

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

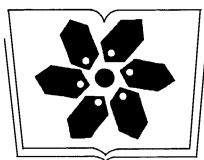
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第12期 Vol.31 No.12 **2011**

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 31 卷 第 12 期

2011 年 6 月 (半月刊)

目 次

基于植被遥感的西南喀斯特退耕还林工程效果评价——以贵州省毕节地区为例	李 昊, 蔡运龙, 陈睿山, 等 (3255)
扩散对破碎化景观上宿主-寄生种群动态的影响	苏 敏 (3265)
湿地功能评价的尺度效应——以盐城滨海湿地为例	欧维新, 叶丽芳, 孙小祥, 等 (3270)
模拟氮沉降对杉木幼苗养分平衡的影响	樊后保, 廖迎春, 刘文飞, 等 (3277)
中国东部森林样带典型森林水源涵养功能	贺淑霞, 李叙勇, 莫 菲, 等 (3285)
山西太岳山油松群落对采伐干扰的生态响应	郭东罡, 上官铁梁, 白中科, 等 (3296)
长期施用有机无机肥对潮土微生物群落的影响	张焕军, 郁红艳, 丁维新 (3308)
云南元江干热河谷五种优势植物的内生真菌多样性	何彩梅, 魏大巧, 李海燕, 等 (3315)
塔里木河中游洪水漫溢区荒漠河岸林实生苗更新	赵振勇, 张 科, 卢 磊, 等 (3322)
基于 8hm 样地的天山云杉林蒸腾耗水从单株到林分的转换	张毓涛, 梁凤超, 常顺利, 等 (3330)
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	周晓兵, 张元明, 陶 冶, 等 (3340)
Pb 污染对马蔺生长、体内重金属元素积累以及叶绿体超微结构的影响	原海燕, 郭 智, 黄苏珍 (3350)
春、秋季节树干温度和液流速度对东北 3 树种树干表面 CO ₂ 释放通量的影响	王秀伟, 毛子军, 孙 涛, 等 (3358)
云南南部和中部地区公路旁紫茎泽兰土壤种子库分布格局	唐樱殷, 沈有信 (3368)
利用半球图像法提取植被冠层结构特征参数	彭焕华, 赵传燕, 冯兆东, 等 (3376)
黑河上游蝗虫与植被关系的 CCA 分析	赵成章, 周 伟, 王科明, 等 (3384)
额尔古纳河流域秋季浮游植物群落结构特征	庞 科, 姚锦仙, 王 昊, 等 (3391)
九龙江河口浮游植物的时空变动及主要影响因素	王 雨, 林 茂, 陈兴群, 等 (3399)
东苕溪中下游河岸类型对鱼类多样性的影响	黄亮亮, 李建华, 邹丽敏, 等 (3415)
基于 RS/GIS 公路路域水土流失动态变化的研究——以榆靖高速公路为例	陈爱侠, 李 敏, 苏智先, 等 (3424)
流域景观结构的城市化影响与生态风险评价	胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 (3432)
基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析	高 宾, 李小玉, 李志刚, 等 (3441)
若尔盖高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响	李晋昌, 王文丽, 胡光印, 等 (3451)
施用鸡粪对土壤与小白菜中 Cu 和 Zn 累积的影响	张 妍, 罗 维, 崔晓勇, 等 (3460)
基于 GIS 的宁夏灌区农田污染源结构特征解析	曹艳春, 冯永忠, 杨引禄, 等 (3468)
底墒和种植方式对夏大豆光合特性及产量的影响	刘 岩, 周勋波, 陈雨海, 等 (3478)
不同施肥模式调控沿湖农田无机氮流失的原位研究——以南四湖过水区粮田为例	谭德水, 江丽华, 张 骞, 等 (3488)
丛枝菌根真菌对低温下黄瓜幼苗光合生理和抗氧化酶活性的影响	刘爱荣, 陈双臣, 刘燕英, 等 (3497)
外源半胱氨酸对铜胁迫下小麦幼苗生长、铜积累量及抗氧化系统的影响	彭向永, 宋 敏 (3504)
专论与综述	
水平扫描技术及其在生态学中的应用前景	胡自民, 李晶晶, 李 伟, 等 (3512)
研究简报	
昆仑山北坡 4 种优势灌木的气体交换特征	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (3522)
不同比例尺 DEM 数据对森林生态类型划分精度的影响	唐立娜, 黄聚聪, 代力民 (3531)
苏南丘陵区毛竹林冠截留降雨分布格局	贾永正, 胡海波, 张家洋 (3537)
外来种湿地松凋落物对土壤微生物群落结构和功能的影响	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3543)
深圳地铁碳排放量	谢鸿宇, 王习祥, 杨木壮, 等 (3551)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-06



封面图说: 自然奇观红海滩·辽宁省盘锦市——在辽河入海口生长着大片的潮间带植物碱蓬草, 举目望去, 如霞似火, 蔚为壮观, 人们习惯地称之为红海滩。粗壮的根系加快着海滩土壤的脱盐过程, 掉下的茎叶腐质后肥化了土壤, 它是大海的生态屏障。

彩图提供: 段文科先生 中国鸟网 <http://www.birdnet.cn> E-mail: dwk9911@126.com

模拟氮沉降对杉木幼苗养分平衡的影响

樊后保*, 廖迎春, 刘文飞, 袁颖红, 李燕燕, 黄荣珍

(南昌工程学院生态与环境科学研究所, 南昌 330099)

摘要: 研究氮沉降对植物养分平衡的影响, 对 1a 生杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 幼苗进行了室内模拟试验。以 NH_4NO_3 作为外加氮源, 设计了 N0 ($0 \text{ g N m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)、 N1 ($6 \text{ g N m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)、 N2 ($12 \text{ g N m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)、 N3 ($24 \text{ g N m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 和 N4 ($48 \text{ g N m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 等 5 种氮沉降水平, 每处理重复 6 次。通过 1a 的试验发现, 杉木幼苗叶、茎、粗根和细根中的 N、K、Mg 含量随氮处理水平的增加而上升, 但 Ca 在各器官中的含量则呈下降趋势; 中低氮 (N1 , N2) 对叶、茎和粗根中 P 的含量表现为促进作用, 而高氮 (N3 , N4) 则表现为抑制作用。幼苗各器官中的 N 与其他养分元素的比值随氮处理水平的增加而普遍升高, 但粗根中的 N/K、N/Mg 则表现为下降。与对照 (N0) 相比, 在 N1 、 N2 、 N3 、 N4 处理中, 幼苗对外加氮素的表观利用率分别为 60.7%、57.9%、43.3% 和 27.9%, 随氮处理水平增加, 利用率呈明显下降趋势。随着氮处理水平的增加, 幼苗体内的氮分配到叶和细根中的比例增加, 而分配到茎和粗根中的比例下降。因此, 氮沉降明显增加了杉木幼苗各器官的氮含量, 影响了幼苗的养分平衡。

