

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

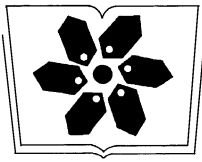
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第8期 Vol.32 No.8 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 8 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

东北地区 5 种阔叶树苗木对火烧的生理响应.....	王 荣, 胡海清 (2303)
梭梭木虱发生规律及其影响因素.....	李粉莲, 吴雪海, 王佩玲, 等 (2311)
基于遥感降尺度估算中国森林生物量的空间分布.....	刘双娜, 周 涛, 舒 阳, 等 (2320)
流域景观格局与河流水质的多变量相关分析.....	赵 鹏, 夏北成, 秦建桥, 等 (2331)
内蒙古达赉湖地区赤狐生境选择及生境景观特征分析.....	张洪海, 李成涛, 窦华山, 等 (2342)
雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价.....	徐梦珍, 王兆印, 潘保柱, 等 (2351)
用组合模型综合比较的方法分析气候变化对朱鹮潜在生境的影响.....	翟天庆, 李欣海 (2361)
2010 年牧区 2 代草地螟成虫迁飞的虫源分析	张 丽, 张云慧, 曾 娟, 等 (2371)
基于细胞色素 b 基因的中国岩羊不同地理种群遗传差异分析.....	李楠楠, 刘振生, 王正寰, 等 (2381)
喀斯特峰丛洼地不同退耕还林还草模式的土壤微生物特性.....	鹿士杨, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2390)
永定河沿河沙地杨树人工林生态系统呼吸特征.....	方显瑞, 张志强, 查同刚, 等 (2400)
基于湿地植物光谱的水体总氮估测.....	刘 克, 赵文吉, 郭逍宇, 等 (2410)
背瘤丽蚌 F 型线粒体基因组全序列分析	陈 玲, 汪桂玲, 李家乐 (2420)
流域“源-汇”景观格局变化及其对磷污染负荷的影响——以天津于桥水库流域为例	李崇巍, 胡 婕, 王 飒, 等 (2430)
线虫群落对抚顺煤矸石山周边土壤可溶性盐污染的响应.....	张伟东, 吕 莹, 肖 莹, 等 (2439)
地上竞争对林下红松生物量分配的影响.....	汪金松, 范秀华, 范 娟, 等 (2447)
湿地松和马尾松人工林土壤甲烷代谢微生物群落的结构特征.....	王 芸, 郑 华, 陈法霖, 等 (2458)
马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值对气象因子的响应	卢钰茜, 王振兴, 郑怀舟, 等 (2466)
沙坡头人工植被演替过程的土壤呼吸特征.....	高艳红, 刘立超, 贾荣亮, 等 (2474)
豫西刺槐能源林的热值动态.....	谭晓红, 刘诗琦, 马履一, 等 (2483)
铁皮石斛种子的室内共生萌发	吴慧凤, 宋希强, 刘红霞 (2491)
红光与远红光比值对温室切花菊形态指标、叶面积及干物质分配的影响	杨再强, 张继波, 李永秀, 等 (2498)
扑草净对远志幼苗根系活力及氧化胁迫的影响.....	温银元, 郭平毅, 尹美强, 等 (2506)
地表臭氧浓度增加和 UV-B 辐射增强及其复合处理对大豆光合特性的影响	郑有飞, 徐卫民, 吴荣军, 等 (2515)
AMF 对喀斯特土壤枯落物分解和对宿主植物的养分传递	何跃军, 钟章成, 董 鸣 (2525)
传统豆酱发酵过程中细菌多样性动态.....	葛菁萍, 柴洋洋, 陈 丽, 等 (2532)
定位施肥对紫色菜园土磷素状况的影响.....	孙倩倩, 王正银, 赵 欢, 等 (2539)
基于生态需水保障的农业生态补偿标准.....	庞爱萍, 孙 涛 (2550)
保障粮食安全造成的生态价值损失评估模型及应用.....	芦蔚叶, 姜志德, 张应龙, 等 (2561)
专论与综述	
疏浚泥用于滨海湿地生态工程现状及在我国应用潜力.....	黄华梅, 高 杨, 王银霞, 等 (2571)
问题讨论	
厌氧氨氧化菌群体感应系统研究.....	丁 爽, 郑 平, 张 萌, 等 (2581)
基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价.....	帅 红, 李景保, 夏北成, 等 (2588)
研究简报	
黄土高原不同树种枯落叶混合分解效应.....	刘增文, 杜良贞, 张晓曦, 等 (2596)
不同经营类型毛竹林土壤活性有机碳的差异.....	马少杰, 李正才, 王 斌, 等 (2603)
干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响	欧立军, 陈 波, 邹学校 (2612)
硅和干旱胁迫对水稻叶片光合特性和矿质养分吸收的影响	陈 伟, 蔡昆争, 陈基宁 (2620)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-04



封面图说: 红树林粗大的气生根——红树林是热带、亚热带海湾及河口泥滩上特有的常绿灌木或乔木群落。由于海水环境条件特殊,红树林植物具有一系列特殊的生态和生理特征。其中之一就是气根,红树从根部长出许多指状的气生根露出海滩地面,以便在退潮时甚至潮水淹没时用以通气,故称呼吸根。在中国,红树林主要分布在海南、广西、广东和福建省沿海,它一般分布于高潮线与低潮线之间的潮间带,往往潮差越大,红树的呼吸根就长得越高越粗大。

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

DOI: 10.5846/stxb201111101702

何跃军, 钟章成, 董鸣. AMF 对喀斯特土壤枯落物分解和对宿主植物的养分传递. 生态学报, 2012, 32(8): 2525-2531.

He Y, Zhong Z C, Dong M. Nutrients transfer for host plant and litter decomposition by AMF in Karst soil. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(8): 2525-2531.

