

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

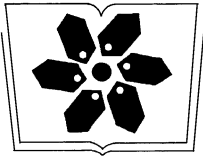
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第20期 Vol.31 No.20 **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 20 期 2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

- 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性..... 王宝强,薛俊增,庄 骅,等 (5865)
- 天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征..... 冯剑丰,王秀明,孟伟庆,等 (5875)
- 基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析..... 薛亚东,李 丽,李迪强,等 (5886)
- 三江平原湿地鸟类丰富度的空间格局及热点地区保护..... 刘吉平,吕宪国 (5894)
- 江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制 王 千,金晓斌,周寅康 (5903)
- 广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度..... 朱耀军,王 成,贾宝全,等 (5910)
- 景观结构动态变化及其土地利用生态安全——以建三江垦区为例 林 佳,宋 戈,宋思铭 (5918)
- 基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划..... 李 晖,易 娜,姚文璟,等 (5928)
- 苏南典型城镇耕地景观动态变化及其影响因素..... 周 锐,胡远满,苏海龙,等 (5937)
- 放牧干扰下若尔盖高原沼泽湿地植被种类组成及演替模式..... 韩大勇,杨永兴,杨 杨,等 (5946)
- 放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因子..... 李 珂,杨永兴,杨 杨,等 (5956)
- 近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响..... 蓝文陆 (5970)
- 万仙山油松径向生长与气候因子的关系 彭剑峰,杨爱荣,田沁花 (5977)
- 50 年来山东塔山植被与物种多样性的变化 高 远,陈玉峰,董 恒,等 (5984)
- 热岛效应对植物生长的影响以及叶片形态构成的适应性..... 王亚婷,范连连 (5992)
- 遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响..... 刘建锋,杨文娟,江泽平,等 (5999)
- 遮荫对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响..... 韩忠明,赵淑杰,刘翠晶,等 (6005)
- 云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应..... 王 辉,谢永生,杨亚利,等 (6013)
- 杭州湾滨海滩涂盐基阳离子对植物分布及多样性的影响 吴统贵,吴 明,虞木奎,等 (6022)
- 藏北高寒草原针茅属植物 AM 真菌的物种多样性..... 蔡晓布,彭岳林,杨敏娜,等 (6029)
- 成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化..... 赵 平,邹绿柳,饶兴权,等 (6038)
- 荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性..... 杜 宁,张秀茹,王 炜,等 (6049)
- 短期极端干旱事件干扰后退化沙质草地群落恢复力稳定性的测度与比较..... 张继义,赵哈林 (6060)
- 滨海盐碱地土壤质量指标对生态改良的响应..... 单奇华,张建锋,阮伟建,等 (6072)
- 退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联..... 赵成章,任 珩 (6080)
- 延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应 龚时慧,温仲明,施 宇 (6088)
- 臭氧胁迫使两优培九倒伏风险增加——FACE 研究 王云霞,王晓莹,杨连新,等 (6098)
- 甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响 杨文亭,李志贤,舒 磊,等 (6108)
- 湿润持续时间对生物土壤结皮固氮活性的影响..... 张 鹏,李新荣,胡宜刚,等 (6116)
- 锌对两个品种茄子果实品质的效应..... 王小晶,王慧敏,王 菲,等 (6125)
- Cd²⁺ 胁迫对银芽柳 PS II 叶绿素荧光光响应曲线的影响 钱永强,周晓星,韩 蕾,等 (6134)
- 紫茉莉对铅胁迫生理响应的 FTIR 研究 薛生国,朱 锋,叶 晟,等 (6143)

结缕草对重金属镉的生理响应	刘俊祥,孙振元,巨关升,等 (6149)
两种大型真菌子实体对 Cd ²⁺ 的生物吸附特性	李维焕,孟凯,李俊飞,等 (6157)
富营养化山仔水库沉积物微囊藻复苏的受控因子	苏玉萍,林慧,钟厚璋,等 (6167)
一种新型的昆虫诱捕器及其对长足大竹象的诱捕作用	杨瑶君,刘超,汪淑芳,等 (6174)
光周期对梨小食心虫滞育诱导的影响	何超,孟泉科,花蕾,等 (6180)
农林复合生态系统防护林斑块边缘效应对节肢动物的影响	汪洋,王刚,杜瑛琪,等 (6186)
中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变	程琳,李锋,邓华锋 (6194)
城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例	张小飞,王如松,李正国,等 (6204)
唐山市域 1993—2009 年热场变化	贾宝全,邱尔发,蔡春菊 (6215)
基于投影寻踪法的武汉市“两型社会”评价模型与实证研究	王茜茜,周敬宣,李湘梅,等 (6224)
长株潭城市群生态屏障研究	夏本安,王福生,侯方舟 (6231)
基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例	赵丹,李锋,王如松 (6242)
基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测——以甘肃省为例	张勃,刘秀丽 (6251)
专论与综述	
孤立湿地研究进展	田学智,刘吉平 (6261)
甲藻的异养营养型	孙军,郭术津 (6270)
生态工程领域微生物菌剂研究进展	文娅,赵国柱,周传斌,等 (6287)
我国生态文明建设及其评估体系研究进展	白杨,黄宇驰,王敏,等 (6295)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 440 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 49 * 2011-10	



封面图说: 壶口瀑布是黄河中游流经秦晋大峡谷时形成的一个天然瀑布。此地两岸夹山,河底石岩上冲刷成一巨沟,宽达 30 米,深约 50 米,最大瀑面 3 万平方米。滚滚黄水奔流至此,倒悬倾注,若奔马直入河沟,波浪翻滚,惊涛怒吼,震声数里可闻。其形其声如巨壶沸腾,故名壶口。300 余米宽的滚滚黄河水至此突然收入壶口,有“千里黄河一壶收”之说。

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

蔡晓布, 彭岳林, 杨敏娜, 盖京苹. 藏北高寒草原针茅属植物 AM 真菌的物种多样性. 生态学报, 2011, 31(20): 6029-6037.

Cai X B, Peng Y L, Yang M N, Gai J P. Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of *Stipa* L. in alpine grassland in northern Tibet in China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 6029-6037.

