

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

# 生态学报

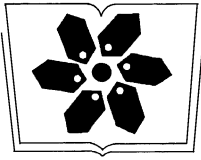
## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第5期 Vol.32 No.5 **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 5 期      2012 年 3 月 (半月刊)

## 目 次

淀山湖富营养化过程的统计学特征 .....	程 曦, 李小平, 陈小华 (1355)
拟水狼蛛对食物中镉的吸收和排泄及生物学响应 .....	张征田, 张光铎, 张虎成, 等 (1363)
接种后共培养时间对丛枝菌根喜树幼苗喜树碱含量的影响 .....	于 洋, 于 涛, 王 洋, 等 (1370)
沙尘暴发生日数与空气湿度和植物物候的关系——以民勤荒漠区为例 .....	常兆丰, 王耀琳, 韩福贵, 等 (1378)
西藏牦牛 mtDNA D-loop 区的遗传多样性及其遗传分化 .....	张成福, 徐利娟, 姬秋梅, 等 (1387)
红松阔叶混交林林隙土壤水分分布格局的地统计学分析 .....	李 猛, 段文标, 陈立新, 等 (1396)
黄土丘陵区子午岭不同植物群落下土壤氮素及相关酶活性的特征 .....	邢肖毅, 黄懿梅, 黄海波, 等 (1403)
毛竹高速生长期土壤碳氮动态及其微生物特性 .....	王雪芹, 张奇春, 姚槐应 (1412)
长期 N 添加对典型草原几个物种叶片性状的影响 .....	黄菊莹, 余海龙, 袁志友, 等 (1419)
接种 AMF 对菌根植物和非菌根植物竞争的影响 .....	张宇亭, 王文华, 申 鸿, 等 (1428)
福州大叶榕隐头果内的小蜂群落结构与多样性 .....	吴文珊, 陈友铃, 蔡美满, 等 (1436)
不同生境朝鲜淫羊藿生长与光合特征 .....	张永刚, 韩 梅, 韩忠明, 等 (1442)
基于日均温度的华山松径向生长敏感温度研究 .....	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (1450)
长江三峡库区蝶类群落的等级多样性指数 .....	马 琦, 李爱民, 邓合黎 (1458)
甜瓜幼苗叶片光合变化特性 .....	韩瑞锋, 李建明, 胡晓辉, 等 (1471)
双季稻田种植不同冬季作物对甲烷和氧化亚氮排放的影响 .....	唐海明, 肖小平, 帅细强, 等 (1481)
古尔班通古特沙漠西部地下水位和水质变化对植被的影响 .....	曾晓玲, 刘 彤, 张卫宾, 等 (1490)
流溪河水库颗粒有机物及浮游动物碳、氮稳定同位素特征 .....	宁加佳, 刘 辉, 古滨河, 等 (1502)
采用本土蔬菜种子替代水藓评价污泥有机腐熟度 .....	刘颂颂, 许田芬, 吴启堂, 等 (1510)
人为营养物质输入对汉丰湖不同营养级生物的影响——稳定 C、N 同位素分析 .....	李 斌, 王志坚, 金 丽, 等 (1519)
流沙湾海草床海域浮游植物的时空分布及其影响因素 .....	张才学, 陈慧妍, 孙省利, 等 (1527)
福寿螺的过冷却研究 .....	赵本良, 章家恩, 罗明珠, 等 (1538)
水稻生育期对褐飞虱和白背飞虱卵巢发育及起飞行为的影响 .....	陈 宇, 傅 强, 赖凤香, 等 (1546)
绿盲蝽越冬卵的耐寒能力 .....	卓德干, 李照会, 门兴元, 等 (1553)
陆桥岛屿环境下社鼠种群数量的估算方法 .....	张 旭, 鲍毅新, 刘 军, 等 (1562)
北京市居民食物消费碳足迹 .....	吴 燕, 王效科, 逯 非 (1570)
社会经济系统磷物质流分析——以安徽省含山县为例 .....	傅银银, 袁增伟, 武慧君, 等 (1578)
内陆河流域试验拍卖水权定价影响因素——以黑河流域甘州区为例 .....	邓晓红, 徐中民 (1587)
<b>专论与综述</b>	
台风对森林的影响 .....	刘 斌, 潘 澜, 薛 立 (1596)
海洋酸化对珊瑚礁生态系统的影响研究进展 .....	张成龙, 黄 晖, 黄良民, 等 (1606)
三种外来入侵斑潜蝇种间竞争研究进展 .....	相君成, 雷仲仁, 王海鸿, 等 (1616)
沉积物生源要素对水体生态环境变化的指示意义 .....	于 宇, 宋金明, 李学刚, 等 (1623)
异化 Fe(III) 还原微生物研究进展 .....	黎慧娟, 彭静静 (1633)
<b>问题讨论</b>	
锡林郭勒盟生态脆弱性 .....	徐广才, 康慕谊, Marc Metzger, 等 (1643)
<b>研究简报</b>	
哥斯达黎加外海夏季表层浮游动物种类组成及分布 .....	刘必林, 陈新军, 贾 涛, 等 (1654)



**封面图说:** 气候变暖下的北极冰盖——自从 1978 年人类对北极冰盖进行遥感监测以来, 北极冰正以平均每年 8.5% 的速度持续缩小, 每年 1500 亿吨的速度在融化。这使科学家相信, 冰盖缩小的根本原因是全球变暖。北极的冰盖消失, 让更大面积的深色海水暴露出来, 使海水吸收更多太阳热辐射反过来又加剧冰盖融化。由于北极冰的加速融化, 北冰洋的通航已经成为 21 世纪初全球最重要的自然地理事件和生态事件。从这张航片可以看到北极冰缘正在消融、开裂崩塌的现状。

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

DOI: 10.5846/stxb201101180094

张宇亭, 王文华, 申鸿, 郭涛. 接种 AMF 对菌根植物和非菌根植物竞争的影响. 生态学报, 2012, 32(5): 1428-1435.

