

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第13期 Vol.33 No.13 **2013**

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 33 卷 第 13 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 强度干扰后退化森林生态系统中保留木的生态效应研究综述..... 缪 宁,刘世荣,史作民,等 (3889)
- AM 真菌对重金属污染土壤生物修复的应用与机理..... 罗巧玉,王晓娟,林双双,等 (3898)

个体与基础生态

- 东灵山不同林型五角枫叶性状异速生长关系随发育阶段的变化..... 姚 婧,李 颖,魏丽萍,等 (3907)
- 不同温度下 CO₂ 浓度增高对坛紫菜生长和叶绿素荧光特性的影响..... 刘 露,丁柳丽,陈伟洲,等 (3916)
- 基于 LULUCF 温室气体清单编制的浙江省杉木林生物量换算因子..... 朱汤军,沈楚楚,季碧勇,等 (3925)
- 土壤逐渐干旱对菖蒲生长及光合荧光特性的影响..... 王文林,万寅婧,刘 波,等 (3933)
- 一株柠条内生解磷菌的分离鉴定及实时荧光定量 PCR 检测..... 张丽珍,冯利利,蒙秋霞,等 (3941)
- 一个年龄序列巨桉人工林植物和土壤生物多样性..... 张丹桔,张 健,杨万勤,等 (3947)
- 不同饵料和饥饿对魁蚶幼虫生长和存活的影响..... 王庆志,张 明,付成东,等 (3963)
- 禽畜养殖粪便中多重抗生素抗性细菌研究..... 祁诗月,任四伟,李雪玲,等 (3970)
- 链状亚历山大藻赤潮衰亡的生理调控..... 马金华,孟 希,张 淑,等 (3978)
- 基于环境流体动力学模型的浅水草藻型湖泊水质数值模拟..... 李 兴,史洪森,张树礼,等 (3987)

种群、群落和生态系统

- 干旱半干旱地区围栏封育对甘草群落特征及其分布格局的影响..... 李学斌,陈 林,李国旗,等 (3995)
- 宁夏六盘山三种针叶林初级净生产力年际变化及其气象因子响应..... 王云霓,熊 伟,王彦辉,等 (4002)
- 半干旱黄土区成熟柠条林地土壤水分利用及平衡特征..... 莫保儒,蔡国军,杨 磊,等 (4011)
- 模拟酸沉降对鼎湖山季风常绿阔叶林地表径流水化学特征的影响..... 丘清燕,陈小梅,梁国华,等 (4021)
- 基于改进 PSO 的洞庭湖水源涵养林空间优化模型..... 李建军,张会儒,刘 帅,等 (4031)
- 外来植物火炬树水浸液对土壤微生物生态系统的化感作用..... 侯玉平,柳 林,王 信,等 (4041)
- 崇明东滩抛荒鱼塘的自然演替过程对水鸟群落的影响..... 杨晓婷,牛俊英,罗祖奎,等 (4050)
- 三峡水库蓄水初期鱼体汞含量及其水生食物链累积特征..... 余 杨,王雨春,周怀东,等 (4059)
- 元江鲤种群遗传多样性..... 岳兴建,邹远超,王永明,等 (4068)

景观、区域和全球生态

- 中国西北干旱区气温时空变化特征..... 黄 蕊,徐利岗,刘俊民 (4078)
- 集水区尺度下东北东部森林土壤呼吸的模拟..... 郭丽娟,国庆喜 (4090)
- 增氮对青藏高原东缘高寒草甸土壤甲烷吸收的早期影响..... 张裴雷,方华军,程淑兰,等 (4101)
- 基于生态系统服务的广西水生态足迹分析..... 张 义,张合平 (4111)
- 深圳市景观生态安全格局源地综合识别..... 吴健生,张理卿,彭 建,等 (4125)

庐山风景区碳源、碳汇的测度及均衡..... 周年兴,黄震方,梁艳艳 (4134)

气候变化对内蒙古中部草原优势牧草生长季的影响 李夏子,韩国栋,郭春燕 (4146)

民勤荒漠区典型草本植物马蔺的物候特征及其对气候变化的响应..... 韩福贵,徐先英,王理德,等 (4156)

血水草生物量及碳贮量分布格局..... 田大伦,闫文德,梁小翠,等 (4165)

5 种温带森林生态系统细根的时间动态及其影响因子 李向飞,王传宽,全先奎 (4172)

资源与产业生态

干旱胁迫下 AM 真菌对矿区土壤改良与玉米生长的影响..... 李少朋,毕银丽,陈咄圳,等 (4181)

城乡与社会生态

上海环城林带保健功能评价及其机制..... 张凯旋,张建华 (4189)

研究简报

北京山区侧柏林林内降雨的时滞效应 史 宇,余新晓,张佳音 (4199)

采伐剩余物管理措施对二代杉木人工林土壤全碳、全氮含量的长期效应
..... 胡振宏,何宗明,范少辉,等 (4205)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-07



封面图说: 岳阳附近的水源涵养林及水系鸟瞰——水源涵养林对于调节径流,减缓水、旱灾害,合理开发利用水资源具有重要的生态意义。洞庭湖为我国第二大淡水湖,南纳湘、资、沅、澧四水,北由岳阳城陵矶注入长江,是长江上最重要的水量调节湖泊。因此,湖周的水源涵养林建设对于恢复洞庭湖调节长江中游地区洪水的功能,加强湖区生物多样性的保护是最为重要的举措之一。对现有防护林采取人为干扰的调控措施,改善林分空间结构,将有利于促进森林生态系统的正向演替,为最大程度恢复洞庭湖水源林生态功能和健康经营提供重要支撑。

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

DOI: 10.5846/stxb201209171304

侯玉平, 柳林, 王信, 闫晓宇, 门航, 李伟杰, 徐维明. 外来植物火炬树水浸液对土壤微生物生态系统的化感作用. 生态学报, 2013, 33(13): 4041-4049.
Hou Y P, Liu L, Wang X, Yan X Y, Men H, Li W J, Xu W M. Allelopathic effects of aqueous extract of exotic plant *Rhus typhina* L. on soil micro-ecosystem. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 4041-4049.