藏北高寒草原针茅属植物 AM 真菌的物种多样性

蔡晓布^{1,2,*}, 彭岳林¹, 杨敏娜¹, 盖京苹²

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094; 2. 西藏农牧学院资源与环境学院, 西藏林芝 860000)

摘要: 基于 AMF 孢子形态学鉴定, 对藏北高寒草原 4 种针茅菌根际土壤进行了研究, 结果表明: (1) 高原寒、旱环境下, *Glomus* 属真菌在不同针茅菌根际 AM 真菌种群构成中的地位和作用非常突出, 其孢子密度、种数、相对多度和重要值均显著 ($P \leq 0.05$) 大于 *Acaulospora*、*Scutellospora* 属。(2) 针茅属植物种类对 AM 真菌物种多样性具有重要影响, 广布种沙生针茅 Shannon-Weiner 指数、物种均匀度指数相对最高 (分别为 1.79 和 0.72), 其次分别为羽柱针茅、紫花针茅和昆仑针茅; 青藏高原特有针茅属植物菌根际 AMF 的繁殖能力相对较强, 羽柱针茅、紫花针茅、昆仑针茅孢子密度分别较沙生针茅提高 57.8%、48.7%、62.4%。(3) 不同针茅菌根际土壤中, 同种 AM 真菌 (共有种) 和优势种 ($F > 50\%$) 较多, 优势种种类差异很大的种群分布特征, 体现了 AM 真菌种群构成的复杂性, 以及 AMF 对高原寒旱环境的高度适应性、协同性。(4) 不同针茅菌根际 AMF 优势种相对多度高达 78.2%—92.4% (平均为 85.7%), 对 AM 真菌的群落构成具有重要作用。其中, *G. claroideum* 孢子密度即占 4 类针茅 AM 真菌优势种的 50.2%—71.9%。

关键词: AM 真菌多样性; 针茅属植物; 高寒草原; 藏北高原

Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of *Stipa* L. in alpine grassland in northern Tibet in China

CAI Xiaobu^{1,2,*}, PENG Yuelin¹, YANG Minna¹, GAI Jingping²

1 College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China

2 Department of Resources and Environment, Tibet Agricultural and Animal Husbandry College, Linzhi 860000, China

Abstract: This study was based on 4 *Stipa* species (including 3 specific Qinghai-Tibet Plateau species and 1 widely-spreading species) in the alpine grassland in northern Tibet in China, through arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) enrichment culture of soil samples of mycorrhizosphere and spore morphology identification. The results showed that: (1) In the cold and dry high-altitude environment, fungi of the *Glomus* genus played a outstanding role and had great significance in the composition of AMF population among different rhizosphere *stipa*, and their spore density, species number, relative abundance and importance value were all of significance ($P \leq 0.05$), and greater than those in *Acaulospora* and *Scutellospora*. (2) The composition of *stipa* species had important influences on species diversity of AM fungi, Shannon-Weiner index and species evenness index in widely-spreading species *Stipa glareosa* were relatively the highest (1.79 and 0.72, respectively), then from higher to lower, *Stipa subsessiliflora* var. *basiplumosa*, *Stipa purpurea* and *Stipa roborowskyi*. However, AMF proliferative capacity of mycorrhizosphere of specific Qinghai-Tibet Plateau *stipa* genus was stronger, and spore density in *Stipa subsessiliflora* var. *basiplumosa*, *Stipa purpurea* and *Stipa roborowskyi* was higher than *Stipa glareosa* by 57.8%, 48.7% and 62.4%, respectively. (3) In various soils with mycorrhizosphere of *Stipa* L., the distribution features of AM fungi populations showed that same AM fungi species (sharing species) and dominant species ($F > 50\%$) were

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41161043, 40961023, 41071179)

收稿日期: 2011-05-30; 修订日期: 2011-08-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: caitw21@sohu.com

much more and difference between dominant species was great. This feature revealed complexity of AM fungi population composition, and high adaptability and synergy of AM fungi in the cold and dry plateau environment. (4) The relative abundance of the AMF dominant species in different rhizosphere of 4 *Stipa* L. plants was 78.2%—92.4% (the average was 85.7%), and these dominant species played an important role in population composition of AM fungi, wherein, spore density in *G. claroideum* accounted for 50.2%—71.9% of dominant AM fungi species of 4 *Stipa* L. plants.

Key Words: Arbuscular mycorrhizal fungal diversity; *Stipa* L. plants; alpine steppe; North Tibet Plateau

基于丛枝菌根真菌(Arbuscular mycorrhiza fungi, AMF)对植物生态系统结构、组成和稳定的重要作用,揭示并阐明不同生态系统 AMF 种群多样性已成为国内外研究者广泛关注的重要科学问题^[1-8]。但因其不可纯培养和有限的鉴定手段,描述不同生境中 AMF 种群结构的数据目前仍相当缺乏^[6]。近几年来,西藏高原的 AMF 多样性研究渐呈增加,研究对象涉及草地(温性草原^[9-12]、高寒草甸^[12-13]、高寒草原^[12,14])、森林^[15-17]、湿地^[17]和沙漠化土地^[18]等,已报道 12 属 111 种(新记录种 22 种)^[9-18]。针茅属植物是干旱、半干旱地区的主要草地植物,更是青藏高原高寒草原的主体构成部分^[19]。此前,已有研究涉及内蒙古短花针茅(*Stipa breviflora*)菌根结构类型^[20],以及藏南沙生针茅^[10]、天山北坡针茅(*Stipa capillata*)等的^[21] AMF 物种多样性。本研究通过多点采样,研究了 4 类针茅草原建群植物——青藏高原特有种紫花针茅(*Stipa. purpurea*)、羽柱针茅(*Stipa subsessiliflora* var. *basiplumosa*)、昆仑针茅(*Stipa roborowskyi*),以及广布种沙生针茅(*Stipa glareosa*)菌根际土壤中的 AMF 物种多样性,为进一步开展 AMF 分子生物学研究,进而筛选出抗逆(寒、旱)效应突出的 AMF 菌种(株)提供了重要信息。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况

研究区位于“亚洲寒旱核心”——藏北高原“无人区”南部(图 1),高原面平均海拔 4 300—5 300 m,全年分冷(10 月至翌年 5 月)、暖(6—9 月)两季,年平均气温-1.2—3.0 °C,全年无绝对无霜期,≥0 °C 年积温 800—1100 °C;年降水量 100—200 mm(暖季占 90%以上),年蒸发量 2 000 mm 左右。其绝大多数区域属高原寒带干旱、半干旱气候类型,主要发育着以针茅属植物为主所组成的高寒草原。其中,紫花针茅草原型分布广泛,昆仑针茅、羽柱针茅、沙生针茅草原型分布相对较少。由于植被垂直带谱及植被构成均极简单,上述植物在其所分别构成的 4 类针茅草原中均居绝对比重,并突出地表现为丛生^[19],有利于目标植物带根土壤样品的采集。

局部区域属高原寒带半湿润气候类型,草地类型主要为高寒草甸草原。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集

2008 年 6 月中旬—7 月上旬,在 30°57.290'—31°51.147' N、86°56.173'—90°59.424' E(图 1)和海拔 4566—4778 m 范围内,随机选择 29 处高寒草原(紫花针茅、昆仑针茅、羽柱针茅和沙生针茅草原型分别为 12、5、5、7 处)作为采样区域,每个采样区域间隔 30—50 km;在每个采样区均随机确定面积为 1 m × 1 m 的采样点 3 个,每个采样点间隔 100—150 m;于每个采样点铲除目标植物表层土壤 2 cm,并按 2—30 cm 土层采集其带根土样。之后,将每个采样区 3 个采样点的样品充分混合均匀,各组成 1 个混合样品(约 2.5 kg)装入布袋,全部目标植物带根土样混合样品为 29 个。各采样区土壤均为石灰性土壤(土壤 pH 值 7.6—9.7),成土母质、土壤类型分别为湖积物和高山草原土,土壤质地为轻砂土-重砂土。