AMF 对喀斯特土壤枯落物分解和 对宿主植物的养分传递

何跃军^{1,2}, 钟章成^{1,*}, 董 鸣³

(1. 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 西南大学生命科学学院, 重庆 400715;

2. 贵州大学林学院, 贵阳 550025; 3. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

摘要:为探索丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)在喀斯特土壤中养分利用机制,采用分室系统隔室装置(用 20 μ m 或 0.45 μ m 尼龙网双层隔离)对香樟(*Cinnamomum camphora*)幼苗进行幼套球囊霉(*Glomus etunicatum*)接种处理和施氮处理,并采用¹⁵N 稳定同位素技术标记了黑麦草(*Lolium perenne*)枯落物作为土壤有机残体,幼苗生长 15 周后测定了隔室幼苗生长性状指标、氮、磷摄取量、植株和隔室土壤中的 $\delta^{15}\text{N}$ 值、微生物量碳、微生物量氮以及菌丝体密度,结果表明:AMF 具有腐生营养能力,促进了土壤枯落物的分解并吸收其释放的¹⁵N 传递给宿主植物利用;香樟幼苗优先利用根际周围氮维持生长;在低氮状态下,香樟植株通过 AMF 菌丝体更多地利用了相邻隔室枯落物分解释放的¹⁵N;施加根际外源氮有利于 AMF 对隔室枯落物的分解,但降低了植株对枯落物氮的利用;根际高氮状态下植株的氮、磷摄取量较大;高养分状态下提高了相邻隔室微生物量碳、氮含量和菌丝体密度。

关键词:AMF; 枯落物; 分解; 养分

Nutrients transfer for host plant and litter decomposition by AMF in Karst soil

HE Yuejun^{1,2}, ZHONG Zhangcheng^{1,*}, DONG Ming³

1 Key Laboratory of Eco-environments of Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), Life Science College of Southwest University, Chongqing 400715, China

2 Forestry College of Guizhou University, Guiyang 550025, China

3 Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change; Institute of Botany; Chinese Academy of Sciences; Beijing 100093, China

Abstract: In order to explore the nutrient utilization mechanisms of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in Karst soil, *Cinnamomum camphora* seedlings were inoculated with *Glomus etunicatum* and fertilized with nitrogen in compartment equipment of microcosms separated by double 20 μ m-nylon mesh or 0.45 μ m-nylon mesh. *Lolium perenne* litter labelled isotope of ¹⁵N as organic residue were put into soil of compartments. Some indexes, which are traits of seedlings growth, nitrogen and phosphors uptake, $\delta^{15}\text{N}$ value, micro-biomass carbon, micro-biomass nitrogen, hyphae length in soil, were measured after 15 weeks. The results indicated that: the arbuscular mycorrhizal symbiosis of *Glomus etunicatum* can have saprotrophic capability and it enhanced soil litter decomposition and taked up the ¹⁵N from the adjoining compartment to supply for the host plants; *Cinnamomum camphora* seedlings gived priority to the use of nutrient in the rhizosphere. Under low nitrogen status, the *Cinnamomum camphora* utilized more ¹⁵N which was released from the decomposed litter in the adjoining compartment. Additional nitrogen of rhizosphere increased litter decomposition by AMF in the compartment, but reduced the utilization of organic nitrogen from litter by the seedlings. The plants were able to increase the uptake of

基金项目:国家自然科学基金项目(31000204, 30370279); 国家林业公益性行业科研专项(201004039); 贵州省教育厅自然科学研究项目(黔教科 2008005 号); 贵州省科技厅社会发展攻关项目(黔科合 SY[2010]3040 号); 贵州省林业厅项目(2008-05)

收稿日期: 2011-11-10; 修订日期: 2012-02-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zzhong@swu.edu.cn

nitrogen and phosphors in the rhizosphere under high nitrogen condition. The content of mic-biomass carbon and nitrogen and the hyphae length were enhanced under the high nutrient conditions.

Key Words: AMF; litter; decomposition; nutrients

喀斯特是一种具有特殊的物质、能量、结构和功能的生态系统,土壤呈中性至微碱性,土体不连续,土层浅薄,土壤的剖面形态、理化性质等都不同于地带性土壤^[1-6],养分容易流失导致喀斯特生态系统退化,这一显现已越来越受到研究者的关注。何跃军等^[7-8]曾研究喀斯特土壤中的 AM 真菌能显著促进地上宿主植物的生长和养分的吸收和利用,但是这些养分是来自土壤的哪一部分仍然不清楚。部分学者认为 AM 菌丝体和次生物质能够促进聚合物稳定性^[9-10],因此减少了土壤 AM 微生物对有机物的降解,主要原因是他们不具备腐生营养的能力^[11]。然而,St John 等^[12]发现 AM 在分解中的有机残留物上存在扩增现象;Hawkins 等^[13]研究也发现 AM 真菌与宿主植物联合成共生体时能够同化氨基酸。这一现象可以假设为 AM 真菌可能具有腐生营养的能力或者通过其他机制分解有机物。Hodge^[14]和 Tu 等^[15]的试验结果也认为 *Glomus hoi* 和 *Glomus aff. etunicatum* 两个 AM 菌种具有腐生营养的能力并能分解有机物,是否喀斯特生态系统中的 AM 真菌也具有这种腐生营养的能力并不清楚的。喀斯特生态系统养分包含了有机和无机两部分,如果 AM 真菌能够分解利用土壤有机物并传递给宿主植物,对喀斯特生态系统养分的循环利用而言意义重大。为此,本文通过分室系统控制实验和稳定同位素示踪技术检验 AM 真菌在喀斯特生态系统中的营养利用功能,揭示 AM 真菌的营养传递机制

2 试验设计与研究方法

2.1 实验设计

参照 Hodge^[14]的方法进行改进,用有机玻璃构建分室系统,由 6 个 13 cm×14 cm×15cm (宽×长×高)的隔室组成,分为 2 个隔室组,每组 3 个隔室。其中一个为 HOST 隔室组,用于种植宿主植物香樟和接种 AM 真菌。另外一个设计成 TEST 隔室组,用来测试菌根的功能(如图 1 所示)。在 HOST 和 TEST 隔室组之间用 20 μ m 或 0.45 μ m 的双层尼龙网(Amersham Hybond 尼龙膜)隔离,以阻止根系和 AM 菌丝体穿过。20 μ m 的隔网阻隔植物根系生长,0.45 μ m 的隔网阻隔菌丝体生长。将土壤:石英砂:河沙按照 2:1:1 体积比混合均匀作为植物的生长基质,土壤基质养分含量为:有机碳 12.19g/kg,全氮 926.99mg/kg,碱解氮 66.55mg/kg,全磷 315.86mg/kg,速效磷 mg/kg,pH 值 6.81。接种前将混合基质在压力 0.14 MPa,124—126 °C 连续灭菌 1h 后作为幼苗培养基质备用。