外来植物火炬树水浸液对土壤微生物生态系统的化感作用

侯玉平*, 柳林, 王信, 闫晓宇, 门航, 李伟杰, 徐维明

(鲁东大学生命科学学院, 烟台 264025)

摘要:引种自北美的外来植物火炬树(*Rhus typhina* L.)是中国北方主要造林树种之一。然而,近年来分布区的不断扩大暗示着该树种的潜在入侵性。以火炬树为对象,研究火炬树不同浓度(0、0.005、0.025、0.1 g/mL)的鲜枝叶水浸液对土壤微生物群落结构、酶活性、土壤养分含量及土壤矿化的影响。研究表明:随着水浸液浓度的提高,火炬树增加了细菌和真菌的数量;火炬树对所测土壤酶活性产生了不同程度的影响,脲酶和磷酸酶均有随着水浸液浓度的提高而增大的趋势,而蔗糖酶活性受影响不明显;随水浸液浓度升高,火炬树显著提高了土壤全碳、全钾、速效氮、有效磷、速效钾的含量,对土壤含水量、pH 值、全氮与全磷没有显著影响;同时,火炬树通过促进微生物的矿化速率,提高了土壤无机氮的供给。以上结果表明,火炬树可以改变土壤的微生物组成和土壤酶活性并影响土壤相关营养元素循环,从而为自身的入侵创造有利条件。本研究揭示外来植物火炬树水浸液对土壤微生物生态系统的影响,从化感间接作用角度为火炬树的潜在入侵性提供进一步的数据支持。

关键词:外来植物; 土壤微生物; 土壤酶; 土壤矿化; 化感作用

Allelopathic effects of aqueous extract of exotic plant *Rhus typhina* L. on soil micro-ecosystem

HOU Yuping*, LIU Lin, WANG Xin, YAN Xiaoyu, MEN Hang, LI Weijie, XU Weiming

College of Life Sciences, Ludong University, Yantai 264025, China

Abstract: Biological invasion represents one of the most serious threats to ecological diversity, and the invasion ecology research has become one of the central issues of contemporary environmental sciences. Multiple hypotheses have been put forward to explain the remarkable success in many exotic invasive species, but one, allelopathy, proposes that some invaders gain growth advantage through possessing allelopathic, defensive or antimicrobial chemicals to which native organisms have not adapted. This hypothesis has been regarded as an important mechanism for successful exotic plant invasions. Filter paper bioassays, though repeatedly performed in laboratory in many studies, were insufficient to evaluate the allelopathic potential for lacking the incorporation of natural soil, which consists of important space and carrier for manifestation of allelopathy. *Rhus typhina*, an exotic large shrub or small tree introduced from North America in 1959, was identified as a main afforestation species in Northern China. However, as the distribution keeps expanding, it has been increasingly realized as a potential invasive species in the introduced habitats. Previous research indicated that the aqueous extracts of leaves and stems of *R. typhina* significantly inhibited the growth of tested plants in filter paper bioassay experiments. In the present study, the allelopathic potential of *R. typhina* on soil microbes, enzyme activities, soil nutrients and N transformation was investigated after 80 days' aqueous extract treatment. The aqueous extracts of leaves and stems of *R. typhina* were sprayed in 18 pots filled with the same soil (300 mL extracts per pot) with compression sprayer.

基金项目:国家自然科学基金项目(31030015);山东省自然科学基金项目(ZR2012CQ020);山东省高等学校科技计划项目(J13LE08);鲁东大学科研基金项目(LY2011006)

收稿日期:2012-09-17; 修订日期:2012-12-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: houyp@yahoo.cn

Each extract concentration was sprayed in 6 pots. The concentrations of the extracts were 0.005 g/mL, 0.025 g/mL and 0.1 g/mL, respectively. Distilled water was sprayed in 6 additional pots, which was served as control (300 ml water per pot). Spray treatment was conducted at the beginning and repeated thirty days later during the experiment, and a rainproof shelter was put up above all the pots for two weeks after each spray treatment to avoid extract leaching by rain. Results showed that the aqueous extracts of *R. typhina* had effects on soil micro-ecosystem by (1) increasing the amount of bacteria and fungi in a concentration dependant manner; (2) significantly enhancing the enzyme activities of urease and acid phosphatase along with its increasing concentration but not of invertase; (3) accelerating the soil total C, total K, available N, available P and available K content, as well as the inorganic nitrogen supply through significantly increased soil mineralization, but not soil water content, pH, total N and total P. All these suggested that *R. typhina* could modify the composition of soil biota, the activities of soil enzyme and turnover of soil nutrition, which in turn may facilitate its invasion in the field. Although a large number of studies have demonstrated allelopathic effects of *R. typhina* extract in laboratory, our experiments with field soils help to put forward these allelopathic effects into the context of natural conditions. This study provided experimental-based evidence both for assessment of impacts of exotic plant *R. typhina* on soil micro-ecosystem and for prediction of invasive potential of the species.

Key Words: exotic plants; soil microbe; soil enzyme; soil mineralization; allelopathic effects

外来植物入侵已成为一个全球关注的热点话题,其对入侵地生态环境有可能造成灾难性的改变,降低生物多样性,加速全球植物区系均一化的进程,不利于生态系统的稳定^[1]。长期以来,一直有研究者试图通过化感作用来解释外来植物的入侵机制。化感作用,作为植物相互竞争的重要形式之一,在自然植物群落动态和分布格局中起到了重要的作用,得到了世界很多生态学家的普遍认可^[2-3]。Callaway 等对铺散矢车菊 (*Centaurea diffusa*) 的研究结果为把化感作用作为外来种入侵过程中的“Novel Weapons”提供了有力证据^[4]。入侵我国的外来植物薇甘菊 (*Mikania micrantha*)、飞机草 (*Eupatorium odoratum*)、马缨丹 (*Lantana camara*)、南美蟛蜞菊 (*Wedelia chinensis*)、紫茎泽兰 (*Eupatorium adenophorum*)、凤眼莲 (*Eichhornia crassipes*) 等,都被证实入侵过程中向环境释放化感物质是其入侵成功的重要因素之一^[5]。

植物通过淋溶、挥发、凋落物及残体分解、根系分泌等方式向环境中释放化感物质,这些物质绝大多数最终都要进入土壤,以土壤为媒介对邻体植物产生影响。除直接干扰邻体植物的生长,作为次生代谢物,化感物质也可能通过改变土壤理化性状和生物群落结构而影响邻体植物的生长^[6]。例如,一些植物的化感物质可改变土壤 pH 值^[7-8],通过影响氮、磷的形成与释放进而改变土壤养分循环^[9],植物的化感物质还可影响土壤微生物的酶活性及改变根系周围的微生物群落结构等^[10-11]。由此可见,化感物质除直接干扰邻体植物的生长外,还可能在其他方面起重要作用,促进或抑制邻体植物的生长。然而,目前对化感物质间接作用的研究还非常缺乏^[6]。

