

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 20 期 Vol.33 No.20 **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 20 期 2013 年 10 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 中小尺度下西北太平洋柔鱼资源丰度的空间变异..... 杨铭霞,陈新军,冯永玖,等 (6427)
- 水分和温度对若尔盖湿地和草甸土壤碳矿化的影响..... 王 丹,吕瑜良,徐 丽,等 (6436)
- 荒漠啮齿动物群落对开垦干扰的响应及其种群生态对策..... 袁 帅,付和平,武晓东,等 (6444)
- 转 Bt 基因棉花对烟粉虱天敌昆虫龟纹瓢虫的影响 周福才,顾爱祥,杨益众,等 (6455)
- 微地形改造的生态环境效应研究进展..... 卫 伟,余 韵,贾福岩,等 (6462)

个体与基础生态

- 丹顶鹤春迁期觅食栖息地多尺度选择——以双台河口保护区为例..... 吴庆明,邹红菲,金洪阳,等 (6470)
- 新疆石河子南山地区表土花粉研究..... 张 卉,张 芸,杨振京,等 (6478)
- 鄱阳湖湿地两种优势植物叶片 C、N、P 动态特征 郑艳明,尧 波,吴 琴,等 (6488)
- 基于高分辨率遥感影像的森林地上生物量估算..... 黄金龙,居为民,郑 光,等 (6497)
- 异质性光照下匍匐茎草本狗牙根克隆整合的耗益..... 陶应时,洪胜春,廖咏梅,等 (6509)
- 湘潭锰矿废弃地栎树人工林微量元素生物循环..... 罗赵慧,田大伦,田红灯,等 (6517)
- 接种彩色豆马勃对模拟酸沉降下马尾松幼苗生物量的影响 陈 展,王 琳,尚 鹤 (6526)
- 生物炭对不同土壤化学性质、小麦和糜子产量的影响 陈心想,何绪生,耿增超,等 (6534)
- 延河流域植物功能性状变异来源分析 张 莉,温仲明,苗连朋 (6543)
- 榆紫叶甲赤眼蜂基础生物学特性及其实验种群生命表..... 王秀梅,臧连生,林宝庆,等 (6553)
- 几种生态因子对拟目乌贼胚胎发育的影响 彭瑞冰,蒋霞敏,于曙光,等 (6560)

种群、群落和生态系统

- 海南铜鼓岭灌木林稀疏规律..... 周 威,龙 成,杨小波,等 (6569)
- 青海三江源区果洛藏族自治州草地退化成因分析..... 赵志平,吴晓蕾,李 果,等 (6577)
- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物基质质量的影响..... 肖银龙,涂利华,胡庭兴,等 (6587)
- 基于光合色素的钦州湾平水期浮游植物群落结构研究 蓝文陆,黎明民,李天深 (6595)
- 基于功能性状的常绿阔叶植物防火性能评价..... 李修鹏,杨晓东,余树全,等 (6604)
- 北京西山地区大山雀与其它鸟类种群间联结分析..... 董大颖,范宗骥,李扎西姐,等 (6614)
- 被动式电子标签用于花鼠种群动态研究的可行性 杨 慧,马建章,戎 可 (6634)

景观、区域和全球生态

- 华北冬小麦降水亏缺变化特征及气候影响因素分析..... 刘 勤,梅旭荣,严昌荣,等 (6643)
- 基于 FAHP-TOPSIS 法的我国省域低碳发展水平评价 胡林林,贾俊松,毛端谦,等 (6652)
- 河漫滩湿地生态阈值——以二卡自然保护区为例..... 胡春明,刘 平,张利田,等 (6662)
- 应用 Le Bissonnais 法研究黄土丘陵区植被类型对土壤团聚体稳定性的影响 刘 雷,安韶山,黄华伟 (6670)
- 不同人为干扰下纳帕海湖滨湿地植被及土壤退化特征..... 唐明艳,杨永兴 (6681)

资源与产业生态

近 10 年北京极端高温天气条件下的地表温度变化及其对城市化的响应 李晓萌,孙永华,孟 丹,等 (6694)

三峡库区小江库湾鱼类食物网的稳定 C、N 同位素分析 李 斌,徐丹丹,王志坚,等 (6704)

研究简报

北京奥林匹克森林公园绿地碳交换动态及其环境控制因子..... 陈文婧,李春义,何桂梅,等 (6712)

植被恢复对洪雅县近 15 年景观格局的影响 王 鹏,李贤伟,赵安玖,等 (6721)

高盐下条斑紫菜光合特性和 S-腺苷甲硫氨酸合成酶基因表达的变化 ... 周向红,易乐飞,徐军田,等 (6730)

学术信息与动态

生态系统服务研究进展——2013 年第 11 届国际生态学大会 (INTECOL Congress) 会议述评 房学宁,赵文武 (6736)

生态系统服务评估——2013 年第 6 届生态系统服务伙伴国际学术年会述评 巩 杰,岳天祥 (6741)

回顾过去,引领未来——2013 年第 5 届国际生态恢复学会大会 (SER 2013) 简介..... 彭少麟,陈宝明,周 婷 (6744)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 320 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 33 * 2013-10



封面图说: 荒漠旱獭——旱獭属啮齿目、松鼠科、旱獭属,是松鼠科中体型最大的一种。旱獭多栖息于平原、山地和荒漠草原地带,集群穴居,挖掘能力甚强,洞道深而复杂,多挖在岩石坡和沟谷灌丛下,从洞中推出的大量沙石堆在洞口附近,形成旱獭丘。荒漠啮齿动物是荒漠生态系统的重要成分,农业开垦对功能相对脆弱的荒漠生态系统的干扰极大,往往导致栖息地破碎化,对动植物种产生强烈影响,啮齿动物受到开垦干扰后对环境的响应及其群落的生态对策,是荒漠生态系统生物多样性及其功能维持稳定的重要基础。

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/stxb201301040018

陈展, 王琳, 尚鹤. 接种彩色豆马勃对模拟酸沉降下马尾松幼苗生物量的影响. 生态学报, 2013, 33(20): 6526-6533.

Chen Z, Wang L, Shang H. Effects of ectomycorrhizal fungi (*tinctorius* (Pers.) Coker & Couch) on the biomass of masson pine (*Pinus massoniana*) seedlings under simulated acid rain. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(20): 6526-6533.