2.2 供试菌种和植物

采用幼套球囊霉(*Glomus etunicatum*),购于北京农林科学院营养资源研究所,采集于贵州喀斯特地段。接种植物采用香樟(*Cinnamomum camphora*),香樟是贵州石漠化区植被恢复的主要造林树种^[34],也是喀斯特群落组成的主要树种之一,研究其菌根生态学特性,对香樟的育苗造林具有重要的实践意义。种子采集于贵阳喀斯特典型地段的同一株母树。

2.3 材料培养

为了测试 AMF 对有机物分解的影响,实验开始前,将黑麦草(*Lolium perenne*)种在培养盆内,幼苗出土培养 1 个月后,用(¹⁵NH₄)₂SO₄($\delta^{15}\text{N}=99.99\%$)2g 溶于 10L 水中配置成 20% 的溶液喷施叶面,喷 10d。待幼苗生长 10d 后采集叶片,放入 80°C 的恒温箱烘至恒重,并剪成略 0.5—1cm 长的碎片($\delta^{15}\text{N}\text{‰}=18959.9$),共计 30g,将这些枯落物碎片与 TEST 土壤拌匀。将香樟种子用石英砂砂藏 2 个月露白后,用 10% 的 H₂O₂ 内浸泡 10min,用无菌水冲洗 3 次后进行 AM 接种。

2.4 接种处理

每个 HOST 隔室放入 2kg 的土壤后,再放入 50g 接种菌剂,播入 5 粒处理后香樟种子,再放入 0.5kg 的土

层覆盖。HOST 隔室组分 3 个处理:①不施 N 的单一 AM 真菌接种处理,记为 AMF-N,用 20 μm 尼龙网。②施 N 的单一 AM 真菌接种处理,记为 AMF+N,用 20 μm 尼龙网,幼苗生长 6 周后在 HOST 隔室加入 857mg 的 NH_4NO_3 溶液,注射器均匀加样。③不施 N 的单一 AM 真菌接种处理,记为 AMF-NH,用 0.45 μm 的棉质网。为了减少无机 N 对菌根侵染的影响,香樟幼苗生长 6 周后在 HOST 隔室组土壤中加入 NH_4NO_3 作为 AMF+N 的前处理。第 15 周后收获所有植物材料和隔室土壤材料进行分析。实验收获后将土壤过 0.25mm 筛,植物材料烘干后用球磨机打磨后进行指标测定。

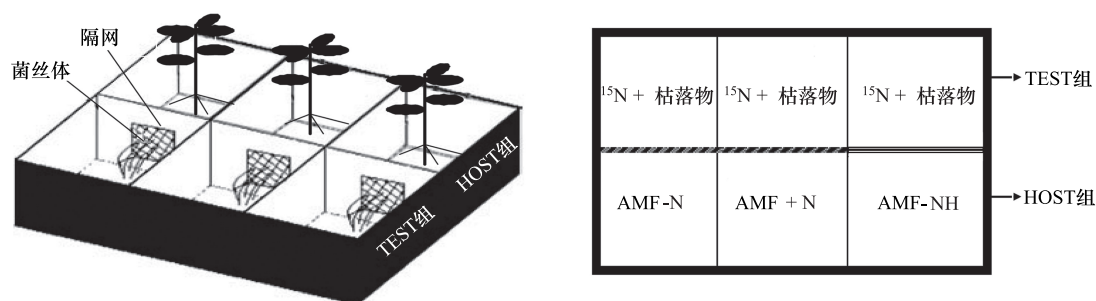


图 1 试验室系统装置和实验接种示意图

Fig. 1 Equipment of compartments microcosm and experimental inoculation sketch

2.5 指标测定

(1) 植物生物量测定 收获植物材料后,在 105 $^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重后称量。

(2) 氮、磷素测定 N 素测定采用凯氏定氮法(用瑞士 BÜCHI 公司生产的 Distillation Unit B-324 全自动凯氏定氮仪测定);P 素测定采用钼锑抗比色法^[16]。

(3) 菌丝体密度测定 菌丝抽滤法^[17-18]测定菌丝密度。称取 0.5g 土壤样品放入搅拌机并加 250ml 无菌水搅拌 30s,将搅拌好的悬浊液转移至 300ml 的三角瓶中,剧烈摇晃,静置 1 min,然后用移液枪在液面下统一深度处吸取 10ml 悬浊液进行抽滤,将滤膜取下置于滴有甘油溶液(30%)的载玻片上,待滤膜较干燥时,滴加 1—2 滴 0.05% 的曲利本蓝,最后将所得的滤膜置于 200 倍显微镜下随机选择取 25 个点进行观察,并记下菌丝与网格的交叉点数。菌丝密度 (m/g 土壤) = $11/14 \times \text{总交叉点数} \times \text{网格单元格长度}(\text{m}) \times \text{滤膜上样块面积}(\text{cm}^2) / [(\text{网格面积}(\text{cm}^2) \times \text{所称土样体积}(\text{cm}^3))]$

(4) 微生物量碳、氮测定 按照鲍士旦(2000)^[16]《土壤农化分析》微生物生物量碳采用氯仿熏蒸 K_2SO_4 提取,土壤微生物量氮的测定采用熏蒸提取—凯氏定氮法测定微生物生物氮量,所得提取液在德国耶拿 TOC Multi N/C 3100 总碳-总氮分析仪测试。

(5) $\delta^{15}\text{N}$ 同位素测定 将植物叶片在 105 $^{\circ}\text{C}$ 烘干后立即用球磨机粉成粉末,装入锡箔纸中待测。土壤材料是将土壤样品风干后研磨过 100 目筛,装入锡箔纸中待测。 $\delta^{15}\text{N}$ 测试在国家海洋局第三海洋研究所进行(测试用的仪器为德国生产的 Thermal Finnigan TC/EA-IRMS 测试仪,型号 DELTAV Advantage)。

