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

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

# 生态学报

# Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 2 期
Vol.31 No.2
2011

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 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 2 期　　2011 年 1 月　(半月刊)

目　　次

长白山山杨种群的性比格局及其空间分布 …… 潘春芳,赵秀海,夏富才,等 (297)
冬季融冻过程中白三叶叶片抗氧化酶活力和渗透调节物含量变化与抗冻性的关系……
…… 赵　梅,周瑞莲,刘建芳,等 (306)
黄土高原主要森林类型自然性的灰色关联度分析 …… 王乃江,刘增文,徐　钊,等 (316)
两种抗生素对龙须菜的光合生理效应 …… 简建波,邹定辉,刘文华,等 (326)
典型喀斯特峰丛洼地植被群落凋落物 C:N:P 生态化学计量特征 …… 潘复静,张　伟,王克林,等 (335)
塔里木河下游地下水埋深对胡杨气体交换和叶绿素荧光的影响 …… 陈亚鹏,陈亚宁,徐长春,等 (344)
基于 MODIS/NDVI 的陕北地区植被动态监测与评价 …… 宋富强,邢开雄,刘　阳,等 (354)
火因子对荒漠化草原草本层片植物群落组成的影响 …… 贺郝钰,苏洁琼,黄　磊,等 (364)
4 种阔叶幼苗对 PEG 模拟干旱的生理响应 …… 冯慧芳,薛　立,任向荣,等 (371)
城市带状绿地宽度与温湿效益的关系 …… 朱春阳,李树华,纪　鹏,等 (383)
西藏夺错水鸟多样性及斑头雁繁殖活动区的变化 …… 张国钢,刘冬平,钱法文,等 (395)
王朗自然保护区大熊猫生境选择 …… 康东伟,康　文,谭留夷,等 (401)
东方田鼠警觉对其功能反应的作用格局 …… 陶双伦,杨锡福,邓凯东,等 (410)
台州市路桥区重金属污染对土壤动物群落结构的影响
…… 白　义,施时迪,齐　鑫,等 (421)
青岛湾小型底栖生物周年数量分布与沉积环境 …… 杜永芬,徐奎栋,类彦立,等 (431)
叉尾斗鱼种群遗传变异与亲缘地理 …… 王培欣,白俊杰,胡隐昌,等 (441)
$C_3$ 和 $C_4$ 植物寄主对华北地区棉铃虫越冬代和第一代的影响 …… 叶乐夫,付　雪,戈　峰 (449)
3 种海拔高度茶园中 2 种害虫与其天敌间的数量和空间关系 …… 毕守东,柯胜兵,徐劲峰,等 (455)
坝上地区农田和恢复生境地表甲虫多样性 …… 刘云慧,宇振荣,王长柳,等 (465)
若尔盖高寒湿地干湿土壤条件下微生物群落结构特征 …… 牛　佳,周小奇,蒋　娜,等 (474)
红枣贮藏期果面微生物多样性…… 沙月霞 (483)
$CO_2$和温度升高情况下白粉菌侵染对西葫芦生长特性的影响 … 刘俊稚,葛亚明,Pugliese Massimo,等 (491)
丛枝菌根真菌对中性紫色土土壤团聚体特征的影响 …… 彭思利,申　鸿,袁俊吉,等 (498)
新疆断裂带泉水中细菌群落结构的 PCR-DGGE 分析 …… 吴江超,高小其,曾　军,等 (506)
石油污染对海洋浮游植物群落生长的影响 …… 黄逸君,陈全震,曾江宁,等 (513)
不同耐性水稻幼苗根系对镉胁迫的形态及生理响应 …… 何俊瑜,任艳芳,王阳阳,等 (522)
基于 CLUE-S 模型的密云县面源污染控制景观安全格局分析 …… 潘　影,刘云慧,王　静,等 (529)
基于生态足迹的生态地租分析…… 龙开胜,陈利根,赵亚莉 (538)
深圳市植被受损分级评价及其与景观可达性的关系 …… 刘语凡,陈　雪,李贵才,等 (547)

**专论与综述**

美国、加拿大环境和健康风险管理方法…… 贺桂珍,吕永龙 (556)
植物蜡质及其与环境的关系 …… 李婧婧, 黄俊华,谢树成 (565)
油田硫酸盐还原菌酸化腐蚀机制及防治研究进展 …… 庄　文,初立业 ,邵宏波 (575)
叶际微生物研究进展 …… 潘建刚,呼　庆,齐鸿雁,等 (583)

**期刊基本参数:**CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ￥70.00 * 1510 * 33 * 2011-01

生 态 学 报 2011,31(2):0498—0505
Acta Ecologica Sinica

# 丛枝菌根真菌对中性紫色土土壤团聚体特征的影响

彭思利, 申 鸿, 袁俊吉, 魏朝富, 郭 涛*
(西南大学资源环境学院, 重庆 400716)

**摘要**:利用分根装置研究了接种丛枝菌根真菌对中性紫色土土壤团聚体数量、大小和稳定性的影响,分析了土壤团聚体数量、分布和分形维数,并运用通径分析对不同影响因子进行了分析。结果表明:接种 *G. intraradices* 和 *G. mosseae* 的菌根室土壤有机质和总球囊霉素相关土壤蛋白含量有增加的趋势;湿筛条件下菌根室土壤的平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD)均显著高于根室土壤,而且降低了土壤分形维数,显示了丛枝菌根真菌提升土壤结构特征的作用。通径分析的结果表明,在影响 MWD 的众多因子中,菌丝密度对 MWD 有最大的直接作用。两种菌种对土壤结构均有不同程度的改良作用,反映了丛枝菌根真菌功能的多样性。

**关键词**:分根装置;菌丝;球囊霉素相关土壤蛋白;平均重量直径;几何平均直径;通径分析

## Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on soil aggregation dynamics of neutral purple soil

