	0.50±0.46Ba	0.01±0.01Bb	4.05±3.71Cb	3.12±1.42Ba
	平均值 Average	0.48C	0.03AB	14.00B	5.19C
多伦东	0—10	5.28±2.16Ba	0.18±0.17ABa	109.03±7.84Aa	17.37±5.13Ba
DuoLundong	10—20	3.12±1.78Bab	0.11±0.06ABa	95.63±31.5Aa	13.51±3.47Bab
	20—30	2.68±0.66ABab	0.02±0.06Aa	102.19±32.1Aa	12.22±3.28Bab
	30—40	2.48±0.75ABb	0.07±0.02Ba	89.46±19.3Aa	11.24±1.70Bb
	40—50	3.05±1.26ABb	0.08±0.05Aa	80.03±16.0Aa	11.62±3.31Aab
	平均值 Average	3.32B	0.09B	95.27A	13.19B

同列数据后标不同小写字母者表示同一样地不同土层之间差异显著 ($P<0.05$); 标不同大写字母者表示同一土层不同样地之间差异显著 ($P<0.05$)

黄柳条村和多伦东土壤有机 C 和碱解 N 随土层加深无明显差异。大梁底村 0—20cm 土层有机 C 显著高于 40—50cm 土层。大梁底村碱解 N 随土层加深而减少。不同样地相同土层,0—20cm 土层有机 C 差异明显,大梁底村>多伦东>黄柳条村;20—50cm 土层,大梁底村和多伦东土壤有机 C 无显著差异,但均高于黄柳条村。碱解 N 变化规律与有机 C 一致。黄柳条村各土层速效 P 含量无显著差异,其他样地各土层速效 P 含量随土层加深而降低(多伦东 40—50cm 土层除外)。不同样地相同土层,0—20cm 土层速效 P 含量,大梁底>多伦东>黄柳条村;20—50cm 土层,大梁底村土壤速效 P 显著高于黄柳条村。

大梁底村 0—10cm 土层脲酶活性显著高于 10—50cm 土层,黄柳条村 0—10cm 土层脲酶活性显著大于 30—50cm 土层,多伦东各土层脲酶活性差异不显著。不同样地同一土层,大梁底村样地各土层脲酶活性最高。

3 个样地碱性磷酸酶和酸性磷酸酶活性最大值均出现在 0—10cm 土层,并随土层加深而降低。不同样地相同土层,大梁底村和多伦东碱性磷酸酶活性差别不大(40—50cm 土层除外),均高于黄柳条村样地;酸性磷酸酶活性,大梁底村>多伦东>黄柳条村(30—40cm 土层除外)。

2.4 沙棘根围 AM 真菌与土壤因子的相关性

相关性分析结果表明,AM 真菌孢子密度与菌丝定殖率、泡囊定殖率和总定殖率极显著正相关,与丛枝定殖率无显著相关性。菌丝定殖率、泡囊定殖率、总定殖率及孢子密度与所测土壤因子(酸性磷酸酶除外)均极显著正相关;丛枝定殖率与碱解 N 和脲酶显著正相关。

表 3 AM 真菌与土壤因子相关性分析
Table 3 Relativity analysis between AM fungi and soil factors

项目 Item	pH	有机 C Organic matter	碱解 N Alkaline N	速效 P Available P	脲酶 Urease	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	酸性磷酸酶 Acid Phosphatase	孢子密度 Spore density
菌丝定殖率 Hyphal colonization	0.669 **	0.819 **	0.818 **	0.595 **	0.543 **	0.751 **	0.130	0.593 **
泡囊定殖率 Vesicular colonization	0.555 **	0.766 **	0.786 **	0.704 **	0.582 **	0.655 **	0.024	0.694 **
丛枝定殖率 Arbuscular colonization	0.193	0.206	0.318 *	0.103	0.326 *	0.212	0.281	0.287
总定殖率 Total colonization	0.743 **	0.820 **	0.831 **	0.602 **	0.496 **	0.760 **	0.109	0.567 **
孢子密度 Spore density	0.337 **	0.769 **	0.734 **	0.620 **	0.704 **	0.643 **	0.085	1

* 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 沙棘根围球囊霉素和 AM 真菌定殖结构及土壤因子的多元线性回归分析