接种彩色豆马勃对模拟酸沉降下 马尾松幼苗生物量的影响

陈 展¹, 王 琳², 尚 鹤^{1,*}

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091;

2. 河南大学环境与规划学院, 开封 475001)

摘要: 外生菌根能够提高宿主植物对外界环境胁迫的抵抗力, 促进植物的生长, 试图揭示外生菌根对酸雨胁迫下马尾松生长的保护作用。采用盆栽试验, 共设置 4 个处理: 酸雨对照处理((CK), 约 pH 值 5.6)不接种, 酸雨对照处理接种, 酸雨 pH 值 3.5 处理不接种, 酸雨 pH 值 3.5 处理接种。pH 值 3.5 的酸雨处理降低马尾松的生物量, 在试验前期降低根冠比, 试验中后期则提高根冠比, 在试验初期增加了叶面积, 但中后期显著降低了叶面积。接种外生菌根菌有利于马尾松幼苗的生长, pH 值 3.5 处理下接种外生菌根菌能提高马尾松幼苗的生物量, 外生菌根菌对生物量分配和叶面积的影响与酸雨胁迫的影响是相反的, 即外生菌根菌抵消了酸雨胁迫对马尾松的影响。

关键词: 外生菌根; 酸雨; 马尾松; 生物量

Effects of ectomycorrhizal fungi (*tinctorius* (Pers.) Coker & Couch) on the biomass of masson pine (*Pinus massoniana*) seedlings under simulated acid rain

CHEN Zhan¹, WANG Lin², SHANG He^{1,*}

1 Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, State Forestry Administration, Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475001, China

Abstract: Tree growth is a result of multiple, interacting, physiological processes influenced by an inherited genetic constitution and the ambient environment. The growth of coniferous trees is closely connected with the amount of nitrogen and other nutrients available. Air pollutants that limit carbon gain or nutrient availability may suppress growth rate and total biomass production, and thus affect the nutrient allocation pattern. An increase in the acidity of precipitation predisposes tree seedlings to a number of environmental stresses; these are reflected in seedling germination, growth, and survival. Decreased growth has been seen in response to sulfate-containing precipitation. However, considerable differences have been reported in the responses of conifer species to acid rain.

Many tree species in forest ecosystems live in symbioses with ectomycorrhizal (ECM) fungi, which provide their hosts with nutrients. Symbioses with ECM fungi are therefore very important. Soil acidification due to dry and/or wet deposition can inhibit the uptake of minerals and water essential for plant growth, and increase the uptake of toxic metals, due to poor differentiation by root meristems. However, colonization by ectomycorrhizal fungi can increase the uptake of essential nutrients and water, and reduce the toxicity of metals such as Al^{3+} and Mn^{2+} .

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFRIFEEP2008004); 国家自然科学基金项目(30901149)资助

收稿日期: 2013-01-04; **修订日期:** 2013-06-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shanghechina@126.com

To evaluate the effects of ectomycorrhizal colonization on the growth of *Pinus massoniana* Lamb seedlings grown in acidified soils, we grew masson pine seedlings with ectomycorrhizae for 210 days in acidified forest soil originating from Chongqing Municipality, Southwest China. There were two acid treatments; one at pH 3.5 and the control at about pH 5.5, and two ectomycorrhizal treatments (inoculated, non-inoculated). Simulated acid rain in combination with pH 3.5 reduced seedling biomass. Inoculation with ectomycorrhizal fungi was able to increase seedling biomass. Treatment time, acid treatment, and ectomycorrhizae all had remarkable effects on biomass, and we observed interacting effects between treatment time and acid treatment, and between acid treatment and ectomycorrhizae. Treatment time had significant effects on root, stem, and leaf biomass allocation, and acid treatment and ectomycorrhizae had obvious effects on root and leaf percentages. There were interactions between and among treatment time, acid treatment, and ectomycorrhizae. Under simulated acid rain (pH 3.5), the root-shoot ratio initially decreased and then increased. Treatment time and acid treatment had significant effects on the root-shoot ratio, while the ectomycorrhizae showed no effect. We observed interacting effects on the root-shoot ratio between acid treatment and treatment time, treatment time and ectomycorrhizae, and among these three. Compared with the control (pH 5.5), simulated acid rain (pH 3.5) initially increased leaf area, and then significantly reduced leaf area. Treatment time, acid treatment, and ectomycorrhizae had obvious effects on specific hemi-surface area, and there were also significant interactions among these factors. The effects of ectomycorrhizae on biomass allocation and leaf area was opposite to the effects of acid rain. Inoculation with ectomycorrhizal fungi encouraged the growth of masson pine seedlings, and increased specific hemi-surface area, enhancing photosynthesis and elevating biomass accumulation. Ectomycorrhizal fungi were thus able to counteract the effects of simulated acid rain, and protect the growth of the masson pine seedlings. It may be that ectomycorrhizal fungi can be used effectively to increase plant resistance to acid rain in places such as Southwest China.

Key Words: ectomycorrhizae; simulated acid rain; masson pine; biomass

酸雨是世界十大环境问题之一^[1],酸雨能使水体和土壤酸化、破坏森林、伤害庄稼、损害古迹、影响生物生存和人体健康。酸雨增加对森林生态系统生产力的诸多影响已引起了生态学者的关注^[2-3]。降水酸度增加使得树木幼苗对一些环境胁迫的敏感性增加,反应在幼苗发芽、生长及存活中^[4-8]。含有 NO_3^- 或 NH_4^+ 的酸沉降增加了针叶树幼苗的生长及针叶的 N 含量^[6,9-12]。不同种针叶树对酸雨的响应存在很大的差异^[9,13]。酸沉降还是引起森林衰退如针叶退色、叶片光合活性下降等的原因之一^[14-15]。

我国长江以南、青藏高原以东及四川盆地的广大地区是继欧洲、北美之后出现的世界第三大酸雨区^[16],特别是长江以南的砖红壤、红壤和黄壤等 pH 值在 5—6 的酸性和强酸性土壤区域是我国酸雨的主要发生地^[17]。酸雨对我国长江以南森林造成了危害,最严重的是四川一带^[18]。从 20 世纪 80 年代开始,四川南山大约 2000 hm^2 马尾松林出现了严重的退化,包括松针坏死、冠层减少、松针长度降低、针叶提早脱落、树枝枯死以及径向生长降低,这些被认为是由于 SO_2 和氟化物共同引起的结果^[19-20]。四川省受酸雨危害的森林面积达 280000 hm^2 ,占整个四川省森林面积的三分之一,死亡的森林面积达 15000 hm^2 ,占森林面积的 6%^[21]。

