

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第5期 Vol.33 No.5 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 (SHENTAI XUEBAO)

第33卷 第5期 2013年3月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 氮沉降对森林土壤有机质和凋落物分解的影响及其微生物学机制 王晶苑, 张心昱, 温学发, 等 (1337)
工业大麻对重金属污染土壤的治理研究进展 梁淑敏, 许艳萍, 陈 裕, 等 (1347)
最佳管理措施评估方法研究进展 孟凡德, 耿润哲, 欧 洋, 等 (1357)
灌木年轮学研究进展 芦晓明, 梁尔源 (1367)

个体与基础生态

- 华北落叶松夜间树干液流特征及生长季补水格局 王艳兵, 德永军, 熊 伟, 等 (1375)
土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响 裴 斌, 张光灿, 张淑勇, 等 (1386)
湖北石首麋鹿昼间活动时间分配 杨道德, 李竹云, 李鹏飞, 等 (1397)
三种杀虫剂亚致死浓度对川硬皮肿腿蜂繁殖和搜寻行为的影响 杨 桦, 杨 伟, 杨春平, 等 (1405)

种群、群落和生态系统

- 三沙湾浮游动物生态类群演替特征 徐佳奕, 徐兆礼 (1413)
滇西北高原纳帕海湿地湖滨带优势植物生物量及其凋落物分解 郭绪虎, 肖德荣, 田 昆, 等 (1425)
安徽新安江干流滩涂湿地草本植物区系及物种多样性 杨文斌, 刘 坤, 周守标 (1433)
湿地芦苇根结合好气细菌群落时空分布及其与水质因子的关系 熊 薇, 郭逍宇, 赵 霖 (1443)
三种温带树种叶片呼吸的时间动态及其影响因子 王兆国, 王传宽 (1456)
不同土壤水分条件下杨树人工林水分利用效率对环境因子的响应 周 洁, 张志强, 孙 阁, 等 (1465)
不同生态区域沙地建群种油蒿的钙组分特征 薛苹苹, 高玉葆, 何兴东 (1475)
藏北高寒草甸植物群落对土壤线虫群落功能结构的影响 薛会英, 胡 锋, 罗大庆 (1482)
铜尾矿废弃地土壤动物多样性特征 朱永恒, 沈 非, 余 健, 等 (1495)
环丙沙星对土壤微生物量碳和土壤微生物群落碳代谢多样性的影响 马 驿, 彭金菊, 王 芸, 等 (1506)
基于生态水位约束的下辽河平原地下水生态需水量估算 孙才志, 高 翳, 朱正如 (1513)

景观、区域和全球生态

- 佛山市高明区生态安全格局和建设用地扩展预案 苏泳娴, 张虹鸥, 陈修治, 等 (1524)
不同护坡草本植物的根系特征及对土壤渗透性的影响 李建兴, 何丙辉, 谌 芸 (1535)
京沪穗三地近十年夜间热力景观格局演变对比研究 孟 丹, 王明玉, 李小娟, 等 (1545)
窟野河流域河川基流量变化趋势及其驱动因素 雷泳南, 张晓萍, 张建军, 等 (1559)
模拟氮沉降条件下木荷幼苗光合特性、生物量与 C、N、P 分配格局 李明月, 王 健, 王振兴, 等 (1569)
铁炉渣施加对稻田甲烷产生、氧化与排放的影响 王维奇, 李鹏飞, 曾从盛, 等 (1578)

资源与产业生态

- 食用黑粉菌侵染对茭白植株抗氧化系统和叶绿素荧光的影响 闫 宁, 王晓清, 王志丹, 等 (1584)

- 佛手低温胁迫相关基因的差异表达 陈文荣,叶杰君,李永强,等 (1594)
美洲棘薺马对不同蔬菜寄主的偏好性 朱亮,石宝才,官亚军,等 (1607)
茉莉酸对棉花单宁含量和抗虫相关酶活性的诱导效应 杨世勇,王蒙蒙,谢建春 (1615)
造纸废水灌溉对毛白杨苗木生长及养分状况的影响 王烨,席本野,崔向东,等 (1626)
基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率 赵晨,王远,谷学明,等 (1636)

研究简报

- 太岳山不同郁闭度油松人工林降水分配特征 周彬,韩海荣,康峰峰,等 (1645)
基于 TM 卫星影像数据的北京市植被变化及其原因分析 贾宝全 (1654)
薇甘菊萎焉病毒感染对薇甘菊光合特性和 4 种酶活性的影响 王瑞龙,潘婉文,杨娇瑜,等 (1667)
第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)
中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说:美丽的油松松枝——油松又称红皮松、短叶松。树高可达 30m,胸径达 1m。其树皮下部灰褐色,裂成不规则鳞块;针叶 2 针一束,暗绿色,较粗硬;球果卵形或卵圆形,长 4—7cm,有短柄,与枝几乎成直角。油松适应性强,根系发达,树姿雄伟,枝叶繁茂,有良好的保持水土和美化环境的功能,是中国北方广大地区最主要的造林树种之一,在华北地区无论是山区或平原到处可见,人工林很多,一般情况下在山区生长最好。在山区生长的油松,多在阴坡、半阴坡,土壤湿润和较肥沃的地方。

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/stxb201209101277

李明月, 王健, 王振兴, 吴晓燕, 黄儒珠, 朱锦懋. 模拟氮沉降条件下木荷幼苗光合特性、生物量与 C、N、P 分配格局. 生态学报, 2013, 33(5): 1569-1572.

Li M Y, Wang J, Wang Z X, Wu X Y, Huang R Z, Zhu J M. Photosynthetic characteristics, biomass allocation, C, N and P distribution of *Schima superba* seedlings in response to simulated nitrogen deposition. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(5): 1569-1572.

模拟氮沉降条件下木荷幼苗光合特性、 生物量与 C、N、P 分配格局

李明月^{1,2}, 王 健^{2,3}, 王振兴^{1,2}, 吴晓燕^{1,2}, 黄儒珠^{1,2}, 朱锦懋^{1,2,*}

(1. 福建师范大学生命科学学院, 福州 350108; 2. 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福州 350007;
3. 福建师范大学地理研究所, 福州 350007)

摘要:设置模拟氮沉降的控制试验, 以 NH_4NO_3 作为外加氮源, 设计 CK($0 \text{ kg N hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)、LN($50 \text{ kg N hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)、MN($100 \text{ kg N hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)、HN($150 \text{ kg N hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)4个处理, 历时9个月, 测定木荷(*Schima superba*)幼苗的光合特性、生物量和C、N、P含量及其分配格局对氮沉降的响应。结果表明:(1)木荷幼苗的最大净光合速率和光饱和点随着氮处理水平增加呈先增加后减小的特点, 在中氮处理下极显著增加($P<0.01$)。氮处理降低了幼苗的光补偿点和暗呼吸速率, 光补偿点在低氮处理下显著降低($P<0.05$), 暗呼吸速率在低中氮处理下极显著降低($P<0.01$), 高氮处理下显著降低($P<0.05$)。未见氮处理对表观量子效率产生显著影响。(2)氮处理促进了木荷的全株生物量以及各部分生物量的增长。随着氮处理水平的增加, 叶重比呈升高的趋势, 而根重比和根冠比呈降低的趋势, 在高氮处理下叶重比的增加和根重比、根冠比的降低都达到了显著水平($P<0.05$)。(3)氮沉降促进各器官N含量的增加, 在高氮处理下根和茎中N含量极显著增加($P<0.01$), 叶中N含量显著增加($P<0.05$)。而各器官C含量随着氮沉降程度的增加呈先增加后降低的趋势, 在中氮处理下根和茎中C含量极显著增加($P<0.01$), 叶中C含量显著增加($P<0.05$)。但各器官P含量变化趋势各不相同, 随着氮的增加, 根中P含量是呈先增加后降低的趋势, 而茎和叶中P含量是呈降低的趋势。氮沉降一定程度上降低了木荷各器官的C/N比值而增加了N/P比值。