(6) 侵染率测定 将完全洗干净的新鲜根样切成 1cm 长的根段,用 5% KOH 溶液 95 $^{\circ}\text{C}$ 脱色 40min,再在 2% 乳酸中酸化 3min,放入 0.05% 的酸性品红溶液 95 $^{\circ}\text{C}$ 染色 40min 后,将根段用清水洗 2—3 次,在 40 倍显微镜下观察根系侵染率。侵染率(%) = (具有丛枝菌根结构的根段数/观测根段数) $\times 100$

2.6 统计分析

采用 ANOVA-LSD 多重比较分析 HOST 和 TEST 隔室中植物和土壤样品在不同处理下的各项指标的差异。

3 结果与分析

3.1 不同 AMF 接种处理下的香樟幼苗菌根侵染率及和 TEST 隔室菌丝密度

如图 2 接种 AMF 后,在 3 个处理中侵染率没有显著差异,侵染率在 62.7%—63.5% 之间。TEST 隔室中

的菌丝长度在 AMF-NH 处理的隔室中为 0,AMF+N 处理的 TEST 隔室显著高于 AMF-N,表明施 N 处理提高了相邻隔室的菌丝长度,提高了隔室中菌丝的生长。TEST 隔室中土壤有机碳在 AMF+N 处理中最高,显著高于其他两个处理,而 AMF-N 和 AMF-NH 之间差异不显著。

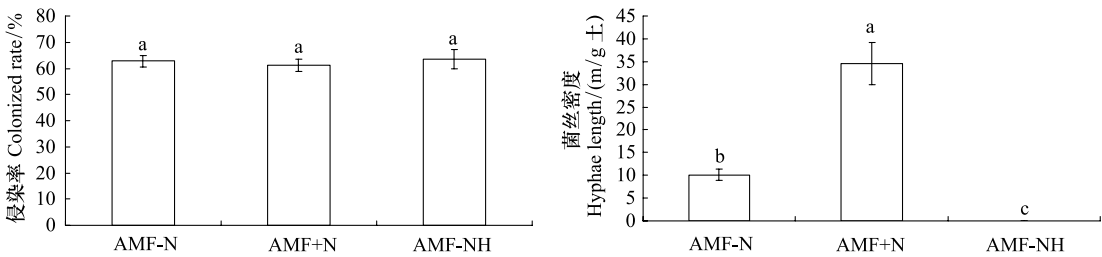


图2 香樟幼苗菌根侵染率和菌丝体密度
Fig. 2 Mycorrhizal colonized rate and hyphae length of *Cinnamomum camphora* seedlings

3.2 不同 AMF 接种处理对香樟幼苗生长的影响

如表1所示,通过相同的20μm 格网在 TEST 隔室中施 N 处理后,提高了植株形态指标总叶面积、根冠比、地径和苗高,但差异不显著,表明植株利用了 TEST 中的增加的养分改变了形态性状;AMF-N 与 AMF-NH 比较,植株的地径和苗高存在显著差异,而总叶面积和根冠比差异不显著,表明格网对菌丝起到了一定的阻隔作用,影响了植株对 TEST 隔室土壤养分的利用而表现在形态上,但是仍然没有改变根冠比率。植株总生物量在 AMF+N 处理下最高,但与 AMF-N 处理没有显著差异,表明施 N 提高了香樟幼苗生物量积累,AMF-N 处理显著高于 AMF-NH 处理,表明 HOST 隔室的植株显著受到隔网对菌丝隔离而利用相邻隔室养分的影响。

表1 不同 AMF 处理对 HOST 隔室中香樟幼苗生长的影响

Table 1 Effects of growth on <i>Cinnamomum camphora</i> seedlings in compartments of HOST group by different AMF treatments					
处理 Treatments	总叶面积/cm ² Total leaf area	根冠比 Root/stem ratio	地径/mm Stem	苗高/cm Height	总生物量/g Total biomass
AMF-N	57.32±5.91 ab	0.51±0.04 a	2.19±0.06 ab	15.21±0.34 a	0.61±0.032 a
AMF+N	73.94±7.41 a	0.52±0.04 a	2.29±0.04 a	16.29±0.26 a	0.70±0.033 a
AMF-NH	41.40±6.06 b	0.60±0.06 a	1.96±0.03 b	11.98±0.63 b	0.40±0.027 b

3.3 不同 AMF 接种处理对香樟幼苗植株氮、磷摄取量的影响

如图3,HOST 隔室中的香樟幼苗 N 素摄取量在 AMF+N 处理中显著高于 AMF-N 和 AMF-NH 处理,表明 HOST 隔室施 N 处理后显著提高了植株 N 的营养摄取量,AMF-N 处理显著高于 AMF-NH 处理,表明了香樟幼苗通过 AMF 菌丝吸收利用了 TEST 隔室中的 N,而 AMF-NH 隔室中的香樟幼苗因 0.45μm 的隔网不能通过菌丝阻碍了对相邻 TEST 隔室养分的利用。对植株 P 摄取量而言,香樟幼苗在 AMF-N 处理下显著高于 AMF-NH 处理,AMF+N 的 P 摄取量高于 AMF-N,但二者差异性不显著,说明施加 N 并没有显著提高植株对 P 的利用,隔网显著阻碍了植株对相邻 TEST 隔室 P 的利用。