根据多元线性回归基本原理,分别以总球囊霉素和易提取球囊霉素含量为因变量,以 AM 真菌定殖率和土壤因子为自变量,进行多元线性回归分析,利用最小二乘法原理估计参数,同时利用 stepwise 法剔除不显著因子和有相关关系的因子,从而最终确定对球囊霉素含量有明显影响的因子,得标准回归方程为:

总球囊霉素和易提取球囊霉素与 AM 真菌各定殖结构多元线性回归方程:

$$\text{方程 I } Y_1 = 0.414X_1 + 0.239X_2 + 0.385X_3 \quad (F=95.752)$$

$$\text{方程 II } Y_2 = 0.291X_1 + 0.371X_2 + 0.364X_3 \quad (F=87.191)$$

总球囊霉素和易提取球囊霉素与土壤因子多元线性回归方程:

$$\text{方程 III } Y_1 = 0.176X_4 + 0.456X_5 + 0.238X_6 + 0.213X_7 \quad (F=168.199)$$

$$\text{方程 IV } Y_2 = 0.797X_5 + 0.226X_6 \quad (F=442.449)$$

式中, Y_1 为总球囊霉素; Y_2 为易提取球囊霉素; X_1 为菌丝定殖率; X_2 为泡囊定殖率; X_3 为孢子密度; X_4 为 pH; X_5 为有机 C; X_6 为速效 P; X_7 为酸性磷酸酶。

经检验,各个方程检验值 F 的显著性概率均小于 0.05,说明回归效果较好,回归方程均有显著意义;对各系数进行 t 检验,结果各显著性水平都小于 0.05,说明各因子对 Y 的影响都很显著。

3 讨论与结论

3.1 沙棘根围 AM 真菌共生关系及空间异质性

研究结果表明,沙棘根系能被 AM 真菌高度侵染,大梁底村、黄柳条村和多伦东样地平均总定殖率分别为 91.0%、42.4% 和 83.4%,平均孢子密度分别为 1089 个/100g、264 个/100g 和 669 个/100g,说明沙棘根系能与 AM 真菌形成良好共生关系。沙棘根系是兼具深根性和浅根性树种根系特征的“复合型”根系,即主根不发达,但可由侧根依次代替形成垂直根系,并具有极强的根蘖能力^[6],这使沙棘根系能产生大量新生细根,由于 AM 真菌菌丝最初侵染位置是幼嫩的细根,所以沙棘的根系特征对 AM 真菌侵染极为有利;同时,沙棘根系具有湿生植物特点,即导管和机械组织趋于简化,木质部所占比例较小,薄壁组织发达^[6],表皮阻力小易于侵入,有利于 AM 真菌侵染。

相关性分析结果表明,AM 真菌孢子密度与泡囊、菌丝和总定殖率极显著正相关,与丛枝定殖率无显著相关性。在其他研究中也得到了相似的结论^[13-14]。这可能与 AM 真菌发育阶段有密切关系。孢子作为 AM 真菌主要繁殖体能在土壤中存活较长时间,菌丝是从枝菌根定殖结构中最丰富的部分,在植物根系内外大量分布,较高的菌丝定殖率有利于宿主植物在干旱环境中的水分吸收和营养利用;另外,泡囊在丛枝快衰老时开始形成,定殖时间长,在根组织内大量存在,有时还可随受损组织进入土壤中,起繁殖体的作用继续感染其他植物根系^[15]。

本研究发现,AM 真菌定殖率和孢子密度随土壤深度变化表现出一定的差异性,菌丝定殖率和孢子密度在样地最大值均出现在 0—30cm 浅土层,而 3 个样地土壤有机 C、碱解 N 和速效 P 最高值也多集中在 0—30 cm 土层。产生这种现象的原因可能是:AM 真菌为好气性真菌,孢子和菌丝生长以及菌根发育都需要氧气和适宜的土壤湿度,而浅层土透气性和含水量都比深土层高,对菌丝定殖和产孢有利;土壤养分含量对泡囊和菌丝形成有促进作用,利于丛枝菌根形成;与沙棘根系和 AM 真菌本身的生物学特性等因素有关^[13,16]。