火炬树 (*Rhus typhina* L.) 系漆树科 (Anacardiaceae) 盐肤木属 (*Rhus*) 落叶灌木或小乔木,原产北美洲。它在我国引入栽培始于 1959 年,目前已推广到东北、华北、西北等地区^[12]。火炬树具有很多优良的生物学特性,是护坡、固堤、封滩、固沙的良好树种,然而,它又具有入侵种的特性,例如适应能力强,根蘖繁殖,常成片分布,成熟早,结实量大等;在适宜的条件下很容易大肆扩散蔓延,形成单优种群,使本地植物失去生存空间^[13]。Richard 等^[14]把火炬树列为美国和加拿大南部地区的杂草。刘全儒等^[15]2002 年将火炬树列为北京地区外来入侵植物之一。Wang 等^[16]和 Zhang 等^[17]也分别对火炬树开展入侵性的系统评估以及低光照下生理性能的研究,认为火炬树是入侵树种,对本地生态系统的稳定性具有巨大的潜在威胁。

长期以来,人们对火炬树的繁殖扩散^[18]及生理特性,如光合作用^[19]、水分利用^[20]等做了大量研究,对其化感方面的研究仅限于对其伴生种或对某些作物的直接作用研究^[21-22]。本文以外来植物火炬树为研究对象,揭示其化感作用对土壤微生态环境的影响,为该树种入侵后果的评估提供实验证据,同时为植物成功入侵

的机制探索提供思路。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

烟台秦山属山东半岛北部黄海沿岸丘陵,气候类型为暖温带季风型大陆性气候,年均降水量为 740.3 mm,年均气温 12 ℃。土壤为棕壤,成土母质为花岗岩,土层在海拔 200 m 以下较厚,但含砾石量较大;200 m 以上有基岩出露。山体沿多方向延伸,形成多种小生境。本区域属于暖温带落叶阔叶林区域,由于人类活动频繁,原始植被早已无存,大部分是以人工栽植的刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、黑松(*Pinus thunbergii*)为主的次生针阔叶混交林。这两个建群种呈斑块状交错分布,麻栎(*Quercus acutissima*)和赤松(*Pinus densiflora*)伴生其中^[23]。2005 年火灾^[23]后,火炬树作为植被恢复和观赏树种被少量引入秦山,种植于路径两侧。2009 年火炬树已大肆扩散蔓延,侵入周边刺槐林及黑松林,甚至形成片段化单优种群。

1.2 水浸液制备

2011 年 9 月,在秦山采集火炬树鲜枝叶,60 ℃下烘干。称取 600 g 鲜枝叶,用 6 L 蒸馏水浸泡 24 h 后过滤,以滤液为母液制作 3 种浓度(0.1,0.025,0.005 g/mL)的火炬树水浸液。

1.3 试验设计

在秦山选取一片空地,将上层 20 cm 的土壤采集并混合均匀,去除凋落物和大颗粒砾石等杂质。自然风干,分装于 24 个花盆中(上口直径 22 cm,下口直径 15 cm,高 25 cm)。用制备好的 3 种浓度的火炬树水浸液处理土壤,喷洒同一浓度的水浸液于 6 个花盆(300 mL/盆),对照为喷施等量蒸馏水(0)。处理 1 个月后,再用同样的方法处理土壤 1 次,每次喷施水浸液后,用防雨布防雨 2 周,以免喷施的水浸液被雨水冲刷。80d 后,采集土壤样品进行测定。将采集的土壤分为两部分,第一部分约 100 g 立即放 4 ℃冰箱中保存,用于土壤微生物分析和土壤矿化与硝化实验;第二部分风干,过 2 mm 筛,约 500 g 室温保存,用于土壤理化性质和土壤酶活性测定分析。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 土壤微生物分析

土样微生物量 C、量 N 采用氯仿熏蒸-K₂SO₄ 浸提法。土壤微生物群落组成采用平板涂抹法^[24]测定,细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基、真菌采用马丁氏培养基、放线菌采用改良的高氏 1 号培养基。

1.4.2 土壤酶测定方法

各土壤酶活性的测定均参照关松荫^[25]的方法,土壤脲酶、酸性磷酸酶、蔗糖酶活性均采用比色法。

1.4.3 土壤理化性质的测定

土壤 pH 值用电极法测定,土壤悬浊液为水土比 1:2.5(质量比);土壤全碳、全氮含量用元素分析仪(Vario MACRO cube, Elmentar)测定;速效氮采用碱解扩散法测定;土壤全磷和有效磷采用钼锑抗比色法;土壤全钾和速效钾用火焰光度法测定;土壤水分采用常规的烘干称重法。以上指标测定均参考鲍士旦^[26]的方法。

1.4.4 土壤矿化与硝化

土壤矿化与硝化采用室内培养法测定。称取 10 g 新鲜土样,放入 25 mL 试管中,用透气膜封口,在 28 ℃条件下培养,培养过程中用称重法保持土壤水分含量一致,培养 28d 后,测定土壤 NH₄⁺ 和 NO₃⁻ 含量,同时测定培养后土壤水分含量。土壤铵态氮采用靛酚蓝比色法测定,硝态氮采用酚二磺酸比色法测定:

$$\text{土壤净矿化} = \text{培养后}(\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-) - \text{培养前}(\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-)$$

$$\text{土壤净硝化} = \text{培养后}(\text{NO}_3^-) - \text{培养前}(\text{NO}_3^-)$$

1.5 数据处理

采用 SPSS 16.0 统计软件进行单因素方差分析(LSD test at $P < 0.05$)。

2 结果

2.1 火炬树水浸液对土壤微生物的影响

不同浓度的火炬树水浸液不同程度的影响了土壤微生物量 C、量 N 含量,并影响微生物群落结构(表 1)。随着水浸液浓度的增加,土壤微生物量 C、量 N 含量显著增大;土壤细菌和真菌的数量显著增大,而放线菌数量变化不明显。

与对照(0)相比,火炬树水浸液在 0.025 g/mL 时就显著增加了 97% 的细菌数量,在最高浓度 0.1 g/mL 时细菌数量达到最大值,较对照提高了 182%。对于真菌,水浸液在最高浓度 0.1 g/mL 时显著增加了真菌数量,是对照的 8.57 倍。而对于放线菌,随着浓度的增加,放线菌数量呈逐渐减少趋势,但变化未达到显著水平。