PENG Sili, SHEN Hong, YUAN Junji, WEI Chaofu, GUO Tao*
*College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing* 400716, *China*

**Abstract**: Soil structure plays important roles in soil ecosystem functioning as it controls fluxes of water, gases and nutrients. Aggregate stability is used as an indictor of soil structure. Current approaches to investigate the formation and stabilization of aggregates in soils have been influenced considerably by the hierarchical model of the aggregation process in which primary particles and clay microstructure are bound into microaggregates (20—250 μm), and larger macroaggregates (>250 μm up to several millimeters diameter) are formed by the binding together of microaggregates and smaller macroaggregates. Many physical, chemical and biological factors (and their interactions) contribute to soil aggregation, yet among the biological aspects, mycorrhizas are recognized as being of special importance. Arbuscular mycorrhizal (AM) fungi form mutualistic symbiosis with more than 80% of the higher plant species. The contribution of AM to soil structure varied at different hierarchical levels: plant community, individual root, and the soil mycelium.

In our studies to investigate the impacts of AM fungi on soil aggregation dynamics in the neutral purple soil, split root device was used and the soil were passed through sieves and then amounts of different size of aggregate were measured to obtain fractal features of soils. Path analysis was also used to evaluate the indirect or direct influencing factors. The results showed that inoculation with both *G. intraradices* and *G. mosseae* tends to increase the organic matter content and total glomalin related soil protein content in mycorrhizal soil. Mean weight diameter (MWD) and geometric mean diameter (GMD) with wet-sieving methods in mycorrhizal compartment were significantly higher than that of root compartment which resulted in the lower fractal features of mycorrhizal soil. All these results account for the important role of AM fungi in improving soil structure. Path analysis showed that hyphal density had the most important direct effect. The different ability of AM fungus to improve soil structure revealed the function diversity of AM fungi. More AM fungal species and soil types will be considered in our following studies.

**基金项目**: 国家自然科学基金资助项目(40701085)
**收稿日期**:2009-12-10; **修订日期**:2010-03-09
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: guotaosd@swu.edu.cn

**Key Words**: split-root device; hyphae; glomalin related soil protein; MWD; GMD; path analysis

土壤团聚体是由矿物颗粒和有机物等土壤成分参与下,在干湿冻融交替等自然物理过程作用下形成的不同尺度大小的多孔单元[1]。良好的土壤团聚体结构是土壤肥力的物质基础,能够保证和协调土壤中的水肥气热、影响土壤酶的种类和活性、维持和稳定土壤疏松熟化层[2]。土壤团聚体的形成及稳定机制受到生物、物理、化学的作用及它们之间协同作用的影响,微生物既是土壤的重要组成部分,又是形成土壤团聚体最活跃的生物因素[3]。在许多陆地生态系统中,丛枝菌根(arbuscular mycorrhiza,AM)真菌是重要的一类微生物,大部分条件下是作为优势类群存在的,陆地上 90% 以上的植物都能够与 AM 真菌建立共生关系[4]。作为直接联系土壤和植物根系的一类微生物,AM 真菌与植物共生可以改善植物的磷营养,增强植物抵御干旱和盐渍的危害,提高植物在逆境中的生存能力,在生态系统中扮演着重要的角色,因而一直是研究的热点之一。AM 真菌侵染植物以后,一方面根外菌丝可以在土壤中形成庞大的菌丝网络[5],另一方面 AM 真菌还能分泌一类糖蛋白,球囊霉素相关土壤蛋白(glomalin related soil protein, GRSP)[6],又简称球囊霉素,具有土壤结构工程师的作用[7],AM 真菌的这些特点在土壤团聚体形成和稳定过程中的作用受到越来越多的重视[3,8]。

目前,国内关于 AM 真菌侵染影响土壤团聚体的研究还比较少[9]。本研究采用分根装置研究了 AM 真菌侵染小麦后,中性紫色土土壤团聚体数量、大小和稳定性的影响,并运用通径分析将各影响因子的大小进行量化,为进一步阐述其在农业生态系统中的作用提供理论依据。

## 1　材料与方法

### 1.1　试验材料

供试植物:小麦 *Triticum aestivuml*(绵阳 14 号)。

供试 AM 菌种:*Glomus mosseae* (*G. mosseae*)和 *Glomus intraradices* (*G. intraradices*)。两个菌种均来自中国农业大学资源环境学院,采用三叶草扩繁,接种剂含有 AMF 孢子、菌丝片段、侵染根段。

供试土壤为中性紫色土,采自重庆市北碚区西南农业大学后山。土壤为中生代侏罗系沙溪庙组灰棕紫色沙泥岩母质上发育的中性紫色土(紫色湿润雏形土),基本性状为 pH7.1;有机质 10.79 g/kg;全氮 0.78 g/kg;全磷 0.82 g/kg;全钾 20.54 g/kg;碱解氮 28.34 mg/kg;有效磷 10.91 mg/kg;速效钾 53.2 mg/kg。土壤经风干后,用 γ 射线灭菌以去除土壤中的微生物。

### 1.2　试验设计

试验所用装置如图 1 所示,为隔板分室系统。此装置采用 3mm 厚的有机玻璃板加工而成,规格为长 × 宽 × 高 = (5 + 5) cm × 10 cm × 15 cm,分为左右两个室,左室为根室,右室为菌根室。中间有一层长 14 cm,宽 10cm,厚 3 mm 的有机玻璃隔板。试验设置两种不同的菌种接种处理,5 个重复。