Zhang Y T, Wang W H, Shen H, Guo T. Influence of arbuscular mycorrhizal associations on the interspecific competition between mycorrhizal and non-mycorrhizal plants. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(5): 1428-1435.

## 接种 AMF 对菌根植物和非菌根植物竞争的影响

张宇亭, 王文华, 申 鸿, 郭 涛\*

(西南大学资源环境学院, 重庆 400716)

**摘要:**为了研究丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhizal fungus, AMF)对菌根植物与非菌根植物种间竞争的影响,以玉米(菌根植物)和油菜(非菌根植物)作为供试植物,分别进行间作、尼龙网分隔和单作,模拟这两种植物之间不同的竞争状态,接种丛枝菌根真菌 *Glomus intraradices* 和 *Glomus mosseae*,比较菌根植物和非菌根植物的生长和磷营养状况,分析 AMF 侵染对植物种间竞争作用的影响。结果显示,与单作相比,间作模式下玉米的生物量及磷营养状况有所降低,但其菌根依赖性却有所提高。与不接种相比,接种处理显著降低了间作体系油菜根系的磷含量和磷吸收量,但趋于改善菌根植物玉米的磷营养状况。因此,接种 AMF 可以降低非菌根植物的磷营养状况及生物量,使得菌根植物的相对竞争能力明显提高,说明 AMF 在维持物种多样性方面有着重要的作用。

**关键词:**生长;磷;相对竞争能力;养分竞争比率;丛枝菌根真菌

## Influence of arbuscular mycorrhizal associations on the interspecific competition between mycorrhizal and non-mycorrhizal plants

ZHANG Yuting, WANG Wenhua, SHEN Hong, GUO Tao\*

College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China

**Abstract:** More than 85% of terrestrial plant species associate with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). Most plant individuals stimulate nutrient availability through their fungal partner. Highly mycorrhizal-dependent plant species derive more benefits from AMF in comparison with plant species with a relatively low mycorrhizal dependency. Until recently, the effects of AMF on the competition between mycorrhizal and non-mycorrhizal plants (with high phosphate foraging ability) remained largely unclear, particularly in an environment with low phosphate bioavailability.

Mycorrhizal effects on plant interactions are most likely due to alterations in the soil nutrient availability. AMF colonization could increase nutrient (particularly phosphate) availability for host plants and consequently increase plant biomass. The larger plants are then expected to be successful competitors.

In the present study, maize (*Zea mays* L.) and rape (*Brassica napus* L.) plants were cultivated in three different interaction status, namely monoculture, intercropping and nylon net split. All the plants were inoculated with *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae* or remained uninoculated. The strength of competition is measured as the reduction in biomass caused by the presence of a competitor. The results showed that maize growth and mineral nutrition was suppressed, while the mycorrhizal dependency increased to some extent, in intercropping compared with monoculture system. In intercropping system inoculation with *G. intraradices* and *G. mosseae* significantly decreased phosphorus concentration and content of rape roots compared with non-inoculation treatments, while in contrast mycorrhizal association improved phosphorus nutrition of

基金项目:中央高校基本科研业务费专项基金资助(XDJK2010B012)

收稿日期:2011-01-18; 修订日期:2011-09-01

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

maize plants. The experimental results clearly showed the beneficial effects of mycorrhizal associations on AMF host plants in competition with non-host plants. All these revealed that AMF may play an important role in structuring plant community and influencing plant biodiversity in ecosystems.

**Key Words:** growth; phosphorus; relative competitive strength; nutrition competitive ratio; arbuscular mycorrhizal fungus

丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhizal fungus, AMF)能与自然界大部分植物建立共生关系,并能帮助宿主植物获取更多的土壤养分资源,改善宿主植物的养分状况,在自然生态系统和农业生态系统中具有重要的作用<sup>[1-3]</sup>。已有研究表明,AMF 可以通过影响植物竞争关系的模式和强度来间接影响植物群落<sup>[4-7]</sup>,因此植物的竞争能力除了取决于植物对于土壤养分资源的竞争能力,植物根系和 AMF 的共生关系也有重要的作用<sup>[8]</sup>。但自然生态系统中存在着诸如油菜(*Brassica napus* L.)等非菌根作物,有些还是重要的经济作物,这些植物不能和 AMF 建立共生关系,但其在获取土壤有效养分上却有独特的机制,如油菜在缺磷条件下其根系有机酸分泌量能大量增加,以降低土壤的 pH 值或酸碱度,使磷酸钙的溶解度提高,增加土壤有效磷的含量<sup>[9-10]</sup>,这使得油菜在和磷低效植物的竞争环境中始终处于优势地位<sup>[11]</sup>。

国内外学者在研究 AMF 对植物种间竞争的影响中,多选择能与 AMF 形成共生关系的植物进行研究<sup>[4,6-7,12-14]</sup>,而对菌根植物和非菌根植物的种间竞争关系研究较少。菌根植物和非菌根植物作为自然界中获取土壤养分资源策略差异很大的两种植物类型,研究二者的竞争力如何受到 AMF 的调控,有助于阐明物种多样性的维持机制,也有助于进一步阐明 AMF 在生态系统中作用。通过将玉米和油菜进行不同模式的种植,反映菌根植物和非菌根植物的不同竞争状态,比较菌根植物和非菌根植物之间的竞争关系,研究 AMF 调控菌根植物和非菌根植物的竞争作用。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试植物:玉米 *Zea mays* L. (东单 80 号)和油菜 *Brassica napus* L. (渝油 23)。挑选大小一致颗粒饱满的种子,用 10% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 浸泡消毒 10 min,用去离子水冲洗几次,将玉米种子于去离子水中浸泡 5h,油菜种子浸泡 1h 后均匀铺于湿润滤纸上,置于 25 °C 恒温培养箱中催芽。出芽后玉米播种 4 颗,油菜播种 10 颗,玉米生长 1 周、油菜生长 2 周后,以生长势一致为依据间留苗各 2 株。