关键词: 模拟氮沉降; 杉木幼苗; 养分平衡

Effects of simulated nitrogen deposition on nutrient balance of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) seedlings

FAN Houbao*, LIAO Yingchun, LIU Wenfei, YUAN Yinghong, LI Yanyan, HUANG Rongzhen

Research Institute of Ecology & Environmental Sciences, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China

Abstract: Human activities such as fossil fuel combustion, production and use of chemical fertilizers, and livestock ranching have dramatically altered the global nitrogen cycle. A potential concern of chronic anthropogenic N emitted to atmosphere is altered nutrient cycling in forest ecosystems. Most studies reporting effects of N additions on forest ecosystems have been primarily carried out in temperate regions of Europe and North America. Importantly, however, there is a strong need to understand how nitrogen interacts with forests in the tropical and subtropical regions because rates of nitrogen deposition in these areas are projected to increase rapidly in upcoming decades. To assess the impact of simulated nitrogen deposition on plant nutrient balance, one-year-old Chinese fir seedlings (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) from a nursery were transplanted at the beginning of March 2007 before budbreak to plastic pots containing 17.5 kg of forest soil (red earth). The seedlings were kept in natural daylight in a greenhouse and irrigated by hand with distilled water before treatment. The experiment started in April 2007 and lasted for 12 months. Ammonium nitrate solutions were sprayed on the seedlings every three days at four doses, N1 ($6 \text{ g N m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), N2 ($12 \text{ g N m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), N3 ($24 \text{ g N m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) and N4 ($48 \text{ g N m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), with N0 ($0 \text{ g N m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) as the control and six replicates in each treatment. Totally 30 Chinese fir seedlings were available for destructive sampling to monitor biomass and nutrient concentration at the end of experiment. The amount of water solution sprayed to the seedlings each month was equivalent to the average monthly precipitation recorded over the last 30 years. The results indicated that nitrogen addition increased N, K and Mg contents in leaves, shoots (including branches and stems), coarse roots and fine roots of the seedlings, but reduced Ca concentration. Phosphorus contents in the seedlings responded positively to low-to-medium N treatments (N1 , N2), but negatively to high N treatments (N3 , N4).

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30771714, 30370259); 江西省科技厅科技支撑计划 (赣财教[2007]173 号); 江西省教育厅科技计划项目 (赣教技字[2006]255 号); 江西省教育厅青年科学基金项目 (GJJ09614)

收稿日期: 2010-05-17; **修订日期:** 2010-08-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hbfan@nit.edu.cn

Nitrogen loads generally resulted in increased ratios of N relative to other elements in the seedlings, but decreased N/K and N/Mg in coarse roots. Linear regression correlations between nitrogen contents in leaves or fine roots (independent variables) and other element contents in leaves or fine roots (dependent variables) were developed for varying N levels. The N contents in leaves were positively correlated with K and Mg contents, but negatively with P and Ca contents. For fine roots, correlation between N contents and P and Mg contents was positive, while correlation between N contents and P and Mg was negative. The apparent N-use efficiency by the seedlings was estimated at 60.7%, 57.9%, 43.3% and 27.9% in the N1, N2, N3 and N4 treatments, respectively. Nitrogen addition increased N allocation to leaves and fine roots, but lowered N to shoots and coarse roots. Fine roots are more sensitive to N addition than any other seedling component. In general, the present simulated N deposition in greenhouse has been found to change the nutrient balance due to significant enhanced N concentration in the seedlings.

Key Words: simulated nitrogen deposition; Chinese fir seedling; nutrient balance

人类活动在全球范围内极大地改变着氮素从大气向陆地生态系统输入的方式和速率,人为固定的氮素正在不断积累,并对生态系统的结构和功能产生显著影响^[1]。大气氮沉降通过其对植物生长、碳固定及光合产物分配的直接或间接作用,严重干预了生态系统碳循环和碳蓄积过程。随着经济发展的全球化,氮沉降增加也呈现出全球化趋势^[2]。目前,我国已成为继欧洲和北美之后世界第三大氮沉降区,许多地区存在高氮沉降现象^[3-4],如江西南昌地区大气氮湿沉降量为 $75 \text{ kg hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[5];珠江三角洲北缘的鼎湖山自然保护区,1989—1990 年度和 1998—1999 年度的降水氮沉降分别为 35.57 和 $38.4 \text{ kg hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[6-7];陕西中部氮湿沉降为 $75 \text{ kg hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[8];黑龙江帽儿山森林定位站降水氮沉降为 $12.9 \text{ kg hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[9]。

在欧美国家,从 20 世纪 80 年代就开始进行了氮沉降对森林生态系统影响的研究^[10-12],主要集中在氮沉降或施氮处理对森林群落和灌木的影响。已有的研究表明,大气氮沉降的增加对森林生态系统的结构和功能构成了严重的威胁,它改变了树木的生理状态,导致土壤酸化、系统养分平衡失调,改变了种间竞争动态,增加了土壤氮的矿质化作用和集水区氮素的输出,削弱了树木对环境胁迫的抗性^[10-12]。近年来,我国学者也开始进行氮沉降的试验研究,野外定位研究主要集中在鼎湖山亚热带森林生态系统和福建中亚热带杉木人工林生态系统两大研究基地,并取得了一系列我国亚热带地区的研究成果^[5-6, 13-21]。

杉木是我国南方重要的用材树种之一,自然分布和人工栽培都很广,是中国亚热带的典型森林生态系统。从 2003 年开始,本课题组就开始了野外模拟试验,研究杉木人工林对氮沉降增加的响应机理与过程^[13-14, 22-23]。为揭示杉木成林与幼苗对氮沉降的响应差异,弥补野外试验条件下因环境因子不一致产生的误差,本文在可控温室条件下对 1 年生杉木幼苗进行模拟氮沉降试验,以探讨氮沉降对杉木养分平衡的影响。

1 材料和方法

1.1 实验材料

采用温室盆栽试验,将株高、地径相近的 1 年生杉木幼苗移栽至容积为 30 L 的盆钵中,每个盆装有 17.5 kg 土壤,种植 1 株苗木。盆栽土壤采自江西省南昌市郊区杉木林立地表层土壤,为第四纪红土母质发育而成。土壤的基本化学性质见表 1。