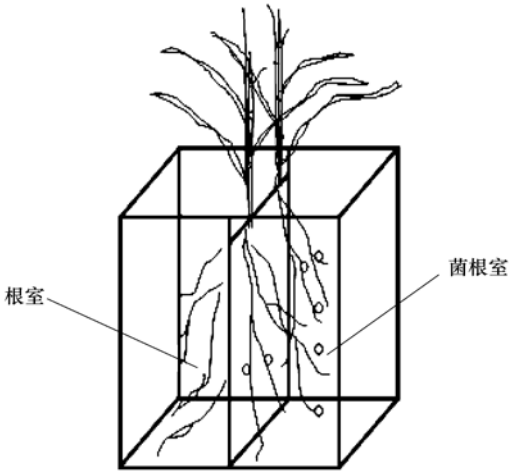


**图 1　分根装置示意图**

**Fig. 1　Split-root device**

实验小麦种子用 10% 的 $H_2O_2$ 消毒 10 min,去离子水冲洗后置于装有土: 沙 = 1∶1 的培养盆中,并用沙覆盖,浇足水分使之发芽。待小麦长出 5—10 cm 的根系时进行分根。每盒共加土壤 2 kg,在菌根室加入 100 g 接种剂,根室加入 100 g 灭菌的土沙混合物(菌剂为土沙混合物,为保持根室和菌根室的一致,在根室加入相同比例的灭菌土沙混合物)。先分别加 0.25 kg 土壤置于两分室底,将根系分成两部分分别置于两室中,然后在接种室加入与接种剂充分混合均匀的 0.5 kg 土壤,上面再加 0.25 kg 土壤。分别在两室浇水 150 mL,每天利用称重法浇水补足水分。实验在西南大学植物营养

培养内室进行,生物镝灯补充光照,人工控制光照时间(13 h/d)。

**1.3** 样品分析

盆栽 2 个月后收获,收获时样品地上部分和地下部分分开,菌根室和根室分开。将两个室中的土壤分别沿自然结构小心掰成小土块,拣出其中的根系,用水清洗干净,取一半根系剪成 1 cm 长根段,混匀后取鲜根约 1 g 测定根系侵染率。剩下的样品 105 ℃杀青半小时后 70 ℃烘干,用于生物量的测定。土壤样品风干备用。

土壤有机质含量的测定采用重铬酸钾外加热法($K_2Cr_2O_7$-$H_2SO_4$法)。土壤团聚体的分布状况采用筛分法[10]。菌根侵染率采用方格交叉法测定[11],菌丝密度的测定按照 Abbott 等人的方法进行[12]。

根据测定提取和检测条件的不同,Wright 等[13]将球囊霉素分为4 种,即总球囊霉素(Total glomalin, TG),易提取球囊霉素(Easily extractable glomalin, EEG),免疫反应性总球囊霉素(Immunoreactive total glomalin, IRTG),免疫反应性易提取球囊霉素(Immunoreactive easily extractable glomalin, IREEG)。本研究中测定了土壤的总球囊霉素(TG):称取 0.25 g 土壤加 2 mL pH8.0、50 mmol/L 柠檬酸钠浸提剂在 121 ℃下提取 90 min,然后在 10000 g 下离心 6min,移走上清液后,再加入等量的柠檬酸钠浸提剂,高温提取 60 min,同前面一样的条件离心并移走上清液,重复操作,连续提取5 次,每次重复的提取液收集起来后 10000 g 离心 10 min,上清液中的球囊霉素使用考马斯亮蓝法显色,牛血清蛋白作标准曲线。

**1.4** 数据处理

应用 SPSS 软件对试验数据进行单因素统计分析和通径分析,5% 水平下 LSD 多重比较检验各处理平均值之间的差异显著性。

平均重量直径(Mean weight diameter,*MWD*)和几何平均直径(Geometric mean diameter, *GMD*)都是基于不同粒径的团聚体的重量得到的,计算公式分别如下[14]:

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} x_i w_i \quad GMD = \exp\left[\left(\sum_{i=1}^{n} w_i \lg x_i\right) / \left(\sum_{i=1}^{n} w_i\right)\right]$$

式中,$x_i$是筛分出来的任一粒径范围团聚体的平均重量直径,$w_i$是任一粒径范围团聚体的重量占土壤样品干重的分数。

分形维数 $D$ 的计算采用杨培岭等[15]推导的公式:

$$\frac{W(\delta < \bar{d}_i)}{W_0} = \left(\frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{\max}}\right)$$

对上式两边取对数,即得:

$$\lg\left[\frac{W(\delta < \bar{d}_i)}{W_0}\right] = (3 - D)\lg\left(\frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{\max}}\right)$$

分别以 $\lg\left[\frac{W(\delta < \bar{d}_i)}{W_0}\right]$、$\lg\left(\frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{\max}}\right)$为纵、横坐标作图,$3 - D$ 即为 $\lg\left(\frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{\max}}\right)$和 $\lg\left[\frac{W(\delta < \bar{d}_i)}{W_0}\right]$实验直线的斜率,然后即可方便地求出土壤粒径分形维数 $D$。

式中,$\bar{d}_i$ 为某级团聚体平均直径,$W(\delta < \bar{d}_i)$表示粒径小于 $\bar{d}_i$ 的团聚体的重量,$W_0$ 为团聚体总重量 $\bar{d}_{\max}$为团聚体的最大粒径。

## 2 结果

**2.1** 菌根真菌侵染状况、土壤菌丝密度及植株生物量

菌根真菌侵染率、土壤菌丝密度及植株生物量如表 1 所示。接种 AM 真菌的菌根室均形成了菌根共生体,不接种的根室未能观察到菌根真菌侵染(表 1)。两种菌种的侵染率均在 40%—50% 之间,差异不显著。接种 *G. mosseae* 的菌根室菌丝密度为 74.0 cm/g,显著高于接种 *G. intraradices* 的菌根室,比后者高 151%。但在所有的处理中,根系干重差异不显著,试验处理未对根系的生物量产生显著作用。