有研究表明,优良的外生菌根真菌与树木根系形成外生菌根之后,能活化土壤中的难溶性养分,减轻铝的危害作用,并向寄主提供生长促进物质,促进森林生长,防止退化衰亡^[22]。如彩色豆马勃 (*Pisolithus tinctorius*) 形成的外生菌根可促进土壤 A1-P 和 Fe-P 溶解,增加寄主对磷的吸收^[23],提高对铝的抗性^[24]。在育苗时,接种外生菌根真菌还可以提高种苗质量,提高造林成活率^[25-26]。因此,如在苗期即接种有效的外生菌根真菌,可在营造人工林时方便、经济、有效地促进酸化贫瘠土地上林木的生长^[27]。马尾松是在西南地区分布广泛的重要的经济树种,有研究指出,当酸雨 pH 值低于 4.0 时,马尾松的生产力降低 43%^[28]。本研究拟通过接种外生菌根菌对模拟酸雨胁迫下马尾松幼苗生物量及其分配的影响,考察外生菌根菌是否能提高马尾松幼苗对酸雨的抗逆性,以其为酸雨严重区马尾松的生长提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本研究通过人工模拟酸雨条件下,研究外生菌根和酸雨对马尾松幼苗生物量的影响。模拟实验在中国林业科学研究院内的温室中进行。试验设置两个酸雨值处理,分别为对照处理(CK)和 pH 值 3.5,每个酸处理下设有接种外生菌根菌处理和未接种外生菌根菌处理,每个处理设置 30 盆重复。南方酸雨的类型为硫酸型酸雨,采用去离子水逐步稀释配制模拟酸雨,用分析纯浓 H_2SO_4 和浓 HNO_3 配制成摩尔比为 5:1 的酸雨母液。然后将适量母液用去离子水稀释成 pH 值分别为 3.5 和 5.5 预定水平的酸雨供试液,其他离子的含量为 NH_4^+ 2.67 mg/L; Ca^{2+} 3.37 mg/L; Mg^{2+} 0.33 mg/L; Cl^- 1.14 mg/L; K^+ 0.79 mg/L; Na^+ 0.36 mg/L; F^- 0.39 mg/L。

试验用的土壤采自重庆,土壤 pH 值 4.96,有机质含量为 20.5 g/kg,总氮 1.18 g/kg,总磷 0.453 g/kg,总钾 14 g/kg。试验采用的外生菌根菌种为中国林业科学研究院林业研究所提供的马勃固体菌剂(*Tinctarius* (Pers.) Coker & Couch),接种的处理将固体菌剂与土壤按 1:10 的比例进行混合。同时将一部分固体菌剂在 121 °C 下进行高压灭菌,以杀死其中的外生菌根菌,而保留固体菌剂中其他的固有成分,将灭菌后的固体菌剂与土壤按 1:10 的比例进行混合,作为未接种外生菌根菌的土壤基质。1 年生的马尾松幼苗由浙江省淳安林业站提供,树苗于 2011 年 11 月 28 日移栽于盆中。从 2012 年 2 月 16 日开始每周喷淋 1 次酸雨,对照喷淋去离子水,每次以浇透至树叶有水滴滴下为止,试验于 9 月 5 日结束。

1.2 采样及分析

分别于 2012 年 5 月 5 日,7 月 5 日和 9 月 5 日收获植株生物量,每个处理随机选取 5 盆进行采样。植物样品按叶、茎、根分开收集,75 °C 烘干至恒重,测定分析各部分植物干重百分比和根冠比。

在每次采样后同时测定松针的叶面积。本文借用 Gower 等^[29]推荐的叶面积计算方法,把每束针叶合拢后近似看成圆柱体,利用总表面积的一半计算比叶面积,并称该比叶面积为半比表面积(SHA)。利用该方法计算的阔叶植物和其它叶片扁平植物的比叶面积与单侧叶面的比叶面积结果是一致的。每株幼苗取 10 束松针,每束针叶利用 0.01 g 精度电子天平称量鲜重,根据含水率计算其干重 m (g),利用钢卷尺测定叶片长度 l (cm),利用数显游标卡尺(精度 0.01 mm)测量叶片长的 1/4 处、1/2 处和 3/4 处的宽度和厚度各 3 次,取平均值作为该处的宽度和厚度值,计算 3 处平均值的均值作为该叶片的宽度 d (mm) 和厚度 h (mm)。经推导,两针一束叶的半比表面积 SHA (m^2/kg) 计算公式为^[30]:

$$\text{SHA} = 0.01 \times [(2h + d) \pi / 4 + d] l / m$$

利用 SPSS PASW Statistics 18 对各个采样时间测定计算得到的生物量、根冠比及半比表面积进行多重比较分析,考察外生菌根菌、酸雨处理及采样时间对马尾松幼苗的影响;同时每个采样时间内对不同处理进行 ANOVA 分析,进一步分析不同时期外生菌根菌和酸雨对马尾松生长的影响。

2 结果

2.1 对生物量干重的影响

与对照处理相比,pH 值 3.5 酸雨处理下生物量有降低的趋势,除 7 月份样品外其他两次采样(5 月和 9 月)中差异都达到显著水平,分别比对照降低 32.47% 和 16%。在对照接种外生菌根菌对生物量的影响不明显,但 pH 值 3.5 处理下接种外生菌根菌后能提高马尾松幼苗的生物量干重。处理时间、酸雨处理、外生菌根菌对生物量的影响都达到了极显著的水平($P < 0.001$)。处理时间和酸雨处理的交互作用对生物量的影响显著($P < 0.05$),主要表现在不同时间下酸雨处理对生物量的影响存在差异;酸雨处理和外生菌根菌接种的交互影响显著($P < 0.05$),主要表现在 pH 值 3.5 处理下接种处理与未接种处理之间的生物量存在显著差异,而 CK 处理下接种和未接种处理间不存在差异;而处理时间与外生菌根菌之间以及处理时间、酸雨处理和外生菌根菌三者之间均不存在交互作用(图 1)。

2.2 对生物量分配的影响

在酸雨处理初期(5 月份)样品中,pH 值 3.5 的酸雨处理与对照处理相比,生物量对茎和叶的分配分别增

加了 22.33% 和 15.48%, 对根的分配则降低了 25.26%; 相同 pH 值的酸雨处理下接种外生菌根菌与未接种外生菌根菌的幼苗生物量分配没有差异。

7 月份样品中, pH 值 3.5 处理显著提高了根和茎的生物量比重, 根和茎百分比分别比对照增加 9.78% 和 19.91%, 与对照处理相比生物量对叶的分配显著降低了 14.78%; pH 值 3.5 酸雨处理下接种外生菌根菌明显降低了根和叶的生物量比重, 而提高了生物量对茎的分配。对照处理下接种外生菌根菌对根的生物量分配没有影响, 显著提高了茎的生物量比重, 降低了叶的生物量分配。