关键词:氮沉降; 木荷; 光合特性; 生物量分配; CNP分配

Photosynthetic characteristics, biomass allocation, C, N and P distribution of *Schima superba* seedlings in response to simulated nitrogen deposition

LI Mingyue^{1,2}, WANG Jian^{2,3}, WANG Zhenxing^{1,2}, WU Xiaoyan^{1,2}, HUANG Ruzhu^{1,2}, ZHU Jinmao^{1,2,*}

1 College of Life Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350108, China

2 Cultivation Base of State Key Laboratory of Humid Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou 350007, China

3 Institute of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

Abstract: Human activities have caused increased nitrogen (N) input to forest ecosystems through fertilizer production and fossil fuel combustion in recent decades and this input is likely to continue in the near future. Therefore, studying the effects of N deposition on morphological and physiological characteristics of plants increasingly becomes a major focus in the field of ecological and environmental sciences. To explore physiological response of sub-tropical forest to N deposition, *Schima superba* was selected as an important constructive species of sub-tropical forest. Four treatments including Control (CK, $0 \text{ kg N hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), Low N (LN, $50 \text{ kg N hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), Medium N (MN, $100 \text{ kg N hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) and High N (HN, $150 \text{ kg N hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)

基金项目:国家自然科学基金(31270659, 31200460); 福建省自然科学基金(2012J01121, 2010J01140); 福建省重点学科建设项目(1240102-1)

收稿日期:2012-09-10; 修订日期:2013-01-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jmzhu@fjnu.edu.cn

$\text{kg N hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) were conducted in the present study. At the beginning and in the middle of each month, N-treated plots were sprayed with NH_4NO_3 solution with concentrations of 0 mol N/L (CK), 0.12 mol N/L (LN), 0.24 mol N/L (MN) and 0.36 mol N/L (HN) respectively. The photosynthetic characteristics, biomass allocation, C, N and P distribution in response to different N deposition were investigated in one-year-old *S. superba* seedlings after nine months. The results showed that: (1) The trend of maximum net photosynthetic rate ($P_{n_{\max}}$) of *S. superba* was increased firstly, and then decreased with the increase of nitrogen supply. With the treatment of MN and HN, $P_{n_{\max}}$ increased by 21.1% ($P < 0.01$) and 16% ($P < 0.01$), respectively. The change of light saturation point (LSP) was similar as the $P_{n_{\max}}$. LN and MN caused the increase of LSP by 10.6% ($P < 0.01$) and 13.1% ($P < 0.01$), respectively. But the LSP in the HN was significantly lower than that in the CK ($P < 0.01$). The LCP reduced significantly in LN ($P < 0.05$), and Rd reduced significantly under different N treatments ($P < 0.01$ for LN and MN; $P < 0.05$ for HN). The apparent quantum yield (AQY) were of no significant difference under the different N treatments. (2) N deposition enhanced total biomass, leaf biomass, stem biomass and root biomass of *S. superba* seedlings significantly. The treatments of MN and HN induced the increase of total biomass by 168.5% (MN, $P < 0.01$) and 130.5% (HN, $P < 0.05$), respectively. Root biomass increased by 145.6% with MN treatments ($P < 0.01$). N treatments caused significant increase of leaf biomass by 247.4% (MN, $P < 0.01$) and 228.5% (HN, $P < 0.01$). Leaf weight ratio increased while root weight ratio and root to shoot ratio reduced with different concentration of N treatments. (3) N concentrations increased, but P concentrations decreased in soil upon N deposition. Under HN, the N concentrations increased by 44.65% ($P < 0.01$), 35.06% ($P < 0.01$) and 24.78% ($P < 0.05$) in roots, stems and leaves respectively. The C concentrations inclined firstly, and then declined with the increase of nitrogen supply in the roots, stems and leaves. Furthermore, C concentrations of different organs increased significantly under MN in comparison with CK ($P < 0.01$ for roots and stems, $P < 0.05$ for leaves). The change of P concentrations in the roots appeared positively to LN and MN, but negatively to HN. However, P concentrations in the stems and leaves appeared negatively to N deposition ($P < 0.01$). To a certain extent, N deposition induced the decrease of C/N ratio and the increase of N/P ratio in the roots, stem and leave of *S. superba* seedlings.

Key Words: nitrogen deposition; *Schima superba*; photosynthetic characteristics; biomass allocation; CNP distribution

20世纪人类活动排放的活性氮增加了3到5倍^[1],且预计今后许多地区排放的活性氮还仍将进一步增加^[1-4]。目前中国已成为继欧洲和美国之后的第三大沉降区^[5],且随着经济、工农业等的迅速发展,我国的氮沉降量还会继续升高^[6]。氮沉降的现状和未来的发展趋势十分严峻^[7-8]。Lamarque等认为氮排放量70%都沉降到陆地生态系统^[3],其中森林作为陆地生态系统的主要部分,在调节全球气候变化方面起到重要作用。在氮沉降持续增加的背景下,研究森林植物的生理生态响应特征十分迫切。目前有关植物对氮沉降的研究多集中于温带地区的针叶林,而对热带、亚热带地区植物在氮沉降升高趋势下的生理生态响应了解甚少,据估计到2020年全球约2/3与能量有关的氮输入将发生在热带、亚热带地区^[9],由于缺乏对热带和亚热带森林植物的研究,目前还无法知道氮沉降如何影响热带、亚热带森林植物的生长。

植物生物量是反映植物生长和生产力的一个重要内容,植物的光合特性和体内养分含量的变化等都会影响到生物量的改变。研究表明,植物生长加快,如果根系吸收的养分元素含量未增加,就会导致叶片养分元素含量下降,叶片会出现元素的稀释效应,进而使光合速率降低,最终抑制植物生物量的增长^[10-12]。因此,植物生物量的增加与体内的养分含量、光合特性有密切的联系。而植物局部特化的生物量分配格局对资源异质性的响应是植物种群克服资源环境异质性的重要途径之一^[13-15]。这对于植物在异质和变化的养分环境中存活和提高竞争力至关重要。Meziane^[16]及Persson等^[17]认为随着氮沉降的增加,植物的最大净光合速率、叶重比升高,并进一步研究证明氮沉降促进地上部分的生长,但对根系的生长不利,根冠比降低。然而,与上述结果相反的是,有研究表明植物地上及地下部分在氮沉降处理下并没有显著性差异^[18-19]。这表明植物生物量分