供试土壤:供试土壤采自重庆市北碚区西南大学农场,为中生代侏罗系沙溪庙组灰棕紫色沙泥岩母质上发育的紫色土,土壤经风干后,用  $\gamma$  射线灭菌以去除土壤中的微生物。其基本理化性质如表 1 所示。

表 1 供试土壤的基本化学性质  
Table 1 The chemical property of soil

pH	有机质/(g/kg) O. M.	全氮/(g/kg) Total N	全磷/(g/kg) Total P	有效磷/(mg/kg) Available P	全钾/(g/kg) Total K
7.9	19.81	0.57	1.07	28.73	15.07

供试菌种:*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,采用本研究中已灭菌的供试紫色土种植玉米和三叶草进行扩繁获得接种剂,接种剂含有 AMF 孢子、菌丝片段、侵染根段,孢子密度 >10 个/g。不接种对照处理加入经过 121 °C 湿热灭菌 2 h 的接种剂,使各处理土壤的基本理化性质保持一致。

### 1.2 试验设计

试验为二因素试验设计,因素一为种植方式,因素二为接种处理。试验容器选用塑料花盆(高 15.5 cm,外直径 22.5 cm,图 1),将塑料花盆从中间分隔开,用聚氯乙烯粘合剂将尼龙网或塑料布粘在中间,并用密封胶密封使其不漏水,从而将盆分隔成两个根室,将玉米和油菜分别种植于 3 种不同的模式下:① 间作模式(不

分隔);②尼龙网分隔种植模式(两植物根系用 30  $\mu\text{m}$  尼龙网分隔);③单作模式(塑料布完全分隔)。

不同处理包括:不接种对照、接种 *G. mosseae*、接种 *G. intraradices*。因接种剂孢子密度较小,接种时按土重的 15% 加入接种剂,以保证菌根真菌的正常侵染。间作和尼龙网分隔处理接种时两个根室分别装土 1600 g, 并加入 240 g 接种剂,间作种植模式装土 3200 g,接种剂 480 g,对照处理加入相同重量的已灭菌的接种剂,每个根室浇水 276 mL,每天补充水分,使土壤质量含水量保持在田间持水量的 70%。共计 9 个处理,每个处理重复 4 次。

试验在西南大学植物营养光照培养室进行,每天用生物盏灯补充光照,人工控制光照时间(13 h/d)。

### 1.3 样品分析

作物生长 3 个月后收获,植株地上部和地下部分别收获,依根系颜色和形态的不同认真挑选出土壤中的两植物根系,具体方法为:将土壤轻轻拍打疏松,尽量减少根系的人为断裂,先找出油菜主根,顺油菜主根挑选出须根(油菜须根颜色发白较为细小,玉米根系颜色发黄且比油菜须根较粗),依此可挑选出两植物 95% 以上的根系,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  $^{\circ}\text{C}$  杀青半小时后 70  $^{\circ}\text{C}$  烘干,用于生物量及 P 的测定。取部分混匀土壤样品测定菌丝密度。

供试土壤的基本理化性质测定参照鲁如坤的方法进行<sup>[15]</sup>,pH 值的测定土水比为 1:2.5,有效磷测定采用碳酸氢钠提取法,全氮测定采用凯氏定氮法,全磷和全钾测定采用氢氧化钠熔融法,有机质测定采用高温外热重铬酸钾氧化-容量法;植物样品的磷含量采用钒钼黄比色法进行测定<sup>[15]</sup>,磷吸收量为植物磷含量和生物量的乘积;菌根侵染率采用方格交叉法测定<sup>[16]</sup>;菌丝密度的测定按照 Abbott 等人的方法进行<sup>[17]</sup>。

### 1.4 数据处理

应用 SAS 软件(Version 6.12; SAS Institute, Cary, NC)对试验数据进行二因素统计分析,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。

菌根依赖性(Mycorrhizal dependency)简称 MD,是指在一定土壤肥力水平下植物通过形成菌根而能够达到的最大生物量或产量的程度<sup>[18]</sup>。表示公式为:

$$\text{菌根依赖性(MD\%)} = (\text{接种处理干重} - \text{不接种处理干重}) \times 100 / \text{接种处理干重}$$

种间相对竞争能力是衡量一种作物相对另一种作物对资源竞争能力大小的指标<sup>[19]</sup>。以作物 a 相对作物 b 为例,当  $A_{ab} > 0$ ,表明 a 竞争能力强于 b;当  $A_{ab} < 0$ ,表明 b 竞争能力强于 a。计算公式为:

$$A_{ab} = \frac{Y_{ia}}{Y_{sa} \cdot Z_{ia}} - \frac{Y_{ib}}{Y_{sb} \cdot Z_{ib}}$$

式中, $Y_{ia}$ 、 $Y_{sa}$ 、 $Y_{ib}$ 、 $Y_{sb}$  分别表示间作作物 a、单作作物 a、间作作物 b、单作作物 b 的生物量; $Z_{ia}$ 、 $Z_{ib}$  分别表示作物 a 和 b 在间作种的面积比例(在本试验中二者均为 1:1)。

竞争比率是用来表示间作中作物 a 相对于作物 b 对某一养分竞争能力的大小。它是作物竞争养分能力的定量化描述<sup>[20]</sup>,可以用来检验处理对养分竞争的影响<sup>[19]</sup>。公式为:

$$CR_{ab} = \frac{PU_{ia} \cdot F_a / PU_{sa}}{PU_{ib} \cdot F_b / PU_{sb}}$$

式中, $PU_{ia}$  和  $PU_{ib}$  分别为作物 a 和作物 b 在间作中磷的吸收量; $PU_{sa}$  和  $PU_{sb}$  分别为作物 a 和作物 b 在单作中磷的吸收量; $F_a$  和  $F_b$  分别表示作物 a 和作物 b 间作的密度相对于单作的比例(本试验中二者均为 1:1)。