表 1 火炬树水浸液对土壤微生物的影响

Table 1 Effects of aqueous extracts of *Rhus typhina* L. on soil microbes

浓度 Concentrations /(g/mL)	微生物量 C Microbial biomass C /(mg/kg)	微生物量 N Microbial biomass N /(mg/kg)	细菌($\times 10^5$) Bacterium	放线菌($\times 10^4$) Actinomycetes	真菌($\times 10^3$) Fungus
0.1	421.93 $\pm$ 28.07a	90.47 $\pm$ 6.35a	385.0 $\pm$ 146.91a	15.3 $\pm$ 4.61a	25.7 $\pm$ 9.24a
0.025	290.43 $\pm$ 11.31b	67.47 $\pm$ 5.01b	268.8 $\pm$ 106.88a	15.0 $\pm$ 7.00a	12.0 $\pm$ 0.00b
0.005	209.27 $\pm$ 27.10c	64.55 $\pm$ 4.31b	141.3 $\pm$ 37.50b	23.3 $\pm$ 5.77a	5.7 $\pm$ 2.31b
0	184.50 $\pm$ 21.70c	50.37 $\pm$ 7.36c	136.3 $\pm$ 59.35b	26.5 $\pm$ 2.12a	3.0 $\pm$ 1.00b

表中数值为平均值 $\pm$ 标准差, $n=6$, 同一列中不同字母表示在 5% 水平上差异显著(LSD test)

2.2 火炬树水浸液对土壤酶活性的影响

火炬树水浸液对所测 3 种土壤酶活性产生了不同程度的影响(表 2)。脲酶和磷酸酶均有随着水浸液浓度的增加而呈增大的趋势。其中,脲酶受影响最大,在水浸液浓度达到 0.025 g/mL 时即受到显著影响,在最高浓度 0.1 g/mL 时达到最大值,分别较对照提高 375% 和 625%。磷酸酶在最高浓度 0.1 g/mL 时受到显著影响,较对照提高 147%。火炬树水浸液处理对蔗糖酶活性的影响不明显。

表 2 火炬树水浸液对土壤酶活性的影响

Table 2 Effects of aqueous extracts of *Rhus typhina* L. on soil enzyme activities

浓度/(g/mL) Concentrations	脲酶/(mg/g) Urease	磷酸酶/(mg/kg) Phosphatase	蔗糖酶/(mg/g) Invertase
0.1	0.29 $\pm$ 0.02a	19.54 $\pm$ 6.58a	46.88 $\pm$ 4.75a
0.025	0.19 $\pm$ 0.05b	10.61 $\pm$ 4.17b	50.94 $\pm$ 7.29a
0.005	0.07 $\pm$ 0.02c	10.20 $\pm$ 3.42b	56.26 $\pm$ 9.34a
0	0.04 $\pm$ 0.02c	7.92 $\pm$ 3.32b	54.25 $\pm$ 9.31a

表中数值为平均值 $\pm$ 标准差, $n=6$, 同一列中不同字母表示在 5% 水平上差异显著(LSD test)

2.3 火炬树水浸液对土壤养分含量的影响

火炬树水浸液随浓度的增加显著提高了土壤全碳、全钾、速效氮、有效磷、速效钾的含量,其中最高浓度 0.1 g/mL 处理下,土壤全碳、全钾、速效氮、有效磷、速效钾含量分别是对照组的 1.37、1.16、1.22、1.20、5.25 倍。火炬树水浸液处理对土壤含水量、pH 值、全氮与全磷含量没有显著影响(表 3)。

2.4 火炬树水浸液对土壤矿化速率的影响

与对照相比,火炬树水浸液各浓度显著提高了土壤净矿化速率和净硝化速率(图 1,2)。其中最高浓度 0.1 g/mL 火炬树水浸液处理下,土壤的净矿化速率和净硝化速率分别是对照组的 3.83、4.73 倍。中间浓度 0.025 g/mL 时,土壤的净矿化速率和净硝化速率分别是对照组的 3.10、4.83 倍。低浓度 0.005 g/mL 下,土壤的净矿化速率和净硝化速率也分别比对照组提高了 73%、188%。

表 3 火炬树水浸液对土壤理化性质的影响

Table 3 Effects of aqueous extracts of *Rhus typhina* L. on soil physical and chemical properties

浓度/(g/mL) Concentrations	含水量/% Water content	pH 值 pH value	全碳/(g/kg) Total C	全氮/(g/kg) Total N	全磷/(mg/kg) Total P
0.1	15.60±3.70a	6.51±0.07a	27.41±4.56a	1.54±0.28a	234.90±24.77a
0.025	17.20±1.67a	6.48±0.06a	25.30±8.72a	1.44±0.21a	218.72±5.06a
0.005	15.92±1.35a	6.51±0.04a	22.96±3.65a	1.35±0.10a	249.64±6.82a
0	18.20±4.04a	6.49±0.09a	20.04±3.84b	1.46±0.20a	231.56±22.75a
浓度/(g/mL) Concentrations	全钾/(g/kg) Total K	速效氮/(mg/kg) Available N	有效磷/(mg/kg) Available P	速效钾/(mg/kg) Available K	
0.1	5.39±0.29a	136.50±10.62a	9.01±1.08a	740.17±31.53a	
0.025	4.99±0.24b	127.17±9.30ab	8.28±0.36a	227.22±27.26b	
0.005	4.69±0.20bc	121.33±19.13ab	7.55±0.28b	176.38±5.03c	
0	4.65±0.27c	112.00±19.80b	7.49±0.36b	140.92±24.53d	

表中数值为平均值±标准差, $n=6$, 同一列中不同字母表示在 5% 水平上差异显著 (LSD test)

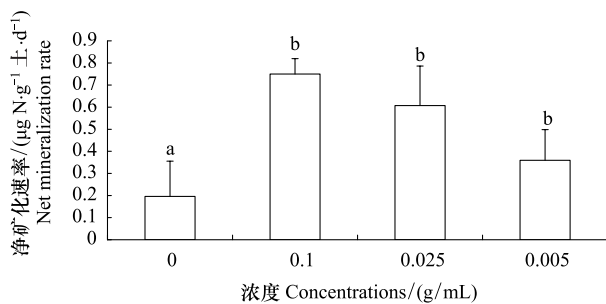


图 1 火炬树水浸液对土壤净矿化速率的影响

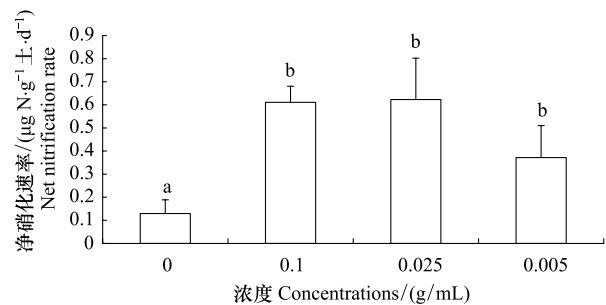
Fig. 1 Effects of aqueous extracts of *Rhus typhina* L. on soil net mineralization rate