1.2 实验设计

实验设置 5 种氮沉降处理,分别为 N0($0 \text{ g N m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)、N1($6 \text{ g N m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)、N2($12 \text{ g N m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)、N3($24 \text{ g N m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)和 N4($48 \text{ g N m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$),每处理重复 6 次。根据南昌市 1976—2006 年月降水量的平均值,计算出 1—12 月浇水量分别为 3.97 、 7.17 、 10.67 、 15.85 、 17.88 、 19.93 、 8.65 、 7.30 、 5.32 、 4.06 、 3.85 和 2.86 L 。从 2007 年 4 月开始,每隔 3d 向杉木幼苗全株及土壤喷施 NH_4NO_3 溶液。每次将 NH_4NO_3 溶解在蒸馏水中,用喷雾器进行喷施,喷施浓度为 0 mol/L (N0)、 0.011 mol/L (N1)、 0.022 mol/L (N2)、 0.044 mol/L (N3)、 0.088 mol/L (N4)。经施氮处理 1a 后, N1, N2, N3 和 N4 的每盆总施氮量分别为 0.42 、 0.85 、 1.70 和 3.39 g 。

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the tested soils

pH	有机 C/(g/kg) Soil organic carbon	交换性盐基离子/(cmol/kg) Exchangeable base cations				盐基饱和度/% Percent base saturation
		K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
4.25	27.35	24.87	45.22	5.56	5.37	37.24

1.3 样品采集与养分测定

2008 年 4 月,将模拟氮沉降处理 1a 后的杉木幼苗进行株高和地径测定后全株收获,洗净后测定各器官的鲜重。带回实验室在 80℃ 温度条件下烘干至恒重,分别对叶、茎、粗根(直径≥2 mm)和细根(直径<2 mm)测定其干重。用电动粉碎机粉碎植物样品供化学分析。全氮测定采用凯氏法,全磷测定采用钼锑抗比色法(美国 PE 公司-Lambda25 型紫外分光光度计),K、Ca 和 Mg 的测定采用原子吸收分光光度法(美国 PE 公司-AA700 型)。

1.4 统计方法

利用 SPSS 软件进行统计分析,然后以 LSD 多重检验法检验针叶年平均养分含量在不同处理间的差异显著性。幼苗的氮贮量由叶、茎、粗根和细根干重×相应器官的氮含量得到,单株氮贮量为各器官氮贮量之和。

2 结果与分析

2.1 养分含量

由表 2 可知,氮处理显著提高了杉木幼苗的 N 含量。与对照(N0)相比,N1、N2、N3 和 N4 处理使植株 N 含量显著增加,增加程度在各器官中表现不一,其中叶:52.8%,66.3%,203.0%和 177.3%;茎:10.5%,28.6%,48.9%和 89.5%;粗根:40.8%,61.0%,79.4%和 75.5%;细根:48.6%,85.0%,83.4%和 206.3%。

表 2 杉木幼苗叶、茎、根中的养分含量

Table 2 Nutrient contents in leaves, shoots and roots of the treated seedlings (means±SE, n=6)

幼苗组分 Seedling component	N/(mg/g)	P/(mg/g)	K/(mg/g)	Ca/(mg/g)	Mg/(mg/g)
叶 Leaves					
N0	6.82±1.00d	5.29±0.81	2.60±0.18	3.58±0.29a	0.42±0.08
N1	8.16±0.56c	5.35±0.81	2.75±0.19	2.92±0.37b	0.47±0.07
N2	8.91±0.19bc	5.42±0.66	2.80±0.26	2.87±0.84b	0.53±0.06
N3	11.11±1.31a	5.06±0.39	2.85±0.25	2.80±0.27b	0.48±0.10
N4	9.81±0.77b	4.83±0.34	2.80±0.59	2.50±0.13b	0.51±0.09
茎 Shoots					
N0	3.69±0.11c	3.36±0.24	2.36±0.16b	3.73±0.45a	0.18±0.02a
N1	4.08±0.23c	3.57±0.38	2.57±0.20b	3.16±0.59b	0.21±0.02a
N2	4.75±0.90bc	3.60±0.34	3.42±0.36a	3.23±0.32b	0.22±0.03a
N3	5.50±0.82b	3.30±0.36	3.02±0.26a	3.52±0.40ab	0.21±0.06a
N4	7.00±1.28a	3.03±0.21	3.34±0.39a	3.01±0.44b	0.29±0.02b
粗根 Coarse roots					
N0	2.64±0.49c	2.41±0.28b	1.27±0.14c	3.25±0.51a	0.13±0.03b
N1	3.15±0.57b	2.84±0.13a	1.58±0.46c	2.80±0.10ab	0.15±0.04b
N2	3.92±0.66ab	3.08±0.35a	2.21±0.34b	2.74±0.70ab	0.24±0.02a
N3	4.42±0.80a	2.88±0.40a	3.05±0.18a	2.72±0.26ab	0.22±0.01a
N4	4.17±0.85ab	2.08±0.30b	2.95±0.17a	1.93±0.34b	0.23±0.03a
细根 Fine roots					
N0	3.67±0.18e	3.54±0.15	2.61±0.23	1.96±0.32a	0.92±0.11bc
N1	5.45±0.43d	3.70±0.26	2.68±0.13	1.57±0.08ab	0.89±0.06c
N2	6.78±0.80b	3.73±0.24	3.08±0.18	1.62±0.12c	1.11±0.15a
N3	6.72±0.59a	3.74±0.18	2.45±0.28	1.27±0.17bc	0.99±0.09ab
N4	11.23±0.65c	3.96±0.31	2.38±0.31	1.00±0.29bc	0.93±0.13bc

数据后面小写字母分别表示不同处理在 $P=0.05$ 水平上差异显著

P 在叶、茎和粗根中的含量随氮处理水平的增加表现为先升高后降低的趋势,中低氮处理(N1,N2,N3)>对照(N0)>高氮(N4)处理;而在细根中的含量表现为高氮处理(N4)显著高于对照和中低氮处理(N1,N2,N3,N4) ($P<0.05$)。

K 在叶、茎、粗根和细根中的含量均随氮处理水平的增加呈上升趋势。这种趋势在茎和粗根中尤为显著,表现为中高氮处理(N2,N3,N4)显著高于对照和低氮处理(N1) ($P<0.05$)。通过 N1、N2、N3 和 N4 处理,K 在茎中的含量分别比对照增加了 9.1%、45.0%、22.9% 和 59.5%,在粗根中增加了 21.1%、50.9%、70.2% 和 60.4%。