## 2 结果与分析

### 2.1 菌根侵染率和根室菌丝密度

试验结果表明(表 2),油菜无论接种与否都未观察到 AMF 的侵染结构,玉米未接种处理也没有观察到菌



图 1 3 种不同种植模式示意图

Fig. 1 Schematic diagram of three different cropping patterns

根侵染现象,3 种不同种植模式中接种 *G. intraradices* 和 *G. mosseae* 的玉米均可观察到较高的菌根侵染,侵染率分布在 57%—76% 之间。不同种植方式玉米的菌根侵染率存在显著的差异 ( $P < 0.05$ ),大小依次是:单作>尼龙网分隔>间作,说明油菜根系的存在可能会抑制菌根真菌对玉米的侵染。如表 2 所示,不同种植模式中的不接种处理均没有发现菌根菌丝的存在,接种 *G. intraradices* 和 *G. mosseae* 后在间作种植模式根室内、尼龙网分隔种植模式玉米和油菜两根室内、单作种植模式玉米根室内均有菌根菌丝的存在。

表 2 不同种植模式和接种处理条件下的菌根侵染率、根室菌丝密度

Table 2 Root colonization rate and length of hyphae under different cropping patterns and mycorrhizal inoculation

种植模式和接种处理 Cropping pattern and mycorrhizal inoculation	侵染率/% Colonization rate		菌丝密度 Length of hyphae/(cm/g)	
	玉米 Maize	油菜 Rape	玉米根室 Root room of maize	油菜根室 Root room of rape
间作 Intercropping				
Non-mycorrhizal	ND	ND	ND	
<i>G. intraradices</i>	57.21 a	ND	65.37 a	
<i>G. mosseae</i>	63.35 aB	ND	52.59 bC	
尼龙网分隔 Mesh barrier				
Non-mycorrhizal	ND	ND	ND	ND
<i>G. intraradices</i>	64.35 a	ND	97.85 a	104.61 a
<i>G. mosseae</i>	66.48 aAB	ND	89.05 aB	104.31 aA
单作 Monocropping				
Non-mycorrhizal	ND	ND	ND	ND
<i>G. intraradices</i>	71.29 a	ND	101.99 a	ND
<i>G. mosseae</i>	75.36 aA	ND	94.70 bAB	ND

ND 表示无菌根真菌侵染或无菌丝;同一列中不同小写字母表示同一种种植模式下不同接种处理在  $P = 0.05$  水平差异显著性;同一列中不同大写字母表示不同种植模式处理的平均数在  $P = 0.05$  水平差异显著性

## 2.2 植株生长状况

数据显示(表 3),玉米和油菜地上部的生长受到接种处理和种植方式处理的显著影响 ( $P < 0.05$ ),具体趋势为:同一接种处理下玉米生物量大小依次为单作>尼龙网分隔>间作,油菜生物量大小依次为间作>尼龙网分隔>单作。

表 3 不同处理条件下玉米和油菜地上部干重、根系干重

Table 3 Mean shoot dry weight, root dry weight of maize and rape plants

种植模式和接种处理 Cropping pattern and mycorrhizal inoculation	玉米 Maize		油菜 Rape	
	地上部干重/g Shoot dry weight	根系干重/g Root dry weight	地上部干重/g Shoot dry weight	根系干重/g Root dry weight
间作 Intercropping				
Non-mycorrhizal	11.95 a	3.19 a	12.50 a	1.38 a
<i>G. intraradices</i>	14.56 a	3.73 a	10.94 a	1.42 a
<i>G. mosseae</i>	15.02 aB	3.97 aA	10.93 aA	1.35 aA
尼龙网分隔 Mesh barrier				
Non-mycorrhizal	14.39 b	4.34 a	10.85 a	0.97 a
<i>G. intraradices</i>	16.36 ab	4.21 a	10.63 a	1.23 a
<i>G. mosseae</i>	17.38 aA	3.88 aA	10.24 aA	1.21 aA
单作 Monocropping				
Non-mycorrhizal	18.01 a	3.53 a	9.93 a	0.83 a
<i>G. intraradices</i>	18.79 a	3.64 a	9.75 a	1.05 a
<i>G. mosseae</i>	19.08 aA	3.87 aA	10.26 aB	0.98 aB

在尼龙网分隔种植模式中,相对于对照不接种处理,接种 AMF 显著的提高了宿主植物的地上部干重,接种 *G. intraradices* 和 *G. mosseae* 分别提高了 13.7% 和 20.8%。而间作种植时,接种处理虽然差异不显著,但有提高宿主植物地上部生物量的趋势。油菜地上部的生长虽然未受到接种处理和种植方式处理的显著影响,但间作和尼龙网分隔两种种植方式下接种处理都有降低油菜地上部生物量的趋势。说明接种 AMF 可以促进菌根植物(玉米)的生长,同时抑制了非菌根植物(油菜)的生长。

如图 2 所示,玉米的菌根依赖性间作>尼龙网分隔>单作,玉米和油菜根系相互作用越大,玉米的菌根依赖性越强,说明在此试验条件下,菌根植物与其它物种共存时,其对 AMF 的依赖性增高。尼龙网分隔种植与单作相比,玉米对 *G. intraradices* 和 *G. mosseae* 的菌根依赖性分别提高了 150.4% 和 95.3%,间作相对于单作则分别提高了 338.1% 和 232.2%。

无论接种与否玉米的竞争能力均小于油菜,但与对照不接种相比,间作种植时玉米相对于油菜的竞争能力因接种 *G. intraradices* 和 *G. mosseae* 分别提高了 43.9% 和 54.8%,尼龙网分隔种植时则分别提高了 21.0% 和 59.4% (图 3)。