配对氮沉降的响应策略尚无一致的认识,这是否与植物光合作用、养分含量变化密切相关目前未知。

木荷(*Schima superba*)是山茶科(Teaceae)的常绿乔木,是我国亚热带常绿阔叶林的主要建群种,同时还是珍贵优质阔叶用材造林树种。它具有种子量大、散布能力强、萌芽率高的特点,且幼苗喜光耐荫,适宜环境中生长较快,在群落中易占优势,因此它在亚热带常绿阔叶林恢复演替的过程中起着承上启下的作用。本文通过野外模拟试验分析氮沉降对木荷幼苗光合特性、生物量分配及不同器官C、N、P含量的影响,探讨氮沉降背景下木荷幼苗资源利用策略,为评价和预测氮沉降对木荷幼苗的影响提供科学依据,也为在氮沉降增加的背景下预期未来亚热带森林动态变化及其保护提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 研究地自然概况

本实验在福建师范大学旗山校区实验样地($26^{\circ}2' N, 119^{\circ}12' E$)进行。该样地地势平坦,周围没有大树及高层建筑遮挡。该地区属中亚热带季风气候,年平均气温为 $19.5^{\circ}C$,年平均日照时数为1959 h,年平均降水量为2152.6 mm,降水主要集中在3—6月,尤以5—6月为多。2012年福州湿沉降中总氮沉降通量为 $91.06 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (该数据由福建师范大学湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地提供)。

1.2 实验材料和实验设计

1年生且大小相对一致(株高 $(25.98 \pm 2.12) \text{ cm}$,基茎 $(2.86 \pm 0.12) \text{ cm}$)的木荷幼苗由福建沙县金德苗木有限公司提供。样地土壤为红壤,样地土壤在移栽幼苗之前经过充分混匀,深度0.35 m。移栽前土壤及幼苗根、茎、叶中碳、氮及磷含量见表1。

样地总面积为 $33.5 \text{ m} \times 10.5 \text{ m}$,把样地分成8个样方,每个样方面积为 $8\text{m} \times 5 \text{ m}$ 。试验分4个处理,分别为CK($0 \text{ kg N hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)、LN($50 \text{ kg N hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)、MN($100 \text{ kg N hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)、HN($150 \text{ kg N hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)(以上均不包括大气沉降的氮量),每个处理由2个样方组成。为防止相互之间造成干扰,每个样方边缘用PVC板(长8 m、宽5 m、高0.6 m,不通水、不通气)镶嵌于土壤中(深度为0.35 m),并且样方之间留有0.5 m宽的过道。2011年3月25日,将幼苗定植于实验地,株距30 cm,行距35 cm,每个样方移栽幼苗300株,种植密度为 7.5株/m^2 。2011年7月木荷幼苗成活稳定后,开始实施氮沉降模拟试验。将每个样方每次所需的 NH_4NO_3 溶于5 L水中(全年增加的水量相当于新增降水量3 mm),以溶液的形式向木荷幼苗全株喷施,N浓度为0、0.12、0.24、0.36 mol/L。每月月初和月中各1次,全年分成24等份平均喷施。对照处理喷洒同样数量的水。整个实验期间,幼苗在自然条件下生长。但为了实验的顺利进行,每月除草2次。连续N沉降处理9个月后,于2012年4月开始进行各项实验测定。

表1 供试土壤及幼苗移栽前的元素含量

Table 1 Element contents in tested soils and seedlings before test

处理 Treatment	全碳/(g/kg) Total carbon	全氮/(g/kg) Total nitrogen	全磷/(g/kg) Total phosphorus
根	433.12 ± 3.45	3.49 ± 0.21	1.69 ± 0.03
茎	458.78 ± 6.89	3.23 ± 0.34	1.20 ± 0.02
叶	480.33 ± 8.89	10.68 ± 0.87	1.12 ± 0.04
土壤	5.55 ± 0.76	0.56 ± 0.01	0.67 ± 0.02

表内数据为平均值±标准误, $n=6$

1.3 测定方法

1.3.1 光合作用光响应曲线的测定

于2012年4月2日到4月5日9:00—11:30用Li-6400便携式光合作用系统(LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA)测定了光强-光响应曲线。每个样方选取2株木荷,每株选取靠近植株上部成熟健康叶测量。这样,每个处理测量4株,4个处理合计观测16株次。每天观测1次,重复观测4 d。光源为LI-6400红蓝LED光源, CO_2 速率为 $380 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,空气流速为 $500 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$,气温控制在 25°C 。在不同光合有效辐射通量密度

(PPFD 分别为:2000、1500、1000、800、500、300、150、100、50、20 和 0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)下测定木荷的净光合速率(P_n)等光合参数。光响应曲线模型采用新型的指数方程拟合曲线^[20],表达式如下:

$$P(I) = \alpha \frac{1 - \beta I}{1 + \gamma I}(I - I_c)$$

式中, α 、 β 、 γ 为 3 个与光强无关的系数; $P(I)$ 为净光合速率, I 为光合有效辐射($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), I_c 为光补偿点($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。通过这个方程进行拟合,计算出最大净光合速率($P_{n_{\max}}$)、表观量子效率(AQY)、光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)及暗呼吸速率(Rd)等光合参数。

1.3.2 生物量的测定

每个样方选取 2 株木荷,每个处理计 4 株,4 个处理合计选取 16 株次进行全株收获。选取的植株用水冲洗干净,105℃ 杀青半小时,在 80℃ 条件下烘干至恒重,然后测定根、茎、叶和全株的干重,并计算根重比(根干重/全株干重)、茎重比(茎干重/全株干重)、叶重比(叶干重/全株干重)和根冠比(根干重/地上部分干重)。

1.3.3 植株与土壤 C、N、P 含量的测定

将生物量测定完后的木荷幼苗根、茎、叶烘干,研磨,过 1mm 孔径的筛。用 CN 元素分析仪(Elementar Vario EL III,德国)来测定 C、N 含量。P 的测定采用双酸消煮(浓硝酸和浓高氯酸)-钼锑抗比色法。

实验前后每个样方取三钻深度为 15cm 的土柱组成一个混合土样,每个处理两个样方共 6 个混合土样。烘干,研磨,过 1mm 孔径的筛。土壤 CN 的测定用元素分析仪(Elementer MAX,德国)测定,土壤 P 的测定方法与植株相同。

1.4 数据处理与分析

光合参数、生物量与 CNP 分配数据采用统计软件 SPSS 17.0 分析。

2 结果分析

2.1 氮沉降对木荷光合生理的影响

图 1 是木荷幼苗在不同氮处理下光响应曲线,总体上各处理的光合曲线变化趋势很相似。当光照强度在 0—200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 范围内时 4 种氮处理下的木荷幼苗 P_n 几乎呈线性增长,随着光强的增加, P_n 的增长速度减慢,当光照强度达到光饱和点时 P_n 开始呈缓慢下降的趋势。由图 1 还可以看出,当光强大于 300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,相对于对照处理,各氮处理的 P_n 均不同程度提高,其中,中氮处理的 P_n 最大,高氮处理次之。