1.2.2 AMF 富集培养与鉴定

将各土样中的目标植物根系均匀剪成 0.5 cm 小段,并与土样充分混匀;为促进 AMF 孢子的扩繁,分别将其与 120 °C 高压蒸汽灭菌 2.5 h 的风干低磷(P₂O₅ 2.6 mg/kg)砂土(取自西藏农牧学院教学实习农场)按体积

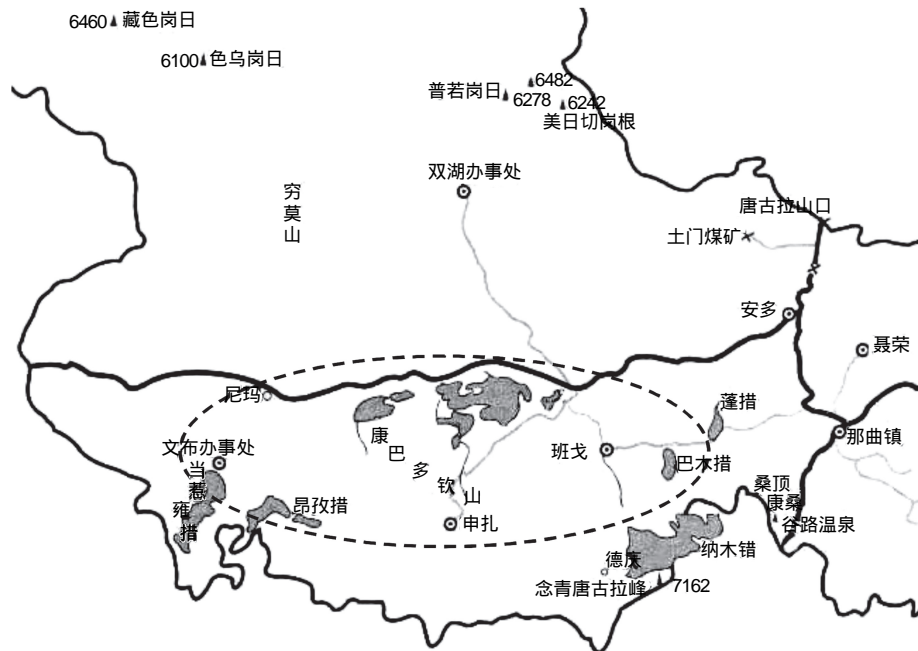


图 1 采样区域

Fig. 1 Map of sampling zones

分数 1:1 再次充分混匀,置于以 30 μm 尼龙网垫底的消毒塑料盆(高 14.5 cm \times 宽 20.0 cm)中。之后,将已在 10% H_2O_2 中浸泡 10 min 并经去离子水冲洗的三叶草 (*Trifolium pretense* L.) 种籽播于盆内,进行 120 d 富集培养。培养全程室内温度为 20—25 $^{\circ}\text{C}$ (未加辅助光);隔日定量浇水,将土壤湿度控制在田间持水量的 60%—70%。富集培养完成并风干 7 d 后,剪掉植株地上部并去除表土 1 cm 保存。30 d 后,分别取 100 g 混匀风干样品,采用湿筛倾析—蔗糖离心法筛取孢子,于体视显微镜下观测并记录孢子颜色、大小、连孢菌丝等分类特征;用微吸管挑取孢子于载玻片上(加 30% 甘油浮载剂封片),显微观测并记录孢子颜色、连孢特征,测定孢子大小;压碎孢子后观测内含物、孢壁层次及各层颜色,测定各层孢壁的厚度等。鉴定中辅助使用 Melzer's 试剂以观测孢子的特异性反应,对具代表性、特异性的特征进行拍照。综合以上观测结果,根据《VA 菌根真菌鉴定手册》^[22] 及 INVNAM (<http://invam.caf.wvu.edu/Myc-Info/>) 的分类描述,并参阅有关鉴定材料和近年来发表的新种等进行属种检索、鉴定。

1.2.3 寄主植物菌根感染率等的测定

将根系从土样洗出,剪成约 1 cm 长根段;经 KOH-曲利苯蓝染色,随机取 30 条根段制片并在 200 倍显微镜下观测侵染点、丛枝、泡囊、菌丝圈和无隔菌丝;据 Trouvelot 等^[23] 的方法,按菌根侵染和丛枝丰度分级标准,采用 MYCOCALC 软件计算菌根感染率等(表 1)。

表 1 宿主植物菌根侵染状况

Table 1 Infection status of AM fungi in rhizosphere of host plant

宿主植物 Host species	感染率 Mycorrhizal colonization/%	感染强度 Infect intensity/%	丛枝丰度 Arbuscule richness/%
紫花针茅 <i>S. purpurea</i>	87.4 \pm 2.0 a	21.7 \pm 3.5 a	6.9 \pm 1.7 a
昆仑针茅 <i>S. roborowskyi</i>	86.7 \pm 1.8 a	19.5 \pm 3.3 a	5.1 \pm 1.7 a
羽柱针茅 <i>S. subsessiliflora</i> var. <i>basiplumosa</i>	76.6 \pm 12.6 b	16.8 \pm 5.1 ab	5.7 \pm 1.7 a
沙生针茅 <i>S. glareosa</i>	86.2 \pm 2.6 a	15.1 \pm 2.8 b	5.8 \pm 1.6 a

平均值 \pm 标准差($P\leq 0.05$);用 LSR 法计算处理间差异,同列不同字母表示差异显著性达 5% 水平

1.2.4 计算与数据处理

(1) 孢子密度 指每 100 g 风干根层土样中所有 AMF 种的孢子数 / 土壤样本数。

(2) 种数(SN) 指某生境中 AMF 的物种数。

(3) 种的丰度(SR) 指每个(100 g)根层土样中所含 AMF 种的平均数,即 $SR = \text{AMF 种出现总次数} / \text{土壤样本数}$ 。

(4) 物种多样性(H) 采用 Shannon-Weiner 指数计算。假设有 1 个包含 N 个个体的随机样本,其种 i 的个体数为 N_i ,则 $P_i = N_i / N$ 。故 H 可用下式估计: $H = - \sum_{i=1}^k (P_i \ln P_i)$ 。式中, k 为某样点 AMF 种数, P_i 为该样点 AMF 种 i 的孢子密度占该样点总孢子密度的百分比。

(5) 物种均匀度(J):以均匀度指数 J 描述,即 $J = H / \ln S$ 。其中, H 为 Shannon-Weiner 指数, S 为某采样区 AMF 种数。

(6) 分离频度(F) 某 AMF 属或种在样本总体中的出现频率,即 $F = \text{AMF 某属或种的出现土样数} / \text{总土样数} \times 100\%$ 。据此将 AMF 划分为 4 个优势度等级,即分离频度 $>50\%$ 为优势属、种, $30\%—50\%$ 为最常见属、种, $10\%—30\%$ 为常见属、种, $<10\%$ 为稀有属、种。