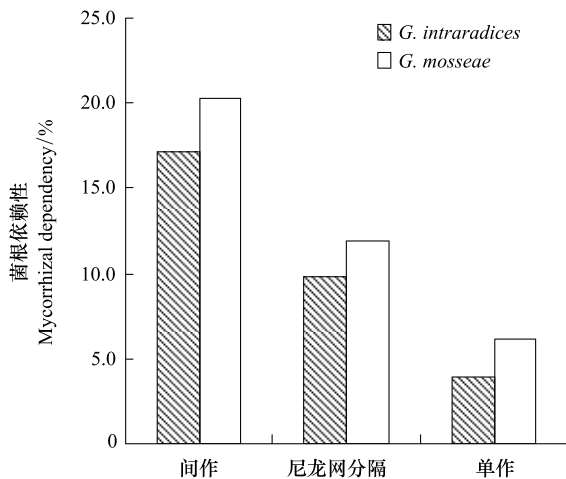


图 2 玉米的菌根依赖性

Fig. 2 The mycorrhizal dependency of maize

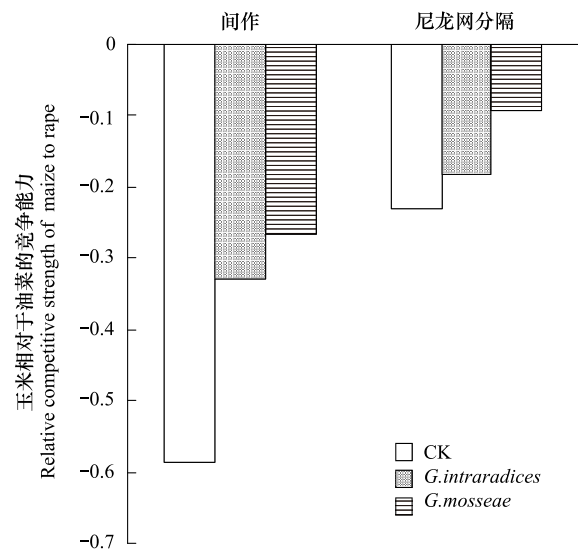


图 3 玉米相对于油菜的竞争能力

Fig. 3 The relative competitive strength of maize to rape

### 2.3 植株磷营养状况

结果表明(表 4),玉米地上部的磷含量和油菜根系的磷含量和磷吸收量都显著受到种植方式的影响( $P < 0.05$ ):尼龙网分隔种植和单作种植相对于间作种植显著降低了玉米地上部磷含量,对油菜根系而言,尼龙网分隔种植的磷含量显著的大于单作和间作种植;间作种植模式下玉米和油菜地上部磷吸收量均显著的大于单作种植。

油菜植株的磷营养状况受到接种处理的显著影响( $P < 0.05$ ),尼龙网分隔条件下,与对照相比,接种 *G. mosseae* 后,地上部和根系的磷含量分别降低了 22.0% 和 14.6%,而油菜地上部磷吸收量也显著的降低了 26.0%。接种处理对玉米植株磷营养状况的影响差异不显著,与对照相比,接种处理的玉米植株地上部和根系的磷吸收量在 3 种植植模式下都有增加的趋势。

如图 4 所示两种种植模式下玉米相对油菜对磷营养的竞争比率,间作和尼龙网分隔种植在不接种 AMF 时均小于 1,而接种 AMF 后均大于 1,说明不接种时油菜对磷的竞争能力大于玉米,接种 AMF 显著提高了玉米对磷的竞争比率,使玉米对磷的竞争能力强于了油菜。接种 *G. intraradices* 和 *G. mosseae* 后,玉米相对油菜对磷的竞争比率在间作种植时分别提高了 11.4% 和 23.0%,而尼龙网分隔种植则分别提高了 20.8% 和 50.8%。

表 4 不同处理条件下玉米和油菜地上部、根系磷含量及磷吸收量  
Table 4 phosphorus concentration and phosphorus uptake in maize and rape plants

种植模式和接种处理 Cropping pattern and mycorrhizal inoculation	玉米磷营养 P nutrition in maize				油菜磷营养 P nutrition in rape			
	含量/%		吸收量/mg		含量/%		吸收量/mg	
	Concentration		Uptake		Concentration		Uptake	
	地上部 Shoot	根系 Root	地上部 Shoot	根系 Root	地上部 Shoot	根系 Root	地上部 Shoot	根系 Root
间作 Intercropping								
Non-mycorrhizal	0.23a	0.15a	26.92a	4.65a	0.36a	0.32a	45.57a	4.42a
<i>G. intraradices</i>	0.20a	0.11a	28.56a	4.10a	0.38a	0.25b	41.10a	3.55b
<i>G. mosseae</i>	0.20aA	0.13aA	30.34aA	5.12aB	0.38aA	0.26bB	41.57aA	3.60bA
尼龙网分隔 Mesh barrier								
Non-mycorrhizal	0.17a	0.12b	24.79a	5.19a	0.39a	0.34a	42.60a	3.33a
<i>G. intraradices</i>	0.17a	0.15ab	27.06a	6.13a	0.34ab	0.33ab	36.33ab	4.12a
<i>G. mosseae</i>	0.16aB	0.17aA	28.52aA	6.49aA	0.31bA	0.29bA	31.53bB	3.64aA
单作 Monocropping								
Non-mycorrhizal	0.13a	0.12b	22.75a	4.05b	0.37a	0.28a	36.30a	2.29a
<i>G. intraradices</i>	0.13a	0.14a	24.00a	5.12a	0.39a	0.32a	36.97a	3.35a
<i>G. mosseae</i>	0.11bC	0.11bB	21.41aB	4.27bB	0.33aA	0.27aB	33.90aB	2.68aB

### 3 讨论

本试验为了研究接种 AMF 对菌根植物和非菌根植物竞争的影响,设置了 3 种不同的种植方式,分别模拟菌根植物和非菌根植物不同的种间竞争状态。在间作模式下,菌根植物根系、菌根菌丝与非菌根植物根系三者之间有完全的相互作用,彼此间的种间相互作用关系最为强烈。用尼龙网分隔后,虽然植物根系间的直接相互作用被消除,但根系分泌的有机酸和生理活性物质可能会在植物根系间交换并且 AMF 的菌丝可以穿过尼龙网到达油菜根室,便于单独研究菌根菌丝与非菌根植物根系对养分的种间竞争作用。在单作种植模式下,植物根系间的相互作用被完全消除,菌根植物根系、菌根菌丝和非菌根植物根系彼此没有相互作用。