表 2 为在不同氮处理下木荷幼苗光合特征。可以发现,随着氮沉降水平的增加, $P_{n_{\max}}$ 出现先升高后降低的趋势,在中氮处理下达到最大值。与对照相比,中、高氮处理分别增加了 21.1%、16%,差异极显著($P < 0.01$)。然而,不同氮处理条件下 AQY 差异不显著($P > 0.05$)。与对照相比,低、中氮处理的 LSP 分别增加了

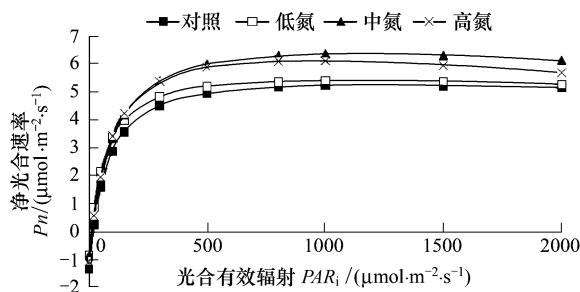


图 1 不同氮处理下木荷幼苗的光响应曲线

Fig. 1 Photosynthesis light response curves of *Schima superba* seedlings under different N treatments

表 2 不同氮处理下木荷幼苗光合特征参数

Table 2 Comparison of photosynthetic parameters of *Schima superba* seedlings under different N treatments

处理 Treatment	表观初始量子效率 $AQY / (\mu\text{mol}\cdot\mu\text{mol}^{-1})$	最大净光合速率 $P_{n_{\max}} / (\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	光饱和点 $LSP / (\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	光补偿点 $LCP / (\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	暗呼吸速率 $Rd / (\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$
CK	0.031 ± 0.002 a	5.25 ± 0.06 c	982.12 ± 12.11 b	16.56 ± 3.00 a	1.31 ± 0.04 a
LN	0.03 ± 0.004 a	5.42 ± 0.04 c	1087.03 ± 5.98 a	8.68 ± 1.34 b	0.81 ± 0.08 c
MN	0.032 ± 0.0003 a	6.36 ± 0.05 a	1111.09 ± 9.01 a	11.45 ± 1.78 ab	0.85 ± 0.04 bc
HN	0.034 ± 0.0004 a	6.09 ± 0.08 b	915.64 ± 7.81 c	12.42 ± 1.00 ab	1.04 ± 0.04 b

表内数据为平均值±标准误, $n=4$,不同字母表示 LSD 检验结果($P < 0.05$)

10.6%、13.1%,差异极显著($P<0.01$);而高氮条件下LSP极显著低于低氮处理及中氮处理,也极显著低于对照处理($P<0.01$)。LCP的变化趋势与光饱和点的变化趋势不同,在不同氮处理条件下的LCP都低于对照水平,在低氮处理下LCP显著降低($P<0.05$)。不同氮处理下的Rd都低于对照,在低、中氮处理下,Rd分别降低了38.2%、35.1%,差异极显著($P<0.01$);在高氮处理下,Rd降低了20.6%,差异显著($P<0.05$)。

2.2 氮沉降对生物量积累及分配的影响

表3结果表明,在不同氮处理条件下,木荷生物量积累具有不同的响应特征。与对照相比,中氮处理下总生物量增加了168.5%,差异极显著($P<0.01$);高氮处理下总生物量增加了130.5%,差异显著($P<0.05$)。从各器官来看,氮沉降促进了根、茎、叶生物量的增加。在中氮处理下,根的生物量比对照增加了145.6%,差异极显著($P<0.01$)。氮沉降也在一定程度促进了茎生物量的增加,但是不同氮处理间茎生物量差异未达到显著水平($P<0.05$)。同样,氮沉降也促进了叶生物量的增加,在中、高氮处理下叶生物量比对照增加了247.4%、228.5%,差异均极显著($P<0.01$)。

表3 不同氮处理下木荷幼苗生物量积累及其分配比较

Table 3 Comparison of biomass accumulation and allocation of *Schima superba* seedlings under different N treatments

处理 Treatments	根		茎		叶		根冠比 Root shoot ratio	总生物量/g Total biomass
	生物量/g Biomass	根重比 Root weight ratio	生物量/g Biomass	茎重比 Stem weight ratio	生物量/g Biomass	叶重比 Leaf weight ratio		
CK	2.81±0.54b	0.32±0.03a	2.55±0.64a	0.29±0.04a	3.40±0.12b	0.39±0.05b	0.47±0.06a	8.76±1.25c
LN	4.45±0.69b	0.31±0.01a	3.31±0.68a	0.23±0.02a	6.45±0.51b	0.45±0.03ab	0.46±0.02a	14.21±1.88bc
MN	6.90±0.48a	0.29±0.03a	4.81±0.93a	0.20±0.02a	11.81±1.8a	0.50±0.02ab	0.42±0.07a	23.52±2.84a
HN	4.28±1.01b	0.21±0.01b	4.74±1.25a	0.23±0.03a	11.17±1.82a	0.55±0.04a	0.27±0.02b	20.19±3.84ab

表内数据为平均值±标准误, $n=4$,不同字母表示LSD检验结果($P<0.05$)

从表3结果可以发现,氮沉降对生物量的分配比例产生了影响。随着氮沉降量的增加,根重比出现了下降的趋势,其中在高沉降水平下,根重比显著降低($P<0.05$)。不同氮处理下的茎重比都低于对照,但是不同处理间差异均未达到显著水平。随着氮沉降量的增加,叶重比出现了增加的趋势,相对于对照,高氮处理下叶重比增加了41.0%,差异显著($P<0.05$)。随着氮沉降量的增加,根冠比出现降低的趋势,其中高氮处理的根冠比显著低于对照、低氮和中氮处理($P<0.05$)。

2.3 氮沉降对土壤及植物不同器官C、N、P含量的影响

从表4可以看出,随着氮沉降水平的增加,土壤中C含量呈先增加后降低的趋势,在中氮处理下达到最高值。在中、高氮处理下,C含量极显著增加($P<0.01$)。氮沉降增加了土壤中的N含量而降低了土壤中的P含量,在中、高氮处理下N含量极显著增加($P<0.01$),而土壤P含量则是中氮处理下显著降低($P<0.05$),高氮处理下极显著降低($P<0.01$)。

表4 不同氮处理对土壤中元素含量的影响

Table 4 Effects of different N treatments on element contents in soil

处理 Treatment	全碳/(g/kg) Total carbon		全氮/(g/kg) Total nitrogen		全磷/(g/kg) Total phosphorus	
CK	5.70±0.04b		0.53±0.01c		0.65±0.05c	
LN	5.82±0.07b		0.64±0.02c		0.57±0.02bc	
MN	6.92±0.07a		0.83±0.03b		0.50±0.03ab	
HN	6.82±0.10a		1.09±0.06a		0.42±0.02a	

表内数据为平均值±标准误, $n=6$,不同字母表示LSD检验结果($P<0.05$)