(7) 相对多度(RA) 某样点 AMF 某属(种)的孢子数 / 某样点 AMF 总孢子数 $\times 100\%$ 。

(8) 重要值(I) 某采样点或某环境中 AMF 属(种)的分离频度、相对多度的平均值,即 $I = (F + RA) / 2$ 。

本研究所用统计软件为 DPS 数据处理系统(版本号:11.50)。

2 结果与分析

2.1 针茅草原建群植物菌根际土壤 AMF 属、种构成

于藏北针茅草原建群植物菌根际土壤共分离出 3 属 15 种 AMF。不同针茅菌根际土壤中,AMF 种数分布不仅均呈 *Glomus* $>$ *Acaulospora* $>$ *Scutellospora* 属,且各属 AMF 所占比例均较悬殊,*Glomus*、*Acaulospora*、*Scutellospora* 属真菌分别占总 AMF 数的 61.5%—70.0%、20.0%—30.8% 和 7.7%—10.0%。不同针茅间,AMF 种的分布呈共有种较多、特有种较少(2 个)的重要特征,这与藏北高寒草甸草原、藏南温性草原的有关研究结果完全不同^[12-13],不仅反映了高原寒旱环境对 AMF 种群构成的重要影响,亦表明共有种的生态适应能力较强,在不同针茅菌根际 AMF 种群构成中均具有重要作用。同时,AMF 共有种分布极不均衡,主要集中于 *Glomus* 属,*Acaulospora*、*Scutellospora* 属共有种均为 1 个,特有种 *A. elegans*、*G. diaphanum* 仅分别见于沙生针茅和羽柱针茅(表 2)。

2.2 针茅草原建群植物菌根际土壤 AMF 属的孢子密度、分离频度、相对多度和重要值

目标植物菌根际土壤中,*Glomus* 属真菌孢子密度显著($P \leq 0.05$)高于其它各属,相对多度、重要值均不同程度的呈 *Glomus* $>$ *Acaulospora* $>$ *Scutellospora* 属;从分离频度看,尽管 *Glomus*、*Acaulospora* 属同为优势属,但 *Glomus* 属相对多度、重要值均远高于 *Acaulospora* 属,*Scutellospora* 属则为最常见属(表 2)。

不同针茅菌根际土壤中,AMF 重要值均显著($P \leq 0.05$)呈 *Glomus* $>$ *Acaulospora* $>$ *Scutellospora* 属,孢子密度亦具相同趋势,*Glomus* 属在 AMF 群落构成中的地位均非常突出。不同针茅 *Glomus* 属真菌分离频度均达 100%,孢子密度、相对多度和重要值变化亦较规律,3 个青藏高原特有种均不同程度的高于广布种沙生针茅(表 3)。可见,与广布种相比,AMF 在青藏高原特有种针茅菌根际的繁殖与产孢能力相对较强。不同针茅 *Acaulospora*、*Scutellospora* 属孢子密度、分离频度、相对多度和重要值变化则明显缺乏规律。

2.3 针茅草原建群植物菌根际土壤 AMF 物种多样性

物种多样性与群落中的种数、相对多度密切相关,反映着特定区域 AMF 的丰富度和均匀度等。统计分析表明,藏北高原寒旱条件下,Shannon-Weiner 指数、物种均匀度指数随 AMF 种数、种的丰度的提高均呈极显著($P \leq 0.01$)或显著($P \leq 0.05$)提高,而与孢子密度则呈相反趋势。由表 3 可见,紫花针茅、羽柱针茅、沙生针茅 AMF 种的丰度无显著差异,但均显著大于昆仑针茅;Shannon-Weiner 指数、物种均匀度指数则均呈沙生针茅 $>$

表 2 各类针茅草原建群植物菌根际土壤 AMF 种的构成与孢子密度等相关参数

Table 2 Species composition and spore density of AM fungi in mycorrhizosphere soil of various dominant plant species in *Stipa* L. Steppe

AMF 种 AMF species	紫花针茅 <i>S. purpurea</i>	羽柱针茅 <i>S. sub.</i> var. <i>bas.</i>	昆仑针茅 <i>S. roborowskyi</i>	沙生针茅 <i>S. glareosa</i>	孢子密度 Spore density /(cfu/100g 干土)	分离频度 Isolation frequency/%	相对多度 Relative abundance/%	重要值 Importance value
脆无梗囊霉 <i>A. delicata</i>	+	+	-	-				
丽孢无梗囊霉 <i>A. elegans</i>	-	-	-	+				
光壁无梗囊霉 <i>A. laevis</i>	+	+	+	+	11.1±1.5 b	93.1 a	6.8 b	50.0 b
细凹无梗囊霉 <i>A. scrobiculata</i>	+	+	-	+				
刺无梗囊霉 <i>A. spinosa</i>	+	-	+	-				
聚丛球囊霉 <i>G. aggregatum</i>	+	+	+	+				
近明球囊霉 <i>G. claroideum</i>	+	+	+	+				
卷曲球囊霉 <i>G. convolutum</i>	+	+	+	+				
透光球囊霉 <i>G. diaphanum</i>	-	+	-	-				
道氏球囊霉 <i>G. dominikii</i>	+	+	+	+	146.6±22.0 a	100.0 a	90.3 a	95.1 a
幼套球囊霉 <i>G. etunicatum</i>	+	+	+	+				
地球囊霉 <i>G. geosporum</i>	+	+	+	+				
摩西球囊霉 <i>G. mosseae</i>	+	+	-	+				
地表球囊霉 <i>G. versiforme</i>	+	+	+	+				
美丽盾巨孢囊霉 <i>S. calospora</i>	+	+	+	+	4.8±1.7 b	37.9 b	2.9 b	20.4 c

+: 表示某 AMF 在该采样点出现; 孢子密度为平均值±标准差 ($P \leq 0.05$); 用 LSR 法计算处理间差异, 同列不同字母表示差异显著性达 5% 水平

表 3 不同针茅草原建群植物 AMF 孢子密度、重要值及物种多样性

Table 3 Spore density, importance value and biodiversity of AM fungi of various dominant plant species in *Stipa* L. Steppe

植物种类 Plant types	AMF 属 AMF genera	孢子密度 Spore density /(cfu/100g 干土)	分离频度 Isolation frequency/%	相对多度 Relative abundance/%	重要值 Importance value	种的丰度 Species richness	Shannon- Weiner 指数 Shannon- Weiner inde (H)	均匀度指数 Species evenness index(J)
紫花针茅	<i>Acaulospora</i>	12.3±2.1b	91.7 a	7.1 b	49.4 b			
<i>S. purpurea</i>	<i>Glomus</i>	154.8±41.8a	100.0 a	90.3 a	95.1 a	6.6±0.4a	1.64 b	0.64 ab
	<i>Scutellospora</i>	4.4±2.0 c	45.5 b	2.6 b	24.0 c			
昆仑针茅	<i>Acaulospora</i>	8.2±2.3b	100.0 a	4.4 b	52.2 b			
<i>S. roborowskyi</i>	<i>Glomus</i>	175.8±42.4a	100.0 a	93.9 a	97.0 a	5.4±0.5b	1.37 c	0.60 b
	<i>Scutellospora</i>	3.2±3.2c	20.0 b	1.7 b	10.9 c			
羽柱针茅	<i>Acaulospora</i>	10.8±5.8b	80.0 b	5.9 b	43.0 b			
<i>S. sub. var. bas.</i>	<i>Glomus</i>	162.4±60.3a	100.0 a	89.2 a	94.6 a	6.8±0.9a	1.75 ab	0.68 ab
	<i>Scutellospora</i>	8.8±8.6b	40.0 c	4.8 b	22.4 c			
沙生针茅	<i>Acaulospora</i>	11.3±3.3b	100.0 a	9.8 b	54.9 b			
<i>S. glareosa</i>	<i>Glomus</i>	100.4±28.2a	100.0 a	87.1 a	93.6 a	6.4±1.0a	1.79 a	0.72 a
	<i>Scutellospora</i>	3.6±2.0c	42.9 b	3.1 c	23.0 c			