**2.2** 土壤有机质含量

土壤有机质参与土壤结构的形成,有利于提高土壤稳定性[16]。由表 2 可知,接种这两种菌种的菌根室有

机质含量均有高于根室的趋势。

**表 1　分根装置中接种菌根真菌的小麦地上部、根系干重及菌根真菌侵染强度**

**Table 1　Shoot dry weight, root dry weight and frequency of mycorrhiza of non-mycorrhizal and mycorrhizal wheat plants in the split-root system**

| 接种处理 Mycorrhizal status | | 地上部干重 Shoot dry weight /g | 根系干重 Root dry weight /g | 侵染率 Rate of inoculation /% | 菌丝密度 Length of hyphae /(cm/g) |
|---|---|---|---|---|---|
| *G. intraradices* | 根室 Roots room | 4.63 a | 0.162 a | ND | ND |
| | 菌根室 Mycorrhizas room | | 0.191 a | 46.8 a | 33.4 b |
| *G. mosseae* | 根室 Roots room | 4.40 a | 0.204 a | ND | ND |
| | 菌根室 Mycorrhizas room | | 0.183 a | 45.7 a | 74.0 a |

表中数值为 5 个重复的平均值,其后的不同字母代表 5% 水平上的差异显著性

**表 2　分根装置中土壤有机质和总球囊霉素土壤相关蛋白含量**

**Table 2　Organic matter and TG concentration in the split-root system**

| 接种处理 Mycorrhizal status | | 有机质 Organic matter concentration /(g/kg) | 总球囊霉素 Total glomalin concentration /(g/kg) |
|---|---|---|---|
| *G. intraradices* | 根室 Roots room | 11.08 a | 6.89 a |
| | 菌根室 Mycorrhizas room | 11.48 a | 7.45 a |
| *G. mosseae* | 根室 Roots room | 11.36 a | 7.33 a |
| | 菌根室 Mycorrhizas room | 11.52 a | 8.04 a |

表中数值为 5 个重复的平均值,其后的不同字母代表 5% 水平上的差异显著性

### 2.3　总球囊霉素相关土壤蛋白含量

由表 2 可知,接种处理均有提高菌根室 TG 含量的趋势,与土壤有机质含量相对应的,接种 *G. mosseae* 的 TG 含量也较高。

### 2.4　土壤各级团聚体含量和分布

通常将团聚体分为 >0.25 mm 的大团聚体和 <0.25 mm 的微团聚体,不同大小团聚体的稳定性存在差异。一般把 >0.25 mm 的团聚体称为土壤团粒结构体,其数量与土壤的肥力状况呈正相关[17]。干筛法获得的是原状土壤中团聚体的总体数量,这些团聚体包括非水稳性团聚体和水稳性团聚体。如表 3 所示,在干筛法中,接种 *G. mosseae* 的菌根室内 >0.25 mm 的团聚体含量显著高于根室,增加了 4.9%,菌根室与根室内的这种差异又主要体现在 >10 mm 的这一粒级上。接种 *G. intraradices* 的处理也有相同的趋势。

**表 3　分根装置中各级团聚体含量**

**Table 3　Content of the different sizes of soil aggregates in the split-root system**

| 菌株 Isolates | 处理 Treatments | 各级团聚体含量 Content of soil aggregates/% | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | >10mm | 10—7mm | 7—5mm | 5—3mm | 3—2mm | 2—1mm | 1—0.5mm | 0.5—0.25mm |
| 干筛 Dry sieving | | | | | | | | | |
| *Glomus* | 菌根室 | 22.2 b | 13.5 a | 11.2 a | 20.8 a | 5.28 a | 9.54 ab | 6.40 ab | 3.78 a |
| *intraradices* | 根室 | 15.9 c | 13.7 a | 11.9 a | 22.1 a | 5.92 a | 10.5 a | 7.30 a | 4.16 a |
| *Glomus* | 菌根室 | 26.8 a | 13.0 a | 12.0 a | 20.8 a | 5.34 a | 8.98 b | 5.28 b | 2.60 b |
| *mosseae* | 根室 | 20.7 c | 14.1 a | 11.7 a | 21.5 a | 5.50 a | 9.58 ab | 6.52 ab | 3.58 ab |
| 湿筛 Wet sieving | | | | | | | | | |
| *Glomus* | 菌根室 | | | 5.48 ab | 3.95 a | 1.49 a | 7.60 a | 6.92 b | 5.87 b |
| *intraradices* | 根室 | | | 1.81 c | 3.12 a | 1.39 a | 7.21 a | 8.33 a | 8.30 a |
| *Glomus* | 菌根室 | | | 7.57 a | 4.22 a | 1.31 a | 7.44 a | 6.86 b | 6.83 b |
| *mosseae* | 根室 | | | 4.46 bc | 3.95 a | 1.23 a | 6.54 a | 6.41 b | 6.60 b |

表中数值为 5 个重复的平均值,其后的不同字母代表 5% 水平上的差异显著性

湿筛法获得的是土壤中的水稳性团聚体,水稳性团聚体对保持土壤结构的稳定性有重要的贡献。湿筛处理下,>0.25 mm 的团聚体含量最高为接种 *G. mosseae* 的菌根室,为 33.8%,远小于干筛处理下的 94.9%,说明该土壤的土壤团聚体大部分为非水稳性团聚体,水稳性团聚体的数量较少。从表 3 可知,接种 *G. mosseae* 的菌根室内 >0.25mm 水稳性团聚体含量显著高于其根室,增幅达 15.7%,且每一级团聚体都表现出接种 AM 真菌增加团聚体数量的趋势。接种 *G. intraradices* 的处理总体上两室差异不显著,但菌根室 >1 mm 的水稳性团聚体含量均有高于对应根室的趋势,统计结果表明 >5 mm 的含量达到了显著水平。

总之,对于供试土壤,接种 *G. mosseae* 和 *G. intraradices* 均有利于团聚体的形成和稳定,而接种 *G. mosseae* 能更好的体现菌根的这种效应。

MWD 是各级团聚体的综合指标,其值随着大粒级团聚体含量的增加而增大;其值越大,说明团聚体稳定性较好。GMD 是对团聚体在主要粒级分布的描述,其值越大,团聚体含量在大粒级上的分布越多,孔隙度则越好[18]。