在本研究中,各处理条件下玉米均有较高的菌根侵染率,而油菜根系并没有观察到 AMF 侵染。已有研究发现,当大豆生长在非菌根植物刺苎麻周围,菌根真菌侵入到大豆根系的过程就会受到抑制<sup>[21]</sup>,并且菌根共生能力较弱的植物也有可能降低混作在一起的菌根共生能力较强的植物的侵染率<sup>[12,14]</sup>。在本研究中,间作种植模式下玉米侵染率最低,根室的菌丝密度也显著的低于其它两种种植模式(表 2),而此时两种植物根系有完全的相互作用,说明油菜根系分泌物极有可能抑制了菌根真菌的生长发育和对玉米的侵染,这种种间抑制作用同样表现在根系分泌物可以相互交流的尼龙网分隔种植模式上(其侵染率显著低于单作种植模式)。

AMF 对植物群落结构影响的作用机制就是不同植物(包括非菌根植物)对 AMF 侵染反应的不同而表现出不同的适应度<sup>[22]</sup>,植物个体之间(包括同种和不同种类)对有限的必需养分的竞争结果是一个或多个竞争者的适应度减小,国内外学者一般将这种竞争机制下的适应度用植株的生物量来表示<sup>[23]</sup>。本研究中,间作下玉米的生物量显著的低于尼龙网分隔和单作种植(表 3),油菜恰好相反,说明当玉米和油菜根系有完全的相

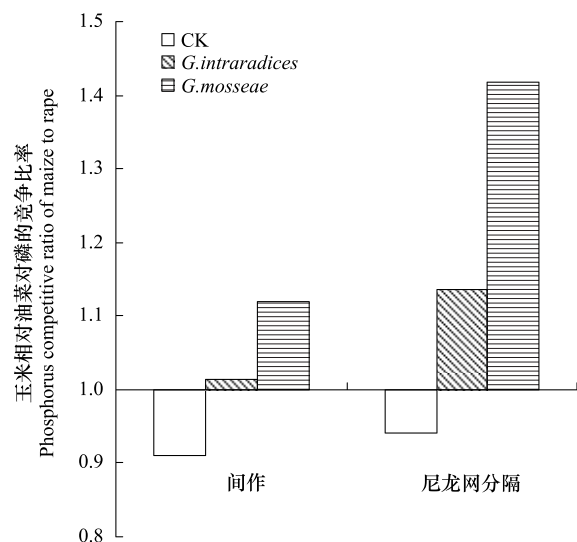


图 4 玉米相对于油菜对磷的竞争比率

Fig. 4 Phosphorus competitive ratio of maize to rape



互作用时,玉米的适应度会降低,其获取养分的能力弱于油菜,这和其它学者的研究相一致<sup>[11,24]</sup>。而接种 AMF 后,玉米相对于油菜的竞争力增加,正如他人研究所发现的,接种 AMF 能对二者的竞争力产生了作用<sup>[4,6,14,25]</sup>,玉米竞争能力的提高和油菜竞争能力的下降均源自 AMF 的作用,使得菌根植物可以和处于竞争优势的非菌根植物抗衡。由于不同真菌改善宿主植物磷营养状况的能力是不同的,不同菌根共生体系具有不同的生态学作用<sup>[26]</sup>,研究发现接种 *G. mosseae* 对玉米相对油菜的竞争能力和磷竞争比率的贡献要优于 *G. intraradices*。在玉米和油菜间作环境下,油菜是作为优势种存在的,当两种植物发生竞争,AMF 帮助竞争力低的宿主植物提高获取营养的能力,从而提高竞争能力,以达到竞争平衡,实现植物共存<sup>[27]</sup>。研究发现两种植物根系彼此相互作用越大,玉米对菌根真菌的依赖性越高(图 2),也是 AMF 提高宿主竞争力的一个方面。

当两种植物的根系用尼龙网分隔后,消除了根系间的直接相互作用,使油菜对玉米根际养分的竞争作用消除,但由于与玉米共生的 AMF 形成大量的菌丝,进入到油菜根系生长的土体内,玉米可以通过菌根菌丝来获得油菜根际的养分,因此,结果表明(表 4)接种 AMF 处理明显的提高宿主植物玉米的根系的磷营养状况的同时,油菜的磷营养状况有所降低。值得注意的是,间作种植模式下如果两植物的根系距离足够近,在油菜根系分泌物的作用土壤中所活化的有效磷可能会被玉米根系吸收利用,这一点在本研究玉米地上部磷营养上有所体现,表现为同一接种处理时两植物间作地上部磷含量、吸收量大于尼龙网分隔种植(表 4),说明磷高效物种可能会对磷低效的相邻物种起到促进作用,提高其磷吸收量和磷通量<sup>[11,28]</sup>。

本研究证实了 AMF 在种间竞争作用中的重要作用,并且量化了玉米和油菜的种间相对竞争能力和对养分的竞争比率。菌根植物和非菌根植物共存时,菌根植物会表现出较高的菌根依赖性,接种 AMF 可以降低非菌根植物的磷营养状况及生物量,使得菌根植物的相对竞争能力和对磷营养的竞争比率明显的提高,在一定程度上说明 AMF 在维持物种多样性方面有着重要的作用。在进一步的研究中,将选择更多的植物种类和不同养分状况的土壤进行研究,以揭示 AMF 在维持生态系统物种多样性中的作用。

