

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 22 期 Vol.32 No.22 **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 22 期

2012 年 11 月 (半月刊)

目 次

CO ₂ 浓度和温度升高对噬藻体 PP 增殖的联合作用	牛晓莹,程 凯,荣茜茜,等 (6917)
1956—2009 年内蒙古苏尼特左旗荒漠草原的降水格局	陈 军,王玉辉 (6925)
两个污水处理系统的能值与经济综合分析	李 敏,张小洪,李远伟,等 (6936)
退化草地阿尔泰针茅种群个体空间格局及关联性	赵成章,任 珩 (6946)
地表覆盖栽培对雷竹林凋落物养分及其化学计量特征的影响	刘亚迪,范少辉,蔡春菊,等 (6955)
福州酸雨区次生林中台湾相思与银合欢叶片的 12 种元素含量	郝兴华,洪 伟,吴承祯,等 (6964)
“雨花露”水蜜桃主要害虫与其捕食性天敌的关系	柯 磊,施晓丽,邹运鼎,等 (6972)
大兴安岭林区 10 小时时滞可燃物湿度的模拟	胡天宇,周广胜,贾丙瑞 (6984)
陕北风沙区不同植被覆盖下的土壤养分特征	李文斌,李新平 (6991)
南方型杨树人工林土壤呼吸及其组分分析	唐罗忠,葛晓敏,吴 麟,等 (7000)
黑河下游土壤水盐对生态输水的响应及其与植被生长的关系	鱼腾飞,冯 起,刘 蔚,等 (7009)
树木胸径大小对树干液流变化格局的偏度和时滞效应	梅婷婷,赵 平,倪广艳,等 (7018)
外来植物紫茎泽兰入侵对土壤理化性质及丛枝菌根真菌(AMF)群落的影响	于文清,刘万学,桂富荣,等 (7027)
基于 Landsat TM 的热带精细地物信息提取的模型与方法——以海南岛为例	王树东,张立福,陈小平,等 (7036)
雪被去除对川西高山冷杉林冬季土壤水解酶活性的影响	杨玉莲,吴福忠,杨万勤,等 (7045)
不同土壤水分处理对水稻光合特性及产量的影响	王唯逍,刘小军,田永超,等 (7053)
木蹄层孔菌不同居群间生长特性、木质素降解酶与 SRAP 标记遗传多样性	曹 宇,徐 晔,王秋玉 (7061)
加拿大一枝黄花入侵对土壤动物群落结构的影响	陈 雯,李 涛,郑荣泉,等 (7072)
间作对玉米品质、产量及土壤微生物数量和酶活性的影响	张向前,黄国勤,卞新民,等 (7082)
接种 AM 真菌对玉米和油菜种间竞争及土壤无机磷组分的影响	张宇亭,朱 敏,钱岩相注,等 (7091)
大亚湾冬季不同粒级浮游生物的氮稳定同位素特征及其与生物量的关系	柯志新,黄良民,徐 军,等 (7102)
太湖水华期间有毒和无毒微囊藻种群丰度的动态变化	李大命,叶琳琳,于 洋,等 (7109)
锌胁迫对小球藻抗氧化酶和类金属硫蛋白的影响	杨 洪,黄志勇 (7117)
基于国家生态足迹账户计算方法的福建省生态足迹研究	邱寿丰,朱 远 (7124)
能源活动 CO ₂ 排放不同核算方法比较和减排策略选择	杨喜爱,崔胜辉,林剑艺,等 (7135)
基于生境等价分析法的胶州湾围填海造地生态损害评估	李京梅,刘铁鹰 (7146)
县级生态资产价值评估——以河北丰宁县为例	王红岩,高志海,李增元,等 (7156)
专论与综述	
丛枝菌根提高宿主植物抗旱性分子机制研究进展	李 涛,杜 娟,郝志鹏,等 (7169)
城市土壤碳循环与碳固持研究综述	罗上华,毛齐正,马克明,等 (7177)
基于遥感的光合有效辐射吸收比率(FPAR)估算方法综述	董泰锋,蒙继华,吴炳方 (7190)
光衰减及其相关环境因子对沉水植物生长影响研究进展	吴明丽,李叙勇 (7202)
浮游动物化学计量学稳态性特征研究进展	苏 强 (7213)
研究简报	
2010 年两个航次獐子岛海域浮游纤毛虫丰度和生物量	于 莹,张武昌,张光涛,等 (7220)
基于熵值法的我国野生动物资源可持续发展研究	杨锡涛,周学红,张 伟 (7230)
残落物添加对农林复合系统土壤有机碳矿化和土壤微生物量的影响	王意锟,方升佐,田 野,等 (7239)
人工湿地不同季节与单元之间根际微生物多样性	陈永华,吴晓芙,张珍妮,等 (7247)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-11



封面图说: 水杉农田防护林中的小麦熟了——水杉曾广泛分布于北半球,第四纪冰期以后,水杉属的其他种类全部灭绝,水杉却在中国川、鄂、湘边境地带得以幸存,成为旷世奇珍,野生的水杉是国家一级保护植物。由于水杉耐水,适应力强,生长极为迅速,其树干通直挺拔,高大秀颀,树冠呈圆锥形,姿态优美,自发现后被人们在中国南方广泛种植,不仅成为了湖边、道路两旁的绿化观赏植物,更成为了农田防护林的重要树种。此图中整齐划一的水杉防护林像忠实的哨兵一样,为苏北农村即将成熟的麦田站岗。

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

DOI: 10.5846/stxb201110091468

于文清, 刘万学, 桂富荣, 刘文志, 万方浩, 张利莉. 外来植物紫茎泽兰入侵对土壤理化性质及丛枝菌根真菌(AMF)群落的影响. 生态学报, 2012, 32(22): 7027-7035.

Yu W Q, Liu W X, Gui F R, Liu W Z, Wan F H, Zhang L L. Invasion of exotic *Ageratina adenophora* Sprengel. alters soil physical and chemical characteristics and arbuscular mycorrhizal fungus community. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(22): 7027-7035.

外来植物紫茎泽兰入侵对土壤理化性质及 丛枝菌根真菌(AMF)群落的影响

于文清^{1,2,3}, 刘万学^{1,*}, 桂富荣⁴, 刘文志², 万方浩¹, 张利莉³

(1. 中国农业科学院植物保护研究所植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; 2. 黑龙江省农垦科学院, 佳木斯 154007;

3. 塔里木大学生命科学学院新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室, 阿拉尔 843300;

4. 云南农业大学植物保护学院农业生物多样性与病虫害控制教育部重点实验室, 昆明 650201)