从表 4 可知,干筛处理下,接种 *G. mosseae* 的菌根室 MWD 和 GMD 均显著高于相应的根室。接种 *G. mosseae* 的菌根室 MWD 和 GMD 均最大,比其根室分别高出 17.9% 和 35.1%。湿筛处理下表现出了相同的变化规律,接种 *G. mosseae* 的菌根室 MWD 和 GMD 均最大,分别为 0.925 和 0.296。湿筛法测得的 MWD 和 GMD 远小于干筛法,这是由于在水的浸泡下大量的非水稳性团聚体分解的结果。

土壤团粒结构粒径分布的分形维数反映了土壤水稳性团聚体及水稳性大团聚体含量对土壤结构与稳定性的影响趋势,团粒结构粒径分布的分形维数愈小,则土壤愈具有良好的结构与稳定性[19]。干筛处理下,接种 *G. mosseae* 的菌根室分形维数显著低于其根室,并为所有处理的最低值 2.30,接种 *G. intraradices* 的菌根室分形维数也有小于其根室的趋势。湿筛处理下各处理间也呈现相同的规律,但分形维数高于干筛处理。

**表 4 分根装置中土壤团聚体平均重量直径、几何平均直径和分形维数**

**Table 4 MWD, GMD and fractal dimension of water-stable aggregates in the split-root system**

| 处理 Treatments | 菌株 Isolates | 平均重量直径 *MWD*/mm | 几何平均直径 *GMD*/mm | 分形维数 *D* |
|---|---|---|---|---|
| 干筛 Dry sieving | | | | |
| *Glomus intraradices* | 菌根室 | 5.76 b | 3.37 b | 2.41 a |
| | 根室 | 5.13 c | 2.92 b | 2.43 a |
| *Glomus mosseae* | 菌根室 | 6.33 a | 4.08 a | 2.30 b |
| | 根室 | 5.37 bc | 3.02 b | 2.45 a |
| 湿筛 Wet sieving | | | | |
| *Glomus intraradices* | 菌根室 | 0.797 ab | 0.270 ab | 2.90 b |
| | 根室 | 0.557 c | 0.237 c | 2.90 ab |
| *Glomusmosseae* | 菌根室 | 0.925 a | 0.296 a | 2.90 b |
| | 根室 | 0.716 bc | 0.251 bc | 2.91 a |

*MWD*: Mean weight diameter, *GMD*: Geometric mean diameter, *D*: Dimension

## 2.5 通径分析

通径分析就是把自变量与因变量之间的相关分解为该自变量对依变量的直接影响和通过其它相关的自变量对依变量的间接影响的分析过程, 自变量对因变量的直接影响程度用通径系数来度量。通径分析最常用在遗传育种学中,但 1998 年 Jastrow 等人[20]首次说明了其在丛枝菌根对土壤团聚体形成分析中的可行性。

本研究对可能影响土壤团聚体平均重量直径的 4 个因素的进行了通径分析分析,如表 5 所示,$X_1$、$X_2$、$X_3$、$X_4$、$X_5$分别表示侵染率、菌丝密度、根系干重、土壤有机质含量和 GRSP 含量。从表 4 可知,侵染率对干筛和湿筛 *MWD* 的直接通径系数均较小,但是其通过其他因素的间接通径系数(特别是通过菌丝密度)之和较大,说明侵染率对 MWD 的影响主要是间接效应。菌丝密度对干筛和湿筛 *MWD* 的直接通径系数均较大,而通过其他因素对 *MWD* 的间接通径系数之和较小,说明菌丝密度对 *MWD* 有强烈的直接效应。根系干重对干筛和湿

筛 *MWD* 的直接通径系数均为负数,并且通过其他因素的间接通径系数之和也较小,未能抵消直接相关系数的负值,说明根系干重与 *MWD* 呈负相关。土壤有机质含量对干筛和湿筛 *MWD* 的直接通径系数均为负数,但是其对干筛 *MWD* 的间接通径系数之和为正,抵消后其对干筛 *MWD* 的相关系数为 0.133,而对湿筛的 *MWD* 的间接通径系数较小,未能抵消直接通径系数的负值。GRSP 含量对干筛和湿筛的直接通径系数较小,但是加上其通过其他因素的间接通径系数,其与 *MWD* 呈正相关,相关系数分别为 0.250 和 0.132。

综合上述分析可知,菌丝密度对干筛 *MWD* 和湿筛 *MWD* 有着直接的效应,相关系数分别为 0.813 和 0.639。侵染率、土壤有机质含量和 GRSP 含量对干筛 *MWD* 有间接的效应,相关系数依次为:侵染率 > GRSP 含量 > 土壤有机质含量。侵染率和 GRSP 含量对湿筛 *MWD* 有间接的效应,相关系数为:侵染率 > GRSP 含量。

**表 5　土壤团聚体平均重量直径(*MWD*)影响因素的通径分析**

**Table 5　Path analysis of the impact factors of *MWD***

| 因变量 Dependent variable | 自变量 Independent variable | 侵染率 Rate of inoculation/% ($X_1$) | 菌丝密度 Length of hyphae /(cm/g) ($X_2$) | 根系干重 Root dry weight /g ($X_3$) | 土壤有机质含量 Organic matter /(g/kg) ($X_4$) | 总球囊霉素含量 Total glomalin /(g/kg) ($X_5$) | 总和 Summa-tion |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 干筛平均重量直径 | $X_1$ | 0.068* | 0.626 | −0.008 | −0.001 | 0.027 | 0.712 |
| MWD of dry sieving | $X_2$ | 0.058 | 0.734* | −0.000 | −0.001 | 0.023 | 0.813 |
| | $X_3$ | 0.004 | 0.001 | −0.122* | 0.002 | 0.025 | −0.090 |
| | $X_4$ | 0.004 | 0.098 | 0.020 | −0.010* | 0.020 | 0.133 |
| | $X_5$ | 0.017 | 0.155 | −0.028 | −0.002 | 0.108* | 0.250 |
| 湿筛平均重量直径 | $X_1$ | −0.022* | 0.577 | −0.001 | −0.018 | 0.009 | 0.545 |
| MWD of wet sieving | $X_2$ | −0.019 | 0.677* | −0.000 | −0.026 | 0.008 | 0.639 |
| | $X_3$ | −0.001 | 0.001 | −0.020* | 0.033 | 0.008 | 0.021 |
| | $X_4$ | −0.002 | 0.090 | 0.003 | −0.196* | 0.007 | −0.097 |
| | $X_5$ | −0.005 | 0.143 | −0.005 | −0.037 | 0.036* | 0.132 |