3.2 沙棘根围 AM 真菌与土壤因子的关系

AM 真菌是宿主植物根系与土壤环境联系的通道,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^[13,17]。本试验中,土壤有机 C、速效 P 和碱解 N 与 AM 真菌菌丝和泡囊定殖率极显著正相关,说明在贫瘠土壤条件下,一定范围内提高土壤肥力,有利于 AM 真菌菌丝生长和菌根形成,而从枝菌根的形成可能是沙棘适应干旱贫瘠环境的有效对策之一。

相关性分析显示,土壤 pH 与菌丝定殖率、泡囊定殖率、总定殖率和孢子密度极显著正相关。土壤 pH 直接影响 AM 真菌产孢及菌根形成,AM 真菌的有效性因 pH 不同而变化^[18]。3 个样地土壤 pH 均为弱碱性,说明在碱性土壤中 AM 真菌能够与沙棘根系形成良好共生关系。土壤有机 C、碱解 N 和速效 P 与孢子密度极显著正相关,这可能是由于沙棘根瘤除了固定空气中的氮素外,还能促使土壤养分库中矿物有机质、难溶性无机化合物和有机化合物向有效态转化,利于植物吸收利用^[6],在干旱贫瘠土壤中,速效养分远没有达到限制 AM 真菌活动和繁殖的含量,土壤肥力提高对 AM 真菌产孢有一定促进作用。同时,有机质除了是菌根生长的基本营养外,还可能与根外菌丝保存和延伸有关,从而通过有机质间接影响孢子在根外菌丝顶端的发育形成^[18]。

AM 真菌空间分布与土壤酶活性密切相关。这是因为在丛枝菌根形成过程中,菌丝最初侵染位置是幼嫩的细根^[19],而土壤酶主要来自高等植物根系的细根顶端^[20];AM 真菌对细根的侵染,会影响宿主,促使丛枝菌根分泌土壤酶^[20],或通过根外菌丝分泌土壤酶^[13]。脲酶参与的酶促反应可产生一种能被植物有效利用的氮源-氨,脲酶活性也反映了土壤转化有机态氮为有效态氮及土壤供应无机氮的能力。孢子形成过程中利用的无机氮主要来自脲酶对矿质氮的转化,菌丝的主要作用是辅助细根吸收转移无机氮、磷等元素^[21],孢子密度与脲酶极显著正相关的结果也证实了这一点。本试验样地都为荒漠地区,土壤氮、磷含量相对较低,透气性

好,有利于 AM 真菌产生孢子和菌根侵染,AM 真菌对土壤脲酶活性有贡献,有助于沙棘对土壤有效态氮的吸收利用,从而提高沙棘耐贫瘠性。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。碱性磷酸酶与菌丝、孢囊定殖率和总定殖率及孢子密度极显著正相关,土壤 P 含量与 AM 真菌定殖和产孢密切相关。本试验各样地平均土壤速效 P 含量均在 10 mg/kg 以下,属于低磷环境,由于低磷的刺激使 AM 真菌不断向周围介质分泌磷酸酶,加速土壤有机磷转化分解,进而被植物根系及土壤微生物吸收利用。加之根外菌丝不但可以分泌磷酸酶^[19],而且可作为细根的延伸,增加根系表面积,辅助根系吸收土壤磷^[21]。因此,AM 真菌在贫瘠的荒漠环境中改变了植物的磷养分。

3.3 球囊霉素与 AM 真菌不同定殖结构和土壤因子的关系

球囊霉素是 AM 真菌菌丝表面分泌产生的一类含金属离子的糖蛋白,土壤球囊霉素是土壤有机 C、N 的一个重要来源,其黏附力有利于土壤结构稳定,被认为是 AM 真菌对植物生长环境的调整与适应,是微生物活动的一种积极应答机制。新产生球囊霉素的 80% 存在于 AM 真菌菌丝体和孢子壁中,只有随 AM 真菌菌丝和孢子降解才能进入土壤^[5]。多元线性回归分析结果表明,土壤球囊霉素含量与 AM 真菌不同定殖结构的丰富度密切相关,环境因子对 AM 真菌分布和活动也有重要影响,这些因素共同作用引起土壤球囊霉素含量变化^[22]。本试验中,沙棘根围土壤总球囊霉素占有机 C 的比例分别为 27.91%、15.00% 和 21.45%,易提取球囊霉素占有机 C 的比例分别为 14.70%、11.00% 和 12.14%,明显高于毛乌素沙地油蒿和沙打旺根围土壤球囊霉素的含量^[22-23],这不仅说明球囊霉素是土壤有机 C 的重要来源和组成部分,也说明球囊霉素含量受宿主植物种类、AM 真菌种类和样地环境等因素的综合影响。