摘要:为了揭示外来植物紫茎泽兰入侵对入侵地土壤丛枝菌根真菌(AMF)群落及相关肥力的影响,比较测定了紫茎泽兰不同入侵程度土壤理化性质、AMF 侵染率及 AMF 群落的差异。结果表明,紫茎泽兰入侵降低了土壤 pH,使土壤中有机碳、全氮和速效钾含量分别增加 83.0%,106.9% 和 111.0%;尽管对全磷含量没有显著影响,但有机磷含量呈升高的趋势,而速效磷呈降低的趋势。紫茎泽兰入侵降低了本地植物的 AMF 侵染率;随着入侵程度的加深,土壤中以膨胀无梗囊霉(*Acaulospora dilatata*)为优势种的 AMF 群落结构逐渐转变为以近明球囊霉(*Glomus claroideum*)为优势种的结构,紫茎泽兰可在其根周选择培育近明球囊霉,而对其它 AMF 种,特别是对膨胀无梗囊霉则存在抑制作用;基于各 AMF 种多度的聚类分析表明,形成紫茎泽兰单优群落土壤中各 AMF 种多度与未入侵的本地植物群落及入侵程度较轻的紫茎泽兰与本地植物群落之间存在明显分歧。综合分析推断认为,紫茎泽兰入侵改变了入侵地土壤理化性状,抑制 AMF 对土著植物的侵染,改变 AMF 群落,并在其根周选择培育近明球囊霉,这可能是紫茎泽兰入侵及扩张的重要途径之一。

关键词:丛枝菌根真菌;紫茎泽兰;外来植物入侵;微生物群落结构;土壤理化性状

Invasion of exotic *Ageratina adenophora* Sprengel. alters soil physical and chemical characteristics and arbuscular mycorrhizal fungus community

YU Wenqing^{1,2,3}, LIU Wanxue^{1,*}, GUI Furong⁴, LIU Wenzhi², WAN Fanghao¹, ZHANG Lili³

1 State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China

2 Heilongjiang Academy of Land Reclamation Sciences, Jiamusi, Heilongjiang 154007, China

3 Key Laboratory of Protection & Utilization of Biological Resource in Tarim Basin of Xinjiang Production and Construction Corps, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China

4 Key Laboratory for Agricultural Biodiversity and Pest Management of Ministry of Education, Plant Protection College, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China

Abstract: *Ageratina adenophora* is one of the worst invasive weeds in China, which has brought economical and ecological lost, but no effectual measurements have been applied to avoid its invasion and spreading. To control the damage on local vegetation and native habitats after the invasion by this exotic weed, a better understanding of its invasion mechanism is urgently required. It is well-known that arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) play important roles in ecosystem functioning,

基金项目:国家自然科学基金项目(30871654; 31171907); 国家重点基础研究发展计划资助项目(2009CB119200)

收稿日期:2011-10-09; **修订日期:**2012-04-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuwanxue@263.net

and this is considered as a reason for the success or failure of plant invasion. However, few studies are considered which AMF species could affect plant invasion, and which plant species' invasiveness could be affected, and what the roles of AMF in the interaction between exotic plant and native species, and how AMF can affect the invasion process are largely unknown. Therefore, studies of the role of AMF species in mediating the invasions of exotic plants and the influence of such mutualisms on plant competition could provide better understanding of the mechanisms of exotic plant invasion. In previous studies we showed that soil microbial community including AMF was changed after the invasion of *A. adenophora*, and such changes might be significant for its further invasion and spreading. However, studies on how the *A. adenophora* invasion could affect AMF community and how the affected AMF community could feedback to further invasion are needed. As a result, in this paper we first investigated the effect of *A. adenophora* invasion on the rhizosphere soil physical and chemical characters, and then root AMF colonization rate and AMF community structure under three plant communities (native weeds, a mixed community of *A. adenophora* and native plants, and a *A. adenophora* dominated community). All three plant communities were within the *A. adenophora* invaded area, where the plant community is transiting gradually from the dominated native plants to a single species of *A. adenophora*. Our results demonstrated that the *A. adenophora* invasion decreased soil pH, increased soil organic carbon, total nitrogen and available potassium by 83%, 107%, and 111%, respectively, but no changes in total phosphorus. However, the organic phosphorus showed an increase trend, while available phosphorus a decrease trend along with the transition of plant community from the dominated native plants to *A. adenophora* dominated. The colonization of AMF of native weeds was restrained by *A. adenophora* invasion. *A. adenophora* invasion changed the structure of AMF community from *Acaulospora dilatata* dominated AMF community to *Glomus claroideum* dominated AMF community along with the aggravation of the invasion. Meanwhile, *A. adenophora* accumulated *G. claroideum* selectively occurred, while other AMF species especially *A. dilatata* was restrained in the rhizosphere. The cluster analysis for the AMF species based on their abundance showed that, AMF community in the soil of *A. adenophora* dominated area was different from that of the native plants as well as that of the native weeds growing with *A. adenophora* interspersed. Changes of soil physical and chemical characters, AMF colonization and AMF community might play an important role in the *A. adenophora* invasion and its further spreading.

Key Words: arbuscular mycorrhizal fungi; *Ageratina adenophora* Sprengel; exotic plant invasion; microbial community structure; soil physical and chemical characters

紫茎泽兰(*Ageratina adenophora* (Sprengel) R. King & H. Robinson] (Synonym: *Eupatorium adenophorum* Sprengel) 是一种世界性入侵有毒杂草,为菊科多年丛生型半灌木草本植物;原产于南美洲的墨西哥至哥斯达黎加一带,现广泛分布于热带及亚热带 30 多个国家和地区^[1-2]。自 1935 年入侵我国以来^[3],以每年大约 20 km 的速度随西南风向东和向北传播蔓延,是我国最恶劣的外来入侵物种之一^[4-5],不仅造成入侵地的农、林、牧业的严重经济损失,而且可竞争排挤当地植物而迅速形成单优群落,从而造成入侵地生物多样性降低和生态系统功能退化的绿色“生态灾难”^[6-8]。

在外来植物竞争排斥本地植物的入侵机制方面,越来越多的研究发现,入侵地的土壤微生物在促进外来植物入侵的植物群落演替中具有重要的作用^[9-10];而丛枝菌根真菌(Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)作为土壤中一类极为重要的功能微生物,由于能与 70% 以上的陆地植物种形成菌根共生,并广泛分布于植物界^[11],AMF 对植物种群建立、群落竞争演替、物种多样性的形成及群落空间分布格局中均起着重要的调节作用^[12-14],AMF 与生物因素及非生物因素的互作及其通过这些互作调节植物群落结构及群落演替进程,是 AMF 生态功能研究的焦点^[15-16]。且由于大多数外来入侵植物都是菌根植物,能够在含有 AMF 的新生境中快速建立群体^[17],因此,其在外来植物入侵中的作用和作用机理更是倍受关注。在紫茎泽兰与入侵地土壤微生物互作促进其入侵方面的研究,目前研究发现紫茎泽兰入侵可以通过改变土壤微生物群落结构和提高土壤肥

力来创造对自身生长有利的土壤环境,从而形成其自我促进式的入侵机制^[18-20];在入侵地土壤微生物的主要反馈因子中,AMF 已被认为是主要的正反馈因子,初步研究发现,紫茎泽兰入侵可以增加 AMF 含量^[18],但紫茎泽兰入侵对 AMF 影响及由此导致对紫茎泽兰入侵的反馈效应尚亟待全面而深入的研究。由于 AMF 的功能发挥与土壤理化性质息息相关并互为影响,因此,本研究通过比较分析紫茎泽兰入侵过程中土壤的理化性质和 AMF 群落的组成的差异,以期从外来植物入侵过程中外来植物-土壤-AMF-土著植物之间的互作来理解外来植物的入侵机理,从而为外来植物入侵的防控提供实践指导。