孢子密度、种的丰度(SR)为平均值±标准差 ($P \leq 0.05$); 用 LSR 法计算处理间差异, 同列不同字母表示差异显著性达 5% 水平

羽柱针茅>紫花针茅>昆仑针茅, 这亦与 4 种针茅丛枝丰度(表 1)的变化趋势大体一致。可见, 高原寒旱环境对不同针茅菌根际 AMF 物种多样性具有不同程度的影响, 昆仑针茅种数(表 2)、种的丰度、Shannon-Weiner 指数、物种均匀度指数均较低, 广布种沙生针茅物种多样性则较丰富。

2.4 针茅草原建群植物菌根际土壤 AMF 优势种、最常见种、常见种和稀有种

针茅草原建群植物菌根际土壤 AMF 优势种占总种数的 40%, 为藏北高寒草甸草原的 3 倍^[12], 呈优势种

种数较多(为最常见种、常见种之和)、相对多度(90.2%)占绝对比重、稀有种较少的重要分布特征(图2、图3、表4)。优势种中,*Glomus* 属真菌所占比例高达83.3%,且各优势种在AMF群落构成中的作用明显不同,尤以*G. claroideum*的优势种地位最为突出,其相对多度、重要值均大于其它优势种之和;*G. convolutum*、*G. versiforme*重要值仅分别为33.0、32.0。

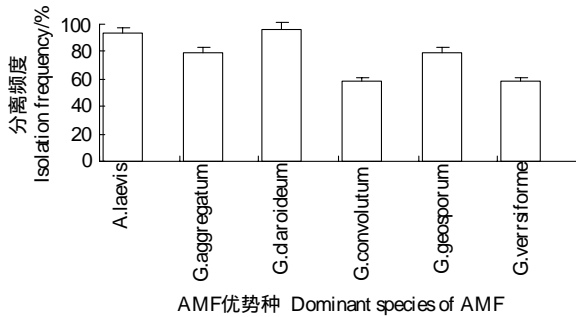


图2 针茅草原建群植物AMF优势种分离频度

Fig. 2 Isolation frequency of the dominant AMF of the dominated plants in *Stipa L.* grassland

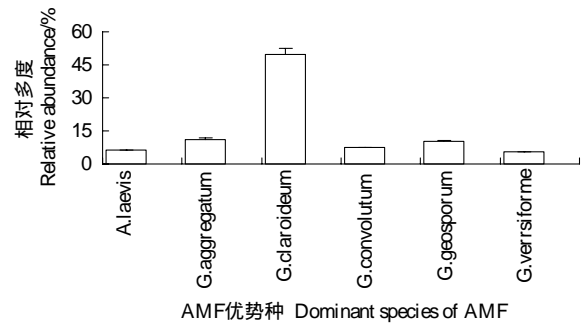


图3 针茅草原建群植物AMF优势种相对多度

Fig. 3 Relative abundance of the dominant AMF of the dominated plants in *Stipa L.* as grassland

最常见种、常见种、稀有种相对多度则分别为4.1%、5.6%和0.1%,相对多度、重要值呈最常见种>常见种>稀有种的趋势(表4)。

表4 针茅草原建群植物AMF最常见种、常见种、稀有种孢子密度和重要值

Table 4 Spore density and importance value of commonest species, common species and rare species of AMF in dominant plant species in *Stipa L.* Steppe

	AMF 种 AMF species	孢子密度 Spore density /(cfu/100g 干土)	分离频度 Isolation frequency/%	相对多度 Relative abundance/%	重要值 Importance value
最常见种 Commonest species	<i>G. dominikii</i>	1.90±10.69b	41.38 a	1.17 a	21.28 a
常见种 Common species	<i>S. calospora</i>	4.76±1.74a	37.93 a	2.93 a	20.43 a
	<i>G. etunicatum</i>	5.59±2.63a	27.59 a	3.44 a	15.52 a
	<i>G. mosseae</i>	2.52±1.06b	24.14 a	1.55 a	12.85 a
	<i>A. scrobiculata</i>	0.52±0.27c	17.24 ab	0.32 b	8.78 ab
	<i>A. delicata</i>	0.41±0.27c	10.34 b	0.25 b	5.30 b
稀有种 Rare species	<i>A. spinosa</i>	0.07±0.05b	6.90 a	0.04 a	3.47 a
	<i>G. diaphanum</i>	0.17±0.17a	3.45 a	0.11 a	1.78 a
	<i>A. elegans</i>	0.07±0.07b	3.45 a	0.04 a	1.75 a

孢子密度为平均值±标准差($P \leq 0.05$);用LSR法计算处理间差异,同列不同字母表示差异显著性达5%水平

不同针茅菌根际土壤AMF分布特征在总体上亦呈上述趋势(表5)。不同针茅AMF优势种的数量分布较为均衡,但优势种类明显不同。其中,优势种*A. laevis*、*G. claroideum*于不同针茅菌根际土壤均有分布(属共有优势种),*G. dominikii*仅见于昆仑针茅、沙生针茅,*G. aggregatum*、*G. convolutum*则同为青藏高原特有针茅优势种。

以*Glomus*属为主的优势种在不同针茅AMF孢子数量构成中均占绝对或很大比重,紫花针茅、昆仑针茅、羽柱针茅和沙生针茅优势种相对多度分别达92.4%、83.5%、88.5%和78.2%。同一针茅不同优势种、不同针茅同一优势种孢子密度所占比例较为悬殊(表5),表明不同条件下AMF优势种的地位和作用可能存在着较大差异。如*G. claroideum*孢子密度占4类针茅优势种的50.2%—71.9%,在优势种的群落构成中均较突出,*A. laevis*则仅在5.1%—10.3%之间。

不同针茅菌根际土壤 AMF 最常见种、常见种数量和种类分布均具较大差异(表 5)。其中,昆仑针茅、羽柱针茅、沙生针茅菌根际最常见种、常见种相对多度之和分别为 16.5%、11.5% 和 21.8% (未见稀有种分布), 紫花针茅最常见种、常见种、稀有种相对多度仅为 7.6%。