在试验处理末期的九月份样品中, pH 值 3.5 酸雨处理明显提高了根的生物量百分比, 显著降低茎的生物量百分比, 而叶的生物量百分比则没有影响; CK 处理下接种外生菌根真菌与未接种苗木相比提高了生物量对根的分配, 而降低了茎和叶的生物量分配; pH 值 3.5 酸雨处理下, 接种外生菌根菌后茎的生物量分配提高了 7.9%, 对根和叶的生物量分配没有明显影响。

多因子分析结果表明(表 1), 处理时间对根、茎、叶的生物量分配有极显著影响; 酸雨处理和外生菌根菌对根和叶的生物量分配有着显著的影响, 主要表现在 CK 和 pH 值 3.5 在接种外生菌根菌处理下生物量存在显著差异而未接种处理下这两个处理直接生物量没有明

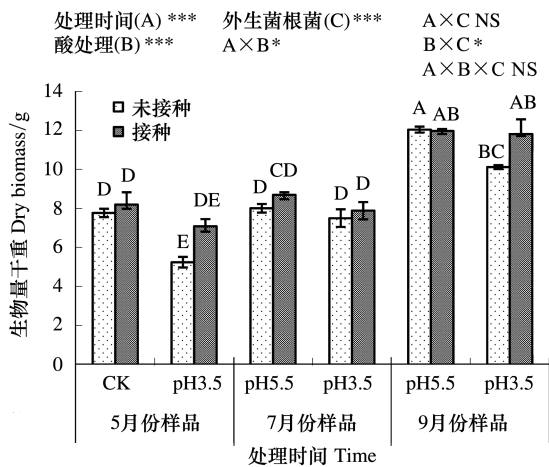


图 1 接种外生菌根菌对酸处理下马尾松生物量干重的影响

Fig. 1 The effect of acid rain and ectomycorrhizae on biomass

***: 在 0.001 水平下差异显著; **: 在 0.01 水平下差异显著; *: 在 0.05 水平下差异显著; NS, 无显著差异; 相同字母表示处理间无显著性差异, 不同字母表示处理间存在显著性差异

表 1 接种外生菌根菌对酸处理下马尾松生物量分配的影响

Table 1 The effects of acid rain and ectomycorrhizae on biomass allocation

处理时间 Time	酸处理 Acid Treatment	外生菌根菌 Ectomycorrhizal fungi	根/% Root	茎/% Stem	叶/% Leave
5 月样品	CK	未接种	41.53±1.50A	20.82±0.21DE	37.66±1.43C
		接种	40.38±0.82A	21.37±0.65DE	38.25±0.18C
	pH3.5	未接种	31.04±0.25C	25.47±1.81C	43.49±1.56AB
		接种	31.43±1.91C	26.02±0.39C	42.55±1.52BC
7 月样品	CK	未接种	32.20±0.52BC	19.78±0.86E	48.03±0.72A
		接种	32.35±0.52BC	24.13±0.36CD	43.52±0.89AB
	pH3.5	未接种	35.35±0.53BC	23.72±0.85CDE	40.93±0.75BC
		接种	32.82±0.62BC	22.25±0.13CED	44.93±0.55AB
9 月样品	CK	未接种	24.63±0.85D	53.77±1.02A	21.61±0.18D
		接种	37.14±0.91AB	48.89±0.52B	13.96±1.26E
	pH3.5	未接种	32.12±1.39C	45.23±0.42B	22.65±0.98D
		接种	30.42±0.24D	48.80±0.84B	20.78±0.75D
处理时间			***	***	***
酸处理			***	NS	**
外生菌根菌			*	NS	**
处理时间×酸处理			***	***	***
处理时间×外生菌根菌			***	NS	**
酸处理×外生菌根菌			***	NS	***
处理时间×酸处理×外生菌根菌			***	***	**

***: 在 0.001 水平下差异显著; **: 在 0.01 水平下差异显著; *: 在 0.05 水平下差异显著; NS: 无显著差异; 相同字母表示在处理间无显著性差异, 不同字母表示处理间存在显著性差异

显差异;但对茎的分配没有影响;处理时间和酸雨处理对生物量的分配存在极显著的交互影响,不同时间处理下 CK 和 pH 值 3.5 对生物量分配的影响不同;处理时间和外生菌根菌的交互作用对根和叶的生物量分配有着显著影响,主要表现在 5 月份和 7 月份时是否接种外生菌根菌对根和叶的分配没有影响,而在 9 月份时则接种外生菌根菌和未接种之间存在差异,说明外生菌根菌的作用与处理时间有关,对茎没有明显影响;酸雨处理和外生菌根菌对根和叶的生物量分配存在显著的交互影响,CK 处理下是否接种外生菌根菌对根的分配没有影响,但 pH 值 3.5 处理下接种与未接种外生菌根菌植株根的分配有明显差异;对叶的影响则相反,CK 处理下是否接种外生菌根菌对叶的分配影响显著,而 pH 值 3.5 处理下则没有影响;酸处理和外生菌根菌对茎的生物量分配没有交互作用;而处理时间、酸雨处理以及外生菌根菌三者对根、茎、叶的生物量分配存在明显的交互作用。

2.3 对根冠比的影响

在实验初期,pH 值 3.5 的酸雨处理显著降低根冠比,而中后期则有所提高。在对照处理下,接种外生菌根菌对根冠比的影响只有在 9 月份的样品中体现出来了,明显提高了菌根苗的根冠比;pH 值 3.5 处理下接种外生菌根菌对根冠比的影响出现在 7 月份,显著降低了菌根苗的根冠比。

多因子分析结果表明,处理时间和酸雨处理对根冠比的影响是极其显著的,而接种外生菌根菌对根冠比没有影响。酸处理和处理时间对根冠比有显著的交互作用,在 CK 处理下随处理时间延长根冠比先升高后降低,但在 pH 值 3.5 处理下根冠比 5 月份与 7 月份没有差别,处理时间进一步延长到 9 月份时则显著降低了;是否接种外生菌根菌在处理前期和中期对根冠比没有影响,但在处理后期接种外生菌根菌明显降低了根冠比,说明外生菌根菌与处理时间对根冠比的影响存在交互作用;酸处理和外生菌根菌对根冠比也有明显的交互影响,未菌根化植株中不同酸处理之间根冠比没有差异,菌根化植株则 pH 值 3.5 处理提高根冠比;且处理时间、酸雨处理与外生菌根菌三者之间对根冠比的交互影响也很明显(图 2)。