Ca 在各器官中的含量随氮处理水平的增加而下降,施氮对 Ca 的抑制作用表现明显。经 N1、N2、N3 和 N4 处理,Ca 在叶中含量分别比 N0 降低了 18.5%、19.7%、21.9% 和 30.2%;在茎中降低了 15.3%、13.3%、5.6% 和 19.4%;在粗根中降低了 14.0%、15.6%、16.2% 和 40.8%;在细根中降低了 19.9%、17.3%、35.3% 和 48.9%。

Mg 在叶、粗根和细根中的含量随施氮量的增加表现为先升高后降低,其含量以 N2 处理为最高。而在茎中的含量总体表现为随施氮量的增加而递增,高氮处理(N4)显著高于其他处理 ($P<0.01$)。N1、N2、N3 和 N4 处理下,Mg 含量分别比 N0 增加了 15.1%、23.6%、15.2% 和 63.6%。

叶与细根分别是植物体地上和地下部分重要的营养器官,研究它们的 N 与其他元素含量的相关性有助于了解植物生长过程中对养分的利用和分配情况。以杉木幼苗叶和细根中的 N 作为自变量(Independent variables),其他养分元素作为因变量(dependent variables)进行回归分析,结果见表 3。

表 3 杉木幼苗叶和细根中 N(自变量)与其他元素含量(因变量)的线性关系

Table 3 Linear regression analyses with nitrogen contents of leaves or fine roots as independent variables (mg/g) and other elements as dependant variables

因变量(y) Dependent variables (y)	线性方程 Linear equation	R	P
叶中的氮含量 Nitrogen (leaves)			
叶中的磷 Phosphorus (leaves)	$y=5.631-0.411x$	0.790	0.112
叶中的钾 Potassium (leaves)	$y=2.578+0.170x$	0.824	0.086
叶中的钙 Calcium (leaves)	$y=3.664-0.677x$	0.800	0.104
叶中的镁 Magnesium (leaves)	$y=0.438+0.041x$	0.488	0.404
细根中的氮含量 Nitrogen (fine roots)			
细根中的磷 Phosphorus (fine roots)	$y=3.373+0.050x$	0.990	0.001
细根中的钾 Potassium (fine roots)	$y=3.264-0.049x$	0.497	0.394
细根中的钙 Calcium (fine roots)	$y=2.440-0.136x$	0.945	0.015
细根中的镁 Magnesium (fine roots)	$y=0.936-0.005x$	0.143	0.819

从表 3 可以看出,叶中的 N 含量与 K 和 Mg 呈正相关关系而与 P 和 Ca 呈负相关关系。细根中的 N 与 P 和 Mg 呈正相关关系,与 K 和 Ca 呈负相关关系,且 N 含量的增加对细根中的 P 表现为显著的促进作用 ($P<0.05$)。

2.2 N 与其他养分元素比值

由氮输入引起 N 与其他养分元素比值的差异程度可看出(图 1),茎、粗根和细根中 N/P 比值随着氮处理水平的增加而上升。经 N1、N2、N3 和 N4 处理后,茎中的 N/P 分别比对照增加了 3.9%、20.0%、51.5% 和 110.0%,粗根中的 N/P 分别增加了 9.3%、11.0%、52.8% 和 82.3%,细根中的 N/P 分别增加了 41.6%、74.8%、72.8% 和 172.7%。叶中的 N/P 随氮处理水平的增加表现为先上升后下降趋势,大小在 1.5—2.2 之间,均高于对照,N3 显著高于其他各处理 ($P<0.05$)。

N/K 和 N/Mg 在叶、茎和细根中均表现为随施氮量增加而上升的趋势,中高氮处理(N3,N4)的 N/K 值显著高于对照(N0)和中低氮处理(N1,N2) ($P<0.01$, $P<0.05$),而在粗根中随氮处理水平的增加表现为降低的

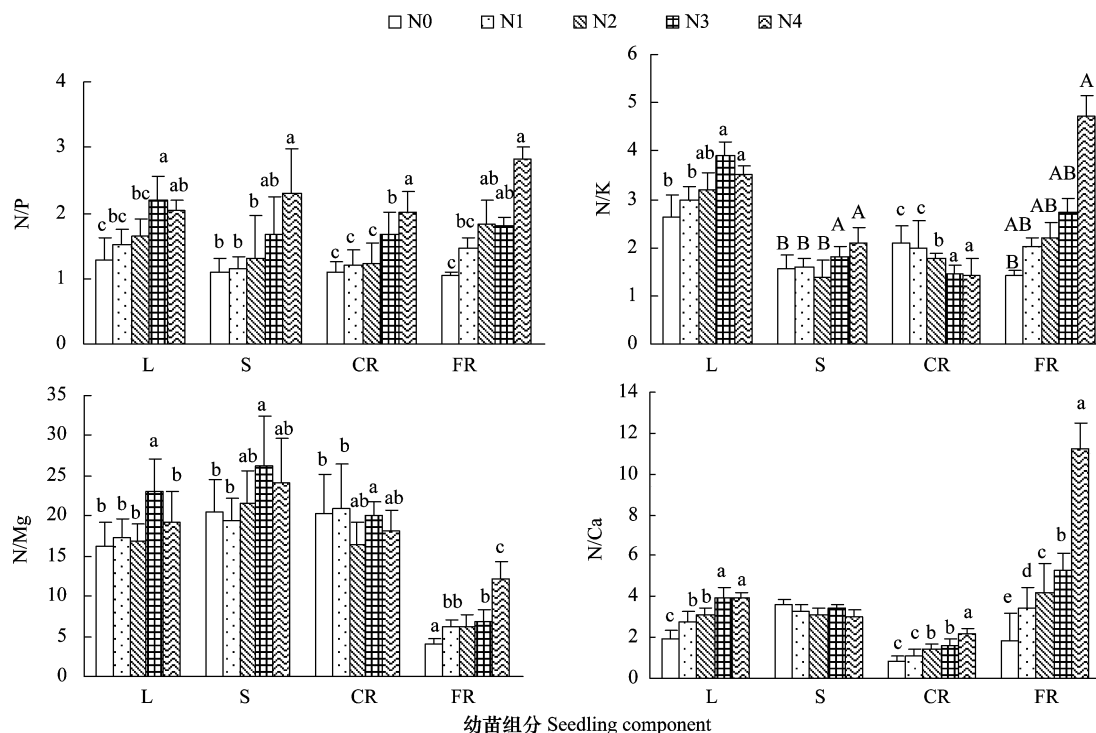


图1 氮沉降对杉木幼苗叶(L)、茎(S)、粗根(CR)和细根(FR)中N/P、N/K、N/Mg、N/Ca的影响

Fig. 1 Effect of enhanced nitrogen deposition on N/P, N/K, N/Mg and N/Ca of leaves (L), shoots (S), coarse roots (CR) and fine roots (FR)