1 材料与方法

1.1 野外样品采集区信息

研究地中心点位于云南省昆明市澄江县境内(24°42'N,102°52'E,海拔 1960—1988 m),是受紫茎泽兰入侵最严重的地区之一。属于亚热带季风性气候,年温差小日温差大。夏季最热天平均温度在 19—22℃左右;冬季最冷月平均温度在 6—8℃以上。年降水量在 1100 mm 左右。土壤类型为南方红壤。取样地为针阔叶混交林间主要树种为桉树(*Eucalyptus*)和云南松(*Pinus yunnanensis faranch*)。取样区本地植物主要为大狗尾草(*Setaria faberii*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、野燕麦(*Avena fatua*)、异形莎草(*Cyperus difformis*)、风轮(*Clinopodium confine*)、繁缕(*Stellaria chinensis*)、野艾蒿(*Artemisia lavandulaefolia*)、黄花苜蓿(*Medicago falcata*)等。

1.2 样品的采集及处理

1.2.1 样品采集

在具紫茎泽兰入侵史 10a 左右,具有相同的地貌、地形特征和土壤起源,人畜干扰较少的针阔叶混交林内(样点与附近树木距离约为 3—5 m),选择面积大约为 100 m × 300 m,具有紫茎泽兰单优群落(A)、紫茎泽兰与本地植物混生群落(A+N)(紫茎泽兰在本地植物群落中丛生,丛与丛之间距离 2—3 m)、本地植物单优群落(N)构成的过渡带的入侵生境,在这 3 个类型群落内,分别选择 10 个面积为 9—25 m² 的取样点,同一类型群落内相邻取样点之间的距离为 15—20 m,同时毗邻群落之间样点之间的最小距离为 20 m。于 2009 年 7 月份采集 A 植物根周土壤 A+N 中的紫茎泽兰(A/A+N)根周土壤和本地植物(N/A+N)根周土壤;N 中本地植物(N)根周土壤。用抖土法收集根周(0—20 cm)土壤(约 1000 g)。共得到 40 个土壤样品。同时收集上述群落中植物的根系。

1.2.2 土壤和根样的处理

土壤样品经风干后过 20 目土壤筛,装入自封袋内避光保存。将采集的根洗净泥沙,剪下根径约 0.3 mm 的细根,自然晾干后装于自封袋内,测菌根侵染率备用。

1.2.3 土壤理化指标测量

土壤 pH 用玻璃电极法,有机碳采用重铬酸钾法(外加热),全氮采用 H₂SO₄ 消煮-凯氏定氮法[凯氏自动定氮仪:美国海能(Hanon)(济南)仪器有限公司(K9840)],全磷采用浓 H₂SO₄-HClO₄ 消煮-钼锑抗比色法[紫外可见分光光度计:美国尤尼柯(Unic)(上海)仪器有限公司(UV-2600)],有机磷采用 550℃ 高温灼烧-钼锑抗比色法,速效磷采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法,速效钾 NH₄OAC 浸提-火焰光度法^[21]。

1.3 植物根系菌根侵染率评估

将洗净的植物细根剪成约 1 cm 长的根段,用 10% KOH 溶液在 90℃ 下透明 30 min,用自来水冲洗 3—5 次,再用 2% 盐酸浸泡中和 5 min,水洗后置于 0.01% 酸性品红染色液中,沸水浴 30 min,用自来水彻底冲洗。用镊子挑选粗细一致的根段整齐地排列在洁净载玻片上,加盖洁净的盖玻片,在显微镜下,用根段频率法检查每条根段的侵染情况,每个样品测定 100 条以上^[22-23]。

1.4 AMF 孢子的分离和鉴定

采用用湿筛-倾注-蔗糖离心法分离土壤中的 AMF 孢子^[24]。参考最新分类标准(<http://invam.caf.wvu.edu/>)进行孢子形态鉴定,同时参考 Morton 和 Benny、刘润进和陈应龙描述的分类细节进行鉴定^[22,25]。

1.5 数据处理与分析

为了分析紫茎泽兰入侵对土著 AMF 群落结构和多样性的影响,计算菌根侵染率,AMF 侵染率(C_{AMF})计算公式如下^[22]:

$$C_{AMF} \% = \frac{\sum [(10 \times i) \% \times n]}{N}$$

式中, i 为 0 到 10 的整数, n 为侵染率为 $(10 \times i) \%$ 的根段数, N 为总根段数。

数据统计分析使用的软件为 SPSS (SPSS 13.0, Inc., Chicago, USA)。各指标在不同土壤来源之间的差异采用单因素方差分析 (SPSS, One-Way ANOVA: LSD Test)。不同来源土壤中 AMF 多度的聚类分析采用等级聚类分析 (SPSS, Classify: Hierarchical cluster analysis)。

2 结果与分析

2.1 不同入侵进程紫茎泽兰及土著植物根周土壤理化性状比较

由于土壤理化性状会对 AMF 群落结构和功能产生影响,为了分析紫茎泽兰入侵对土著 AMF 群落结构影响的途径,测量了紫茎泽兰入侵生境不同群落类型土壤化学性质。结果表明,紫茎泽兰入侵程度重,形成紫茎泽兰单种优势群落 (A) 的根周土壤 pH 显著低于入侵程度较轻,形成紫茎泽兰与本地植物混生群落中紫茎泽兰 (A/A+N) 根周土壤 pH 值,而未被紫茎泽兰入侵地块的本地植物 (N) 根周与本地植物与紫茎泽兰混生群落中的本地植物 (N/A+N) 根周土壤 pH 值不存在显著差异,A 中及 A+N 中紫茎泽兰根周土壤 pH 值均低于 A+N 及 N 中本地植物根周土壤,并呈现随着入侵程度的加重,土壤 pH 值呈现逐渐降低的趋势;A 根周土壤有机碳、总氮、及速效钾含量均显著高于其它群落,紫茎泽兰入侵使土壤中有机碳含量增加了 83.0%,使土壤中总氮含量增加 106.9%,使土壤中速效钾含量升高了 111.0%,而土壤总磷含量不受紫茎泽兰入侵的影响,而土壤有机磷含量有增加的趋势,速效磷含量却有降低的趋势 (图 1)。

2.2 不同入侵进程紫茎泽兰与土著植物 AMF 侵染率的差异

单优群落的紫茎泽兰 (A) 的 AMF 侵染率为 85.2%,与本地杂草混生群落的紫茎泽兰 (A/A+N) 的侵染率为 81.7%,与紫茎泽兰混生的本地杂草 (N/A+N) 的侵染率为 69.4%,本地植物群落中的杂草 (N) 的侵染率为 77.9%。其中 A 的侵染率与 A/A+N 无显著差异,同时 $A > N > N/A+N$,同时 $N > N/A+N$ 。由此可知,在此入侵区,紫茎泽兰的侵染率明显高于本地杂草,而且紫茎泽兰入侵降低了本地植物的 AMF 侵染率,而本地植物对紫茎泽兰的侵染率没有显著影响 (图 2)。