2.4 对半比表面积的影响

在实验初期,马尾松幼苗经 pH 值 3.5 的酸雨处理后半比表面积比对照处理下增加了 7.6% ($P < 0.05$),7 月份与 9 月份的采样中,pH 值 3.5 处理后半比表面积则分别比对照处理降低了 3.1% 和 12.3% ($P < 0.05$)。对于对照处理而言,接种外生菌根菌的幼苗半比表面积均比未接种的显著降低了,而 pH 值 3.5 处理下幼苗的半比表面积在 5 月份采样中比未接种的降低了,在 7 月份和 9 月份采样中则接种外生菌根菌增加了半比表面积。

多因子分析结果表明,处理时间、酸雨处理以及外生菌根菌对半比表面积的影响是极其显著的 ($P < 0.001$);酸处理和处理时间对半比表面积有着明显的交互作用,主要表现在处理初期和处理末期酸处理之间没有差异,而处理中期两个酸雨处理之间半比表面积差异显著 ($P < 0.001$);外生菌根菌和处理时间也存在交互作用 ($P < 0.001$),在处理初期和中期接种外生菌根菌与未接种比明显降低了半比表面积,处理后期则接种外生菌根菌对半比表面积没有影响;酸雨对照处理中接种外生菌根菌明显降低半比表面积,但 pH 值 3.5 处理下接种外生菌根菌对半比表面积没有影响,说明外生菌根菌与酸处理对半比表面积有着交互影响; ($P < 0.001$),三者之间的交互作用对半比表面积的影响也是极其显著的 ($P < 0.001$)。

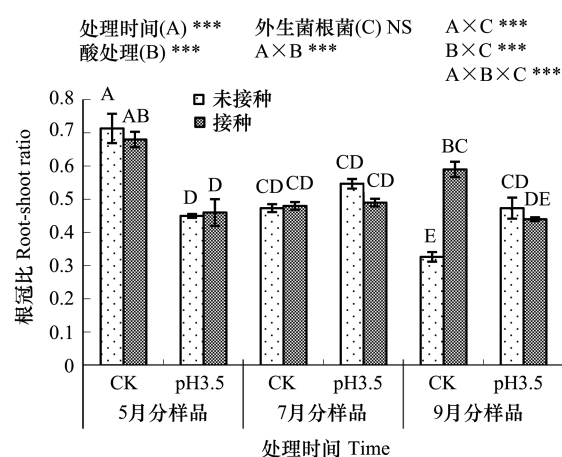


图 2 接种外生菌根菌对酸处理下马尾松幼苗根冠比的影响

Fig. 2 The effect of acid rain and ectomycorrhizae on root:shoot ratio

***: 在 0.001 水平下差异显著; **: 在 0.01 水平下差异显著; *: 在 0.05 水平下差异显著; NS: 无显著差异; 相同字母表示在所有处理间无显著性差异,不同字母表示所处理间存在显著性差异

3 讨论

酸雨对马尾松生长的影响在 5 月份表现出显著的抑制作用;而在 7 月份 pH 值 3.5 处理下马尾松生物量干重与对照没有明显差别,有向对照回归的趋势;但到了处理后期(9 月份)则酸雨又明显的降低了马尾松生物量的干重。在研究酸雨对杜仲影响中也得到类似的结果,在处理时间 2 个月时酸雨降低杜仲的生物量及叶面积,到处理时间 4 个半月时各项指标有向对照回归的趋势,而到了 6 个半月时则酸雨对杜仲生物量及叶面积又表现出抑制作用^[31]。由此可见,马尾松等植物在酸雨危害初期受害,但逆境锻炼使其抗逆能力增强而在试验中期恢复生长,但随着酸雨试验的继续进行对植物的伤害又会进一步加大。

结合马尾松根、茎叶各部分生物量占总重的百分比以及根冠比,可以看出酸雨对生物量分配的影响则表现在 5 月份增加对地上部分的分配,7 月份和 9 月份则提高了生物量对根的分配。关于酸雨对植物生物量分配的影响有着不同的报道结果:张治军等发现重庆酸雨区马尾松根系生物量比例较低,呈现出马尾松根系生物量有随着土壤酸化程度加剧而减少的趋势^[32];黄益宗等在模拟酸雨对马尾松和尾叶桉生长的影响中,酸雨降低两个树种的生物量,根系生物量以及根系生物量占的比例都降低^[33];但他们在野外调查酸沉降对华南地区马尾松和尾叶桉生物量的影响中却发现在酸雨污染的区域其根系生物量占总生物量的比例要高于清洁区,也就是说酸雨污染促进了这两个树种对根系的生物量分配^[34];但大部分研究结果倾向于酸雨或 N 沉降抑制根系的生长,降低根冠比^[35-37]。产生这种现象的原因很多,与树种、酸雨作用时间、试验方式(盆栽或原位)以及受试树种的年龄等都有关系。

叶面积是研究植物的一个重要指标,一般认为植物叶面积越大,越有利于植物进行光合作用,本研究中酸雨对马尾松幼苗叶面积的影响表现出先增加后降低的趋势。模拟酸雨对杜仲^[31]、马尾松和尾叶桉的叶面积也是抑制作用^[33]。酸雨胁迫下,叶面积减少,直接导致光合作用的降低,从而导致生物量积累的减少。接种外生菌根菌后,则抵消了低酸处理对叶面积的作用,在中后期菌根苗的叶面积显著的高于非菌根苗,则有利于植物在酸胁迫的环境中进行光合作用,保护了马尾松的生长。

在低 pH 值处理下,外生菌根菌接种的苗木生物量要明显高于未接种的苗木,说明接种外生菌根真菌能有效的促进酸雨胁迫下马尾松的生物量积累。在铝胁迫下接种双色蜡蘑显著的促进了马尾松幼苗的生长,短短 3 个月内菌根苗的生物量比非菌根苗高出 50% 以上^[38];在模拟氮沉降的研究中,接种外生菌根菌的落叶松苗(*Larix kaempferi*)明显提高了最大光合速率和生物量总重^[26]。本研究中,接种外生菌根菌对生物量的分配影响仅出现在 7 月份的样品中,在 pH 值 3.5 处理下菌根苗的根系生物量分配降低,根冠比降低。Taniguchi 等分别研究了 7 种外生菌根对 N 沉降胁迫下落叶松的影响,发现 N 处理下接种某几种外生菌根菌(*S. granulatus*, *Rhizopogon* sp., *unidentified ECM fungus T01*, *Tomentella* sp. 2 or *Amanita* sp.)时显著的降低了根系的生长^[26]。总的来说,酸处理下,接种外生菌根菌促进了马尾松幼苗的生长,提高了半比表面积,有利于植株的光合作用,提高生物量的积累。由此可见,在南方酸雨严重的区域,通过接种外生菌根菌来提高植株的抗逆性,促进植株生长,减轻酸雨危害是行之有效的一个重要途径。

References:

- [1] Cao L. A review on ten problems of the Global environmental. Chinese Journal of Environmental Science, 1995, 16(4): 86-88.