综上所述,沙棘根围 AM 真菌和球囊霉素具有明显的空间分布规律,并与样地条件和土壤因子密切相关。通过检测 AM 真菌孢子密度和不同结构定殖程度,不仅可评估沙棘在不同环境中与 AM 真菌形成菌根的能力,孢子密度和菌丝定殖程度还可作为土壤环境状况评估的有效微观指标,同时,总球囊霉素和易提取球囊霉素能综合反应土壤 AM 真菌群落、有机 C 动态,养分循环及分解进程,可作为土壤质量及功能评价的新指标进一步探讨。

References:

- [1] Smith S E, Read D J. Mycorrhizal Symbiosis. Cambridge, UK: Academic Press, 2008.
- [2] Martin F, Kohler A, Duplessis S. Living in harmony in the wood underground: ectomycorrhizal genomics. *Current Opinion in Plant Biology*, 2007, 10(2): 204-210.
- [3] Karandashov V, Bucher M. Symbiotic phosphate transport in arbuscular mycorrhizas. *Trends in Plant Sciences*, 2005, 10(1): 22-29.
- [4] Shan B Q, He X L, Bai C M, Zhao L L. Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and soil enzyme activities in the rhizosphere of *Artemisia ordosica* in desert. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 3044-3051.
- [5] 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.
- [6] Li G Q, Tang D R, Zhao Y Q. The biological property and ecological habit of *Hippophae*. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2000, 20(5): 892-897.
- [7] Ren J H, Liu R X, Zhang X G, Tang M. Effects of AMF and Frankie combined inoculation on the growth of *Hippophae rhamnoides*. *Microbiology*, 2004, 31(2): 6-9.
- [8] Zhao L, He X L. Colonization of arbuscular mycorrhizal fungi from the rhizosphere of three legume species in Maowusu sandland. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2007, 25(2): 196-200.
- [9] Janos D P, Garamszegi S, Beltran B. Glomalin extraction and measurement. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(3): 728-739.
- [10] Smith F A, Smith S E. Structural diversity in (vesicular)-arbuscular mycorrhizal symbioses. *New Phytologist*, 1997, 137(3): 373-388.
- [11] 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(1): 158-161.
- [12] Ianson D C, Allen M F. The effects of soil texture on extraction of vesicular-arbuscular mycorrhizal spores from arid soil. *Mycologia*, 1986, 78(2): 164-168.

- [13] He X L, Mouratov S, Steinberger Y. Spatial distribution and colonization of arbuscular mycorrhizal fungi under the canopies of desert halophytes. *Arid Land Research & Management*, 2002, 16(2):149-160.
- [14] He X L, Mouratov S, Steinberger Y. Temporal and spatial dynamics of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi under the canopy of *Zygophyllum dumosum* Boissin. in the Negev Desert. *Journal of Arid Environments*, 2002, 52(3):379-387.
- [15] Biermann B, Linderman R G. Use of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots, intraradical vesicles and extraradical vesicles as inoculum. *New Phytologist*, 1985, 95:97-105.
- [16] An X J, He X L. Influence of soil factors on arbuscular mycorrhizal fungal infections of four legumes species in Maowusu sandland. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2007, 30(1):45-49.
- [17] Wallander H, Nylund J E. Nitrogen nutrition and mycorrhiza development. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1990, 28(1/4):547-552.
- [18] Rillig M C, Allen M F. What is the role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant to ecosystem responses to elevated CO₂? *Mycorrhiza*, 1999, 9(1):1-8.
- [19] Liu R J, Chen Y L. *Mycorrhizology*. Beijing: Science Press, 2007.
- [20] Bai C M, He X L, Shan B Q, Zhao L L. Study on relationships between arbuscular mycorrhizal fungi and soil enzyme activities of *Astragalus adsurgens* in the desert. *Journal of Northwest A&F University*, 2009, 37(1):84-90.
- [21] Song Y C, Li X L, Feng G. Effect of phosphatase activity on soil organic phosphorus loss in the environment of clover growth. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(7):1130-1135.
- [22] Chen Y, He X L, Shan B Q, Zhao L L. The spatio-temporal distribution of arbuscular mycorrhiza fungi and glomalin in the rhizosphere of *Artemisia ordosica* in desert. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(11):6010-6016.
- [23] He X L, Bai C M, Zhao L L. Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in *Astragalus adsurgens* root-zone soil in Mu Us sand land. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(12):2711-2716.