图 2 火炬树水浸液对土壤净硝化速率的影响

Fig. 2 Effects of aqueous extracts of *Rhus typhina* L. on soil net nitrification rate

3 讨论

3.1 火炬树对土壤微生物的影响

土壤微生物是土壤生态系统中极其重要和最为活跃的生物因子,直接参与植物凋落物分解、养分循环、根系养分吸收等生态系统过程,对植物生长、竞争以及生态系统功能和稳定性有着重要影响^[27-28]。化感物质可改变植物根系周围的微生物群落结构。如铺散矢车菊 (*Centaurea diffusa*) 在美国西部地区广泛入侵,危害严重,它的根系可以释放具有抗菌活性的化感物 8-羟基喹啉 (8-hydroxyquinoline),引起土壤微生物群落的变化^[29]。在我国华南地区造成严重危害的外来入侵植物薇甘菊 (*Mikania micrantha*),由其根提取的化感物质也能够改变土壤微生物群落结构^[30]。本研究,随着火炬树水浸液浓度的增加,土壤微生物量 C、量 N 含量提高,土壤中细菌、真菌的数量增加,而放线菌的数量变化不显著 (表 1);表明火炬树水浸液中的化感物质引起土壤微生物群落数量和组成发生明显变化。

入侵植物通过分泌化感物质与土壤微生物保持有效的地下通讯,以此调控根系周围的土壤微生物群落^[28],进而影响植物间的相互作用。本研究中,火炬树鲜枝叶中所含的化感物质经过浸提喷施进入土壤后,影响土壤中微生物的组成,从而可能潜在的影响植物与植物的相互作用。如,有研究发现,菊科入侵植物香泽兰 (*Chromolaena odorata*) 的根系分泌物能显著增加根际中邻体植物的致病菌,通过对邻体植物产生的间接化感作用获得竞争优势^[31]。葱芥 (*Alliaria petiolata*) 是成功入侵北美森林的芸苔类植物,这类植物大多能够产生植物性硫配醣体 (glucosinolate) 类物质排入土壤,并在土壤中不断沉积,导致土壤微生物群落的改变和土壤丛枝菌根真菌数量的减少,最终导致当地植物群落的退化^[32]。

3.2 火炬树对土壤酶活性的影响

土壤中一切生化反应都是在土壤酶的参与下完成的,土壤酶活性的高低能反映土壤生物活性和土壤生化反应强度,因此土壤酶活性常被作为土壤质量的重要指标来研究^[33]。在本研究中,土壤脲酶和磷酸酶的活性均有随着火炬树水浸液浓度提高而增大的趋势(表2),可见火炬树所分泌的化感物质对土壤脲酶和磷酸酶活性产生了促进作用。对紫茎泽兰(*Ageratina adenophora*)和黄顶菊(*Flaveria bident*)的研究也证实,这两种外来植物的入侵提高了脲酶和磷酸酶活性^[34-35]。脲酶和磷酸酶分别有助于有机氮化合物和有机磷化合物向无机物转化,为植物生长提供肥力,这两种酶活性的改变对土壤养分的循环产生重要影响,可能在推动火炬树的入侵过程中产生积极影响。

蔗糖酶是一种与碳循环相关的水解酶。蔗糖酶以蔗糖为底物,能够将其水解为葡萄糖。该土壤酶活性的变化可以直接影响到葡萄糖的数量,从而影响以葡萄糖为底物的一系列微生物的活动^[36]。本研究中,蔗糖酶活性变化不显著(表2),推测可能与火炬树化感物质成分有关。

3.3 火炬树对土壤养分含量的影响

土壤养分常常是陆地生态系统中限制植物生长的关键因素,探讨外来植物是否影响其入侵地土壤养分循环对全面评估外来植物造成的自然生态影响有重要指导作用^[37]。外来植物入侵对土壤养分含量的影响有不同格局^[38],其中很多外来植物被证明具有改善土壤有效养分的能力。如入侵新西兰的绿毛山柳菊(*Hieracium pilosella*)^[39],入侵美国的盐生草(*Halogeton glomeratus*)^[40],以及入侵中国的紫茎泽兰^[27,34]、加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)^[41]和黄顶菊^[35]均被发现可不同程度地改善入侵地土壤养分状况。本研究中发现,外来植物火炬树的水浸液显著提高了土壤全碳、全钾、速效氮、有效磷、速效钾的含量(表3)。土壤养分的改善为火炬树生长提供有利条件,将促进其在与本地植物的竞争中获得优势,以增强入侵力。

3.4 火炬树对土壤矿化的影响

通常外来植物入侵会导致土壤氮的矿化作用增强^[42]。如 Windham 等^[43]的研究发现,美国东海岸入侵种芦苇(*Phragmites australis*)土壤的氮矿化速率是土著植物的3倍,这是因为芦苇组织的含氮量高,刺激了土壤微生物对有机氮的矿化。陆建忠等^[41]研究发现,加拿大一枝黄花入侵能够影响土壤无机氮通量,从而提高土壤无机氮的供给。本研究发现,火炬树水浸液处理过的土壤矿化速率较对照有明显提高(图1,图2),表明火炬树水浸液促进了微生物的矿化作用,其结果是使土壤无机氮供给增加,说明火炬树化感作用有助于改善土壤养分状况。

Maithani 等^[44]研究发现,氮矿化作用与土壤湿度和细菌数量显著正相关。本研究中,火炬树水浸液处理后土壤含水量无明显差异(表3),但土壤中细菌数量显著增加(表1),土壤脲酶活性相应提高(表2),这可能是导致氮矿化作用增强的主要原因。一般认为,植物影响微生物活动的主要机制是通过改变凋落物的数量和质量来实现^[45],而本研究发现火炬树的鲜枝叶水浸液显著增强了微生物的矿化作用,说明火炬树对土壤矿化作用的促进可以通过化感作用影响土壤微生物数量与组成而实现。

另,在本研究中,火炬树的水浸液显著提高了土壤的净硝化速率,且净硝化速率为净矿化速率的提高做出了主要贡献(图1,图2),表明化感物质促进土壤微生物的硝化作用。对薇甘菊的研究也发现,薇甘菊提高了土壤净硝化速率,使更多的矿化N进入硝化过程^[8]。有研究发现一些外来植物周围土壤硝化速率高,土壤NO₃⁻含量变化大^[46-47],研究结果从化感机制上为这些现象提供了解释。