2.3 不同入侵进程紫茎泽兰及土著植物根周土壤中 AMF 多度的差异

从入侵地取样点植物根周共鉴定出 11 个 AMF 种 (图 3 为各 AMF 种的显微拍摄图),它们分属于 4 个属,其中球囊霉属 (*Glomus*) 5 个种,无梗囊霉属 (*Acaulospora*) 4 个种,巨孢囊霉属 (*Gigaspora*) 1 个种,盾巨孢囊霉属 (*Scutellospora*) 1 个种。

用 50 g 土样中 AMF 种孢子的数量表示 AMF 的多度。不同类型群落植物根周土壤中各 AMF 种的多度存在差异 (图 4)。其中近明球囊霉随着群落类型由本地植物向紫茎泽兰单优群落过渡呈现逐渐升高的趋势,A 土壤中近明球囊霉较 N 增加 7.19 倍;而其它 AMF 种多呈现降低的趋势,如膨胀无梗囊霉、孔涡无梗囊霉、地球囊霉则呈现逐渐降低的趋势,分别降低了 76.3%、62.2% 和 40.6%。随着植物群落由本地植物群落到紫茎泽兰单优群落的过渡,土壤中以膨胀无梗囊霉为优势种的 AMF 群落结构变为以近明球囊霉为优势种的结构,这表明紫茎泽兰可在其根周富集近明球囊霉,而对其它 AMF 种,特别是膨胀无梗囊霉则存在抑制作用。

通过对不同来源土壤中 AMF 多度的分级聚类分析,得到系统树图,不同样品来源之间欧氏距离 (λ) 的大小表示 AMF 群落相似性的远近 (图 5)。基于 11 个种的多度的聚类分析结果表明,4 个土壤来源在 $\lambda = 10$ 处聚为两类。其中 A+N 中的紫茎泽兰 (A/A+N) 与本地植物 (N/A+N) 根周土壤之间不存在分歧,说明它们在 AMF 的多度上没有差异,它们与 N 首先聚为一类然后与 A 再聚为一类,说明在紫茎泽兰入侵初期 (入侵 2—3 年混生群落形成,但紫茎泽兰丛生零星散布于本地植物群落内,A+N) 土壤 AMF 群落虽然有所改变,但是与形

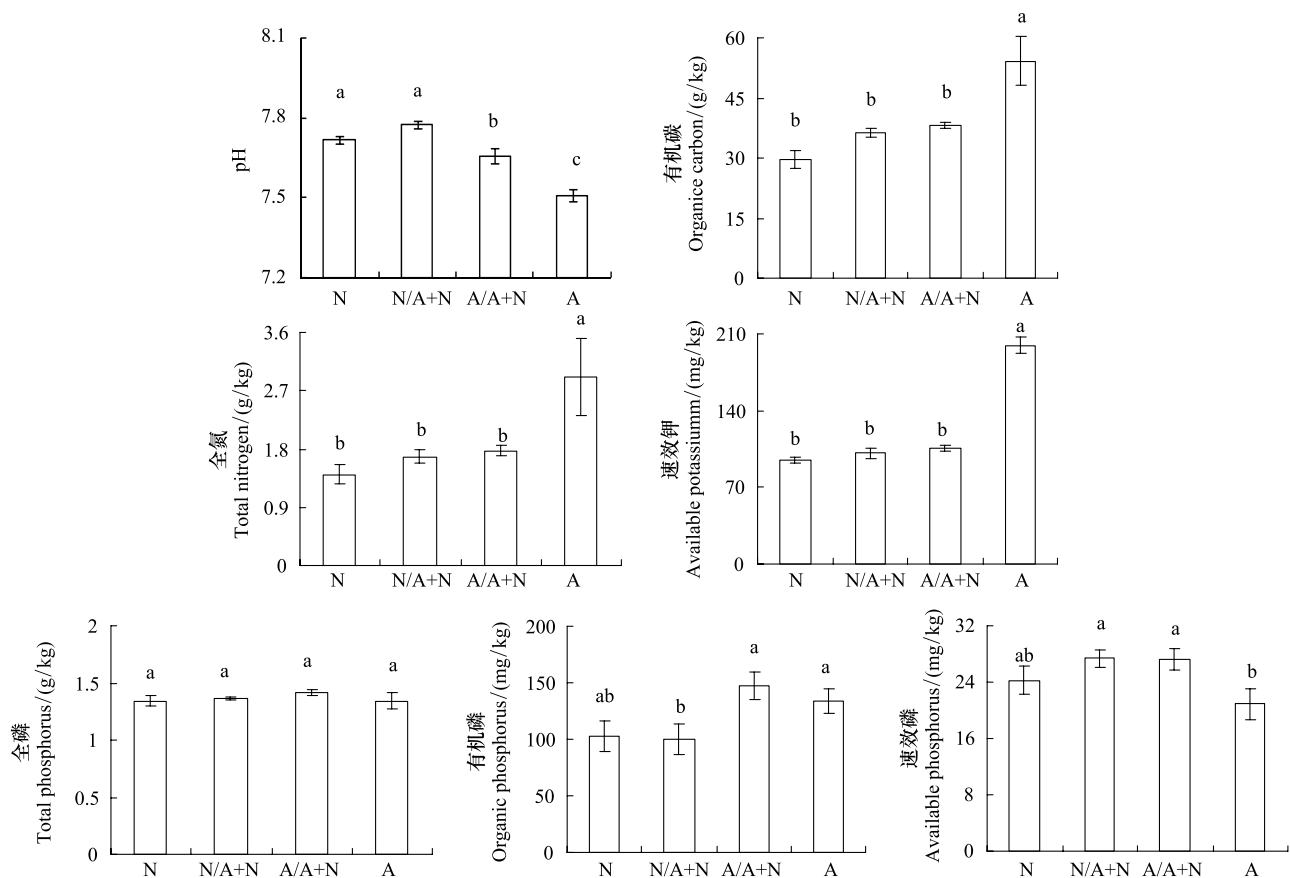


图1 紫茎泽兰入侵生境不同植物群落类型土壤 pH、有机 C、总 N、速效 K、全 P、有机 P 和速效 P 含量 ($M \pm SE$)

Fig. 1 Soil pH, organic C, total N, available K, Total P, Organic P and available P content of different type of communities in *Ageratina adenophora* invaded area ($M \pm SE$)

A 为紫茎泽兰来自单优群落, A/A+N 和 N/A+N 分别为紫茎泽兰和本地植物来自于紫茎泽兰与本地植物的混生群落, N 为本地植物来自本地植物群落;不同字母表示土壤来源之间在 0.05 水平上差异显著 (LSD)

成单优群落后 (入侵 8—10a, A) 相比, 倾向于与本地植物具有更为相近的 AMF 群落结构。尽管以 AMF 孢子做为衡量 AMF 多度的指标不能全面的反映紫茎泽兰入侵对 AMF 群落结构的影响, 但是对比不同类型群落之间, 同一 AMF 种孢子多度的差异可以有力的说明, AMF 群落的空间结构在不同类型群落之间存在差异。