参考文献:

- [4] 山宝琴, 贺学礼, 白春明, 赵丽莉. 荒漠油蒿 (*Artemisia ordosica*) 根围 AM 真菌分布与土壤酶活性. *生态学报*, 2009, 29(6):3044-3051.
- [6] 李根前, 唐德瑞, 赵一庆. 沙棘的生物学与生态学特性. *西北植物学报*, 2000, 20(5):892-897.
- [7] 任嘉红, 刘瑞祥, 张晓刚, 唐明. AMF 及 Frankie 混合接种对沙棘生长效应的研究. *微生物学通报*, 2004, 31(2):6-9.
- [8] 赵丽莉, 贺学礼. 毛乌素沙地 3 种豆科植物根际 AM 真菌生态分布研究. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(2):196-200.
- [16] 安秀娟, 贺学礼. 土壤因子对毛乌素沙地豆科植物 AM 真菌侵染的影响. *河北农业大学学报*, 2007, 30(1):45-49.
- [19] 刘润进, 陈应龙. 菌根学. 北京: 科学出版社, 2007.
- [20] 白春明, 贺学礼, 山宝琴, 赵丽莉. 漠境沙打旺根围 AM 真菌与土壤酶活性的关系. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2009, 37(1):84-90.
- [21] 宋勇春, 李晓林, 冯固. 菌根真菌磷酸酶活性对红三叶草生境中土壤有机磷亏缺的影响. *生态学报*, 2001, 21(7):1130-1135.
- [22] 陈颖, 贺学礼, 山宝琴, 赵丽莉. 荒漠油蒿根围 AM 真菌与球囊霉素的时空分布. *生态学报*, 2009, 29(11):6010-6016.
- [23] 贺学礼, 白春明, 赵丽莉. 毛乌素沙地沙打旺根围 AM 真菌的空间分布. *应用生态学报*, 2008, 19(12):2711-2716.