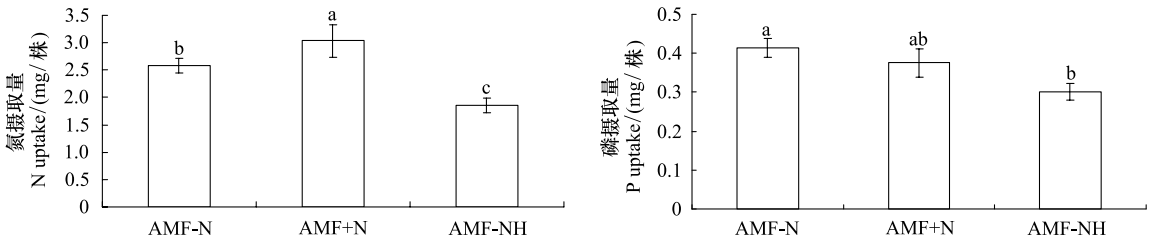


图3 香樟幼苗植株 N 摄取量和 P 摄取量
Fig. 3 Uptake amounts of nitrogen and phosphorus of *Cinnamomum camphora* seedlings

3.4 不同 AMF 接种处理香樟幼苗叶片和隔室土壤 $\delta^{15}\text{N}$ 值的影响

如图 4 HOST 隔室香樟叶片 ^{15}N 同位素 $\delta^{15}\text{N}$ 值相比较,AMF-N 显著高于 AMF-NH,表明 0.45 μm 隔网阻滞了菌丝对 TEST 隔室中 ^{15}N 的利用,AMF-N 处理的 HOST 隔室菌丝体 AMF 促进了 TEST 隔室中枯落物的分解并利用其分解释放的 ^{15}N 。比较 AMF-N 和 AMF+N 处理,AMF-N 显著高于 AMF+N,在 HOST 隔室中添加了 NH_4NO_3 后降低了植株对 TEST 隔室 ^{15}N 的摄取,表明施加外源 N 处理降低了植株对远距离养分的利用,而未施 N 的根际低养分状态下 AMF 趋向于对相邻隔室枯落物的养分利用。

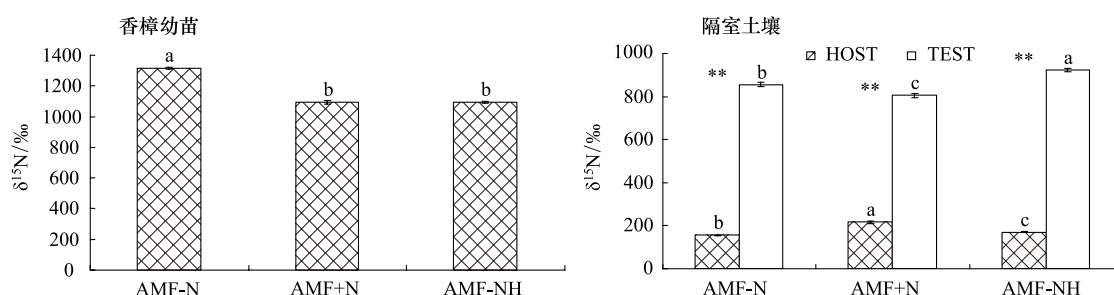


图 4 香樟幼苗叶片 $\delta^{15}\text{N}$ 值和隔室土壤中的 $\delta^{15}\text{N}$ 值

Fig. 4 $\delta^{15}\text{N}$ value at leaf of *Cinnamomum camphora* seedlings and at soil of HOST and TEST compartments

TEST 隔室 AMF-NH 的 $\delta^{15}\text{N}$ 值显著高于其他两个处理,这是因为格网阻隔了 AMF 菌丝体对 ^{15}N 的传递,使得枯落物中释放的 ^{15}N 更多地保留在 TEST 隔室中。然而,施 N 处理后的 TEST 隔室中的 $\delta^{15}\text{N}$ 值显著低于未施 N 处理的 AMF-N,说明施加外源 N 促进了 AMF 对隔室枯落物的分解;然而 HOST 隔室中的 $\delta^{15}\text{N}$ 值在 AMF+N 处理中显著高于 AMF-N 处理,说明 AMF 吸收利用了 TEST 的枯落物 ^{15}N 而更多地滞留在 HOST 土壤中,可能的原因是施氮处理后植株优先利用了根际 N 而维持植株生长。同样 HOST 隔室 AMF-N 处理的 $\delta^{15}\text{N}$ 值显著高于 AMF-NH 处理,表明在 AMF-N 处理中的菌丝体显著利用了 TEST 隔室中的枯落物 ^{15}N 并传递到 HOST 隔室土壤,AMF 促进了枯落物的分解并释放 ^{15}N (图 4)。

3.5 不同 AMF 接种处理对 TEST 隔室微生物量碳、氮、有机碳的影响

如图 5,比较 TEST 隔室中的微生物量碳和微生物量氮,AMF+N 处理显著高于 AMF-N,表明施 N 处理显著提高了 TEST 隔室中的微生物量碳和微生物量氮的含量,参见图 2 中的菌丝体密度,这一结果说明 TEST 隔室中的 AMF 的活性在施 N 处理后提高了。对 AMF-NH 而言,TEST 土壤中的微生物量碳与 AMF-N 处理没有显著差异,而微生物量氮却显著高于其他两个处理,但 AMF 菌丝体密度为 0,说明在苗木培养过程中 TEST 隔室还存在一定的其他微生物的入侵。这一结果表明土壤中还存在着其他微生物的生长维持土壤系统生化过程的发生。

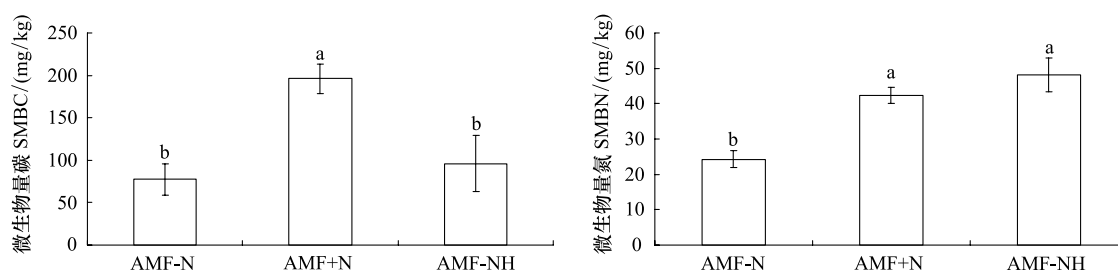


图 5 TEST 隔室土壤微生物量碳和微生物量氮

Fig. 5 Soil micro-biomass carbon and nirogen of TEST compartments

4 结论与讨论

关于 ^{15}N 示踪的 AMF 菌丝体对氮的吸收和转移已有文献报道^[14-15,19-22],然而植物通过 AMF 对土壤养分

尤其是 N、P 的摄取是来自土壤的哪一部分并不十分的清楚。土壤低 N 状态会抑制植物的生长,施加外源 N 能够提高植物的生长以及地下光合产物的分配,这有利于 AMF 的生长^[23]。本试验结果中施 N 处理(AMF+N)提高了 HOST 组香樟幼苗植株生物量的积累和 TEST 隔室菌丝体密度验证了这一观点(表 1)。土壤有充足的 N 供应给植物生长有利于菌丝体的增殖生长^[23-24],但是过多的 N 也会降低植株根系菌丝体所需要的 C 的分配^[25]。