图2为氮沉降处理对植物根、茎、叶中元素含量和C/N、N/P比值的影响。可以看出,除了低氮处理下的茎、叶中N含量略低于对照外,其余各器官的N含量均表现为处理大于对照。LSD检验结果表明,在高氮处

理下根和茎中 N 含量极显著增加($P<0.01$)，叶中 N 含量显著增加($P<0.05$)。

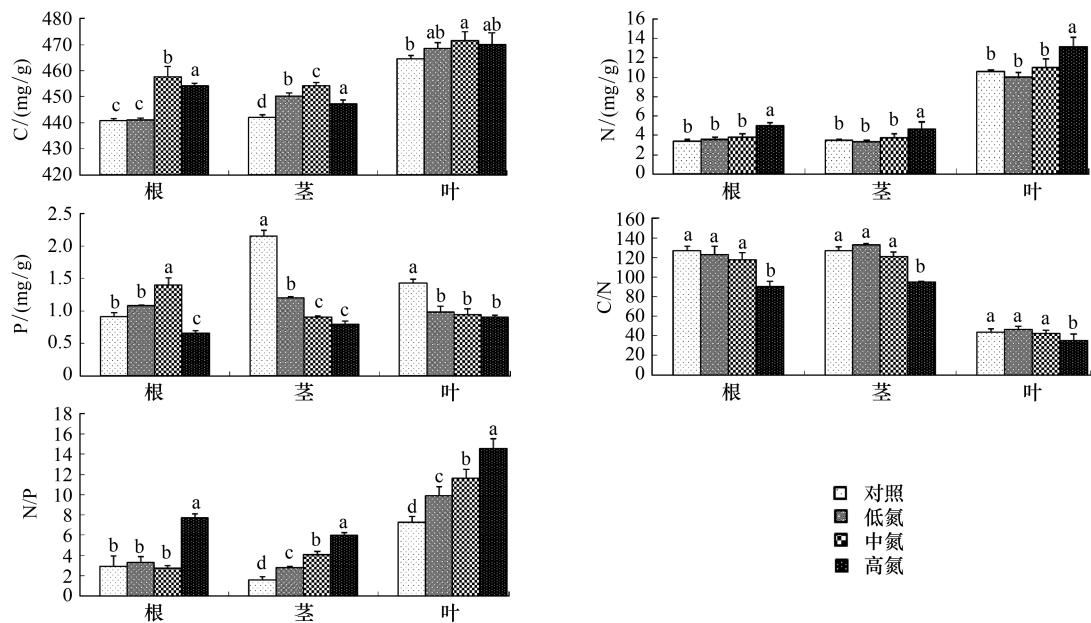


图 2 不同氮处理对植物根、茎、叶中元素含量和 C/N、N/P 比值的影响

Fig. 2 Effects of different N treatments on element contents and ratio of C/N, N/P in leaves, stems and roots of *Schima superba* seedlings

不同器官含 C 量随着氮沉降水平的增加都呈先增加后降低的趋势，在中氮处理下达到最大值。在中氮处理下根和茎中 C 含量极显著增加($P<0.01$)，叶中 C 含量显著增加($P<0.05$)。在氮处理下，不同器官的 P 含量有不同的变化趋势(图 2)。其中，根中 P 含量随着氮沉降量的增加呈先升高后降低的趋势，在中氮处理下极显著增加($P<0.01$)，高氮处理下显著降低($P<0.05$)。氮处理极显著降低了茎和叶中的 P 含量($P<0.01$)。

根中的 C/N 是随着氮沉降水平的增加呈降低趋势，在高氮处理下极显著降低($P<0.01$)。茎和叶中 C/N 的变化趋势相同，都是随着氮沉降水平的增加呈先升高后降低的趋势，在低氮处理下达到最大值，在高氮处理下极显著降低($P<0.01$)。同时，由图 2 可以看出，除了在低氮和中氮处理下根中的 N/P 与对照没有显著差异外，其它处理的根茎叶中 N/P 都显著($P<0.05$)或极显著增加($P<0.01$)。随着氮沉降水平的增加，叶中 N/P 从 7.34 增加到 14.60。

3 讨论

从本研究结果来看，氮沉降显著促进了木荷幼苗全株生物量和各部分生物量的增加。但是，随着氮沉降水平的增加，木荷全株生物量和各部分生物量都出现先升高后降低的趋势，在中氮处理下达到最大值，在高氮处理下反而下降。

为什么木荷在中氮处理下生物量最高呢？为何过量的氮会影响到植物生物量的增加呢？这些变化可能与植物的光合性能有关。由实验结果可以看出，木荷的 Pn_{max} 在中氮处理最高，在高氮处理下反而下降。而 Rd 是与光合作用相反的过程，它会消耗植物光合作用产生的大部分 C 和所固定的能量。中氮处理时木荷 Pn_{max} 最高，但是 Rd 却偏低。这时木荷产生的光合产物最高，而对光合产物的消耗较慢，所以物质积累量最多。而在高氮处理下，木荷 Pn_{max} 比中氮条件下低，而 Rd 比中氮条件下高，所以高氮处理下物质积累反而较少。 LSP 与 LCP 是反映植物对强光和弱光利用能力的指标。 LCP 较高、 LSP 较低的植物对光环境的适应性较弱；而 LCP 较低、 LSP 较高的植物对光环境的适应性较强^[21]。由实验结果可知，对照条件下木荷的 LCP 最高，随着氮沉降水平的增加 LCP 呈先下降后又缓慢上升的趋势，但都低于对照，说明氮沉降提高了木荷利用弱光的能力。低氮、中氮处理显著增加了木荷的 LSP ，而高氮处理下 LSP 降低。由此可见，在低、中氮处理下木荷的 LCP 降低、而 LSP 升高，表明木荷对光能的利用范围变宽，增强了木荷对光环境的适应能力。 AQY 是

植物光合特征的一个重要指标。 AQY 越大表明植物吸收与转换光能的色素蛋白复合体越多,利用弱光的能力越强^[22]。实验结果表明,中、高氮处理提高了幼苗对弱光的利用能力,而且在高氮处理下的 AQY 最高。表 2 中的各个光合参数并不是独立存在的,它们之间是相互作用的,在中氮处理下虽然木荷的 AQY 不占优势,但是木荷通过提高 $P_{n_{max}}$ 和 LSP 等途径改善了木荷的光合作用,使木荷在中氮处理下的光合性能得到提升。