4 结论

有证据表明,外来植物可以通过改变入侵地的生长环境为自己创造新的生存条件^[48-49]。化感作用广泛存在于自然界中,化感物质进入土壤后,土壤微生态系统将发生复杂的变化。本研究用外来植物火炬树水浸液处理没有植物生长的土壤,可以避免植物对养分的吸收利用,研究火炬树化感物质对土壤生态系统的影响,有利于揭示化感物质在外来植物扩散过程中发挥的间接作用。研究结果表明,火炬树水浸液对土壤微生物群落、酶活性、土壤养分含量及土壤矿化均有显著影响。土壤微生物群落在土壤养分循环和转化过程中起着非

常重要的作用。火炬树产生的化感物质进入土壤后,改变了土壤微生物的数量和群落结构。土壤酶主要来自于土壤微生物代谢过程,土壤微生物的变化影响土壤酶的活性,进而影响土壤养分的循环,从而提高土壤可吸收养分水平,使土壤环境条件向着更有利于火炬树生长的方向发展,促进了火炬树的入侵。本研究从化感机制上为火炬树的潜在入侵性提供了进一步的数据支持,同时为植物成功入侵的机制探索提供思路。

致谢:鲁东大学恢复生态学研究组赵雪老师、柏新富老师、周瑞莲老师和杨润亚老师对实验给予帮助;中山大学彭少麟老师、陈宝明老师和中国热带农业科学院环境与植物保护研究所黄乔乔博士对文章修改给予帮助;中国科学院华南植物园倪广艳博士对写作给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Mack R N, Simberloff D, Lonsdale W M, Evans H, Clout M, Bazzaz F A. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological Applications*, 2000, 10(3): 689-710.
- [2] Rice E L. *Allelopathy*. 2nd ed. New York: Academic Press, 1984.
- [3] Peng S L, Chen Z Q, Wen J, Shao H. Is allelopathy a driving force in forest succession?. *Allelopathy Journal*, 2004, 14(2): 197-204.
- [4] Callaway R M, Ridenour W M. Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Frontiers in Ecology and the Environments*, 2004, 2(8): 436-443.
- [5] Wu J R, Peng S L. Allelopathy: "Novel Weapons" of exotic invasive plants. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 3093-3097.
- [6] Inderjit, Wardle D A, Karban R, Callaway R M. The ecosystem and evolutionary contexts of allelopathy. *Trends in Ecology and Evolution*, 2011, 26(12): 655-662.
- [7] Batish D R, Singh H P, Pandher J K, Arora V, Kohli R K. Phytotoxic effect of *Parthenium* residues on the selected soil properties and growth of chickpea and radish. *Weed Biology and Management*, 2002, 2(2): 73-78.
- [8] Chen B M, Peng S L, Ni G Y. Effects of the invasive plant *Mikania micrantha* H. B. K. on soil nitrogen availability through allelopathy in South China. *Biological Invasions*, 2009, 11(6): 1291-1299.
- [9] Thorpe A S, Callaway R M. Biogeographic differences in the effects of *Centaurea stoebe* on the soil nitrogen cycle: novel weapons and soil microbes. *Biological Invasions*, 2011, 13(6): 1435-1445.
- [10] Souto C, Pellissier F, Chiapusio G. Allelopathic effects of humus phenolics on growth and respiration of mycorrhizal fungi. *Journal of Chemical Ecology*, 2000, 26(9): 2015-2023.
- [11] Han C M, Li C L, Ye S P, Pan K W, Wu N, Li W. Effects of ginger aqueous extract on soil enzyme activity, microbial community structure and soil nutrient content in the rhizosphere soil of ginger seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(2): 489-498.
- [12] Pan Z G, You Y T. *Growing Exotic Trees in China*. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1994: 525-528.
- [13] Wang H F, Zhai M P, Ma C M. Summary for studies on exotic species-*Rhus typhina*. *Shanxi Forestry Science and Technology*, 2006, (4): 11-14.
- [14] Uva R H, Neal J C, DiTomaso J M. *Weeds of the Northeast*. New York: Comstock Publishing Associates, 1997: 32-327.
- [15] Liu Q R, Yu M, Zhou Y L. A preliminary study on the invasive plants in Beijing. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2002, 38(3): 399-404.
- [16] Wang G M, Jiang G M, Yu S L, Li Y H, Liu H. Invasion possibility and potential effects of *Rhus typhina* on Beijing municipality. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2008, 50(5): 522-530.
- [17] Zhang Z J, Jiang C D, Zhang J Z, Zhang H J, Shi L. Ecophysiological evaluation of the potential invasiveness of *Rhus typhina* in its non-native habitats. *Tree Physiology*, 2009, 29(11): 1307-1316.
- [18] Zhang C H, Zheng Y Q, Li J L, Yan H P, Wang L. Dispersal of staghorn sumac in Beijing areas. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5): 978-985.
- [19] Wang D X, Liu J J, Wang Y L, Yang Z L. A Comparison Study on Physiological Characteristics of Four Greening Tree Species in Yan'an City. *Journal of Northwest Forestry University*, 2002, 17(3): 5-7.
- [20] Yu X L, Di X Y, Song L P. Effects of Water Stress on the Growth and Eco-physiology of Seedlings of the *Rhus typhina*. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(11): 57-61.
- [21] Wu C H, Zhai M P. A preliminary study on allelopathy of *Rhus typhina*. *Journal of Northwest Forestry University*, 2008, 23(6): 162-165.
- [22] Sun T X, Lu F D, Zheng Y Q, Zhang C H, Li B J, Wang L, Yang X Y. Allelopathic activity of exotic Tree *Rhus typhina*. *Forest Research*, 2010, 23(2): 195-201.