图中大小写字母分别表示不同处理在 $P=0.01$ 和 $P=0.05$ 水平上差异显著

趋势。

N/Ca 在叶和细根中随氮处理水平的增加表现为升高的趋势,最大值出现在高氮处理(N3,N4),而在茎中变化不明显,在细根中随施氮量增加而显著上升,N1、N2、N3 和 N4 分别比对照(N0)增加了 85.6%、123.8%、183.0% 和 500.5%。

2.3 氮元素贮量及分配

从杉木幼苗各器官平均单株生物量可以看出(表4),随着施氮量的增加,不同处理下苗木叶、茎、粗根及细根干重和全株生物量随施氮量的增加表现为先升高后下降趋势,以 N2 处理最大。其中,N2 处理的茎重和全株生物量显著高于其他处理($P<0.05$)。进一步增加施氮量使叶、茎、粗根及细根干重和全株生物量降低(N3,N4),其中 N4 处理的叶重和粗根重甚至低于对照。

表4 模拟氮沉降对杉木幼苗平均单株生物量的影响

Table 4 The average per-seedling biomass under N0—N4 treatments (means $\pm$ SE, $n=6$)

单株生物量 Per-seedling biomass	N0	N1	N2	N3	N4
叶 Leaves/g	37.4 $\pm$ 5.0	35.0 $\pm$ 3.3	38.9 $\pm$ 1.3	38.0 $\pm$ 7.4	35.2 $\pm$ 6.8
茎 Shoots/g	30.8 $\pm$ 1.2b	35.4 $\pm$ 3.5a	36.9 $\pm$ 2.1a	30.5 $\pm$ 0.8b	31.6 $\pm$ 4.2b
粗根 Coarse roots/g	26.5 $\pm$ 4.5	22.8 $\pm$ 0.5	29.5 $\pm$ 3.6	27.1 $\pm$ 1.1	22.6 $\pm$ 1.3
细根 Fine roots/g	55.9 $\pm$ 6.4	60.7 $\pm$ 7.8	63.9 $\pm$ 6.0	60.6 $\pm$ 8.1	60.9 $\pm$ 4.2
全株 Whole plant /g	150.5 $\pm$ 12.9b	153.9 $\pm$ 7.2b	169.1 $\pm$ 18.3a	156.2 $\pm$ 2.3ab	150.3 $\pm$ 5.6b

数据后面小写字母分别表示不同处理在 $P=0.05$ 水平上差异显著

图2所示为施氮处理下杉木幼苗单株氮贮量和氮在叶、茎、粗根和细根之间分配。苗木氮的收支包括了植物吸收、土壤存留、降水淋溶和挥发,本文只讨论杉木幼苗氮吸收量占总施氮量的比例。从图2可以看出,

经过 1 年的施氮处理, N1、N2、N3 和 N4 处理的单株幼苗对外加氮素的表观利用率呈下降趋势, 分别为 60.7%、57.9%、43.3% 和 27.9%, 氮处理引起杉木幼苗体内的氮分配到叶和细根中的比例增加, 而分配到茎和粗根中的比例下降。单株杉木幼苗氮贮量以 N4 最大, N1、N2、N3 和 N4 处理的单株幼苗氮贮量分别比 N0 增加了 43.6%、83.2%、124.4% 和 160.3%。

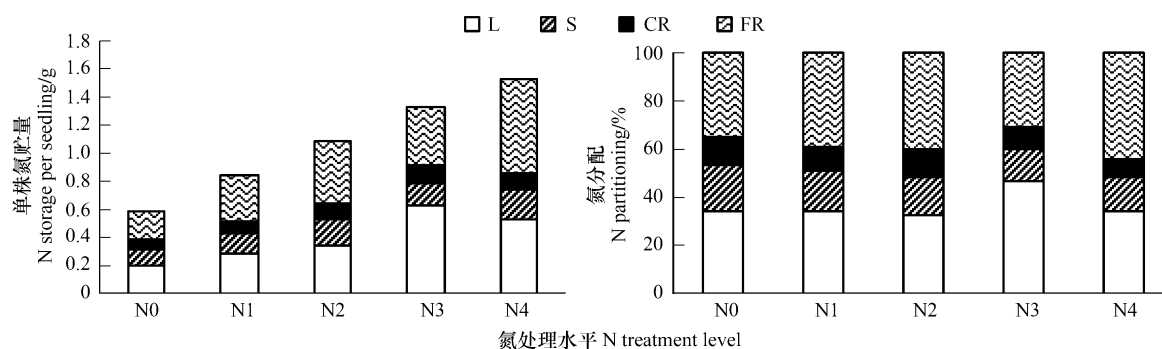


图2 氮处理对杉木幼苗单株氮贮量和氮在叶(L)、茎(S)、粗根(CR)和细根(FR)之间分配的影响

Fig. 2 Effects of N addition on total N per seedling and N partitioning among leaves (L), shoots (S), coarse roots (CR) and fine roots (FR)

3 讨论

本研究表明,一定量的氮沉降可以增加杉木幼苗的生产力,当输入的氮量超过了杉木苗对氮的需求时,氮沉降就会减少植物生产力,这与以往研究结果一致^[24-25]。氮输入能引起氮在杉木幼苗体内的氮含量增加,对其他养分元素含量也产生不同程度的影响,如低氮输入(N1、N2)促进了叶、茎、粗根中P含量,而高氮输入(N3、N4)则表现为抑制作用;降低了各器官中的Ca含量。这与以往的同类研究结果基本一致^[16,21,23],主要是因为过量的氮沉降造成土壤中多余的氮以 NO_3^- 的形式从土壤中淋失,而作为 NO_3^- 的电荷平衡离子 Ca^{2+} 也从土壤中淋失,引起土壤库盐基离子量减少^[26-27]。另一方面,氮沉降引起土壤中的 NH_4^+ 增加,而许多植物对 NH_4^+ 有优先吸收的特性,从而抑制植物对 Ca^{2+} 的吸收^[27]。