试验中施 N 处理增加了植株的 N、P 摄取量,却降低了 TEST 隔室中的¹⁵N 的利用(图 3、图 4),说明植株优先利用了根际周围的 N、P 养分,低 N 状态下加强了菌丝体对相邻隔室(TEST)中枯落物的分解利用。Hodge 等^[14]的试验为菌根能够分解土壤有机物提供了直接证据,本试验中 AMF-N 和 AMF-NH 的 $\delta^{15}\text{N}$ 值比较也证明 AMF 能够分解利用 TEST 隔室中的枯落物¹⁵N。Tu^[15]认为增加 N 能够提高菌丝生长和微生物的活性来促进枯落物的分解;在十分活跃的分解区域,菌根真菌更容易利用宿主植物的 C 来维持增殖生长,从而刺激了该区域微生物对有机物的分解^[26-27]。本试验的结果显示,施 N 处理后,土壤微生物量 C、N 含量增加,外源 N 通过刺激植物生长利于 AMF 的增殖扩繁,从而刺激¹⁵N 标记的枯落物的分解(图 4,图 5)。香樟幼苗叶片和 TEST 土壤中的 $\delta^{15}\text{N}$ 值显著低于未施 N 处理,而 HOST 土壤中的 $\delta^{15}\text{N}$ 值显著高于未施 N 处理,表明枯落物中释放的 N 更多地滞留在土壤 AMF 菌丝体中,AMF-N 的香樟植株更多地利用了枯落物中释放的 N,AMF+N 的香樟植株更优先利用了所施加的外源 N,这一结果显示施加外源 N 降低了植株对枯落物 N 的利用,而增加了对枯落物的分解。TEST 组 AMF-NH 土壤中的微生物 N 高于其他两个处理,说明土壤中存在其他微生物,枯落物叶片释放的 N 则主要滞留在其他微生物中。

陆地生态系统中,植物与土壤的关系在于调节植物群落和生物地球化学过程^[28],如植物通过凋落物改善土壤环境和营养循环。此过程中土壤微生物则影响了营养的摄取并在植物与土壤之间形成反馈调节^[29],如菌根真菌可能通过凋落物影响植物生产力,并在植被-土壤之间形成正反馈^[30]。枯落物是养分的基本载体,在维持土壤肥力,促进生态系统的物质循环和养分平衡中起着重要的作用^[31]。AM 被认为是摄取土壤养分供给宿主植物的营养供应体^[32-33],这些营养供应体在喀斯特生态系统中仍然扮演了重要的角色。本试验中菌根真菌促进了土壤枯落物的分解并利用其释放的 N,施加外源 N 调节了 AMF 对枯落物分解功能的发挥和植株对 N 的利用,土壤养分含量的多少能够调节 AM 对土体养分利用的途径。这一结果的意义在于,喀斯特区域因水土流失导致土体中较低的养分含量,维持地上植被生长所需的养分,可以通过菌根真菌分解土壤有机残体释放而来,并传递给宿主植物利用,从而维持了喀斯特森林生态系统的平衡。

本试验结果可知,AMF 具有对有机物分解的腐生营养能力,但是这种腐生营养分解有机物的功能的内在机制是什么如是直接分解还是通过刺激其他腐生微生物发挥的作用有待深入研究。

References:

- [1] Zhang P J, Li L Q, Pan G X, Ren J C. Soil quality changes in land degradation as indicated by soil chemical, biochemical and microbiological properties in a karst area of southwest Guizhou, China. *Environmental Geology*, 2006, 51(4): 609-619.
- [2] Cao J H, Yuan D X, Pan G X. Some soil features in Karst ecosystem. *Advance in Earth Sciences*, 2003, 18(1): 37-44.
- [3] Li J Y, Wang C F, Fan T Z. Weathering crust of carbonate rocks and process of Karst earth formation. *Carsologica Sinica*, 1991, 10(1): 29-38.
- [4] Wei Q P, Chen H Z, Wu Z D, Huang Y, Jiao J Y. The geochemical characteristics of limestone soils in Longgang AREA, Guangxi. *Acta Pedologica Sinica*, 1983, 20(1): 30-41.
- [5] Wang S J, Ji H J, Ouyang Z Y, Zhou D Q, Zheng L P, Li T Y. Preliminary study on carbonate rock weathering and soil formation. *Science in China (D)*, 1999, 29(5): 441-449.
- [6] Zhao B J, Wen Q X. Effect of calcareous parent materials on the composition and characteristics of soil humus. *Acta Pedologica Sinica*, 1988, 25(3): 243-251.
- [7] He Y J, Zhong Z C, Liu J M, Liu J C, Jin J, Song H X. Response of N and P absorption on *Broussonetia papyrifera* seedlings to inoculate Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4840-4847.
- [8] He Y J, Zhong Z C, Liu J M, Liu J C, Song H X, Jin J. Growth response of *Broussonetia papyrifera* seedlings to VA mycorrhizal fungi inoculation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(10): 2209-2213.
- [9] Tisdall J M, Smith S E, Rengasamy P. Aggregation of soil by fungal hyphae. *Australian Journal of Soil Research*, 1997, 35(1): 55-60.
- [10] Wright S F, Upadhyaya A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 1998, 198(1): 97-107.