* 为直接通径系数

## 3　讨论

此研究利用小麦分根装置研究了紫色中性土中接种不同 AM 真菌后土壤菌丝密度、土壤有机质和 GRSP 含量以及土壤团聚体数量、稳定性和大小分布的变化。分根装置最初是用于作物养分和水分的研究[21],本研究中,利用此装置在相同的植株生长状况下将非菌根根系和菌根根系分开,结果显示接种 AM 真菌显著增加了 *MWD* 和 *GMD*,说明接种处理显著地增加了大粒级团聚体数量(表 3);同时降低了土壤的分形维数(表 4),反映了水稳性团聚体数量的增加,土壤具有良好的结构和稳定性,土壤结构特征得到提升。在此试验条件下,考虑到接种 *G. intraradices* 和 *G. mosseae* 的菌根室和非菌根室根系的干重差异不显著(表 1),AM 真菌侵染宿主植物后产生的一系列影响是引起上述土壤结构特点变化的原因。

菌根共生体建立以后,形成大量的菌根菌丝(表 1),但相对于其它试验条件下土壤中菌丝密度值,本研究中得到的值较小,这是与土壤类型以及盆栽受到的各种条件限制分不开的,Johnson 等[22] 与 Qiang S W 等[23] 也得到了类似的结果。菌丝在土壤中形成的庞大菌丝网络构成了一个巨大的碳库, 不断地吸引着植物的光合产物流入土壤[24],而 AM 真菌影响土壤结构的机制是建立在进入土壤中的碳通量及有机质等和碳有关的代谢基础上的。正如试验结果所表明的,接种 AM 真菌后土壤有机质有增加的趋势(表 2)。在增加的土壤有机质中,GRSP 是一类重要的物质,据统计,GRSP 约占土壤有机碳的 5%[25-26],在此研究中菌根室 TG 的增加趋势正是说明了此点。另外,结果显示土壤 GRSP 数值在 6.89—8.04 g/kg 之间(表 2),略高于他人的研究[25],是因为研究中测定了 TG 含量来表示 GRSP 含量,难以排除土壤中存在的非球囊霉素蛋白的影响,从而造成数值偏高。

通径分析结果表明,侵染率对团聚体的形成和稳定有促进作用,其对干筛和湿筛 *MWD* 均有较大的正效

应,但这种作用主要来自其它影响因子的间接作用,而非对 *MWD* 的直接作用。根系干重对湿筛 *MWD* 的影响较小,甚至对干筛 *MWD* 有负效应,源于团聚体的形成和稳定与菌根量相关而不是根系总量[27]。

菌丝密度对干筛和湿筛 MWD 的通径分析的总效应为 0.813 和 0.639,且其直接作用数值与其它影响因素相比为最高(0.734, 0.677),说明了菌丝在土壤团聚体形成过程中的作用。Jastrow 等人[20]利用 path analysis 分析在影响团聚体稳定性的根系、菌丝、微生物量碳、土壤有机碳等诸多因子中,菌丝具有最重要的直接作用。菌丝将土壤彼此机械的缠绕在一起而形成团聚体[28],随着菌丝长度的增加,土壤团聚体稳定性也相应增强,因此丛枝菌根对土壤团聚体的影响因素中,菌种差异主要表现在菌丝量的不同[27]。结果显示,接种 *G. mosseae* 后土壤中的菌丝密度是接种 *G. intraradices* 的 2.15 倍,这是在此研究中接种 *G. mosseae* 的菌根室,无论是 >0.25mm 的团粒结构数量还是团聚体稳定性都高于接种 *G. intraradices* 的菌根室的主要原因。

GRSP 黏附土壤颗粒的能力较其它热水提取的土壤碳水化合物强 3—10 倍[6],这种很强的粘性,能够把小的土壤颗粒粘成直径 <0.25 mm 的微团聚体,进而形成大聚合体,最后形成一个较小的含有泥土、淤泥、沙石及矿物质和有机质等成分的土壤单位,因此 GRSP 促进土壤团聚体的形成和稳定而见诸于相关报道[7],Hontoria 等人[29]在对耕地和废弃荒地土壤进行的研究中发现,稳定性团聚体内 GRSP 含量是非稳定性团聚体内含量的 2 倍。本研究发现,接种 *G. intraradices* 和 *G. mosseae* 均有增加菌根室 GRSP 含量的趋势,且通径分析结果显示 GRSP 对干筛和湿筛 MWD 均有正效应,说明了 GRSP 对土壤团聚形成的促进作用。

在此试验条件下不同的菌种表现出差异性,接种 *G. mosseae* 对 MWD、GMD 及分形维数的效应均优于 *G. intraradices*,因此,在将 AM 真菌用于土壤质量的改善时,有必要筛选最有效的菌种,以获得更高的作用。另外,本研究中只选择一种类型土壤(中性紫色土),因此在进一步的研究中,需要验证更多的土壤类型对丛枝菌根真菌的反应,采取合适的试验方法定量菌丝和 GRSP 等影响因子的作用,揭示丛枝菌根真菌侵染对土壤结构作用机制。

**References:**


[1] Dexter A R. Advances in characterization of soil structure. Soil and Tillage Research, 1988, 11:199-238.