在本研究中,也有一些研究结果与前人研究结果不一致。以往研究认为氮输入会使植物器官的P、K、Ca和Mg含量下降^[21,23],但本实验中氮输入对细根中的P含量以及对叶、茎、粗根中K和Mg含量表现为促进作用,其原因可能与实验条件有关。本实验是在温室大棚中进行的,温室大棚实验条件虽然能减少外界的干扰,但是由于在整个实验过程中,除了施加 NH_4NO_3 以及模仿自然条件降雨量的水量之外,实验过程中没有施加其他植物生长所需要的营养元素。此外,温室大棚中太阳光照强度比自然条件下低,而温度高于外界,对苗木生长造成一定影响。因此,杉木幼苗对元素的吸收与自然环境下可能存在差异。

由氮处理引起植株氮与其他元素比值的差异显著程度可看出(图1),苗木细根对氮输入变化更加敏感。一定量的施氮增加了苗木单株生物量,同时也使体内氮贮存量增加,但是过量的氮输入抑制了苗木的生长和生物量的积累,这可能与过量氮输入导致N与其他元素的比值失衡,进而影响苗木的正常生长有关。

植物体内,尤其是叶中氮含量与其他元素之间的比值需维持在一定的范围之内,如 $\text{N/P}=6-12$, $\text{N/K}=1-3$, $\text{N/Mg}=8-12$ ^[28]。当比值在一定范围内时,植物生长良好,超过这一范围,即表现为营养失衡,对植物生长不利,这种现象被认为是过量的氮沉降造成植物生产力下降的主要原因之一^[29]。Boxman等^[30]报道,针叶林各养分元素最适范围为 $\text{N}(1.3\%-1.8\%)$, $\text{K}(0.5\%-0.8\%)$, $\text{Mg}(0.06\%-0.10\%)$,超过这些范围就会引起植物营养失衡,降低净光合速率、光合作用氮利用率^[29,31-32]及植物对病虫害的抵抗力^[33-34],从而降低森林活力,增加林木死亡率。本研究中,杉木幼苗各器官中的 N/K 和 N/Mg 均高出Huttl认为的最佳比例范围^[28], N/P 则低于该范围。而苗木各器官的 N 、 K 、 Mg 的含量均低于Boxman^[30]报道的针叶林养分元素的最适范围。

另外,本实验只是针对 1 年生杉木幼苗进行研究,并且实验时间只有 1a,由于杉木在生长的不同时期对元素的吸收可能会表现出一定的差异,因此本研究结果对于研究杉木养分元素的分配只适用于杉木生长的苗期阶段。

目前,长期施氮对杉木影响的数据仍然缺乏,氮沉降对杉木的长期影响有待于进一步研究。

References:

- [1] Lu C Q, Tian H Q, Huang Y. Ecological effects of increased nitrogen deposition in terrestrial ecosystems. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(2): 205-218.
- [2] Matson P A, Lohse K A, Hall S J. The globalization of nitrogen deposition: consequences for terrestrial ecosystems. *AMBIO*, 2002, 31(2): 113-119.
- [3] Li D J, Mo J M, Fang Y T, Peng S L, Gundersen P. Impact of nitrogen deposition on forest plants. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1891-1900.
- [4] Li D J, Mo J M, Fang Y T, Cai X A, Xue J H, Xu G L. Effects of simulated nitrogen deposition on growth and photosynthesis of *Schima superba*, *Castanopsis chinensis* and *Cryptocarya concinna* seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 876-882.
- [5] Ma X H. Effects of rainfall on the nutrient cycling in man-made forests of *Cunninghamia lanceolata* and *Pinus massoniana*. *Acta Ecologica Sinica*, 1989, 9(1): 15-20.
- [6] Huang Z L, Ding M M, Zhang Z P, Yi W M. The hydrological processes and nitrogen dynamics in a monsoon evergreen broad-leaved forest of Dinghushan. *Acta Phytocologica Sinica*, 1994, 18(2): 194-199.
- [7] Zhou GY, Yan JH. The influence of regional atmospheric precipitation characteristics and its element inputs on the existence and development of Dinghushan forest ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2002-2012.
- [8] Li S Q, Li S X. Nitrogen added to ecosystems by wet deposition in Guanzhong area in Shanxi. *Agro-Environmental Protection*, 1999, 18(3): 97-101.
- [9] Liu S R. Biogeochemical cycling characteristics of Dahurian Larch plantation ecosystem. *Chinese Journal of Ecology*, 1992, 11(5): 1-6.
- [10] Nihlgard B. The ammonium hypothesis — an additional explanation to the forest die back in Europe. *Ambio*, 1985, 14: 2-8.
- [11] Emmett B A, Boxman D, Bredemeier M, Gundersen P, Kjønaas O J, Moldan F, Schleppi P, Tietema A, Wright R F. Predicting the effects of atmospheric nitrogen deposition in conifer stands: evidence from the NITREX ecosystem-scale experiments. *Ecosystems*, 1998, 1(4): 352-360.
- [12] Köchy M, Wilson S D. Nitrogen deposition and forest expansion in the northern great plains. *Journal of Ecology*, 2001, 89(5): 807-817.
- [13] Fan H B, Liu W F, Yang Y L, Zhang Z W, Cao H Y, Xu L. Decomposition of leaf litter of Chinese fir in response to increased nitrogen deposition. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(2): 8-13.
- [14] Fan H B, Liu W F, Qiu X Q, Xu L, Wang Q, Chen Q F. Responses of litterfall production in Chinese fir plantation to increased nitrogen deposition. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(9): 1335-1338.
- [15] Fang H, Mo J M. Effects of nitrogen deposition on forest litter decomposition. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(9): 3127-3136.
- [16] Sun B H, Hu Z Y, Lu J L, Zhou L N, Xu C K. The leaching solution chemistry of a broad-leaved forest red soil under simulated N deposition in Southern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1872-1881.
- [17] Lu X K, Mo J M, Peng S L, Fang Y T, Li D J, Lin Q F. Effects of simulated N deposition on free amino acids and soluble protein of three dominant understory species in a monsoon evergreen broad-leaved forest of subtropical China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 743-753.
- [18] Fan J L, Hu Z Y, Zhuang Y S, Zhou J, Wang T J, Liu C Y. Observation of atmospheric nitrogen deposition into forestland. *China Environmental Science*, 2007, 27(1): 7-9.
- [19] Lin Y, Duan L, Yang Y S, Zhao D W, Zhang D B, Hao J M. Contribution of simulated nitrogen deposition to forest soil acidification in area with high sulfur deposition. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2007, 28(3): 640-646.
- [20] Yuan Y H, Fan H B, Wang Q, Qiu X Q, Chen Q F, Li Y Y, Huang Y Z, Liao Y C. Available nutrients with increased N deposition in soils of *Cunninghamia lanceolata* plantations. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2007, 24(4): 437-444.
- [21] Li D J, Mo J M, Peng S L, Fang Y T. Effects of simulated nitrogen deposition on elemental concentrations of *Schima superba* and *Cryptocarya concinna* seedlings in subtropical China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9): 2165-2172.
- [22] Liao Y C, Fan H B, Li Y Y, Liu W F, Yuan Y H. Effects of simulated nitrogen deposition on growth and photosynthesis of 1-year-old Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30: 154-157.
- [23] Liu W F, Fan H B, Zhang Z W, Yang Y L, Wang Q Q, Xu L. Foliar nutrient contents of Chinese fir in response to simulated nitrogen deposition. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2008, 14(3): 319-323.
- [24] 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.
- [25] Tu L H, Hu T X, Zhang J, He Y Y, Tian X Y, Xiao Y L, Jing J F. Effects of simulated nitrogen deposition on soil active carbon pool and root biomass in *Neosinoca lamusaffinis* plantation, rainy area of West China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(9): 2286-2294.
- [26] Nakaji T, Takenaga S, Kuroha M, Izuta M. Photosynthetic response of *Pinus densiflora* seedlings to high nitrogen load. *Environmental Science*, 2002, 9(4): 269-282.