- [11] Read D J, Perez-Moreno J. Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems-a journey towards relevance? *New Phytologist*, 2003, 157(3): 475-492.
- [12] St John T V, Coleman D C, Reid C P P. Association of vesicular-arbuscular mycorrhizal hyphae with soil organic particles. *Ecology*, 1983, 64(4): 957-959.
- [13] Hawkins H J, Johansen A, George E. Uptake and transport of organic and inorganic nitrogen by arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 2000, 226(2): 275-285.
- [14] Hodge A, Campbell C D, Fitter A H. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature*, 2001, 413(6853): 297-299.
- [15] Tu C, Booker F L, Watson D M, Chen X, Rufty T W, Shi W, Hu S J. Mycorrhizal mediation of plant N acquisition and residue decomposition: impact of mineral N inputs. *Global Change Biology*, 2006, 12(5): 793-803.
- [16] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [17] Jakobsen I, Abbott L K, Robson A D. External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. 1. Spread of hyphae and phosphorus inflow into roots. *New Phytologist*, 1992, 120(3): 371-380.
- [18] Li X, Zhang J L. Uptake of ammonium and nitrate by external hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(3): 683-689.
- [19] Ames R N, Reid C P P, Porter L K, Cambardella C. Hyphal uptake and transport of nitrogen from two ^{15}N -labelled sources by *Glomus mosseae*, a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. *New Phytologist*, 1983, 95(3): 381-396.
- [20] Johansen A, Jakobsen I, Jensen E S. Hyphal transport of ^{15}N -labelled nitrogen by a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus and its effect on depletion of inorganic soil N. *New Phytologist*, 1992, 122(2): 281-288.
- [21] Bago B, Vierheilig H, Piché Y, Azcón-Aguilar C. Nitrate depletion and pH changes induced by the extraradical mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* grown in monoxenic culture. *New Phytologist*, 1996, 133(2): 273-280.
- [22] Tanaka Y, Yano K. Nitrogen delivery to maize via mycorrhizal hyphae depends on the form of N supplied. *Plant, Cell and Environment*, 2005, 28(10): 1247-1254.
- [23] Hawkins H J, George E. Effect of plant nitrogen status on the contribution of arbuscular mycorrhizal hyphae to plant nitrogen uptake. *Physiologia Plantarum*, 1999, 105(4): 694-700.
- [24] Treseder K K, Allen M F. Direct nitrogen and phosphorus limitation of arbuscular mycorrhizal fungi: a model and field test. *New Phytologist*, 2002, 155(3): 507-515.
- [25] Ericsson T. Growth and shoot: root ratio of seedlings in relation to nutrient availability. *Plant and Soil*, 1995, 168-169(1): 205-214.
- [26] Zak D R, Pregitzer K S, King J S, Holmes W E. Elevated atmospheric CO_2 , fine roots and the response of soil microorganisms: a review and hypothesis. *New Phytologist*, 2000, 147(1): 201-222.
- [27] Nakano A, Takahashi K, Kimura M. Effect of host shoot clipping on carbon and nitrogen sources for arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 2001, 10(6): 287-293.
- [28] Wardle D A, Bardgett R D, Klironomos J N, Setälä H, van der Putten W H, Wall D H. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 2004, 304(5677): 1629-1633.
- [29] Ehrenfeld J G, Ravit B, Elgersma K. Feedback in the plant-soil system. *Annual Reviews of Environment and Resources*, 2005, 30(1): 75-115.
- [30] Wurzbarger N, Hendrick R L. Plant litter chemistry and mycorrhizal roots promote a nitrogen feedback in a temperate forest. *Journal of Ecology*, 2009, 97(3): 528-536.
- [31] Lin B, Liu Q, Wu Y, He H. Advances in the studies of forest litter. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(1): 60-64.
- [32] Smith S E, Read D J. *Mycorrhizal Symbiosis*. San Diego: Academic Press, 1997.
- [33] Smith S E, Read D J. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd ed. London: Academic Press, 2008.
- [34] Wang D, Yao J, Yang X, Xue J H. Changes of leaf water potential and water absorption potential capacities of six kinds of seedlings in Karst mount area under different drought stress intensities; Taking six forestation seedlings in karst Mountainous region for example. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(8): 2216-2226.

参考文献:

- [2] 曹建华, 袁道先, 潘根兴. 岩溶生态系统中的土壤. *地球科学进展*, 2003, 18(1): 37-44.
- [3] 李景阳, 王朝富, 樊廷章. 试论碳酸盐岩风化壳与喀斯特成土作用. *中国岩溶*, 1991, 10(1): 29-38.
- [4] 韦启藩, 陈鸿昭, 吴志东, 黄钺, 教剑英. 广西弄岗自然保护区石灰土的地球化学特征. *土壤学报*, 1983, 20(1): 30-41.
- [5] 王世杰, 季宏军, 欧阳自远, 周德全, 郑乐平, 黎廷宇. 碳酸盐岩风化壳成土作用的初步研究. *中国科学 (D 辑)*, 1999, 29(5): 441-449.
- [6] 赵斌军, 文启孝. 石灰性母质对土壤腐殖质组成和性质的影响. *土壤学报*, 1988, 25(3): 243-251.
- [7] 何跃军, 钟章成, 刘济明, 刘锦春, 金静, 宋会兴. 构树 (*Broussonetia papyrifera*) 幼苗氮、磷吸收对接 AM 真菌的响应. *生态学报*, 2007, 27(11): 4840-4847.
- [8] 何跃军, 钟章成, 刘济明, 刘锦春, 宋会兴, 金静. 构树幼苗对接丛枝菌根真菌的生长响应. *应用生态学报*, 2007, 18(10): 2209-2213.
- [16] 鲍士旦. *土壤农化分析 (第三版)*. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [18] 李侠, 张俊伶. 丛枝菌根外菌丝对铵态氮和硝态氮吸收能力的比较. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(3): 683-689.
- [31] 林波, 刘庆, 吴彦, 何海. 森林凋落物研究进展. *生态学杂志*, 2004, 23(1): 60-64.
- [34] 王丁, 姚健, 杨雪, 薛建辉. 干旱胁迫条件下 6 种喀斯特主要造林树种苗木叶片水势及吸水潜能变化. *生态学报*, 2011, 31(8): 2216-2226.