其次生物量的这种变化也可能与植物体内的养分失衡有关。在本研究中,氮沉降引起了 N 在植物体内的积累,这与其它的研究结果是一致的^[23-24]。除了在低氮和中氮处理下木荷根中 P 含量高于对照外,其它处理的各个器官的 P 含量均低于对照,这反映了氮沉降在一定程度上降低了木荷体内的 P 含量。但是安卓等^[25]对长芒草(*Stipa bungeana*)的研究发现,随着氮素的增加,长芒草中 P 含量无显著变化。而樊后保等^[26]通过对杉木(*Cunninghamia lanceolata*)幼苗进行 1a 的模拟氮沉降实验发现,随着氮沉降水平的提高,杉木幼苗的粗根、茎、叶中 P 含量呈先上升后下降的趋势。这些不同的研究结果一方面说明了氮沉降对植物养分影响的复杂性,而这种复杂性可能与研究区域条件、试验对象、氮沉降水平以及实验时间尺度等密切相关,另一方面也充分说明继续展开深入而广泛研究的必要性。植物体的 C/N 不仅可反映植物 N 的利用效率,也一定程度上反映了土壤中 N 的供应状况。邢雪荣等^[27]认为:在营养元素供应缺乏时植物通常具有较高的养分利用效率,而在营养元素供应充足时植物的养分利用效率却较低。本研究结果表明,除了低氮处理下的茎和叶中 C/N 高于对照外,其余器官的 C/N 随氮素的增加而逐渐降低,表明氮沉降改变了土壤的 N 供应状况,随氮的增加,土壤中的 N 供应相对充足,同时也说明氮沉降使木荷的 N 的利用效率降低。氮沉降会引起植物体内 N/P 升高,其原因可能有以下几个:(1)木荷对 N 的奢侈吸收而引起 N 在体内累积。(2)氮沉降促进了土壤中铝离子的溶出,而铝离子的存在会抑制木荷对 P 的吸收^[23]。(3)氮沉降引起土壤中的 NH_4^+ 增加,而木荷对 NH_4^+ 有优先吸收的特性, NH_4^+ 的存在会抑制木荷对 P 的吸收^[28]。(4)氮沉降使土壤中的 P 含量减少,从而使植物所吸收的 P 含量降低。叶片 N 含量与其它元素之间的比例需要维持在一定范围之内,如 N/P=6—12,超过这个范围就可能引起营养失衡^[29]。而在本实验高氮处理下的木荷 N/P 大于 12,所以在高氮处理下木荷生物量的降低有可能与养分失衡有关。

氮沉降不仅会影响到植物生物量的积累,而且也会影响生物量的分配。植物生物量分配对氮沉降的响应程度具有很大变异性。Fenn 等^[30]研究表明:随着氮沉降水平的增加,叶的生长增加,但是地下细根生物量分配降低。而 Throop^[31]的研究结果表明:氮沉降增加了豚草(*Ambrosia artemisiifolia*)茎和根的产量,但是根茎比却降低。然而范志强等^[32]的研究表明:随着供氮水平的增加,水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)幼苗地上、地下生物量都升高,但是分配到地上的生物量明显小于分配到地下的生物量,根冠比始终较高。而本实验结果表明随着氮沉降水平的增加,根重比和根冠比逐渐降低,叶重比逐渐增加,茎重比是先降低后增加。这与 Persson 等^[17]认为氮沉降增加会促进地上部分的生长,而对地下部分的生长不利的观点一致。这同时也说明木荷幼苗通过生物量分配比例的改变来适应氮的增加。武高林等^[33]认为为了缓解新生境的选择压力,拥有较宽生态幅和拓殖能力的物种具有较高的生物量分配可塑性。木荷生物量分配可塑性较高是它作为我国亚热带常绿阔叶林的主要建群种之一的原因。Grechi 等^[34]和 Wang 等^[35]认为植物为了提高适应和竞争能力,会向主要的生长部位投入较多的 N,而向次要部位投入较少的 N。木荷在叶中投入 N 的比例最大,同时叶重比也最大,说明叶是木荷生长的核心。随着氮沉降水平的增加,木荷叶中 N 含量增加,叶重比也增大,说明了木荷叶的核心地位进一步增强,同时也说明木荷叶片中的 N 含量与生物量的分配表现出了一致性。

4 结论

木荷对氮沉降的响应包括形态和生理方面的变化。在形态变化方面,氮沉降促进了木荷总生物量和各部分生物量的增加。与对照相比,中氮和高氮处理下总生物量分别增加了 168.5%、130.5%,差异分别达到极显著 ($P<0.01$) 和显著 ($P<0.05$)。随着氮沉降量的增加,根重比出现了下降的趋势,在高氮处理下,根重比显著降低 ($P<0.05$)。与此相反,叶重比出现了增加的趋势,在高氮处理下叶重比比对照显著增加了 41.0% ($P<0.05$)。由此可以看出,木荷幼苗叶生物量的核心地位进一步加强,针对此特点在未来氮沉降增加的条件

下可以将木荷和针叶树(如马尾松、杉木)混交造林来减少木荷林的郁闭度,形成针阔叶树种多层次林分,提高生态效益。在生理方面,随着氮素的增加,木荷的 Pn_{max} 和 LSP 呈先升高后降低的趋势,在中氮处理下达最大值。氮沉降一定程度上降低了木荷的 Rd 和 LCP ,而对 AQY 的影响不显著。

氮沉降一定程度上增加了各器官的 N 含量,在高氮处理下根、茎、叶中 N 含量增加了 44.7% ($P<0.01$)、35.1% ($P<0.01$)、24.8% ($P<0.05$)。不同器官的 C 含量的变化趋势都是随着氮沉降水平的增加呈先升高后降低的趋势,在中氮处理下达最大值。随着氮沉降水平的增加,根中 P 含量呈先升高后降低的趋势,在中氮处理下达最大值,而茎和叶中 P 含量在氮处理下极显著降低($P<0.01$)。氮沉降一定程度上降低了木荷各器官的 C/N 而增加了 N/P。同时,在未来氮沉降增加的条件下木荷幼苗养分管理过程中应该增加磷肥的比例,以增加木荷体内的 P 含量,防止木荷受到 P 限制和营养失衡。

References:

- [1] Reay D S, Dentener F, Smith P, Grace J, Feely R A. Global nitrogen deposition and carbon sinks. *Nature Geoscience*, 2008, 1 (6) :430-437.
- [2] Galloway J N, Dentener F J, Capone D G, Boyer E W, Howarth R W, Seitzinger S P, Asner G P, Cleveland C C, Green P A, Holland E A, Karl D M, Michaels A F, Porter J H, Townsend A R, Vöosmarty C J. Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry*, 2004, 70 (2) :153-226.
- [3] Lamarque J F, Kiehl J T, Brasseur G P, Butler T, Cameron-Smith P, Collins W D, Collins W J, Granier C, Hauglustaine D, Hess P G, Holland E A, Horowitz L, Lawrence M G, McKenna D, Merilees P, Prather M J, Rasch P J, Rotman D, Shindell D, Thornton P. Assessing future nitrogen deposition and carbon cycle feedback using a multimodel approach: Analysis of nitrogen deposition. *Journal of Geophysical Research*, 2005, 110 (D19) :DOI: 10.1029/2005JD005825.
- [4] Dentener F, Drevet J, Lamarque J F, Bey I, Eickhout B, Fiore A M, Hauglustaine D, Horowitz L W, Krol M, Kulshrestha U C, Lawrence M, Galy-Lacaux C, Rast S, Shindell D, Stevenson D, Van Noije T, Atherton C, Bell N, Bergman D, Butler T, Cofala J, Collins B, Doherty R, Ellingsen K, Galloway J, Gauss M, Montanaro V, Müller J F, Pitari G, Rodriguez J, Sanderson M, Solmon F, Strahan S, Schultz M, Sudo K, Szopa S, Wild O. Nitrogen and sulfur deposition on regional and global scales: a multimodel evaluation. *Global Biogeochemical Cycles*, 2006, 20 (4) :DOI: 10.1029/2005GB002672.
- [5] Townsend A R, Braswell B H, Holland E A, Penner J E. Spatial and temporal patterns in terrestrial carbon storage due to deposition of fossil fuel nitrogen. *Ecological Applications*, 1996, 6 (3) :806-814.
- [6] Galloway J N, Cowling E B. Reactive nitrogen and the world: 200 years of change. *Ambio*, 2002, 31 (2) :64-71.
- [7] Zhou G Y, Yan J H. The influences 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] Xue J H, Mo J M, Li J, Wang H. Effects of nitrogen deposition on soil microorganism. *Ecology and Environment*, 2005, 14 (5) :777-782.
- [9] Galloway J N, Levy II H, Kasibhatla P S. Year 2020: Consequences of population growth and development on deposition of oxidized nitrogen. *Ambio*, 1994, 23 (2) :120-123.
- [10] Reich P B, Hobbie S E, Lee T, Ellsworth D S, West J B, Tilman D, Knops J M H, Naeem S, Trost J. Nitrogen limitation constrains sustainability of ecosystem response to CO_2 . *Nature*, 2006, 440 (4) :922-925.
- [11] Yamakawa Y, Saigusa M, Okada M, Kobayashi K. Nutrient uptake by rice and soil solution composition under atmospheric CO_2 enrichment. *Plant and Soil*, 2004, 259 (1/2) :367-372.
- [12] Zhang S R, Dang Q L, Yü X G. Nutrient and $[\text{CO}_2]$ elevation had synergistic effects on biomass production but not on biomass allocation of white birch seedlings. *Forest Ecology and Management*, 2006, 234 (1/3) :238-244.
- [13] Bazzaz F A, Grace J. Plant resource allocation. New York: Academic Press, 1997.
- [14] Weiner J. Allocation, plasticity and allometry in plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2004, 6 (4) :207-215.
- [15] Zhang D Y. Plant life-history evolution and reproductive ecology. Beijing: Science Press, 2004.
- [16] Meziane D, Shipley B. Interacting components of interspecific relative growth rate: constancy and change under differing conditions of light and nutrient supply. *Functional Ecology*, 1999, 13 (5) :611-622.
- [17] Persson H, Ahlström K, Clemensson-Lindell A. Nitrogen addition and removal at Gårdsjön-effects on fine-root growth and fine-root chemistry. *Forest Ecology and Management*, 1998, 101 (1/3) :199-205.
- [18] Spinnler D, Egli P, Körner C. Four-year growth dynamics of beech-spruce model ecosystems under CO_2 enrichment on two different forest soils. *Trees*, 2002, 16 (6) :423-436.
- [19] Johansson M. The influence of ammonium nitrate on the root growth and ericoid mycorrhizal colonization of *Calluna vulgaris* (L.) Hull from a

- Danish heathland. *Oecologia*, 2000, 123 (3): 418-424.
- [20] Ye Z P. A new model for relationship between irradiance and the rate of photosynthesis in *oryza sativa*. *Photosynthetica*, 2007, 45 (4): 637-640.
- [21] Yang X H, Zou Q, Zhao S J. Photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence in leaves of cotton plants grown in full light and 40% sunlight. *Journal of Plant Ecology*, 2005, 29 (1): 8-15.
- [22] Xu D Q. *Photosynthetic efficiency*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2006.
- [23] Nakaji T, Takenaga S, Kuroha M, Izuta T. Photosynthetic response of *Pinus densiflora* seedlings to high nitrogen load. *Environmental Science*, 2002, 9 (4): 269-282.
- [24] 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.
- [25] An Z, Niu D C, Wen H Y, Yang Y, Zhang H R, Fu H. Effects of N addition on nutrient resorption efficiency and C : N : P stoichiometric characteristics in *Stipa bungeana* of steppe grasslands in the Loess Plateau, China. *Journal of Plant Ecology*, 2011, 35 (8): 801-807.
- [26] Fan H B, Liao Y C, Liu W F, Yuan Y H, Li Y Y, Huang R Z. Effects of simulated nitrogen deposition on nutrient balance of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31 (12): 3277-3284.
- [27] Xing X R, Han X G, Chen L Z. A review on research of plant nutrient use efficiency. *Journal of Applied Ecology*, 2000, 11 (5): 785-790.
- [28] Schulze E D. Air pollution and forest decline in a spruce (*Picea abies*) forest. *Science*, 1989, 244 (4906): 776-783.
- [29] Hüttl R F. Nutrient supply and fertilizer experiments in view of N saturation. *Plant and Soil*, 1990, 128 (1): 45-58.
- [30] Fenn M E, Baron J S, Allen E B, Rueth H M, Nydick K R, Geiser L, Bowman W D, Sickman J O, Meixner T, Johnson D W, Neitlich P. Ecological effects of nitrogen deposition in the western United States. *Biological Science*, 2003, 53 (4): 404-420.
- [31] Throop H L. Nitrogen deposition and herbivory affect biomass production and allocation in an annual plant. *Oikos*, 2005, 111 (1): 91-100.
- [32] Fan Z Q, Wang Z Q, Wu C, Li H X. Effect of different nitrogen supply on *Fraxinus mandshurica* seedling's biomass, N partitioning and their seasonal variation. *Journal of Applied Ecology*, 2004, 15 (9): 1497-1501.
- [33] Wu G L, Chen M, Du G Z. Response of biomass allocation and morphological characteristics to light and nutrient resources for seedlings of three alpine species. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 (1): 0060-0066.
- [34] Grechi I, Vivin P, Hilbert G, Milin S, Robert T, Gaudillère J P. Effect of light and nitrogen supply on internal C:N balance and control of root-to-shoot biomass allocation in grapevine. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 59 (2): 139-149.
- [35] Wang G G, Bauerle W L, Mudder B T. Effects of light acclimation on the photosynthesis, growth and biomass allocation in American chestnut (*Castanea dentata*) seedlings. *Forest Ecology and Management*, 2006, 226 (1/3): 173-180.