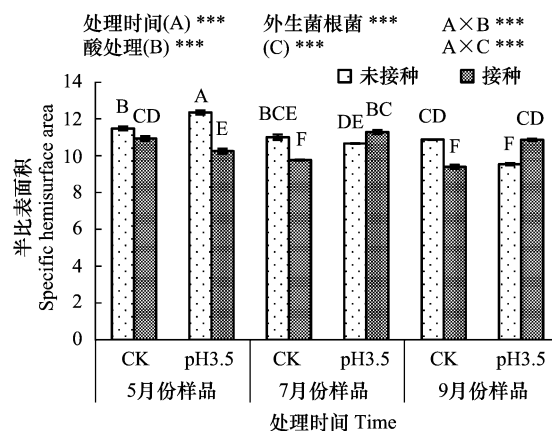


图3 接种外生菌根菌对酸处理下马尾松幼苗半比表面积的影响

Fig.3 The effect of acid rain and ectomycorrhizae on specific hemisurface area

***, 在 0.001 水平下差异显著; **, 在 0.01 水平下差异显著; *, 在 0.05 水平下差异显著; NS, 无显著差异; 相同字母表示处理间无显著性差异, 不同字母表示处理间存在显著性差异

- [2] Feng Z W. Impacts and control strategies of acid deposition on terrestrial ecosystems in China. *Engineering Science*, 2000, 2(9): 5-11.
- [3] Ouyang X J, Zhou G Y, Huang Z L, Liu J Xu, Zhang D Q, Li J. Effect of simulated acid rain on potential carbon and nitrogen mineralization in forest soils. *Pedosphere*, 2008, 18(4): 503-514.
- [4] Wen K J, Liang C J, Wang L H, Hu G, Zhou Q. Combined effects of lanthanum and acid rain on growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure in soybean seedlings. *Chemosphere*, 2011, 84(5): 601-608.
- [5] Jacobson J S, Heller L I, Yamada K E, Osmeloski J F, Bethard T, Lassoie J P. Foliar injury and growth response of red spruce to sulfate and nitrate acidic mist. *Canadian Journal of Forest Research*, 1990, 20(1): 58-65.
- [6] Sheppard L J, Cape J N, Leith I D. Influence of acidic mist on frost hardiness and nutrient concentrations in red spruce seedlings. 1. Exposure of the foliage and the rooting environment. *New Phytologist*, 1993, 124(4): 595-605.
- [7] Sheppard L J, Cape J N, Leith I D. Influence of acidic mist on frost hardiness and nutrient concentrations in red spruce seedlings. 2. Effects of misting frequency and rainfall exclusion. *New Phytologist*, 1993, 124(4): 607-615.
- [8] Fan H B, Wang Y H. Effects of simulated acid rain on germination, foliar damage, chlorophyll contents and seedling growth of five hardwood species growing in China. *Forest Ecology and Management*, 2000, 126: 321-329.
- [9] Billen N, Schätzle H, Seufert G, Arndt U. Performance of some growth variables. *Environmental Pollution*, 1990, 68(3/4): 419-434.
- [10] Jacobson J S, Bethard T, Heller L, Lassoie J P. Response of *Picea rubens* seedlings to intermittent mist varying in acidity, and in concentrations of sulfur-, and nitrogen-containing pollutants. *Physiologia Plantarum*, 1990, 78(4): 595-601.
- [11] Dean T J, Johnson J D. Growth response of young slash pine trees to simulated acid rain and ozone stress. *Canadian Journal of Forest Research*, 1992, 22(6): 839-848.
- [12] Shelburne V B, Reardon J C, Paynter V A. The effects of acid rain and ozone on biomass and leaf area parameters of shortleaf pine (*Pinus echinata* Mill.). *Tree Physiology*, 1993, 12(2): 163-72.
- [13] Abouguendia Z M, Baschak L A. Response of two western Canadian conifers to simulated acidic precipitation. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1987, 33(1/2): 15-22.
- [14] Sant'Anna-Santos B F, da Silva L C, Azevedo A A, Araújo J M, Alves E F, Silva E A M, Aguiar, R. Effects of simulated acid rain on the foliar micromorphology and anatomy of tree tropical species. *Environmental and Experimental Botany*, 2006, 58(1/3): 158-168.
- [15] Chen J, Wang W H, Liu T W, Wu F H, Zheng H L. Photosynthetic and antioxidant responses of *Liquidambar formosana* and *Schima superba* seedlings to sulfuric-rich and nitric-rich simulated acid rain. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2013, 64: 41-51.
- [16] Tomlinson G H. Acidic deposition, nutrient leaching and forest growth. *Biogeochemistry*, 2003, 65(1): 51-81.
- [17] Zhang S G, Zhang H. The harmfulness of acid rain to agriculture and environment in China and the corresponding preventive countermeasures. *Chinese Agricultural Resources and Regional Planning*, 2001, 22(1): 41-44.
- [18] Zhong Hanzhen, Yuan Quan. Acid rain hazard and countermeasure analysis in Yangtze River Valley. *Journal of Huazhong Agricultural University (Social Science Edition)*, 2002(3): 18-21.
- [19] Yu S W, Bian Y M, Ma G J, Luo J J. Studies on the causes of forest decline in Nanshan, Chongqing. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1990, 14(2/3): 239-246.
- [20] Bian Y M, Yu S W. Forest decline in Nanshan, China. *Forest Ecology and Management*, 1992, 51(1/3): 53-59.
- [21] Liu P, Xia F, Pan J Y, Chen Y P, Peng H M, Chen S H. Discuss on present situation and countermeasures for acid rain prevention and control in China. *Environmental Science and Management*, 2011, 36(12): 30-35, 84-84.
- [22] Guo Xiuzhen, Bi Guochang Edited. *Tree Mycorrhizae and its application technology*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1989: 24-24.
- [23] George A S, McQuattie C J. Effect of aluminium on the growth, anatomy, nutrient content of ectomycorrhizal and nonmycorrhizal eastern white pine seedlings. *Canadian Journal of Forest Research*, 1995, 25: 1252-1262.
- [24] Schier G A, McQuattie C J. Response of ectomycorrhizal and nonmycorrhizal pitch pine (*Pinus rigida*) seedlings to nutrient supply and aluminum: growth and mineral nutrition. *Canadian Journal of Forest Research*, 1996, 26(12): 2145-2152.
- [25] Taniguchi T, Kataoka R, Futai K. Plant growth and nutrition in pine (*Pinus thunbergii*) seedlings and dehydrogenase and phosphatase activity of ectomycorrhizal root tips inoculated with seven individual ectomycorrhizal fungal species at high and low nitrogen conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40(5): 1235-1243.
- [26] Stamford N P, Silvia R A. Effect of lime and inoculation of *Mimosa caesalpiniaefolia* in acid soil of the forest zone and semiarid region of pernambuco, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2000, 35(5): 1037-1045.
- [27] Feng Z W. The effects of acid rain on ecosystem — acid rain study in Southwestern China. Beijing: China Science and Technology Press, 1993: 131-131.
- [28] Wu G, Zhang J Y, Wang X. Effect of acidic deposition on productivity of forest ecosystem and estimation of its economic loss in southern suburbs