表 5 不同针茅草原建群植物 AMF 优势种、最常见种、常见种和稀有种

Table 5 Dominant species, commonest species, common species and rare species of AMF from various dominant plant species in *Stipa* L. Steppe

	AMF 种 AMF species		沙生针茅 <i>S. glareosa</i>	紫花针茅 <i>S. purpurea</i>	昆仑针茅 <i>S. roborowskyi</i>	羽柱针茅 <i>S. sub. var. bas.</i>
优势种 Dominant species (>50%)	<i>G. claroidium</i>	孢子密度①	52.9±12.9c	84.4±31.5b	112.4±29.9a	80.8±39.6b
		RA(%)	45.9	49.2	60.0	44.4
	<i>G. aggregatum</i>	孢子密度①	-	22.5±6.6b	4.8±2.33c	39.4±18.4a
		RA(%)		13.1	2.6	21.7
	<i>A. laevis</i>	孢子密度①	9.3±2.4a	11.3±1.9a	8.0±2.4a	10.0±5.3a
		RA(%)	8.1	6.6	4.3	5.5
	<i>G. versiforme</i>	孢子密度	6.0±2.3b	15.2±8.5a	—	4.4±2.4b
		RA(%)	5.2	8.8		2.4
	<i>G. dominikii</i>	孢子密度①	2.1±1.4a	—	3.4±2.9a	—
		RA(%)	1.9		1.8	
	<i>G. geosporum</i>	孢子密度①	19.9±6.1a	18.8±5.1ab	—	11.4±3.2b
		RA(%)	17.2	11.0		6.3
	<i>G. convolutum</i>	孢子密度①	—	6.3±2.1c	27.8±15.1a	15.0±8.6b
		RA(%)		3.7	14.9	8.2
最常见种 Commonest species (30%—50%)			<i>A. scrobiculata</i> <i>G. aggregatum</i> <i>G. convolutum</i> <i>S. calospora</i>	<i>G. mosseae</i> <i>S. calospora</i>	<i>G. etunicatum</i> <i>G. geosporum</i> <i>G. versiforme</i>	<i>G. dominikii</i> <i>S. calospora</i>
常见种 Common species (10%—30%)			<i>G. etunicatum</i> <i>G. mosseae</i> <i>A. elegans</i>	<i>A. delicata</i> <i>G. etunicatum</i> <i>G. dominikii</i>	<i>A. spinosa</i> <i>S. calospora</i>	<i>A. delicata</i> <i>G. etunicatum</i> <i>G. mosseae</i> <i>A. scrobiculata</i> <i>G. diaphanum</i>
稀有种 Rare species(<10%)				<i>A. spinosa</i> <i>A. scrobiculata</i>		

①Spore density (cfu/100g⁻¹干土); “—”指无优势种分布; 孢子密度为平均值±标准差($P \leq 0.05$); 用 LSR 法计算处理间差异, 同行不同字母表示差异显著性达 5% 水平

3 结论与讨论

从研究结果看, 藏北高原寒、旱等极端环境对 AMF 物种多样性具有不利影响, 但长期的自然选择和进化结果, 则使所存 AMF 对高寒环境具有高度的适应性。因此, 处于这一极端环境中的 AMF 可能具有更多地依赖多菌种协同, 进而强化针茅属植物建群地位的重要特征。

与近 10a 已发表文献的统计结果^[24]相比, 4 类针茅草原 AMF 属、种数和 Shannon-Weiner 指数(1.37—1.79, 平均值 1.64)尚明显低于保护地生态系统、农田生态系统, 远低于草原生态系统^[24], Shannon-Weiner 指数仅与内蒙古退化草原(1.65)相当^[25]。即使与荒漠生态系统相比^[24], 高寒草原优势草地型紫花针茅草原 AMF 属、种数和 Shannon-Weiner 指数亦明显较低。

高原生态环境严格制约着植物物种的形成、演化和分布^[19], 进而影响并决定着 AMF 的物种多样性。就西藏高原而言, 自藏东南向藏西北, 随海拔高度的不断上升和温度、降水量的逐渐下降, 气候在总体上渐由潮湿向湿润、半干旱、干旱类型过渡, 植物多样性、植物生产力渐趋降低^[19], AMF 物种多样性即呈明显下降的趋势^[12,17]。

从藏北高原看,由于高原生态环境的多样性、复杂性,不同针茅属植物间、高寒草原与高寒草甸草原间的 AMF 物种多样性亦均存在着明显差异。本研究中,不同针茅菌根际土壤 Shannon-Weiner 指数呈沙生针茅>羽柱针茅>紫花针茅>昆仑针茅;与同区域的高寒草甸草原相比^[12],高寒草原 AMF 种数、Shannon-Weiner 指数、物种均匀度指数均呈明显降低,种的丰度则呈较大幅度(53.8%)的提高,这既与其相对较差的土壤水分环境、相对简单的植被类型^[19]对 AMF 种群分布的不利影响有关,亦在很大程度上反映了多菌种协同的突出特征。

藏北高寒草原 4 类针茅属植物菌根际土壤 AMF 种群多样性及其差异,以及 AMF 优势种(占总种数的 40%,为藏北高寒草甸草原的 3 倍^[12])较多、稀有种较少,共有种较多、特有种较少和优势种种类差异较大的种群分布特征,是建群植物与 AMF 长期相互选择、彼此作用的结果,反映了 AMF 种群构成的复杂性和对极端环境的高度适应性、协同性。刘润进等的统计^[24]表明,所涉 10 类生态系统 AMF 优势种种数(1—3 种)均很少,草原生态系统(3 种)仅为 4 类针茅草原优势种种数的 50%—60%;优势种种类亦与藏北针茅草原具有很大差异。如大多数生态系统中的优势种 *G. mosseae*^[24]在藏北高寒草原中仅分别为最常见种或常见种(昆仑针茅草原则未见分布),而以 *G. claroideum* 为典型代表的 AMF 优势种分布的广泛性、极高的相对多度,表明了其与建群植物间的密切关系和在 AMF 群落组成中的突出地位和作用。

有关研究表明,独特的植物种类和特殊生态条件的长期影响,是 AMF 演化为各自不同的优势种群的重要前提,而从该种群中选择具有一定特殊抗逆功能(如抗寒、旱)的菌株即是可行而必要的^[24]。因此,藏北针茅草原 AMF 的种群分布特征,为进一步开展 AMF 分子生物学研究,进而筛选出具有较强抗逆(寒、旱)能力的 AMF 菌种(株)提供了重要信息。

Glomus 属在 4 种针茅菌根际土壤 AMF 种群构成中的主导地位(相对多度 87.1%—93.9%),及其分布的广泛性(分离频度均达 100%),或许是 AMF 在长期的进化过程中所获得的一种对寒旱环境的适应策略。就青藏高原特有针茅属植物而言,*Glomus* 属真菌相对多度、重要值则呈昆仑针茅>紫花针茅>羽柱针茅。尽管 *Acaulospora*、*Glomus* 属在 4 类针茅菌根际土壤中均为优势属,但优势种种类则具有很大差异,表明菌根际土壤环境对 AMF 种的影响大于对属的影响,这与对藏北高寒草甸、藏南温性草原的有关研究结果不同^[12]。同时,*Acaulospora* 属 AMF 较低的相对多度和较高的分离频度,不仅反映了高原寒旱环境对其产孢与繁殖的更为不利的影响,同时亦体现了其参与针茅草原 AMF 群落构成的重要作用。