[2] Wang Q K, Wang S L. Forming and stable mechanism of soil aggregate and influencing factors. Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36: 415-421.

[3] Bronick C J, Lai R. Soil structure and management: a review. Geoderma, 2005, 124: 3-22.

[4] Li X L, Feng G. Ecology and Physiology of VA Mycorrhizaes. Beijing: Huawen Press, 2001.

[5] Song Y C, Li X L, Feng G, Zhang F S. A simple demonstration of acid phosphatase activity in the mycorrhial-sphere and hyphal- sphere. Chinese Science Bulletin, 2000, 50(1): 187-191.

[6] 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: 97-107.

[7] Rillig M C. Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem process. Ecology Letters, 2004, 7: 740-754.

[8] Feng G, Zhang Y F, Li X L. Effect of external hyphae of arbuscular mycorrhizal plant on water-stable aggregates in sandy soil. Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 15: 99-102.

[9] Rillig M C, Mummery D. Mycorrhizas and soil structure. New Phytologist, 2006, 171: 41-53.

[10] Kemper W D, Rosenau R C. Aggregate stability and size distribution// Klute A ed. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed, WI: Agronomy Monograph American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, 1986: 425-442.

[11] Giovannetti M, Mosse B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytologist, 1980, 84: 489-500.

[12] Abbott L K, Robson A D, De Boer G, The effect of phosphorus on the formation of hyphae in soil by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, Glomus fasciculuntm. New Phytologist, 1984, 97: 437-446.

[13] Wright S F, Franke S M, Morton J B, Upadhyaya A. Time course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mcyrrohzal fungi during active colonization of roots. Plant and Soil, 1996, 181: 193-203.

[14] Shao M A, Wang Q J, Huang M B. Soil Physics. Beijing: Higher Education Press, 2006.

[15] Yang P L, Luo Y P, Shi Y C. Use the weight-size distribution to characterize the soil fractal features. Chinese Science Bulletin, 1993, 38: 1896-

1899.

[16] Peng X H, Zhang B, Zhao Q G. A review on relationship between soil organic carbon pools and soil structure stability. Acta Pedologica Sinica, 2004,41: 618-622.

[17] Six J, Elliott E T, Paustian K. Soil structure and soil organic matter Ⅱ. A normalized stability index and the effect of mineralogy. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64: 1042-1049.

[18] Nimmo J R, Perkins K S. Aggregates stability and size distribution // Methods of Soil Analysis, Part 4-Physical Methods. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America, Inc., 2002: 317-328.

[19] Wu C Z, Hong W. Study on fractal features of soil aggregate structure under different management patterns. Acta Pedologica Sinica, 1999, 36: 162-167.

[20] Jastrow J D, Miller R M, Lussenhop J. Contributions of interacting biological menchanisms to soil aggregates stabilization in restored prairie. Soil Biology Biochemistry, 1998, 30: 905-916.

[21] Mao D R. Plant Nutrition Research Methods. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1994.

[22] Johnson D, Leake J R, Read D J. Novel in growth core system enables functional studies of grassland mycorrhizal mycelial network. New Phytologist, 2001, 152: 555-562.

[23] Qiang S W, Ren X X, Ying N Z. Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. Soil Biology, 2008, 44: 122-128.

[24] Jakobsen I, Rosendah L. Carbon flow into soil and external hyphal from roots of mycorrhizal cucumber plants. New Phytologist, 1990, 115: 77- 83.

[25] Treseder K, Turner K M. Glomalin in ecosystems. Soil Science Society of America Journal, 2007, 71: 1257-1266.

[26] Rillig M C, Maestre F T, Lamit L J. Microsite difference in gungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35:1257-1260.

[27] Bedini S, Pellegrino E, Avio L, Pellegrini S, Bazzoffi P, Argese E, Giovannetti M. Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhizal fungal species *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*. Soil Biology and Biochemistry, 2009, 41: 1491-1496.

[28] Tisdall J M, Oades J M. Organic matter and water-stables aggregates in soils. Journal of Soil Science, 1982, 33: 141-163.

[29] Hontoria C, Velasquez R, Benito M, Almorox J, Moliner A. Bradford-reactive soil proteins and aggregate stability under abandoned versus tilled olive groves in a semi-arid calcisol. Soil Biology and Biochemistry, 2009, 41: 1583-1585.

**参考文献:**

[2] 王清奎,汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素. 土壤通报,2005, 36: 415-421.

[4] 李晓林, 冯固. 丛枝菌根生态生理. 北京: 华文出版社, 2001.

[5] 宋勇春, 李晓林, 冯固, 张福锁. 根际及菌丝酸性磷酸酶活性的简易测定. 科学通报, 2000, 50 (1):187- 191.

[8] 冯固, 张玉凤, 李晓林. 丛枝菌根真菌的外生菌丝对土壤水稳性团聚体形成的影响. 水土保持学报,2001, 15: 99-102.

[14] 邵明安,王全九,黄明斌. 土壤物理学. 北京:高等教育出版社,2006.

[15] 杨培岭, 罗远培, 石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征. 科学通报, 1993, 38: 1896-1899.

[16] 彭新华, 张斌, 赵其国. 土壤有机碳库与土壤结构稳定性关系的研究进展. 土壤学报,2004,41:618-622.

[20] 吴承祯,洪伟. 不同经营模式土壤团粒结构的分形特征研究. 土壤学报,1999,36:162-167.