3 结论与讨论

紫茎泽兰入侵改变了土壤养分状况, 显著增加了土壤中总氮、有机碳、速效磷的含量, 对土壤全磷含量没有显著影响; 但是随着紫茎泽兰入侵程度的加重, 土壤有机磷含量有增加的趋势, 而无机磷含量则有降低的趋势。由于土壤肥力与 AMF 互为影响, 土壤养分供应情况发生改变, 会导致土壤微生物群落结构和功能随之发生改变, AMF 群落也会产生相应变化^[26], 而本文中, 紫茎泽兰入侵改变了 AMF 群落结构, 即降低了地球囊霉等 AMF 种多度, 选择培育了近明球囊霉, 同时抑制了 AMF 对本地植物的侵染, 这可能是由于紫茎泽兰入侵改变了土壤理化性状引起的, 也存在紫茎泽兰通过改变

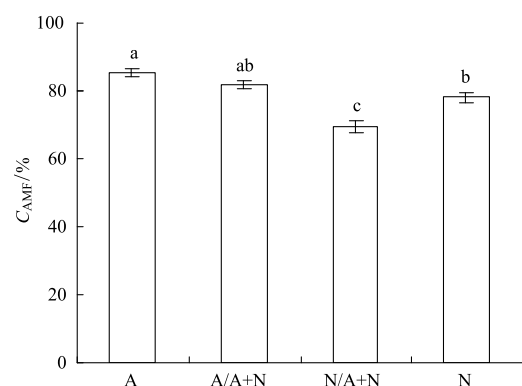


图2 紫茎泽兰入侵生境不同植物群落类型植物根系的 AMF 侵染率 (C_{AMF}) ($M \pm SE$)

Fig. 2 Root AMF colonization rate (C_{AMF}) of different type of communities in *Ageratina adenophora* invaded area ($M \pm SE$)

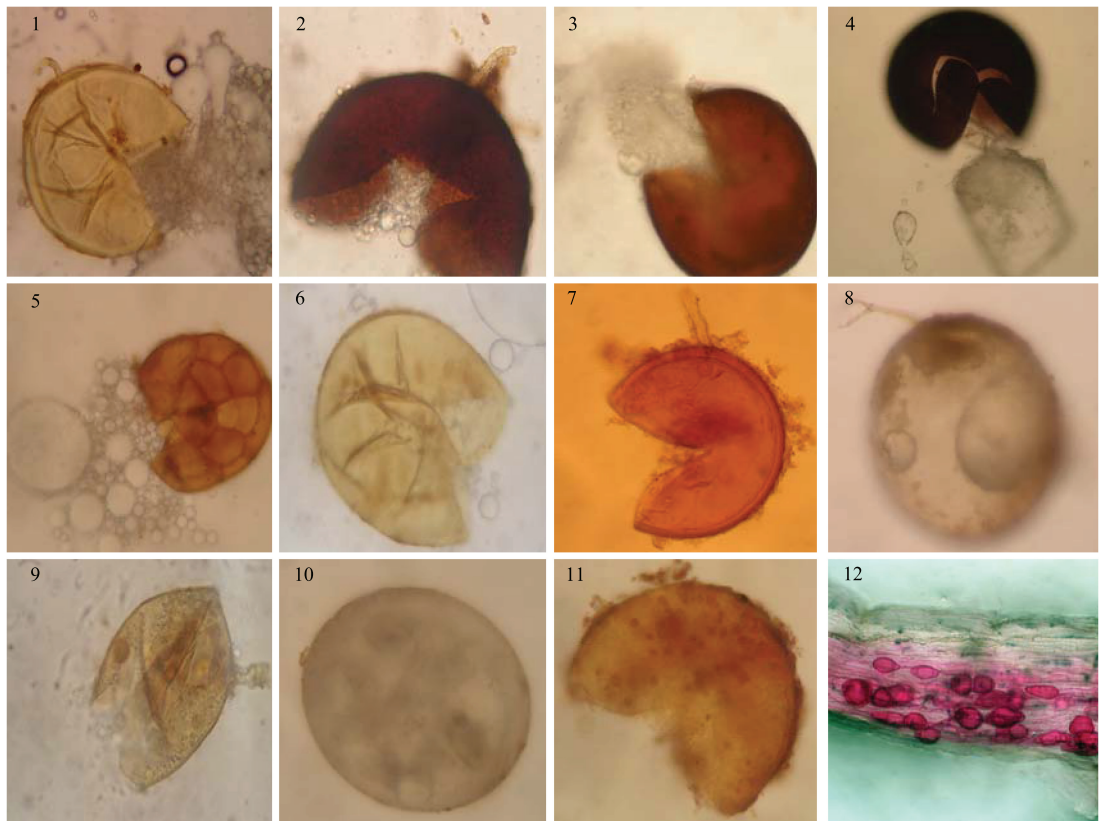


图3 AMF 孢子、根内泡囊及根内菌丝

Fig.3 AMF spores, vesicle and mycelium in root

近明球囊霉 *Glomus claroideum*, 2:地球囊霉 *Glomus. geosporum*, 3:光壁无梗囊霉 *Acaulospora laevis*, 4:黑色盾巨孢囊霉 *Scutellospora Nigra*, 5:孔
涡无梗囊霉 *Acaulospora foveata*, 6:膨胀无梗囊霉 *Acaulospora dilatata*, 7:幼套球囊霉 *Glomus etunicatum*, 8:珠状巨孢囊霉 *Gigaspora Margarita*,
9:三壁球囊霉 *Glomus trimurales*, 10:透光球囊霉 *Glomus diaphanum*, 11:疣状无梗囊霉 *Acaulospora. atuberculata*, 12:根内泡囊和菌丝 vesicle
and mycelium in root

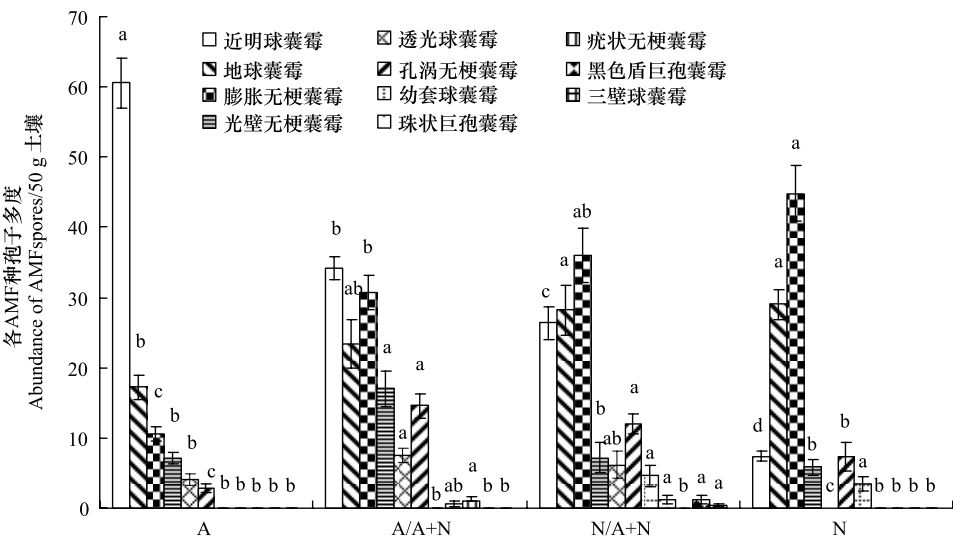


图4 紫茎泽兰入侵生境不同植物群落类型土壤中各 AMF 种的多度

Fig.4 Abundance of AMF spores in soil of different type of communities in *Ageratina adenophora* invaded area
相同图案柱上不同字母代表不同土壤来源之间在 5% 水平上差异显著