参考文献:

- [7] 周国逸, 同俊华. 鼎湖山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] 薛璟花, 莫江明, 李炯, 王晖. 氮沉降增加对土壤微生物的影响. *生态环境*, 2005, 14 (5): 777-782.
- [15] 张大勇. 植物生活史进化与繁殖生态学. 北京: 科学出版社, 2004.
- [21] 杨兴洪, 邹琦, 赵世杰. 遮荫和全光下生长的棉花光合作用和叶绿素荧光特征. *植物生态学报*, 2005, 29 (1): 8-15.
- [22] 许大全. 光合作用效率. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.
- [24] 李德军, 莫江明, 彭少麟, 方运霆. 南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.
- [25] 安卓, 牛得草, 文海燕, 杨益, 张洪荣, 傅华. 氮素添加对黄土高原典型草原长芒草氮磷重吸收率及 C:N:P 化学计量特征的影响. *植物生态学报*, 2011, 35 (8): 801-807.
- [26] 樊后保, 廖迎春, 刘文飞, 袁颖红, 李燕燕, 黄荣珍. 模拟氮沉降对杉木幼苗养分平衡的影响. *生态学报*, 2011, 31 (12): 3277-3284.
- [27] 邢雪荣, 韩兴国, 陈灵芝. 植物养分利用效率研究综述. *应用生态学报*, 2000, 11 (5): 785-790.
- [32] 范志强, 王政权, 吴楚, 李红心. 不同供氮水平对水曲柳苗木生物量、氮分配及其季节变化的影响. *应用生态学报*, 2004, 15 (9): 1497-1501.
- [33] 武高林, 陈敏, 杜国祯. 三种高寒植物幼苗生物量分配及性状特征对光照和养分的响应. *生态学报*, 2010, 30 (1): 0060-0066.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33 ,No. 5 March ,2013(Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The effect of nitrogen deposition on forest soil organic matter and litter decomposition and the microbial mechanism WANG Jingyuan, ZHANG Xinyu, WEN Xuefa, et al (1337)
Advances and the effects of industrial hemp for the cleanup of heavy metal pollution LIANG Shumin, XU Yanping, CHEN Yu, et al (1347)
A review for evaluating the effectiveness of BMPs to mitigate non-point source pollution from agriculture MENG Fande, GENG Runzhe, OU Yang, et al (1357)
Progresses in dendrochronology of shrubs LU Xiaoming, LIANG Eryuan (1367)

Autecology & Fundamentals

- The characteristics of nocturnal sap flow and stem water recharge pattern in growing season for a *Larix principis-rupprechtii* plantation WANG Yanbing, DE Yongjun, XIONG Wei, et al (1375)
Effects of soil drought stress on photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activities in *Hippophae rhamnoides* Linn. seedlings PEI Bin, ZHANG Guangcan, ZHANG Shuyong, et al (1386)
Diurnal activity time budget of Père David's deer in Hubei Shishou Milu National Nature Reserve, China YANG Daode, LI Zhuyun, LI Pengfei, et al (1397)
Sublethal effects of three insecticides on the reproduction and host searching behaviors of *Sclerodermus sichuanensis* Xiao (Hymenoptera: Bethyidae) YANG Hua, YANG Wei, YANG Chunping, et al (1405)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal succession of zooplankton in Sansha Bay, Fujian XU Jiayi, XU Zhaoli (1413)
Biomass production and litter decomposition of lakeshore plants in Napahai wetland, Northwestern Yunnan Plateau, China GUO Xuhu, XIAO Derong, TIAN Kun, et al (1425)
The flora and species diversity of herbaceous seed plants in wetlands along the Xin'anjiang River from Anhui YANG Wenbin, LIU Kun, ZHOU Shoubiao (1433)
Spatial-temporal variation of root-associated aerobic bacterial communities of *phragmites australis* and the linkage of water quality factors in constructed wetland XIONG Wei, GUO Xiaoyu, ZHAO Fei (1443)
Temporal dynamics and influencing factors of leaf respiration for three temperate tree species WANG Zhaoguo, WANG Chuankuan (1456)
Environmental controls on water use efficiency of a poplar plantation under different soil water conditions ZHOU Jie, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (1465)
An analysis of calcium components of *Artemisia ordosica* plant on sandy lands in different ecological regions XUE Pingping, GAO Yubao, HE Xingdong (1475)
Effects of alpine meadow plant communities on soil nematode functional structure in Northern Tibet, China XUE Huiying, HU Feng, LUO Daqing (1482)
Soil fauna diversity of abandoned land in a copper mine tailing area ZHU Yongheng, SHEN Fei, YU Jian, et al (1495)
Effects of ciprofloxacin on microbial biomass carbon and carbon metabolism diversity of soil microbial communities MA Yi, PENG Jinju, WANG Yun, et al (1506)
Estimation of ecological water demands based on ecological water table limitations in the lower reaches of the Liaohe River Plain, China SUN Caizhi, GAO Ying, ZHU Zhengru (1513)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The ecological security patterns and construction land expansion simulation in Gaoming SU Yongxian, ZHANG Hong'ou, CHEN Xiuzhi, et al (1524)
Root features of typical herb plants for hillslope protection and their effects on soil infiltration LI Jianxing, HE Binghui, CHEN Yun (1535)

- The dynamic change of the thermal environment landscape patterns in Beijing, Shanghai and Guangzhou in the recent past decade ...
..... MENG Dan, WANG Mingyu, LI Xiaojuan, et al (1545)
- Change trends and driving factors of base flow in Kuye River Catchment
..... LEI Yongnan, ZHANG Xiaoping, ZHANG Jianjun, et al (1559)
- Photosynthetic characteristics, biomass allocation, C, N and P distribution of *Schima superba* seedlings in response to simulated
nitrogen deposition LI Mingyue, WANG Jian, WANG Zhenxing, et al (1569)
- Effect of iron slag adding on methane production, oxidation and emission in paddy fields
..... WANG Weiqi, LI Pengfei, ZENG Congsheng, et al (1578)
- Resource and Industrial Ecology**
- Antioxidative system and chlorophyll fluorescence of *Zizania latifolia* Turcz. plants are affected by *Ustilago esculenta* infection
..... YAN Ning, WANG Xiaoqing, WANG Zhidan, et al (1584)
- Analysis of cold-regulated gene expression of the Fingered Citron (*Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* Swingle)
..... CHEN Wenrong, YE Jiejun, LI Yongqiang, et al (1594)
- Hosts preference of *Echinothrips americanus* Morgan for different vegetables ... ZHU Liang, SHI Baocai, GONG Yajun, et al (1607)
- Induction effects of jasmonic acid on tannin content and defense-related enzyme activities in conventional cotton plants
..... YANG Shiyong, WANG Mengmeng, XIE Jianchun (1615)
- Effects of irrigation with paper mill effluent on growth and nutrient status of *Populus tomentosa* seedlings
..... WANG Ye, XI Benye, CUI Xiangdong, et al (1626)
- Water use efficiency of Jiangsu Province based on the data envelopment analysis approach
..... ZHAO Chen, WANG Yuan, GU Xueming, et al (1636)
- Research Notes**
- Characteristics of precipitation distribution in *Pinus tabulaeformis* plantations under different canopy coverage in Taiyue Mountain
..... ZHOU Bin, HAN Hairong, KANG Fengfeng, et al (1645)
- Driving factor analysis on the vegetation changes derived from the Landsat TM images in Beijing JIA Baoqun (1654)
- Effects of *Mikania micrantha* wilt virus infection on photosynthesis and the activities of four enzymes in *Mikania micrantha* H. B. K.
..... WANG Rui long, PAN Wanwen, YANG Jiaoyu, et al (1667)

《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研工作者,探索自然奥秘,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研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

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981年3月创刊)

第33卷 第5期 (2013年3月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 5 (March, 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

主 编 王如松
主 管 中国科学技术协会
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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
行 书 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

订 购 全国各地邮局
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
广告经营 京海工商广字第8013号
许 可 证

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

Editor-in-chief WANG Rusong
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China

ISSN 1000-0933
9 771000093132
05

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