CONTENTS

Physiological responses of five deciduous broad-leaved tree seedlings in the Northeast Area of China to burning	WANG Rong, HU Haiqing (2303)
The occurrence regularity of psyllid in <i>Haloxylon</i> spp and its influencing factors	LI Fenlian, WU Xuehai, WANG Peiling, et al (2311)
The estimating of the spatial distribution of forest biomass in China based on remote sensing and downscaling techniques	LIU Shuangna, ZHOU Tao, SHU Yang, et al (2320)
Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality	ZHAO Peng, XIA Beicheng, QIN Jianqiao, et al (2331)
Red fox habitat selection and landscape feature analysis in the Dalai Lake Natural Reserve in Inner Mongolia	ZHANG Honghai, LI Chengtao, DOU Huashan, et al (2342)
Research on assemblage characteristics of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River Basin	XU Mengzhen, WANG Zhaoyin, PAN Baozhu, et al (2351)
Climate change induced potential range shift of the crested ibis based on ensemble models	ZHAI Tianqing, LI Xinhai (2361)
Analysis of the sources of second generation meadow moth populations that immigrated into Chinese pastoral areas in 2010	ZHANG Li, ZHANG Yunhui, ZENG Juan, et al (2371)
Genetic diversity based on cytochrome <i>b</i> gene analysis of different geographic populations of blue sheep in China	LI Nannan, LIU Zhensheng, WANG Zhenghuan, et al (2381)
Soil microbial properties under different grain-for-green patterns in depressions between karst hills	LU Shiyang, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2390)
Ecosystem and soil respiration of a poplar plantation on a sandy floodplain in Northern China	FANG Xianrui, ZHANG Zhiqiang, ZHA Tonggang, et al (2400)
Estimating total nitrogen content in water body based on reflectance from wetland vegetation	LIU Ke, ZHAO Wenji, GUO Xiaoyu, et al (2410)
Analysis on complete F type of mitochondrial genome in <i>Lamprotula lei</i>	CHEN Ling, WANG Guiling, LI Jiale (2420)
The source-sink landscape pattern change and its effect on phosphorus pollution in Yuqiao watershed	LI Chongwei, HU Jie, WANG Sa, et al (2430)
Responses of soil nematode communities to soluble salt contamination around Gangue hill in Fushun	ZHANG Weidong, LV Ying, XIAO Ying, et al (2439)
Effect of aboveground competition on biomass partitioning of understory Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	WANG Jinsong, FAN Xiuhua, FAN Juan, et al (2447)
Research of methane metabolic microbial community in soils of slash pine plantation and Masson pine plantation	WANG Yun, ZHENG Hua, CHEN Falin, et al (2458)
$\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of <i>Pinus massoniana</i> and <i>Cunninghamia lanceolata</i> response to meteorological factors	LU Yuxi, WANG Zhenxing, ZHENG Huaizhou, et al (2466)
Soil respiration patterns during restoration of vegetation in the Shapotou area, Northern China	GAO Yanhong, LIU Lichao, JIA Rongliang, et al (2474)
Dynamics of caloric value of <i>Robinia pseudoacacia</i> L. energy forest in the west of Henan Province	TAN Xiaohong, LIU Shiqi, MA Luyi, et al (2483)
<i>Ex-situ</i> symbiotic seed germination of <i>Dendrobium catenatum</i>	WU Huifeng, SONG Xiqiang, LIU Hongxia (2491)
Effects of red/far red ratio on morphological index, leaf area and dry matter partitioning of cut chrysanthemum flower	YANG Zaiqiang, ZHANG Jibo, LI Yongxiu, et al (2498)
Effect of prometryne on root activity and oxidative stress of <i>Polygala tenuifolia</i> Willd. seedling roots	WEN Yinyuan, GUO Pingyi, YIN Meiqiang, et al (2506)
Combined effects of elevated O_3 concentration and UV-B radiation on photosynthetic characteristics of soybean	ZHENG Youfei, XU Weimin, WU Rongjun, et al (2515)
Nutrients transfer for host plant and litter decomposition by AMF in Karst soil	HE Yuejun, ZHONG Zhangcheng, DONG Ming (2525)
The dynamics of bacteria community diversity during the fermentation process of traditional soybean paste	GE Jingping, CHAI Yangyang, CHEN Li, et al (2532)
Effect of site-specific fertilization on soil phosphorus in purple garden soil	SUN Qianqian, WANG Zhengyin, ZHAO Huan, et al (2539)
A method of determining standards for ecological compensation in agricultural areas, giving priority to environmental flows in water allocation	PANG Aiping, SUN Tao (2550)
The loss of ecosystem services value caused by food security assessment model and its application	LU Weiye, JIANG Zhide, ZHANG Yinglong, et al (2561)
Review and Monograph	
Review of the current situation of coastal ecological engineering using dredged marine sediments and prospects for potential application in China	HUANG Huamei, GAO Yang, WANG Yinxia, et al (2571)
Discussion	
Quorum sensing in anaerobic ammonium oxidation bacteria	DING Shuang, ZHENG Ping, ZHANG Meng, et al (2581)
Health evaluation of Dongting Lake based on morphological characters	SHUAI Hong, LI Jingbao, XIA Beicheng, et al (2588)
Scientific Note	
Effects of mix-leaf litter decomposition of different trees in the Loess Plateau	LIU Zengwen, DU Liangzhen, ZHANG Xiaoxi, et al (2596)
Changes in soil active organic carbon under different management types of bamboo stands	MA Shaojie, LI Zhengcai, WANG Bin, et al (2603)
Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper	OU Lijun, CHEN Bo, ZOU Xuexiao (2612)
Effects of silicon application and drought stress on photosynthetic traits and mineral nutrient absorption of rice leaves	CHEN Wei, CAI Kunzheng, CHEN Jining (2620)

《生态学报》2012 年征订启事

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

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

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

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

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

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

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 8 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 8 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元