[21] 毛达如. 植物营养研究方法. 北京:北京农业大学出版社,1994.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 2 January, 2011 (Semimonthly)

## CONTENTS

Sex ratio and spatial pattern in *Populus davidiana* in Changbai Mountain ····· PAN Chunfang, ZHAO Xiuhai, XIA Fucai, et al (297)
The relationship between freeze-tolerance and changes in activities of antioxidant enzymes and osmolyte content in the leaves of white clover during early winter freeze-thaw cycles ····· ZHAO Mei, ZHOU Ruilian, LIU Jianfang, et al (306)
Gray correlation analysis on naturalness of the primary forest types on the Losses Plateau ····· WANG Naijiang, LIU Zengwen, XU Zhao, et al (316)
Photosynthetical responses of *Gracilaria lemaneiformis* to two antibiotics ····· JIAN Jianbo, ZOU Dinghui, LIU Wenhua, et al (326)
Litter C:N:P ecological stoichiometry character of plant communities in typical Karst Peak-Cluster Depression ····· PAN Fujing, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (335)
Effects of groundwater depth on the gas exchange and chlorophyll fluorescence of *Populus euphratica* in the lower reaches of Tarim River ····· CHEN Yapeng, CHEN Yaning, XU Changchun, et al (344)
Monitoring and assessment of vegetation variation in Northern Shaanxi based on MODIS/NDVI ····· SONG Fuqiang, XING Kaixiong, LIU Yang, et al (354)
Effects of fire on the structure of herbage synusia vegetation in desertified steppe, North China ····· HE Haoyu, SU Jieqiong, HUANG Lei, et al (364)
Physiological responses of four broadleaved seedlings to drought stress simulated by PEG ····· FENG Huifang, XUE Li, REN Xiangrong, et al (371)
Effects of the different width of urban green belts on the temperature and humidity ····· ZHU Chunyang, LI Shuhua, JI Peng, et al (383)
Diversity of waterbirds and change in home range of bar-headed geese *Anser indicus* during breeding period at Hangcuo Lake of Tibet, China ····· ZHANG Guogang, LIU Dongping, QIAN Fawen, et al (395)
The habitat selection of Giant panda in Wanglang Nature Reserve, Sichuan Province, China ····· KANG Dongwei, KANG Wen, TAN Liuyi, et al (401)
Effects of vigilance on the patterns of functional responses of foraging in voles (*Microtus fortis*) ····· TAO Shuanglun, YANG Xifu, DENG Kaidong, et al (410)
Influence of heavy metal pollution on soil animal community in Luqiao, Taizhou City ····· BAI Yi, SHI Shidi, QI Xin, et al (421)
Annual quantitative distribution of meiofauna in relation to sediment environment in Qingdao Bay ····· DU Yongfen, XU Kuidong, LEI Yanli, et al (431)
Population genetic variations and phylogeography of *Macropodus opercularis* ····· WANG Peixin, BAI Junjie, HU Yinchang, et al (441)
Contribution of $C_3$ and $C_4$ host plants for the overwintering and 1st generation of *Helicoverpa armigera* (Hübner) in Northern China ····· YE Lefu, FU Xue, GE Feng (449)
Relationships between two species of insect pests and their natural enemies in tea gardens of three different altitudes ····· BI Shoudong, KE Shengbing, XU Jinfeng, et al (455)
The diversity of ground-dwelling beetles at cultivated land and restored habitats on the Bashang plateau ····· LIU Yunhui, YU Zhenrong, WANG Changliu, et al (465)
Characteristics of soil microbial communities under dry and wet condition in Zoige alpine wetland ····· NIU Jia, ZHOU Xiaoqi, JIANG Na, et al (474)
Microbial diversity of the jujube(*Zizyphus jujuba* Mill.) fruits surface during harvesting and storage stages ····· SHA Yuexia (483)
Effects of powdery mildew infection on zucchini growth under elevated $CO_2$ and temperature ····· LIU Junzhi, GE Yaming, Pugliese Massimo, et al (491)
Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on soil aggregation dynamics of neutral purple soil ····· PENG Sili, SHEN Hong, YUAN Junji, et al (498)
The bacterial community structures in Xinjiang fault belt spring analyzed by PCR-DGGE ····· WU Jiangchao, GAO Xiaoqi, ZENG Jun, et al (506)
The impact of oil pollution on marine phytoplankton community growth change ····· HUANG Yijun, CHEN Quanzhen, ZENG Jiangning, et al (513)
Root morphological and physiological responses of rice seedlings with different tolerance to cadmium stress ····· HE Junyu, REN Yanfang, WANG Yangyang, et al (522)
Non-point pollution control for landscape conservation analysis based on CLUE-S simulations in Miyun County ····· PAN Ying, LIU Yunhui, WANG Jing, et al (529)
Analysis on ecological land rent based on ecological footprint ····· LONG Kaisheng, CHEN Ligen, ZHAO Yali (538)
Relationship of vegetation degradation classification and landscape accessibility classification in Shenzhen ····· LIU Yufan, CHEN Xue, LI Guicai, et al (547)

**Review and Monograph**

Risk management approaches for environmental and human health risks in the United States and Canada ····· HE Guizhen, LÜ Yonglong (556)
Plant wax and its response to environmental conditions: an overview ····· LI Jingjing, HUANG Junhua, XIE Shucheng (565)
Acid corrosion mechanism of the sulfate-reducing bacteria and protecting studies in oilfield ····· ZHUANG Wen, CHU Liye, SHAO Hongbo (575)
Advance in the research of phyllospheric microorganism ····· PAN Jiangang, HU Qing, QI Hongyan, et al (583)

# 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 2 期　（2011 年 1 月）

ACTA ECOLOGICA SINICA
（Semimonthly，Started in 1981）
Vol. 31　No. 2　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
主　　编　冯宗炜
主　　管　中国科学技术协会
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
出　　版　科　学　出　版　社
地址：北京东黄城根北街 16 号
邮政编码：100717
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@ cspg. 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
广告经营许可证　京海工商广字第 8013 号

**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
**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
**Published** by Science Press
Add：16 Donghuangchenggen North Street，
Beijing　100717，China
**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@ cspg. net
**Domestic** All Local Post Offices in China
**Foreign** China International Book Trading
Corporation
Add：P. O. Box 399 Beijing 100044，China

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