AMF 群落而影响土壤肥力的可能性,但前者的贡献应该更大,因为相对于 AMF 对土壤肥力的影响,紫茎泽兰对土壤肥力的影响更大,如本文中,紫茎泽兰在入侵 10a 左右(形成大面积紫茎泽兰的单优群落)后,可使土壤有机碳、全氮、速效钾含量分别提高 83.0%、106.9% 和 111.0%,而 AMF 的作用,可能是将其中不可被紫茎泽兰直接利用的养分转化为可利用形态,从而对紫茎泽兰的生长产生促进作用,增强紫茎泽兰群落扩张蔓延的能力。

由于植物地上部分与地下微生物保持着密切的联系,反过来改变了的 AMF 群落对入侵会产生正反馈或负反馈作用而改变入侵进程^[27-30]。本实验结果证实,紫茎泽兰入侵改变了土著 AMF 群落结构,抑制了 AMF 对本地植物根的侵染。Hawkes 等的实验结果也支持外来植物入侵改变土著 AMF 群落^[31],而以 AMF 为主的土壤微生物群落组成和功能的巨大变化是外来植物在各种生态系统入侵的原因^[32]。至于 AMF 对外来植物入侵的影响途径,入侵植物葱芥(*Alliaria petiolata*)通过打破本地植物幼苗与 AMF 的互利共生,间接抑制本地植物的生长^[33],外来植物还可以通过其代谢活动改变入侵地土壤理化性质及微生物群落结构及功能^[34-36],包括 AMF 在内的土壤微生物种类的和多度的变化,会使入侵前已形成的对本地植物种产生最大植物种生物量的土壤养分,如 N、P、K 的供应发生变化^[37],这种变化必然会对本地植物造成损害,外来植物由此改变土壤化学和土壤生态,创造利于入侵的条件^[37-38],另外,外来植物通过对土壤和物质循环的影响^[26],也会间接影响 AMF 多样性和分布。当外来植物种群密度足够大时,便形成单一的营养循环,新的营养循环又能改变不同的 AMF 与植物之间的平衡^[39]。AMF 在外来植物入侵中的作用已通过大量试验证实^[40],杨如意等认为菌根真菌在加拿大一支黄花入侵过程中起着关键作用^[41],Levine 等的研究表明菌根真菌在决定某一物种的多度和入侵力上起着至关重要的作用^[42],Sanon 等人研究了 AMF 在非洲西部的一个潜在入侵树种云南石梓(*Gmelina arborea*)入侵过程中的作用,结果表明,它通过 AMF 影响了土著草本植物群落结构和微生物群落功能^[43];AMF 种的识别性可能影响入侵种的进程,而一些入侵种选择性地培育 AMF 种的多度对本地植物产生不利影响^[44],本文结果表明,紫茎泽兰在入侵地选择性的富集近明球囊霉,而对它 AMF 种产生抑制作用。因此,简单地对比植物在菌根存在和不存在情况下的生长,低估了与之相关 AMF 的自然识别,将影响对入侵过程本质的认识,外来植物是如何培育这些对其自身有益的 AMF,而这些 AMF 种通过什么方式或途径影响外来植物入侵,也是值得深入研究的问题。

致谢:感谢青岛农业大学菌根研究室刘润进教授和钟凯硕士在 AMF 鉴定方面提供的重要指导和帮助。感谢澳大利亚西澳大学何新华教授润色英文摘要。

References:

- [1] Cronk Q C B, Fuller J L. Plant Invaders: the Threat to Natural Ecosystems. London: Chapman and Hall, 1995.
- [2] Wan F H, Liu W X, Guo J Y, Qiang S, Li B P, Wang J J, Yang G Q, Niu H B, Gui F R, Huang W K, Jiang Z L, Wang W Q. Invasive mechanism and control strategy of *Ageratina adenophora* (Sprengel). Science China Life Sciences, 2010, 53(11): 1291-1298.
- [3] Qiang S. The history and status of the study on Crofton weed (*Eupatorium adenophorum* Spreng.) A worst worldwide weed. Journal of Wuhan Botanical Research, 1998, 16(4): 366-372.
- [4] Wang R, Wang Y Z. Invasion dynamics and potential spread of the invasive alien plant species *Ageratina adenophora* (Asteraceae) in China. Diversity and Distributions, 2006, 12(4): 397-408.
- [5] Xie Y, Li Z Y, Gregg W P, Li D M. Invasive species in China-an overview. Biodiversity and Conservation, 2001, 10(8): 1317-1341.
- [6] Xu H G, Ding H, Li M Y, Sheng Qiang S, Guo J Y, Han Z M, Huang Z M, Sun H Y, He S P, Wu H R, Wan F H. The distribution and economic losses of alien species invasion to China. Biological Invasions, 2006, 8(7): 1495-1500.

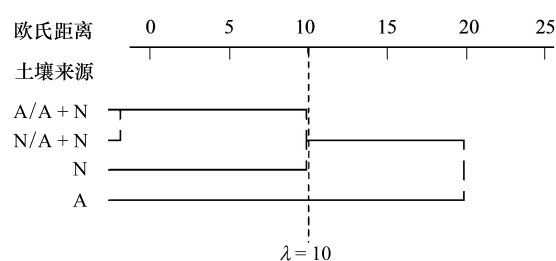


图5 不同群落类型植物根周土壤中基于各 AMF 种多度的的聚类分析

Fig.5 Cluster analysis for rhizosphere AMF species of different type of communities based on abundance