- of Chongqing China. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1994, 14(4): 461-465.
- [29] Gower S T, Kucharik C J, Norman J M. Direct and indirect estimation of leaf area index, fAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 1999, 70(1): 29-51.
- [30] Li X R, Liu Q J, Cai Z, Ma Z Q. Specific leaf area and leaf area index of conifer plantations in Qianyanzhou station of subtropical China. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(1): 93-101.
- [31] Qi Z M, Zhong Z C. Effect of simulated acid rain on photosynthesis and growth of *Eucommia ulmoides* Oliv. *Journal of Southwest China Normal University: Natural Science Edition*, 2006, 31(2): 151-156.
- [32] Zhang Z J, Wang Y H, Yu P T, Yuan Y X, Li Z Y, Zhang G Z, Liu Y H. Characteristics of biomass and root distribution of *Pinus massoniana* with different dominance. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition*, 2008, 32(4): 71-75.
- [33] Huang Y Z, Li Z X, Li X D, Wu K T, Sun J Z. Impact of simulated acid rain on growth and nutrient elements uptake by *Eucalyptus urophylla* and *Pinus massoniana*. *Ecology and Environment*, 2006, 15(2): 331-336.
- [34] Huang Y Z, Li Z X, Li X D, Yang W M, Liang Z Y, Li H F, Liuy D L, Lu B S. Effects of acid deposition and atmospheric pollution on forest ecosystem biomass in Southern China. *Ecology and Environment*, 2007, 16(1): 60-65.
- [35] Li D J, Mo J M, Fang Y T, Li Z A. Effects of simulated nitrogen deposition on biomass production and allocation in *Schima superba* and *Cryptocarya concinna* seedlings in subtropical China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(4): 543-549.
- [36] Persson H, Ahlström K, Clemensson A L. Nitrogen addition and removal at Gårdsjön-effects on fine-root growth and fine-root chemistry. *Forest Ecology and Management*, 1998, 101(1/3): 199-206.
- [37] Shan Y F, Feng Z W, Chen C Y. The effects of simulated acid rain on biomass of seven species of forest plants. *Acta Ecologica Sinica*, 1989, 9(3): 274-276.
- [38] Gu X R, Liang G S, Yang S P, Chen C L, Huang J G. Influences of laccaria bicolor on the growth, nutrient uptake and aluminum resistance of *Pinus massoniana* seedlings. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(4): 199-203.

参考文献:

- [1] 曹磊. 全球十大环境问题. *环境科学*, 1995, 16(4): 86-88.
- [2] 冯宗炜. 中国酸雨对陆地生态系统的影响和防治对策. *中国工程科学*, 2000, 2(9): 5-11.
- [17] 张士功, 张华. 酸雨对我国生态环境的危害及防治对策. *中国农业资源与区划*, 2001, 22(1): 41-44.
- [18] 钟汉珍, 袁泉. 长江流域酸雨危害及对策分析. *华中农业大学学报: 社会科学版*, 2002, (3): 18-21.
- [21] 刘萍, 夏菲, 潘家永, 陈益平, 彭花明, 陈少华. 中国酸雨概况及防治对策探讨. *环境科学与管理*, 2011, 36(12): 30-35, 84-84.
- [22] 郭秀珍, 毕国昌. 林木菌根及应用技术. 北京: 中国林业出版社, 1989: 24-24.
- [27] 冯宗炜. 酸雨对生态系统的影响——西南地区酸雨研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 131-131.
- [28] 吴刚, 章景阳, 王星. 酸沉降对重庆南岸马尾松针叶林年生物生产量的影响及其经济损失的估算. *环境科学学报*, 1994, 14(4): 461-465.
- [30] 李轩然, 刘琪璟, 蔡哲, 马泽清. 千烟洲针叶林的比叶面积及叶面积指数. *植物生态学报*, 2007, 31(1): 93-101.
- [31] 齐泽民, 钟章成. 模拟酸雨对杜仲光合生理及生长的影响. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 2006, 31(2): 151-156.
- [32] 张治军, 王彦辉, 于澎涛, 袁玉欣, 李志勇, 张国增, 刘英亘. 不同优势度马尾松的生物量及根系分布特征. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2008, 32(4): 71-75.
- [33] 黄益宗, 李志先, 黎向东, 吴坤婷, 孙建中. 模拟酸雨对华南典型树种生长及营养元素含量的影响. *生态环境*, 2006, 15(2): 331-336.
- [34] 黄益宗, 李志先, 黎向东, 阳文苗, 梁肇永, 李华凤, 刘定朗, 陆必升. 酸沉降和大气污染对华南典型森林生态系统生物量的影响. *生态环境*, 2007, 16(1): 60-65.
- [35] 李德军, 莫江明, 方运霆, 李志安. 模拟氮沉降对亚热带两种乔木幼苗生物量及其分配的影响. *植物生态学报*, 2005, 29(4): 543-549.
- [37] 单运峰, 冯宗炜, 陈楚莹. 模拟酸雨对七种森林植物生物量的影响. *生态学报*, 1989, 9(3): 274-276.
- [38] 辜夕容, 梁国仕, 杨水平, 陈翠玲, 黄建国. 接种双色蜡蘑对马尾松幼苗生长、养分和抗铝性的影响. *林业科学*, 2005, 41(4): 199-203.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.20 Oct., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Spatial variability of small and medium scales' resource abundance of *Ommastrephes bartramii* in Northwest Pacific YANG Mingxia, CHEN Xinjun, FENG Yongjiu, et al (6427)
- The effect of moisture and temperature on soil C mineralization in wetland and steppe of the Zoige region, China WANG Dan, LV Yuliang, XU Li, et al (6436)
- Response and population bionomic strategies of desert rodent communities towards disturbance of cultivation YUAN Shuai, FU Heping, WU Xiaodong, et al (6444)
- Effects of Bt-cotton on *Propylea japonica*, an Enemy Insect of *Bemisia tabaci* (Gennadius) ZHOU Fucui, GU Aixiang, YANG Yizhong, et al (6455)
- Research progress in the ecological effects of micro-landform modification WEI Wei, YU Yun, JIA Fuyan, et al (6462)