- [27] Linkens G E, Driscoll C T, Buso D C. Long-term effects of acid rain: response and recovery of a forest ecosystem. *Science*, 1996, 272(5259): 244-246.
- [28] Hutt R F. Nutrient supply and fertilizer experiments in view of N saturation. *Plant Soil*, 1990, 128(1): 45-58.
- [29] Bobbink R, Hornung M, Roelofs J G M. The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *Journal of Ecology*, 1998, 86(5): 717-738.
- [30] Boxman A W, Blanck K, Brandrud T E, Emmett B A, Gundersen P, Hogervorst R F, Kjønaas O J, Persson H, Timmermann V. Vegetation and soil biota response to experimentally-changed nitrogen inputs in coniferous forest ecosystems of the NITREX project. *Forest Ecology and Management*, 1998, 101(1/3): 65-79.
- [31] Schulze E D. Air pollution and forest decline in a spruce (*Picea abies*) forest. *Science*, 1989, 244(4906): 776-783.
- [32] McNulty S G, Aber J D, Newman S D. Nitrogen saturation in a high elevation New England spruce-fir stand. *Forest Ecology and Management*, 1996, 84(1/3): 109-121.
- [33] Spiecker H, Mielikäinen K, Köhl M, Skovsgaard J P. *Growth Trends in European Forests*. Berlin: Springer, 1996.
- [34] Moffat A S. Global nitrogen overload problem grows critical. *Science*, 1998, 279(5353): 988-989.

参考文献:

- [1] 吕超群, 田汉勤, 黄耀. 陆地生态系统氮沉降增加的生态效应. *植物生态学报*, 2007, 31(2): 205-218.
- [3] 李德军, 莫江明, 方运霆, 彭少麟, Gundersen P. 氮沉降对森林植物的影响. *生态学报*, 2003, 23(9): 1891-1900.
- [4] 李德军, 莫江明, 方运霆, 蔡锡安, 薛璟花, 徐国良. 模拟氮沉降对三种亚热带树苗生长和光合作用的影响. *生态学报*, 2004, 24(5): 876-882.
- [5] 马雪华. 在杉木林和马尾松林中雨水的养分淋溶作用. *生态学报*, 1989, 9(1): 15-20.
- [6] 黄忠良, 丁明懋, 张祝平, 蚁伟民. 鼎湖山季风常绿阔叶林的水文学过程及其氮素动态. *植物生态学报*, 1994, 18(2): 194-199.
- [7] 周国逸, 闫俊华. 鼎湖区域大气降水特征和物质元素输入对森林生态系统存在和发育的影响. *生态学报*, 2001, 21(12): 2002-2012.
- [8] 李世清, 李生秀. 陕西关中湿沉降输入农田生态系统中的氮素. *农业环境保护*, 1999, 18(3): 97-101.
- [9] 刘世荣. 兴安落叶松人工林生态系统营养元素生物地球化学循环特征. *生态学杂志*, 1992, 11(5): 1-6.
- [13] 樊后保, 刘文飞, 杨跃霖, 张子文, 曹汉洋, 徐雷. 杉木人工林凋落物分解对氮沉降增加的响应. *北京林业大学学报*, 2008, 30(2): 8-13.
- [14] 樊后保, 刘文飞, 裴秀群, 徐雷, 王强, 陈秋风. 杉木人工林凋落物量对氮沉降增加的初期响应. *生态学杂志*, 2007, 26(9): 1335-1338.
- [15] 方华, 莫江明. 氮沉降对森林凋落物分解的影响. *生态学报*, 2006, 26(9): 3127-3131.
- [16] 孙本华, 胡正义, 吕家珑, 周丽娜, 徐成凯. 大气氮沉降对阔叶林红壤淋溶水化学模拟研究. *生态学报*, 2006, 26(6): 1872-1881.
- [17] 鲁显楷, 莫江明, 彭少麟, 方运霆, 李德军, 林琼芳. 鼎湖山季风常绿阔叶林林下层 3 种优势树种游离氨基酸和蛋白质对模拟氮沉降的响应. *生态学报*, 2006, 26(3): 743-753.
- [18] 樊建凌, 胡正义, 庄舜尧, 周静, 王体健, 刘翠英. 林地大气氮沉降的观测研究. *中国环境科学*, 2007, 27(1): 7-9.
- [19] 林岩, 段雷, 杨永森, 赵大为, 张冬保, 郝吉明. 模拟氮沉降对高硫沉降地区森林土壤酸化的贡献. *环境科学*, 2007, 28(3): 640-646.
- [20] 袁颖红, 樊后保, 王强, 裴秀群, 陈秋风, 李燕燕, 黄玉梓, 廖迎春. 模拟氮沉降对杉木人工林土壤有效养分的影响. *浙江林学院学报*, 2007, 24(4): 437-444.
- [21] 李德军, 莫江明, 彭少麟, 方运霆. 亚热带森林两种优势树种幼苗的元素含量对模拟氮沉降增加的响应. *生态学报*, 2005, 25(9): 2165-2172.
- [23] 刘文飞, 樊后保, 张子文, 杨跃霖, 王启其, 徐雷. 杉木人工林针叶养分含量对模拟氮沉降增加的响应. *应用与环境生物学报*, 2008, 14(3): 319-323.
- [24] 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.
- [25] 涂利华, 胡庭兴, 张健, 何远洋, 田祥宇, 肖银龙, 景建飞. 模拟氮沉降对华西雨屏区慈竹林土壤活性有机碳库和根生物量的影响. *生态学报*, 2010, 30(9): 2286-2294.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 12 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Effect assessment of the project of grain for green in the karst region in Southwestern China: a case study of Bijie Prefecture	LI Hao, CAI Yunlong, CHEN Ruishan, et al (3255)
The effect of dispersal on the population dynamics of a host-parasite system in fragmented landscape	SU Min (3265)
The effect of spatial scales on wetland functions evaluation: a case study for coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province	OU Weixin, YE Lifang, SUN Xiaoxiang, et al (3270)
Effects of simulated nitrogen deposition on nutrient balance of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) seedlings	FAN Houbao, LIAO Yingchun, LIU Wenfei, et al (3277)
The water conservation study of typical forest ecosystems in the forest transect of eastern China	HE Shuxia, LI Xuyong, MO Fei, et al (3285)
The ecological responses of <i>Pinus tabulaeformis</i> forests in Taiyue Mountains of Shanxi to artificial Harvesting	GUO Donggang, SHANGGUAN Tielang, BAI Zhongke, et al (3296)
The influence of the long-term application of organic manure and mineral fertilizer on microbial community in calcareous fluvo-aquic soil	ZHANG Huanjun, YU Hongyan, DING Weixin (3308)
Endophytic fungal diversity of five dominant plant species in the dry-hot valley of Yuanjiang, Yunnan Province, China	HE Caimei, WEI Daqiao, LI Haiyan, et al (3315)
Seedling recruitment in desert riparian forest following river flooding in the middle reaches of the Tarim River	ZHAO Zhenyong, ZHANG Ke, LU Lei, et al (3322)
Scaling up for transpiration of <i>Pinaceae schrenkiana</i> stands based on 8hm permanent plots in Tianshan Mountains	ZHANG Yutao, LIANG Fengchao, CHANG Shunli, et al (3330)
Responses of soil enzyme activities and microbial biomass N to simulated N deposition in Gurbantunggut Desert	ZHOU Xiaobing, ZHANG Yuanming, TAO Ye, et al (3340)
Effects of Pb on growth, heavy metals accumulation and chloroplast ultrastructure of <i>Iris lactea</i> var. <i>Chinensis</i>	YUAN Haiyan, GUO Zhi, HUANG Suzhen (3350)
Effects of temperature and sap flow velocity on CO ₂ efflux from stems of three tree species in spring and autumn in Northeast China	WANG Xiuwei, MAO Zijun, SUN Tao, et al (3358)
The soil seed bank of <i>Eupatorium adenophorum</i> along roadsides in the south and middle area of Yunnan, China	TANG Yingyin, SHEN Youxin (3368)
Extracting the canopy structure parameters using hemispherical photography method	PENG Huanhua, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (3376)
The CCA analysis between grasshopper and plant community in upper reaches of Heihe River	ZHAO Chengzhang, ZHOU Wei, WANG Keming, et al (3384)
Community structure characteristics of phytoplankton in argun River Drainage Area in autumn	PANG Ke, YAO Jinxian, WANG Hao, et al (3391)
Spatial and temporal variation of phytoplankton and impacting factors in Jiulongjiang Estuary of Xiamen, China	WANG Yu, LIN Mao, CHEN Xingqun, et al (3399)
Effect of bank type on fish biodiversity in the middle-lower reaches of East Tiaoqi River, China	HUANG Liangliang, LI Jianhua, ZOU Limin, et al (3415)
Study on dynamic changes of soil and water loss along highway based on RS/GIS: an example of Yujing expressway	CHEN Aixia, LI Min, SU Zhixian, et al (3424)
The urbanization effects on watershed landscape structure and their ecological risk assessment	HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (3432)
Assessment of ecological risk of coastal economic developing zone in Jinzhou Bay based on landscape pattern	GAO Bin, LI Xiaoyu, LI Zhigang, et al (3441)
Impacts of land use and cover changes on ecosystem service value in Zoige Plateau	LI Jinchang, WANG Wenli, HU Guangyin, et al (3451)
Effect of chicken manure application on Cu and Zn accumulation in soil and <i>Brassica sinensis</i> L.	ZHANG Yan, LUO Wei, CUI Xiaoyong, et al (3460)
GIS analysis of structural characteristics of pollution sources in irrigable farmland in Ningxia China	CAO Yanchun, FENG Yongzhong, YANG Yinlu, et al (3468)
Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean	LIU Yan, ZHOU Xunbo, CHEN Yuhai, et al (3478)
<i>In situ</i> study on influences of different fertilization patterns on inorganic nitrogen losses through leaching and runoff: a case of field in Nansi Lake Basin	TAN Deshui, JIANG Lihua, ZHANG Qian, et al (3488)
Effects of AM fungi on leaf photosynthetic physiological parameters and antioxidant enzyme activities under low temperature	LIU Airong, CHEN Shuangchen, LIU Yanying, et al (3497)
Effects of exogenous cysteine on growth, copper accumulation and antioxidative systems in wheat seedlings under Cu stress	PENG Xiangyong, SONG Min (3504)
Review and Monograph	
The horizon scanning technology and its application prospect in Ecology	HU Zimin, LI Jingjing, LI Wei, et al (3512)
Scientific Note	
The gas exchange characteristics of four shrubs on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (3522)
Effect of DEM data at different scales on the accuracy of forest Ecological Classification system	TANG Lina, HUANG Jucong, DAI Limin (3531)
Canopy interception of rainfall by Bamboo plantations growing in the Hill Areas of Southern Jiangsu Province	JIA Yongzheng, HU Haibo, ZHANG Jiayang (3537)
Effects of exotic species slash pine (<i>Pinus elliottii</i>) litter on the structure and function of the soil microbial community	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3543)
The carbon emission analysis of Shenzhen Metro	XIE Hongyu, WANG Xixiang, YANG Muzhuang, et al (3551)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 12 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 12 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	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 70.00 元