## References:

- [ 1 ] Smith S E, Read D J. Mycorrhizal Symbiosis. 3rd ed. London: Academic Press, 2008: 145-187.
- [ 2 ] Pennisi E. The Secret life of fungi. Science, 2004, 304(5677): 1620-1622.
- [ 3 ] Yao Q, Li X L, Feng G, Christie P. Mobilization of sparingly soluble inorganic phosphates by the external mycelium of an arbuscular mycorrhizal fungus. Plant and Soil, 2001, 230(2): 279-285.
- [ 4 ] Chen M M, Chen B D, Wang X J, Zhu Y G, Wang Y S. Influences of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on the growth and ecological stoichiometry of clover and ryegrass grown in monoculture or in mixture at different phosphorus (P) levels. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1980-1986.
- [ 5 ] Smith M D, Harhnett D C, Wilson G W T. Interacting influence of mycorrhizal symbiosis and competition on plant diversity in tallgrass prairie. Oecologia, 1999, 121(4): 574-582.
- [ 6 ] Scheublin T R, van Logtestijn R S P, van der Heijden M G A. Presence and identity of arbuscular mycorrhizal fungi influence competitive interactions between plant species. Journal of Ecology, 2007, 95(4): 631-638.
- [ 7 ] Roberts A E, Radford L J, Orlovich D A. Do alterations of arbuscular mycorrhizal fungal communities change interactions between an invader *Hieracium lepidulum* and two co-occurring species? A glasshouse study. Australasian Mycologist, 2009, 28: 29-35.
- [ 8 ] 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.
- [ 9 ] Wang Q R, Li J Y, Li Z S. Dynamics and prospect on studies of high acquisition of soil unavailable phosphorus by plants. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(2): 107-116.
- [ 10 ] Hoffland E. Quantitative evaluation of the role of organic acid exudation in the mobilization of rock phosphate by rape. Plant and Soil, 1992, 140(2): 279-289.
- [ 11 ] El Dessougi H, Dreele A Z, Claassen N. Growth and phosphorus uptake of maize cultivated alone, in mixed culture with other crops or after incorporation of their residues. Journal of Plant Nutrition Soil Science, 2003, 166(2): 254-261.
- [ 12 ] Chen X, Tang J J, Zhi G Y, Hu S J. Arbuscular mycorrhizal colonization and phosphorus acquisition of plants: effects of coexisting plant species. Applied Soil Ecology, 2005, 28(3): 259-269.

- [13] Gross N, Bagousse-Pinguet Y L, Liancourt P, Urcelay C, Catherine R, Lavorel S. Trait-mediated effect of arbuscular mycorrhiza on the competitive effect and response of a monopolistic species. *Functional Ecology*, 2010, 24(5): 1122-1132.
- [14] Schroeder-Moreno M S, Janos D P. Intra- and inter-specific density affects plant growth responses to arbuscular mycorrhizas. *Botany*, 2008, 86(10): 1180-1193.
- [15] Lu R K. Analytical Method for Soil and Agricultural Chemistry. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000: 107-314.
- [16] Giovannetti M, Mosse B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 1980, 84(3): 489-500.
- [17] 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 fasciculatum*. *New Phytologist*, 1984, 97(3): 437-446.
- [18] Li X L, Feng G. Ecology and Physiology of VA Mycorrhizae. Beijing: Huawen Press, 2001: 53-54.
- [19] Willey R W. Intercropping-its importance and research needs. Part II. Agronomy and research approaches. *Field Crop Abstracts*, 1979, 32(2): 73-85.
- [20] Willey R W, Rao M R. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture*, 1980, 16(2): 117-125.
- [21] Chen W, Xue L. Root interactions: competition and facilitation. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6): 1243-1251.
- [22] O'Connor P J, Smith S E, Smith F A. Arbuscular mycorrhizas influence plant diversity and community structure in a semiarid herbland. *New Phytologist*, 2002, 154(1): 209-218.
- [23] Smith S E, Facelli E, Pope S, Smith F A. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. *Plant and Soil*, 2010, 326(1/2): 3-20.
- [24] Horst W J, Kamh M, Jibrin J M, Chude V O. Agronomic measures for increasing P availability to crops. *Plant and Soil*, 2001, 237(2): 211-223.
- [25] Rillig M C. Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem processes. *Ecology Letters*, 2004, 7(8): 740-754.
- [26] Facelli E, Smith S E, Facelli J M, Christophersen H M, Smith F A. Underground friends or enemies: model plants help to unravel direct and indirect effects of arbuscular mycorrhizal fungi on plant competition. *New Phytologist*, 2010, 185(4): 1050-1061.
- [27] Moora M, Zobel M. Effect of arbuscular mycorrhiza on inter- and intraspecific competition of two grassland species. *Oecologia*, 1996, 108(1): 79-84.
- [28] Kamh M, Horst W J, Amer F, Mostafa H, Maier P. Mobilization of soil and fertilizer phosphate by cover crops. *Plant and Soil*, 1999, 211(1): 19-27.

#### 参考文献:

- [4] 陈梅梅, 陈保冬, 王新军, 朱永官, 王幼珊. 不同磷水平土壤接种丛枝菌根真菌对植物生长和养分吸收的影响. *生态学报*, 2009, 29(4): 1980-1986.
- [9] 王庆仁, 李继云, 李振声. 植物高效利用土壤难溶态磷研究动态及展望. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4(2): 107-116.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 107-314.
- [18] 李晓林, 冯固. 丛枝菌根生态生理. 北京: 华文出版社, 2001: 53-54.
- [21] 陈伟, 薛立. 根系间的相互作用——竞争与互利. *生态学报*, 2004, 24(6): 1243-1251.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 5 March, 2012 (Semimonthly)