- [7] Ding H, Xu H G, Liu Z L. Impacts of invasion of *Eupatorium adenophorum* on vegetation diversity. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2007, 23(2): 29-32.
- [8] Liu W X, Yang G Q, Feng Y L, Wang R, Wan F H. Advances in invasion mechanism and management of *Ageratina adenophora* // Wan F H, Guo J Y, Zhang F, eds. *Research on Biological Invasions in China*. Beijing: Science Press, 2009: 197-208.
- [9] Callaway R M, Thelen G C, Rodriguez A, Holben W E. Soil biota and exotic plant invasion. *Nature*, 2004, 427(6976): 731-733.
- [10] Inderjit, van der Putten W H. Impacts of soil microbial communities on exotic plant invasions. *Trends in Ecology and Evolution*, 2010, 25(9): 512-519.
- [11] Wang B, Qui Y L. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, 2006, 16(5): 299-363.
- [12] van der Heijden M G A, Klironomos J N, Ursic M, Moutoglou P, Streitwolf-Engel R, Boller T, Wiemken A, Sanders I R. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 1998, 396(6706): 69-72.
- [13] van der Heijden M G A, Horton T R. Socialism in soil? The importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems. *Journal of Ecology*, 2009, 97(6): 1139-1150.
- [14] Dhillion S S, Gardsjord T L. Arbuscular mycorrhizas influence plant diversity, productivity, and nutrients in boreal grasslands. *Canadian Journal of Botany*, 2004, 82(1): 104-114.
- [15] Smith S E, Read D J. *Mycorrhizal Symbiosis*. 2nd ed. London: Academic, 1997.
- [16] Arpana J, Bagyaraj D J, Prakasa Rao E V S, Parameswaran T N, Abdul Rahiman B. Symbiotic response of patchouli (*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.) to different arbuscular mycorrhizal fungi. *Advances in Environmental Biology*, 2008, 2(1): 20-24.
- [17] Fumanal B, Plenchette C, Chauvel B, Bretagnolle F. Which role can arbuscular mycorrhizal fungi play in the facilitation of *Ambrosia artemisiifolia* L. invasion in France? *Mycorrhiza*, 2006, 17(1): 25-35.
- [18] Niu H B, Liu W X, Wan F H, Liu B. An invasive aster (*Ageratina adenophora*) invades and dominates forest understories in China; altered soil microbial communities facilitate the invader and inhibit natives. *Plant and Soil*, 2007, 294(1/2): 73-85.
- [19] Niu H B, Liu W X, Wan F H. Invasive effects of *Ageratina adenophora* Sprengel (Asteraceae) on soil microbial community and physical and chemical properties. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 3051-3060.
- [20] Li H N, Liu W X, Dai L, Wan F H, Cao Y Y. Invasive impacts of *Ageratina adenophora* (Asteraceae) on the changes of microbial community structure, enzyme activity and fertility in soil ecosystem. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(11): 3964-3971.
- [21] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. Beijing: Agriculture of China Press, 2000.
- [22] Liu R J, Chen Y L. *Mycorrhizology*. Beijing: Science Press, 2007: 85-116.
- [23] Biermann B, Linderman R G. Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizae: a proposed method towards standardization. *New Phytologist*, 1981, 87(1): 63-67.
- [24] Daniels H B A, Skipper H D. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil // Schenck N C, ed. *Method and Principles of Mycorrhiza Research*. Saint Paul: The American Phytopathological Society, 1982: 29-35.
- [25] Morton J B, Benny G L. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon*, 1990, 37(1): 471-491.
- [26] Blank R R, Young J A. Influence of the exotic invasive crucifer, *Lepidium latifolium*, on soil properties and elemental cycling. *Soil Science*, 2002, 167(12): 821-829.
- [27] Mack R N. Biotic barriers to plant naturalization // Moran V C, Hoffman J H, eds. *Proceedings of the 9th International Symposium on Biological Control of Weeds*. Stellenbosch: University of Cape Town, 1996: 39-46.
- [28] Reinhart K O, Callaway R M. Soil biota and invasive plants. *New Phytologist*, 2006, 170(3): 445-457.
- [29] Richardson D M, Allsopp N, D'Antonio C M, Milton S J, Rejmánek M. Plant invasions-the role of mutualisms. *Biological Reviews*, 2000, 75(1): 65-93.
- [30] Wolfe B E, Klironomos J N. Breaking new ground: soil communities and exotic plant invasion. *Bioscience*, 2005, 55(6): 477-493.
- [31] Hawkes C V, Belnap J, D'Antonio C, Firestone M K. Arbuscular mycorrhizal assemblages in native plant roots change in the presence of invasive exotic grasses. *Plant and Soil*, 2006, 281(1/2): 369-380.
- [32] Kourtev P S, Ehrenfeld J G, Häggblom M. Exotic plant species alter the microbial community structure and function in the soil. *Ecology*, 2002, 83(11): 3152-3166.
- [33] Stinson K A, Campbell S A, Powell J R, Wolfe B E, Callaway R M, Thelen G C, Hallett S G, Prati D, Klironomos J N. Invasive plant suppresses the growth of native tree seedlings by disrupting belowground mutualisms. *PLoS Biology*, 2006, 4(5): e140-e140.
- [34] Mangla S, Inderjit, Callaway R M. Exotic invasive plant accumulates native soil pathogens which inhibit native plants. *Journal of Ecology*, 2008,

- 96(1): 58-67.
- [35] Shah M A, Reshi Z, Rashid I. Mycorrhizal source and neighbour identity differently influence *Anthemis cotula* L. invasion in the Kashmir Himalaya, India. *Applied Soil Ecology*, 2008a, 40(2): 330-337.
- [36] Shah M A, Reshi Z, Rashid I. Mycorrhizosphere mediated Mayweed Chamomile invasion in the Kashmir Himalaya, India. *Plant and Soil*, 2008b, 312(1/2): 219-225.
- [37] Annapurna C, Singh J S. Variation of *Parthenium hysterophorus* in response to soil quality: implications for invasiveness. *Weed Research*, 2003, 43(3): 190-198.
- [38] Duda J J, Freeman D C, Emlen J M, Belnap J, Kitchen S G, Zak J C, Sobek E, Tracy M, Montante J. Differences in native soil ecology associated with invasion of the exotic annual chenopod, *Halogeton glomeratus*. *Biology and Fertility of Soils*, 2003, 38(2): 72-78.
- [39] Allsopp N, Holmes P M. The impact of alien plant invasion on mycorrhizas in mountain fynbos vegetation. *South African Journal of Botany*, 2001, 67(2): 150-156.
- [40] Yu W Q, Zhou W, Wan F H, Liu W X. Research advances of mechanism of arbuscular mycorrhizal fungi feedback to exotic plant invasion. *Journal of Biosafety*, 2012, 21(1): 1-8.
- [41] Yang R Y, Zan S T, Tang J J, Chen X. Invasion mechanisms of *Solidago canadensis* L.: a review. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(4): 1185-1194.
- [42] Levine J M, Adler P B, Yelenik S G. A meta-analysis of biotic resistance to exotic plant invasions. *Ecology Letters*, 2004, 7(10): 975-989.
- [43] Sanon A, Martin P, Thioulouse J, Plenchette C, Spichiger R, Lepage M, Duponnois R. Displacement of an herbaceous plant species community by mycorrhizal and non-mycorrhizal *Gmelina arborea*, an exotic tree, grown in a microcosm experiment. *Mycorrhiza*, 2006, 16(2): 125-132.
- [44] Stampe E D, Daehler C C. Mycorrhizal species identity affects plant community structure and invasion: a microcosm study. *Oikos*, 2003, 100(2): 362-372.