- [23] Zhao X, Zhao A F, Zhang L L. Vegetation restorative characteristics after the artificial forest fire on Mountain Zhenshan, Yantai City. *Ludong University Journal: Natural Science*, 2008, 24(4): 346-352.
- [24] Shen P, Fan X R, Li G W. *Microbiology Experiment*. Beijing: Higher Education Press, 2002.
- [25] Guan S Y. *Soil Enzymes and the Research Methods*. Beijing: Agriculture Press, 1986: 303-312.
- [26] Bao S D. *Analysis of Soil and Agricultural Chemistry*. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 25-108.
- [27] 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.
- [28] De Deyn G B, Raaijmakers C E, van der Putten W H. Plant community development is affected by nutrients and soil biota. *Journal of Ecology*, 2004, 92(5): 824-834.
- [29] Vivanco J M, Bais H P, Stermitz F R, Thelen G C, Callaway R M. Biogeographical variation in community response to root allelochemistry: novel weapons and exotic invasion. *Ecology Letters*, 2004, 7(4): 285-292.
- [30] Ni G Y, Song L Y, Zhang J L, Peng S L. Effects of root extracts of *Mikania micrantha* H. B. K. on soil microbial community. *Allelopathy Journal*, 2006, 17(2): 247-254.
- [31] Mangla S, Inderjit, Callaway R M. Exotic invasive plant accumulates native soil pathogens which inhibit native plants. *Journal of Ecology*, 2008, 96: 58-67.
- [32] Roberts K J, Anderson R C. Effect of garlic mustard [*Alliaria Petiolata* (Beib. Cavara & Grande)] extracts on plants and Arbuscular Mycorrhizal (AM) Fungi. *The American Midland Naturalist*, 2001, 146(1): 146-152.
- [33] de la Jimenez M, de la Horra A, Pruzzo L, Palma M R. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, 35(4): 302-306.
- [34] Li H N, Liu W X, Dai L, Wang 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.
- [35] Zhang T R, Huangfu C H, Bai X M, Yang D L, Li G, Lai X, Zhao J N. Effects of *Flaveria bidentis* invasion on soil nutrient contents and enzyme activities. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(7): 1353-1358.
- [36] Zhou X B, Zhang Y M, Tao Y, Zhang B C. Responses of soil enzyme activities and microbial biomass N to simulated N deposition in Gurbantunggut Desert. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(12): 3340-3349.
- [37] Levine J M, Vilà M, Antonio C M D, Dukes J S, Grigulis K, Lavorel S. Mechanisms underlying the impacts of exotic plant invasions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2003, 270(1517): 775-781.
- [38] Chen H L, Li Y J, Li B, Chen J K, Wu J H. Impacts of exotic plant invasions on soil biodiversity and ecosystem processes. *Biodiversity Science*, 2005, 13(6): 555-565.
- [39] Saggarr S, McIntosh P D, Hedley C B, Knicker H. Changes in soil microbial biomass, metabolic quotient, and organic matter turnover under *Hieracium* (*H. pilosella* L.). *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 30(3): 232-238.
- [40] 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): 72-77.
- [41] Lu J Z, Qiu W, Chen J K, Li B. Impact of invasive species on soil properties: Canadian goldenrod (*Solidago canadensis*) as a case study. *Biodiversity Science*, 2005, 13(4): 347-356.
- [42] Ehrenfeld J G. Effects of exotic plant invasions on soil nutrient cycling processes. *Ecosystems*, 2003, 6(6): 503-523.
- [43] Windham L, Lathrop R G. Effects of *Phragmites australis* (common reed) invasion on aboveground biomass and soil properties in brackish tidal marsh of the Mullica river, New Jersey. *Estuaries*, 1999, 22(4): 927-935.
- [44] Maithani K, Arunachalam A, Tripathi R S, Pandey H N. Nitrogen mineralization as influenced by climate, soil and vegetation in a subtropical humid forest in northeast India. *Forest Ecology and Management*, 1998, 109(1/3): 91-101.
- [45] Evans R D, Rimer R, Sperry L, Belnap J. Exotic plant invasion alters nitrogen dynamics in an arid grassland. *Ecological Applications*, 2001, 11(5): 1301-1310.
- [46] Ehrenfeld J G, Scott N. Invasive species and the soil: effects on organisms and ecosystem processes. *Ecological Applications*, 2001, 11(5): 1256-1260.
- [47] Kourtev P S, Ehrenfeld J G, Häggelom M. Experimental analysis of the effect of exotic and native plant species on the structure and function of soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35(7): 895-905.
- [48] Zhang Q, Yang R, Tang J, Yang H, Hu S, Chen X. Positive feedback between mycorrhizal fungi and plants influences plant invasion success and resistance to invasion. *PLoS One*, 2010, 5(8): e12380.
- [49] Shannon S, Flory S L, Reynolds H. Competitive context alters plant-soil feedback in an experimental woodland community. *Oecologia*, 2012, 169

(1): 235-243.

参考文献:

- [5] 吴锦容, 彭少麟. 化感——外来入侵植物的“Novel Weapons”. 生态学报, 2005, 25(11): 3093-3097.
- [11] 韩春梅, 李春龙, 叶少平, 潘开文, 吴宁, 李伟. 生姜水浸液对生姜幼苗根际土壤酶活性、微生物群落结构及土壤养分的影响. 生态学报, 2012, 32(2): 489-498.
- [12] 潘志刚, 游应天. 中国主要外来树种引种栽培. 北京: 北京科学技术出版社, 1994: 525-528.
- [13] 王海峰, 翟明普, 马长明. 外来种火炬树研究综述. 山西林业科技, 2006, (4): 11-14.
- [15] 刘全儒, 于明, 周云龙. 北京地区外来入侵植物的初步研究. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2002, 38(3): 399-404.
- [18] 张川红, 郑勇奇, 李继磊, 阎海平, 王玲. 北京地区火炬树的萌蘖繁殖扩散. 生态学报, 2005, 25(5): 978-985.
- [19] 王得祥, 刘建军, 王翼龙, 杨正礼. 四种城区绿化树种生理特性比较研究. 西北林学院学报, 2002, 17(3): 5-7.
- [20] 喻晓丽, 邸雪颖, 宋丽萍. 水分胁迫对火炬树幼苗生长和生理特性的影响. 林业科学, 2007, 43(11): 57-61.
- [21] 吴长虹, 翟明普. 火炬树化感作用的初步研究. 西北林学院学报, 2008, 23(6): 162-165.
- [22] 孙天旭, 鲁法典, 郑勇奇, 张川红, 李伯菁, 王玲, 杨晓燕. 外来树种火炬树化感作用的研究. 林业科学研究, 2010, 23(2): 195-201.
- [23] 赵雪, 赵爱芬, 张龙龙. 烟台市秦山人工林火烧迹地植被恢复初期的群落结构特征. 鲁东大学学报: 自然科学版, 2008, 24(4): 346-352.
- [24] 沈萍, 范秀容, 李广武. 微生物学实验. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [25] 关松荫. 土壤酶及其研究方法. 北京: 农业出版社, 1986: 303-312.
- [26] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-108.
- [27] 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): 3051-3050.
- [34] 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.
- [35] 张天瑞, 皇甫超河, 白小明, 杨殿林, 李刚, 赖欣, 赵建宁. 黄顶菊入侵对土壤养分和酶活性的影响. 生态学杂志, 2010, 29(7): 1353-1358.
- [36] 周晓兵, 张元明, 陶冶, 张丙昌. 古尔班通古特沙漠土壤酶活性和微生物量氮对模拟氮沉降的响应. 生态学报, 2011, 31(12): 340-349.
- [38] 陈慧丽, 李玉娟, 李博, 陈家宽, 吴纪华. 外来植物入侵对土壤生物多样性和生态系统过程的影响. 生物多样性, 2005, 13(6): 555-565.
- [41] 陆建忠, 裴伟, 陈家宽, 李博. 入侵种加拿大一枝黄花对土壤特性的影响. 生物多样性, 2005, 13(4): 347-356.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 13 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review of ecological effects of remnant trees in degraded forest ecosystems after severe disturbances MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3889)
- Mechanism and application of bioremediation to heavy metal polluted soil using arbuscular mycorrhizal fungi LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LIN Shuangshuang, et al (3898)