Autecology & Fundamentals

- A multi-scale feeding habitat selection of Red-crowned crane during spring migration at the Shuangtaihekou Nature Reserve, Liaoning Province, China WU Qingming, ZOU Hongfei, JIN Hongyang, et al (6470)
- Surface pollen research of Nanshan region, Shihezi City in Xinjiang ZHANG Hui, ZHANG Yun, YANG Zhenjing, et al (6478)
- Dynamics of leaf carbon, nitrogen and phosphorus of two dominant species in a Poyang Lake wetland ZHENG Yanming, YAO Bo, WU Qin, et al (6488)
- Estimation of forest aboveground biomass using high spatial resolution remote sensing imagery HUANG Jinlong, JU Weimin, ZHENG Guang, et al (6497)
- Cost-benefits of the clonal integration of *Cynodon dactylon*, a stolon herbaceous plant, under heterogeneous lighting condition TAO Yingshi, HONG Shengchun, LIAO Yongmei, et al (6509)
- Biological cycling of *Koeleria paniculata* plantation microelements in Xiangtan Manganese Mine wasteland LUO Zhaohui, TIAN Dalun, TIAN Hongdeng, et al (6517)
- Effects of ectomycorrhizal fungi (*tinctorius* (Pers.) Coker & Couch) on the biomass of masson pine (*Pinus massoniana*) seedlings under simulated acid rain CHEN Zhan, WANG Lin, SHANG He (6526)
- Effects of biochar on selected soil chemical properties and on wheat and millet yield CHEN Xinxiang, HE Xusheng, GENG Zengchao, et al (6534)
- Source of variation of plant functional traits in the Yanhe river watershed: the influence of environment and phylogenetic background ZHANG Li, WEN Zhongming, MIAO Lianpeng (6543)
- The general biology and experimental population life table about *Asynacta ambrostomae* WANG Xiumei, ZANG Liansheng, LIN Baoqing, et al (6553)
- Effect of several ecological factors on embryonic development of *Sepia lycidas* PENG Ruibing, JIANG Xiamin, YU Shuguang, et al (6560)

Population, Community and Ecosystem

- The thinning regular of the the shrubbery at Tongguling National Nature Reserve on Hainan Island, China ZHOU Wei, LONG Cheng, YANG Xiaobo, et al (6569)
- The cause of grassland degradation in Golog Tibetan Autonomous Prefecture in the Three Rivers Headwaters Region of Qinghai Province ZHAO Zhiping, WU Xiaopu, LI Guo, et al (6577)
- Effects of simulated nitrogen deposition on substrate quality of litterfall in a *Pleiblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (6587)
- Phytoplankton community structure based on pigment composition in Qinzhou bay during average water period LAN Wenlu, LI Mingmin, LI Tianshen (6595)
- Functional trait-based evaluation of plant fireproofing capability for subtropical evergreen broad-leaved woody plants LI Xiupeng, YANG Xiaodong, YU Shuquan, et al (6604)
- Interspecific associations between *Parus major* and other bird communities in Beijing Xishan region DONG Daying, FAN Zhongji, LI Zhaxijie, et al (6614)

- Feasibility analysis of passive integrated transponders in population ecology studies of Siberian chipmunk
 YANG Hui, MA Jianzhang, RONG Ke (6634)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Dynamic variation of water deficit of winter wheat and its possible climatic factors in Northern China
 LIU Qin, MEI Xurong, YAN Changrong, et al (6643)
- Study on the levels' evaluation of provincial low-carbon development in China based on the FAHP-TOPSIS method
 HU Linlin, JIA Junsong, MAO Duanqian, et al (6652)
- An investigation of the safety threshold of a floodplain wetland: a case study of the Er-Ka Nature Reserve, China
 HU Chunming, LIU Ping, ZHANG Litian, et al (6662)
- Application of le bissonnais method to study soil aggregate stability under different vegetaion on the loess plateau
 LIU Lei, AN Shaoshan, Huang Huawei (6670)
- Analysis of vegetation and soil degradation characteristics under different human disturbance in lakeside wetland, Napahai
 TANG Mingyan, YANG Yongxing (6681)

Resource and Industrial Ecology

- Changes of land surface temperature and its response to urbanization under the extreme high-temperature background in recent
 ten years of Beijing LI Xiaomeng, SUN Yonghua, MENG Dan, et al (6694)
- Stable isotope (^{13}C and ^{15}N) analysis of fish food web of the Xiaojiang Bay in Three Gorges Reservoir
 LI Bin, XU Dandan, WANG Zhijian, et al (6704)

Research Notes

- Dynamics of CO_2 exchange and its environmental controls in an urban green-land ecosystem in Beijing Olympic Forest Park
 CHEN Wenjing, LI Chunyi, HE Guimei, et al (6712)
- Effects of vegetation restoration on landscape pattern of Hongya Country in recent 15 years
 WANG Peng, LI Xianwei, ZHAO Anjiu, et al (6721)
- Photosynthetic characteristics and SAMS gene expression in the red alga *Porphyra yezoensis* Ueda under high salinity
 ZHOU Xianghong, YI Lefei, XU Juntian, et al (6730)

《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 宋金明

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 20 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 20 (October, 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