参考文献:

- [3] 强胜. 世界性恶性杂草——紫茎泽兰研究的历史及现状. *武汉植物学研究*, 1998, 16(4): 366-372.
- [7] 丁晖, 徐海根, 刘志磊. 外来入侵植物紫茎泽兰对植物多样性的影响. *生态与农村环境学报*, 2007, 23(2): 29-32.
- [8] 刘万学, 杨国庆, 冯玉龙, 等. 紫茎泽兰的入侵机制与控制管理 // 万方浩, 郭建英, 张峰, 等. *中国生物入侵研究*. 北京: 科学出版社, 2009: 197-208.
- [19] 牛红榜, 刘万学, 万方浩. 紫茎泽兰 (*Ageratina adenophora*) 入侵对土壤微生物群落和理化性质的影响. *生态学报*, 2007, 27(7): 3051-3060.
- [20] 李会娜, 刘万学, 戴莲, 万方浩, 曹远银. 紫茎泽兰入侵对土壤微生物、酶活性及肥力的影响. *中国农业科学*, 2009, 42(11): 3964-3971.
- [21] 鲍士旦. *土壤农化分析*. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [22] 刘润进, 陈应龙. *菌根学*. 北京: 科学出版社, 2007: 85-116.
- [40] 于文清, 周文, 万方浩, 刘万学. 丛枝菌根真菌(AMF)对外来植物入侵的反馈及其机制研究进展. *生物安全学报*, 2012, 21(1): 1-8.
- [41] 杨如意, 咎树婷, 唐建军, 陈欣. 加拿大一枝黄花的入侵机理研究进展. *生态学报*, 2011, 31(4): 1185-1194.

CONTENTS

The combined effects of elevated CO ₂ and elevated temperature on proliferation of cyanophage PP	NIU Xiaoying, CHENG Kai, RONG Qianqian, et al (6917)
Precipitation pattern of desert steppe in Inner Mongolia, Sunite Left Banner: 1956—2009	CHEN Jun, WANG Yuhui (6925)
Emergy and economic evaluations of two sewage treatment systems	LI Min, ZHANG Xiaohong, LI Yuanwei, et al (6936)
Individual spatial pattern and spatial association of <i>Stipa krylovii</i> population in Alpine Degraded Grassland	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6946)
Litter characteristics of nutrient and stoichiometry for <i>Phyllostachys praecox</i> over soil-surface mulching	LIU Yadi, FAN Shaohui, CAI Chunju, et al (6955)
Characteristics of leaf element concentrations of twelve nutrients in <i>Acacia confusa</i> and <i>Leucaena glauca</i> in secondary forests of acid rain region in Fuzhou	HAO Xinghua, HONG Wei, WU Chengzhen, et al (6964)
Relationships between main insect pests and their predatory natural enemies in “Yuhualu” juicy peach orchard	KE Lei, SHI Xiaoli, ZOU Yunding, et al (6972)
Simulating 10-hour time-lag fuel moisture in Daxinganling	HU Tianyu, ZHOU Guangsheng, JIA Bingrui (6984)
Soil nutrient characteristics under different vegetations in the windy and sandy region of northern Shaanxi	LI Wenbin, LI Xinpeng (6991)
Partitioning of autotrophic and heterotrophic soil respiration in southern type poplar plantations	TANG Luozhong, GE Xiaomin, WU Lin, et al (7000)
Soil water and salinity in response to water deliveries and the relationship with plant growth at the lower reaches of Heihe River, Northwestern China	YU Tengfei, FENG Qi, LIU Wei, et al (7009)
Effect of stem diameter at breast height on skewness of sap flow pattern and time lag	MEI Tingting, ZHAO Ping, NI Guangyan, et al (7018)
Invasion of exotic <i>Ageratina adenophora</i> Sprengel. alters soil physical and chemical characteristics and arbuscular mycorrhizal fungus community	YU Wenqing, LIU Wanxue, GUI Furong, et al (7027)
Models and methods for information extraction of complex ground objects based on LandSat TM images of Hainan Island, China	WANG Shudong, ZHANG Lifu, CHEN Xiaoping, et al (7036)
Effects of snow pack removal on soil hydrolase enzyme activities in an alpine <i>Abies faxoniana</i> forest of western Sichuan	YANG Yulian, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (7045)
Effects of different soil water treatments on photosynthetic characteristics and grain yield in rice	WANG Weixiao, LIU Xiaojun, TIAN Yongchao, et al (7053)
Growth characteristics, lignin degradation enzyme and genetic diversity of <i>Fomes fomentarius</i> by SRAP marker among populations	CAO Yu, XU Ye, WANG Qiuyu (7061)
Effects of the invasion by <i>Solidago canadensis</i> L. on the community structure of soil animals	CHEN Wen, LI Tao, ZHENG Rongquan, et al (7072)
Effects of intercropping on quality and yield of maize grain, microorganism quantity, and enzyme activities in soils	ZHANG Xiangqian, HUANG Guoqin, BIAN Xinmin, et al (7082)
Influence of mycorrhizal inoculation on competition between plant species and inorganic phosphate forms	ZHANG Yuting, ZHU Min, XIAN Yanxiangwa, et al (7091)
The stable nitrogen isotope of size-fractionated plankton and its relationship with biomass during winter in Daya Bay	KE Zhixin, HUNG Liangmin, XU Jun, et al (7102)
Dynamics of toxic and non-toxic <i>Microcystis</i> spp. during bloom in the large shallow hypereutrophic Lake Taihu	LI Daming, YE Linlin, YU Yang, et al (7109)
Activities of antioxidant enzymes and Zn-MT-like proteins induced in <i>Chlorella vulgaris</i> exposed to Zn ²⁺	YANG Hong, HUANG Zhiyong (7117)
Ecological footprint in Fujian based on calculation methodology for the national footprint accounts	QIU Shoufeng, ZHU Yuan (7124)
The comparison of CO ₂ emission accounting methods for energy use and mitigation strategy: a case study of China	YANG Xiai, CUI Shenghui, LIN Jianyi, et al (7135)
Ecological damage assessment of Jiaozhou Bay reclamation based on habitat equivalency analysis	LI Jingmei, LIU Tieying (7146)
The value assessment of county-level ecological assets: a case in Fengning County, Hebei Province	WANG Hongyan, GAO Zhihai, LI Zengyuan, et al (7156)
Review and Monograph	
Molecular basis for enhancement of plant drought tolerance by arbuscular mycorrhizal symbiosis: a mini-review	LI Tao, DU Juan, HAO Zhipeng, et al (7169)
A review of carbon cycling and sequestration in urban soils	LUO Shanghua, MAO Qizheng, MA Keming, et al (7177)
Overview on methods of deriving fraction of absorbed photosynthetically active radiation (FPAR) using remote sensing	DONG Taifeng, MENG Jihua, WU Bingfang (7190)
Research progress on influencing of light attenuation and the associated environmental factors on the growth of submersed aquatic vegetation	WU Mingli, LI Xuyong (7202)
The framework of stoichiometry homeostasis in zooplankton elemental composition	SU Qiang (7213)
Scientific Note	
Abundance and biomass of planktonic ciliates in the sea area around Zhangzi Island, Northern Yellow Sea in July and August 2010	YU Ying, ZHANG Wuchang, ZHANG Guangtao, et al (7220)
Research of wildlife resources sustainable development based on entropy method in China	YANG Xitao, ZHOU Xuehong, ZHANG Wei (7230)
Influence of residue composition and addition frequencies on carbon mineralization and microbial biomass in the soils of agroforestry systems	WANG Yikun, FANG Shengzuo, TIAN Ye, et al (7239)
Seasonal changes in microbial diversity in different cells of a wetland system constructed for municipal sewage treatment	CHEN Yonghua, WU Xiaofu, ZHANG Zhenni, et al (7247)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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 22 期 (2012 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 22 (November, 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:1000717	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