References:

- [1] Gai J P, Feng G, Li X L. Review of researches on biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soils*, 2005, 37(3): 236-242.
- [2] van der Heijden M G A, Wiemken A, Sanders I R. Different arbuscular mycorrhizal fungi alter coexistence and resource distribution between co-occurring plant. *New Phytologist*, 2003, 157(3): 569-578.
- [3] Li Y, Jiao H, Xu L J, Zhao H H, Liu R J. Advances in the study of community structure and function of arbuscular mycorrhizal fungi. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(4): 1089-1096.
- [4] Wang F Y, Lin X G, Zhou J M. Biodiversity of AM fungi in China. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(6): 149-154.
- [5] Zhao Z W, Ren L C, Li T, Li J P. Arbuscular mycorrhizas in the dry-hot valley of Jinsha River. *Acta Botanica Yunnanica*, 2003, 25(2): 199-204.
- [6] Sanders I R. Plant and arbuscular mycorrhizal fungal diversity—are we looking at the relevant levels of diversity and are we using the right techniques? *New Phytologist*, 2004, 164(3): 415-418.
- [7] Pawlowska T E. Genetic processes in arbuscular mycorrhizal fungi. *FEMS Microbiology Letters*, 2005, 251(2): 185-192.
- [8] Öpic M, Moora M, Liira J, Zobel M. Composition of root-colonizing arbuscular mycorrhizal fungal communities in different ecosystems around the globe. *Journal of Ecology*, 2006, 94(4): 778-790.
- [9] Cai X B, Peng Y L, Feng G, Qian C. AM fungi diversity and their environmental factors in altiplano grassland in Tibet. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(4): 642-651.
- [10] Gai J P, Feng G, Cai X B, Christie P, Li X L. A preliminary survey of the arbuscular mycorrhizal status of grassland plants in Southern Tibet. *Mycorrhiza*, 2006, 16(3): 191-196.

- [11] Gai J P, Cai X B, Feng G, Christie P, Li X L. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with sedges on the Tibetan plateau. *Mycorrhiza*, 2006, 16(3): 151-157.
- [12] Fan J Q. Biodiversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Degraded Tibet Grassland. Beijing: China Agricultural University, 2005: 12-47.
- [13] Xue H Y, Zhang Y Q, Peng Y L. AM fungi diversity and their eco-environmental factors of main plant species in prairie in Northern Tibet. *Journal of Mountain Science*, 2007, 25(3): 351-358.
- [14] Cai X B, Peng Y L, Gai J P. Ecological distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in alpine grasslands of Tibet Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(10): 2635-2644.
- [15] Cai B P, Zhang Y, Chen J Y, Zhang Q X, Guo L D. Three new records of arbuscular mycorrhizal fungi associated with wild *Prunus mume* from Tibet in China. *Mycosystema*, 2007, 26(1): 36-39.
- [16] Gao Q M, Zhang Y, Guo L D. Arbuscular mycorrhizal fungi in the southeast region of Tibet. *Mycosystema*, 2006, 25(2): 234-243.
- [17] Yang F Y. Biodiversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with Herbages in Different Eco-Environment of Tibet. Beijing: China Agriculture University, 2007: 12-62.
- [18] Wei N, Jia J Y. Study on diversity of AM fungi of sand fixation plant in the middle of area of Tibet. *Journal of Tibet Agriculture and Animal Husbandry College*, 2008, 30(1): 22-26.
- [19] Land Administrative Office of Tibet. Tibet Grassland Resource. Beijing: Science Press, 1994: 6-157.
- [20] Bao Y Y, Yan W. Arbuscular mycorrhizae and their structural types in grasslands of mid-western Inner Mongolia. *Biodiversity Science*, 2004, 12(5): 501-508.
- [21] Shi Z Y, Chen Z C, Zhang L Y, Feng G, Christie P, Tian C Y, Li X L. Diversity and zonal distribution of arbuscular mycorrhizal fungi on the northern slopes of the Tianshan Mountains. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2007, 50(Suppl 1): 135-141.
- [22] Schenck N C, Pérez Y. Manual for Identification of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi. 2nd ed. Gainesville: University of Florida, 1988.
- [23] Trouvelot A, Kough J L, Gianiazzi-Pearson V. Measurement of VA mycorrhiza system. Methods of the estimation of its function // Gianiazzi-Pearson V, Gianiazzi S, eds. *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae*. Paris: INRA Press, 1986: 217-221.
- [24] Liu R J, Jiao H, Li Y, Li M, Zhu X C. Research advances in species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(9): 2301-2307.
- [25] Wang F Y, Liu R J, Lin X G, Zhou J M. Comparison of diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in different ecological environments. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2666-2671.

参考文献:

- [1] 盖京苹, 冯固, 李晓林. 丛枝菌根真菌的生物多样性研究进展. *土壤*, 2005, 37(3): 236-242.
- [3] 李岩, 焦惠, 徐丽娟, 赵洪海, 刘润进. AM 真菌群落结构与功能研究进展. *生态学报*, 2010, 30(4): 1089-1096.
- [4] 王发园, 林先贵, 周健民. 中国 AM 真菌的生物多样性. *生态学杂志*, 2004, 23(6): 149-154.
- [5] 赵之伟, 任立成, 李涛, 李建平. 金沙江干热河谷(元谋段)的丛枝菌根. *云南植物研究*, 2003, 25(2): 199-204.
- [9] 蔡晓布, 彭岳林, 冯固, 钱成. 西藏高原草地植物 AM 真菌多样性及其环境影响因子研究. *土壤学报*, 2005, 42(4): 642-651.
- [12] 范洁群. 西藏不同类型草原丛枝菌根真菌多样性的研究. 北京: 中国农业大学, 2005: 12-47.
- [13] 薛会英, 张永青, 彭岳林. 藏北草原主要植物 AM 真菌的初步研究. *山地学报*, 2007, 25(3): 351-358.
- [14] 蔡晓布, 彭岳林, 盖京苹. 西藏高山草原 AM 真菌生态分布. *应用生态学报*, 2010, 21(10): 2635-2644.
- [17] 杨富裕. 西藏不同生境草本植物丛枝菌根真菌多样性研究. 北京: 中国农业大学, 2007: 12-62.
- [18] 魏娜, 贾钧彦. 西藏中部固沙植物 AM 真菌多样性研究. *西藏农牧学院学报*, 2008, 30(1): 22-26.
- [19] 西藏自治区土地管理局. 西藏自治区草地资源. 北京: 科学出版社, 1994: 6-157.
- [20] 包玉英, 闫伟. 内蒙古中西部草原主要植物的丛枝菌根及其结构类型研究. *生物多样性*, 2004, 12(5): 501-508.
- [24] 刘润进, 焦惠, 李岩, 李敏, 朱新产. 丛枝菌根真菌物种多样性研究进展. *应用生态学报*, 2009, 20(9): 2301-2307.
- [25] 王发园, 刘润进, 林先贵, 周健民. 几种生态环境中 AM 真菌多样性比较研究. *生态学报*, 2003, 23(12): 2666-2671.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31 ,No. 20 October ,2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port WANG Baoqiang, XUE Junzeng, ZHUANG Hua, et al (5865)

Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer FENG Jianfeng, WANG Xiuming, MENG Weiqing, et al (5875)

Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) using landscape genetics XUE Yadong, LI Li, LI Diqiang, WU Gongsheng, et al (5886)

Study on the spatial pattern of wetland bird richness and hotspots in Sanjiang Plain LIU Jiping, LÜ Xianguo (5894)

Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang (5903)

Landscape pattern gradient on tree canopy in the central city of Guangzhou, China ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (5910)

Research on dynamic changes of landscape structure and land use eco-security; a case study of Jiansanjiang land reclamation area LIN Jia, SONG Ge, SONG Siming (5918)

Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern LI Hui, YI Na, YAO Wenjing, WANG Siqi, et al (5928)

Changes of paddy field landscape and its influence factors in a typical town of south Jiangsu Province ZHOU Rui, HU Yuanman, SU Hailong, et al (5937)

Species composition and succession of swamp vegetation along grazing gradients in the Zoige Plateau, China HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5946)

Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau LI Ke, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5956)

Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhou bay and its potential ecological impacts LAN Wenlu (5970)

Response of radial growth Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) to climate factors in Wanxian Mountain of He'nan Province PENG Jianfeng, YANG Airong, TIAN Qinhua (5977)

Vegetation and species diversity change analysis in 50 years in Tashan Mountain, Shandong Province, China GAO Yuan, CHEN Yufeng, DONG Heng, et al (5984)

Effect of urban heat island on plant growth and adaptability of leaf morphology constitute WANG Yating, FAN Lianlian (5992)

Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant *Thuja sutchuenensis* LIU Jianfeng, YANG Wenjuan, JIANG Zeping, et al (5999)

Effects of shading on growth and quality of triennial *Clematis manshurica* Rupr. HAN Zhongming, ZHAO Shujie, LIU Cuijing, et al (6005)

Allelopathic effect of extracts from *Artemisia sacrorum* leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain WANG Hui, XIE Yongsheng, YANG Yali, et al (6013)

Effects of soil base cation composition on plant distribution and diversity in coastal wetlands of Hangzhou Bay, East China WU Tonggui, WU Ming, YU Mukui, et al (6022)

Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of *Stipa* L. in alpine grassland in northern Tibet in China CAI Xiaobu, PENG Yuelin, YANG Minna, et al (6029)

Water consumption and annual variation of transpiration in mature *Acacia mangium* Plantation ZHAO Ping, ZOU Lvliu, RAO Xingquan, et al (6038)

Foliar phenotypic plasticity of a warm-temperate shrub, *Vitex negundo* var. *heterophylla*, to different light environments in the field DU Ning, ZHANG Xiuru, WANG Wei, et al (6049)

An case study on vegetation stability in sandy desertification land; determination and comparison of the resilience among communities after a short period of extremely aridity disturbanc	ZHANG Jiyi, ZHAO Halin (6060)
Response of soil quality indicators to comprehensive amelioration measures in coastal salt-affected land	SHAN Qihua, ZHANG Jianfeng, RUAN Weijian, et al (6072)
Fine-scale spatial associations of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Stellera chamaejasme</i> population in alpine degraded grassland	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6080)
The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment	GONG Shihui, WEN Zhongming, SHI Yu (6088)
Ozone stress increases lodging risk of rice cultivar Liangyoupeijiu; a FACE study	WANG Yunxia, WANG Xiaoying, YANG Lianxin, et al (6098)
Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen	YANG Wenting, LI Zhixian, SHU Lei, et al (6108)
Effect of wetting duration on nitrogen fixation of biological soil crusts in Shapotou, Northern China	ZHANG Peng, LI Xinrong, HU Yigang, et al (6116)
Effects of zinc on the fruits' quality of two eggplant varieties	WANG Xiaojing, WANG Huimin, WANG Fei, et al (6125)
Rapid light-response curves of PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of <i>Salix leucopithecia</i> subjected to cadmium-ion stress	QIAN Yongqiang, ZHOU Xiaoxing, HAN Lei, et al (6134)
Physiological Response of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy	XUE Shengguo, ZHU Feng, YE Sheng, et al (6143)
Physiological response of <i>Zoysia japonica</i> to Cd ²⁺	LIU Junxiang, SUN Zhenyuan, JU Guansheng, et al (6149)
Biosorption of Cd ²⁺ using the fruiting bodies of two macrofungi	LI Weihuan, MENG Kai, LI Junfei, et al (6157)
Factors regulating recruitment of <i>Microcystis</i> from the sediments of the eutrophic Shanzai Reservoir	SU Yuping, LIN Hui, ZHONG Houzhang, et al (6167)
A new type of insect trap and its trapping effect on <i>Cyrtotrachelus buqueti</i>	YANG Yaojun, LIU Chao, WANG Shufang, et al (6174)
Photoperiod influences diapause induction of Oriental Fruit Moth(Lepidoptera: Tortricidae)	HE Chao, MENG Quanke, HUA Lei, et al (6180)
Influence of edge effects on arthropods communities in agroforestry ecological systems	WANG Yang, WANG Gang, DU Yingqi, et al (6186)
Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities	CHENG Lin, LI Feng, DENG Huafeng (6194)
Comprehensive assessment of urban ecological risks; the case of Huaibei City	CHANG Hsiaoifei, WANG Rusong, LI Zhengguo, et al (6204)
The dynamics of surface heat status of Tangshan City in 1993—2009	JIA Baoquan, QIU Erfa, CAI Chunju (6215)
A projection-pursuit based model for evaluating the resource-saving and environment-friendly society and its application to a case in Wuhan	WANG Qianqian, ZHOU Jingxuan, LI Xiangmei, et al (6224)
Research on ecological barrier to Chang-Zhu-Tan metropolitan area	XIA Benan, WANG Fusheng, HOU Fangzhou (6231)
Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent; a case study in Ningguo City, China	ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (6242)
Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model; a case study of Gansu Province, China	ZHANG Bo, LIU Xiuli (6251)
Review and Monograph	
A prospect for study on isolated wetland	TIAN Xuezhi, LIU Jiping (6261)
Dinoflagellate heterotrophy	SUN Jun, GUO Shujin (6270)
Research progress of microbial agents in ecological engineering	WEN Ya, ZHAO Guozhu, ZHOU Chuanbin, et al (6287)
The progress of ecological civilization construction and its indicator system in China	BAI Yang, HUANG Yuchi, WANG Min, et al (6295)

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 20 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 20 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
主 管 中国科学技术协会
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

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
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
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@espg.net

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China
Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@espg.net

订 购 全国各地邮局
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

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证



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