## CONTENTS

- Statistical characteristics of eutrophication process in Dianshan Lake ..... CHENG Xi, LI Xiaoping, CHEN Xiaohua (1355)
- Cadmium assimilation and elimination and biological response in *Pirata subpiraticus* (Araneae: Lycosidae) fed on Cadmium diets .....  
..... ZHANG Zhengtian, ZHANG Guangduo, ZHANG Hucheng, et al (1363)
- Effect of co-cultivation time on camptothecin content in *Camptotheca acuminata* seedlings after inoculation with arbuscular  
mycorrhizal fungi ..... YU Yang, YU Tao, WANG Yang, et al (1370)
- Relationship between frequency of sandstorms and air humidity as well as plant phenology: a case study from the Minqin desert  
area ..... CHANG Zhaofeng, WANG Yaolin, HAN Fugui, et al (1378)
- Genetic diversity and evolution relationship on mtDNA D-loop in Tibetan yaks .....  
..... ZHANG Chengfu, XU Lijuan, JI Qiumei, et al (1387)
- Geostatistical analysis on spatiotemporal distribution pattern of soil water content of forest gap in *Pinus koraiensis* dominated  
broadleaved mixed forest ..... LI Meng, DUAN Wenbiao, CHEN Lixin, et al (1396)
- Soil nitrogen and enzymes involved in nitrogen metabolism under different vegetation in Ziwuling mountain in the Loess Plateau,  
China ..... XING Xiaoyi, HUANG Yimei, HUANG Haibo, et al (1403)
- Soil carbon, nitrogen and microbiological characteristics during bamboo high-speed growth .....  
..... WANG Xueqin, ZHANG Qichun, YAO Huaiying (1412)
- Effects of long-term increased soil N on leaf traits of several species in typical Inner Mongolian grassland .....  
..... HUANG Juying, YU Hailong, YUAN Zhiyou, et al (1419)
- Influence of arbuscular mycorrhizal associations on the interspecific competition between mycorrhizal and non-mycorrhizal plants .....  
..... ZHANG Yuting, WANG Wenhua, SHEN Hong, et al (1428)
- Structure and biodiversity of fig wasp community inside syconia of *Ficus virens* Ait. var. *sublanceolata* (Miq.) Corner in Fuzhou ...  
..... WU Wenshan, CHEN Youling, CAI Meiman, et al (1436)
- Growth and photosynthetic characteristics of *Epimedium koreanum* Nakai in different habitats .....  
..... ZHANG Yonggang, HAN Mei, HAN Zhongming, et al (1442)
- The critical temperature to Huashan Pine (*Pinus armandi*) radial growth based on the daily mean temperature .....  
..... FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (1450)
- The analysis of grade diversity indices of butterfly community in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River .....  
..... MA Qi, LI Aimin, DENG Heli (1458)
- Research on dynamic characteristics of photosynthesis in muskmelon seedling leaves .....  
..... HAN Ruifeng, LI Jianming, HU Xiaohui, et al (1471)
- Effects of different winter covering crops cultivation on methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emission fluxes from double-  
cropping paddy field ..... TANG Haiming, XIAO Xiaoping, SHUAI Xiqiang, et al (1481)
- Variations in groundwater levels and quality and their effects on vegetation in the western Grubantonggut Desert .....  
..... ZENG Xiaoling, LIU Tong, ZHANG Weibin, et al (1490)
- Carbon and nitrogen stable isotope characteristics of particulate organic matter and zooplankton in Liuxihe Reservoir .....  
..... NING Jiajia, LIU Hui, GU Binhe, et al (1502)
- Selection of vegetable seeds native in China instead of the cress seed for evaluating the maturity of biosolids .....  
..... LIU Songsong, XU Tianfen, WU Qitang, et al (1510)
- Effects of anthropogenic nutrient input on organisms from different trophic levels in Hanfeng Lake: evidence from stable carbon  
and nitrogen isotope analysis ..... LI Bin, WANG Zhijian, JIN Li, et al (1519)
- Temporal and spatial distribution of phytoplankton in Liusha Bay ..... ZHANG Caixue, CHEN Huiyan, SUN Xingli, et al (1527)
- Study on the supercooling of golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) .....  
..... ZHAO Benliang, ZHANG Jia'en, LUO Mingzhu, et al (1538)
- The effects of rice growth stages on the ovarian development and take-off of *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* .....  
..... CHEN Yu, FU Qiang, LAI Fengxiang, et al (1546)
- Cold tolerance of the overwintering egg of *Apolygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae) .....  
..... ZHUO Degan, LI Zhaohui, MEN Xingyuan, et al (1553)
- A suggestion on the estimation method of population sizes of *Niviventer confucianus* in Land-bridge island .....  
..... ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (1562)
- The carbon footprint of food consumption in Beijing ..... WU Yan, WANG Xiaoke, LU Fei (1570)
- Anthropogenic phosphorus flow analysis of Hanshan County in Anhui Province .....  
..... FU Yinyin, YUAN Zengwei, WU Huijun, et al (1578)
- A laboratory study of auctions for water rights transactions in inland river basin: a case study of irrigation areas of Heihe river  
basin ..... DENG Xiaohong, XU Zhongmin (1587)
- Review and Monograph**
- A review of the effect of typhoon on forests ..... LIU Bin, PAN Lan, XUE Li (1596)
- Research progress on the effects of ocean acidification on coral reef ecosystems .....  
..... ZHANG Chenglong, HUANG Hui, HUANG Liangmin, et al (1606)
- Interspecific competition among three invasive *Liriomyza* species .....  
..... XIANG Juncheng, LEI Zhongren, WANG Haihong, et al (1616)
- Indicative significance of biogenic elements to eco-environmental changes in waters .....  
..... YU Yu, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (1623)
- Recent advances in studies on dissimilatory Fe(III)-reducing microorganisms .....  
..... LI Huijuan, PENG Jingjing (1633)
- Discussion**
- Ecological vulnerability research for Xilingol League, Northern China ..... XU Guangcai, KANG Muye, Marc Metzger, et al (1643)
- Scientific Note**
- Spatial distribution and species composition of zooplanktons in the eastern tropical Pacific Ocean off Costa Rica .....  
..... LIU Bilin, CHEN Xinjun, JIA Tao, et al (1654)

# 《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 5 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 5 2012

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