Autecology & Fundamentals

- Changes of allometric relationships among leaf traits in different ontogenetic stages of *Acer mono* from different types of forests in Donglingshan of Beijing YAO Jing, LI Ying, WEI Liping, et al (3907)
- The combined effects of increasing CO₂ concentrations and different temperatures on the growth and chlorophyll fluorescence in *Porphyra haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta) LIU Lu, DING Liuli, CHEN Weizhou, et al (3916)
- Research on biomass expansion factor of chinese fir forest in Zhejiang Province based on LULUCF greenhouse gas Inventory ZHU Tangjun, SHEN Chuchu, JI Biyong, et al (3925)
- Influence of soil gradual drought stress on *Acorus calamus* growth and photosynthetic fluorescence characteristics WANG Wenlin, WAN Yinjing, LIU Bo, et al (3933)
- Isolation, identification, real-time PCR investigation of an endophytic phosphate-solubilizing bacteria from *Caragana korshinskii* Kom. roots ZHANG Lizhen, FENG Lili, MENG Qixia, et al (3941)
- Plant's and soil organism's diversity across a range of *Eucalyptus grandis* plantation ages ZHANG Danju, ZHANG Jian, YANG Wanqin, et al (3947)
- Effects of diet and starvation on growth and survival of *Scapharca broughtonii* larvae WANG Qingzhi, ZHANG Ming, FU Chengdong, et al (3963)
- Multidrug-resistant bacteria in livestock feces QI Shiyue, REN Siwei, LI Xueling, et al (3970)
- Physiological regulation related to the decline of *Alexandrium catenella* MA Jinhua, MENG Xi, ZHANG Shu, et al (3978)
- Numerical simulation of water quality based on environmental fluid dynamics code for grass-algae lake in Inner Mongolia LI Xing, SHI Hongsen, ZHANG Shuli, et al (3987)

Population, Community and Ecosystem

- Influence of enclosure on *Glycyrrhiza uralensis* community and distribution pattern in arid and semi-arid areas LI Xuebin, CHEN Lin, LI Guoqi, et al (3995)
- The interannual variation of net primary productivity of three coniferous forests in Liupan Mountains of Ningxia and its responses to climatic factors WANG Yunni, XIONG Wei, WANG Yanhui, et al (4002)
- Soil water use and balance characteristics in mature forest land profile of *Caragana korshinskii* in Semiarid Loess Area MO Baoru, CAI Guojun, YANG Lei, LU Juan, et al (4011)
- Effect of simulated acid deposition on chemistry of surface runoff in monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan QIU Qingyan, CHEN Xiaomei, LIANG Guohua, et al (4021)
- A space optimization model of water resource conservation forest in Dongting Lake based on improved PSO LI Jianjun, ZHANG Huiru, LIU Shuai, et al (4031)
- Allelopathic effects of aqueous extract of exotic plant *Rhus typhina* L. on soil micro-ecosystem HOU Yuping, LIU Lin, WANG Xin, et al (4041)
- The impact of natural succession process on waterbird community in a abandoned fishpond at Chongming Dongtan, China YANG Xiaoting, NIU Junying, LUO Zukui, et al (4050)
- Mercury contents in fish and its biomagnification in the food web in Three Gorges Reservoir after 175m impoundment YU Yang, WANG Yuchun, ZHOU Huaidong, et al (4059)

- Microsatellite analysis on genetic diversity of common carp, *Cyprinus carpio*, populations in Yuan River
 YUE Xingjian, ZOU Yuanchao, WANG Yongming, et al (4068)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Research on spatio-temporal change of temperature in the Northwest Arid Area HUANG Rui, XU Ligang, LIU Junmin (4078)
- Simulation of soil respiration in forests at the catchment scale in the eastern part of northeast China
 GUO Lijuan, GUO Qingxi (4090)
- The early effects of nitrogen addition on CH₄ uptake in an alpine meadow soil on the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau
 ZHANG Peilei, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (4101)
- Analysis of water ecological footprint in Guangxi based on ecosystem services ZHANG Yi, ZHANG Heping (4111)
- The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen
 WU Jiansheng, ZHANG Liqing, PENG Jian et al (4125)
- Carbon sources and storage sinks in scenic tourist areas: a Mount Lushan case study
 ZHOU Nianxing, HUANG Zhenfang, LIANG Yanyan (4134)
- Impacts of climate change on dominant pasture growing season in Central Inner Mongolia
 LI Xiazi, HAN Guodong, GUO Chunyan (4146)
- Phenological Characteristics of Typical Herbaceous Plants (*Lris lacteal*) and Its Response to Climate Change in Minqin Desert
 HAN Fugui, XU Xianying, WANG Lide, et al (4156)
- Biomass and distribution pattern of carbon storage in *Eomecon chionantha* Hance
 TIAN Dalun, YAN Wende, LIANG Xiaocui, et al (4165)
- Temporal dynamics and influencing factors of fine roots in five Chinese temperate forest ecosystems
 LI Xiangfei, WANG Chuankuan, QUAN Xiankui (4172)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of AMF on soil improvement and maize growth in mining area under drought stress
 LI Shaopeng, BI Yinli, CHEN Peizhen, et al (4181)

Urban, Rural and Social Ecology

- Health function evaluation and exploring its mechanisms in the Shanghai Green Belt, China
 ZHANG Kaixuan, ZHANG Jianhua (4189)

Research Notes

- Time lag effects of rainfall inside a *Platycladus Orientalis* plantation forest in the Beijing Mountain Area, China
 SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jiayin (4199)
- Long-term effects of harvest residue management on soil total carbon and nitrogen concentrations of a replanted Chinese fir
 plantation HU Zhenhong, HE Zongming, FAN Shaohui, et al (4205)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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

本期责任副主编 彭少麟

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 33 卷 第 13 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 13 (July, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	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 90.00 元