CONTENTS

Influences of elevated ozone on growth and C, N, S allocations of rice	ZHENG Feixiang, WANG Xiaoke, HOU Peiqiang, et al (1479)
Coexistence, biodiversity and roles of ammonia-oxidizing archaea and anaerobic ammonium-oxidizing bacteria in deep soil layer of high nitrogen loaded paddy field	WANG Yu, ZHU Guibing, WANG Chaoyu, et al (1487)
The impact of interannual climate variability on the mean global vegetation distribution	SHAO Pu, ZENG Xiaodong (1494)
Labile and recalcitrant carbon and nitrogen pools of an alpine meadow soil from the eastern Qinghai-Tibetan Plateau subjected to experimental warming and grazing	WANG Bei, SUN Geng, LUO Peng, et al (1506)
The structure and species diversity of plant communities in ecological safety islands of urban Guangzhou	MO Dan, GUAN Dongsheng, HUANG Kangyou, et al (1515)
The growth pattern of <i>Pinus elliottii</i> Plantation in central subtropical China	MA Zeqing, LIU Qijing, WANG Huimin, et al (1525)
The effect of two wetland plants on nitrogen and phosphorus removal from the simulated paddy field runoff in two small-scale Subsurface Flow Constructed Wetlands	LIU Shuyuan, YAN Baixing, WANG Lixia (1538)
Effect of simulated nitrogen deposition on nutrient release in decomposition of several litter fractions of two bamboo species	TU Lihua, HU Tingxing, ZHANG Jian, et al (1547)
Ecological monitoring of bryophytes for mercury pollution in Danzhai Mercury Mine Area, Guizhou Province, China	LIU Rongxiang, WANG Zhihui, ZHANG Zhaohui (1558)
Influence of silt deposition and sand deposition on <i>Cynodon dactylon</i> population in low-water-level-fluctuating zone of the Three Gorges Reservoir	LI Qiang, DING Wuquan, ZHU Qihong, et al (1567)
Seed production of <i>Spartina alterniflora</i> and its response of germination to temperature at Chongming Dongtan, Shanghai	ZHU Zhenchang, ZHANG Liquan, XIAO Derong (1574)
Effects of decomposition of mixed leaf litters of the <i>Castanopsis platyacantha</i> - <i>Schima sinensis</i> forest on soil organic carbon	ZHANG Xiaopeng, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (1582)
Effects of desertification on soil respiration and ecosystem carbon fixation in Mu Us sandy land	DING Jinzhi, LAI Liming, ZHAO Xuechun, et al (1594)
The spatial distribution of soil organic carbon and its influencing factors in hilly region of the Loess Plateau	SUN Wenyi, GUO Shengli (1604)
Effects of interspecific interactions and nitrogen fertilization rates on above- and below- growth in faba bean/maze intercropping system	LI Yuying, HU Hansheng, CHENG Xu, et al (1617)
Effects of supplemental irrigation based on measured soil moisture on nitrogen accumulation, distribution and grain yield in winter wheat	HAN Zhanjiang, YU Zhenwen, WANG Dong, et al (1631)
Anti-soil background capacity with vegetation biochemical component spectral model	SUN Lin, CHENG Lijuan (1641)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin of <i>Hippophae rhamnoides</i> L in farming-pastoral zone from the two northern provinces of China	HE Xueli, CHEN Cheng, HE Bo (1653)
Study on optimum forest coverage for water conservation: a case study in Pingtonghe watershed (Pingwu section)	ZHU Zhifang, GONG Gutang, CHEN Junhua, et al (1662)
Spatial point analysis of fire occurrence and its influence factor in Huzhong forest area of the Great Xing'an Mountains in Heilongjiang Province, China	LIU Zhihua, YANG Jian, HE Hongshi, et al (1669)
Combustion efficiency of small-scale meadow fire in Daxinganling Mountains	WANG Mingyu, SHU Lifu, SONG Guanghui, et al (1678)
Community structure of demersal fish in Nature Reserve of <i>Acipenser sinensis</i> in Yangtze River estuary	ZHANG Tao, ZHUANG Ping, ZHANG Longzhen, et al (1687)
Behavioral responses of the Common Coots (<i>Fulica atra</i>) and other swimming birds to human disturbances	ZHANG Weiwei, MA Jianzhang, LI Jinbo (1695)
Effects of photoperiod on body mass, organ masses and energy metabolism in Chinese bulbul (<i>Pycnonotus sinensis</i>)	NI Xiaoying, LIN Lin, ZHOU Feifei, et al (1703)
Larval host types for the 3 rd <i>Helicoverpa armigera</i> in Bt cotton field from North China determined by $\delta^{13}\text{C}$	YE Lefu, FU Xue, XIE Baoyu, et al (1714)
Selectivity of <i>Frankliniella occidentalis</i> to vegetable hosts	YUAN Chengming, ZHI Junrui, CAO Yu, et al (1720)
Genetic structure of <i>Pine caterpillars</i> (<i>Dendrolimus</i>) populations based on the analysis of Cyt b gene sequences	GAO Baojia, ZHANG Xuwei, ZHOU Guona, et al (1727)
Pricing method and application effects of biogas slurry	ZHANG Changai, LIU Ying, CAO Man, WANG Yanqin, et al (1735)
Effects of compost from municipal solid waste on ecological characteristics and the quality of different turfgrass cultivars	ZHAO Shulan, LIAN Fei, DUO Li'an (1742)
Degradation kinetics and bioavailability of pentachlorophenol in paddy soil-rice plant ecosystem	WANG Shisheng, LI Depeng (1749)
Review and Monograph	
Concepts and techniques of landscape genetics	XUE Yadong, LI Li, WU Gongsheng, ZHOU Yue (1756)

2009 年度生物学科总被引频次和影响力因子前 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	影响力因子 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;影响力因子 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 6 期 (2011 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 6 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		

