

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第15期 Vol.33 No.15 **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 15 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 红树林生态系统遥感监测研究进展..... 孙永光,赵冬至,郭文永,等 (4523)
- 基于能值分析方法的城市代谢过程研究——理论与方法 刘耕源,杨志峰,陈 彬 (4539)
- 关于生态文明建设与评价的理论思考 赵景柱 (4552)

个体与基础生态

- 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布..... 于婷婷,徐奎栋 (4556)
- 灌河口邻近海域春季浮游植物的生态分布及其营养盐限制..... 方 涛,贺心然,冯志华,等 (4567)
- 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性..... 黄凯旋,张云,欧林坚,等 (4575)
- 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响..... 梁晓琴,刘 建,丁文娟,等 (4583)
- 有机酸类化感物质对甜瓜的化感效应..... 张志忠,孙志浩,陈文辉,等 (4591)
- 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性..... 吴家梅,纪雄辉,霍莲杰,等 (4599)
- 双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化..... 王煌平,张 青,翁伯琦,等 (4608)
- 不同类型土壤中分枝杆菌噬菌体分离率的比较..... 徐凤宇,苏胜兵,马红霞,等 (4616)
- 模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响 卞雅姣,黄 洁,孙其松,等 (4623)
- 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法 李兵兵,魏小红,徐 严 (4631)
- 4 种金色叶树木对 SO_2 胁迫的生理响应 种培芳,苏世平 (4639)
- 硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响..... 熊佰炼,张进忠,代 娟,等 (4649)

种群、群落和生态系统

- 群落水平食物网能流季节演替特征..... 徐 军,周 琼,温周瑞,等 (4658)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群数量动态特征..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (4665)
- 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征..... 朱秋莲,邢肖毅,张 宏,等 (4674)
- 青藏高原高寒草甸退化与人工恢复过程中植物群落的繁殖适应对策..... 李媛媛,董世魁,朱 磊,等 (4683)
- 杉木人工林土壤质量演变过程中土壤微生物群落结构变化..... 刘 丽,徐明恺,汪思龙,等 (4692)
- 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响 赵 曼,郭线茹,李为争,等 (4707)
- 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响..... 卢训令,丁圣彦,游 莉,等 (4715)
- 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响 刘 伟,门丽娜,刘新民 (4724)
- 铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响 柯文山,陈世俭,熊治廷,等 (4737)
- 新疆喀纳斯国家自然保护区植被叶面积指数观测与遥感估算..... 咎 梅,李登秋,居为民,等 (4744)

景观、区域和全球生态

基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究——以张掖市甘州区为例 梁友嘉,徐中民,钟方雷,等 (4758)

人工管理和自然驱动下盐城海滨湿地互花米草沼泽演变及空间差异 张华兵,刘红玉,侯明行 (4767)

基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价 尚 文,杨永兴,韩大勇 (4776)

基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价..... 南 颖,吉 喆,冯恒栋,等 (4790)

呼中林区森林景观的历史变域模拟及评价..... 吴志丰,李月辉,布仁仓,等 (4799)

降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响..... 郭 群,胡中民,李轩然,等 (4808)

研究简报

我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系.....

..... 王健健,王永吉,来利明,等 (4818)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说:石质山区的退耕还林——桂西北地区是我国喀斯特集中分布的地区之一,这里的石漠化不仅造成土地退化、土壤资源逐步消失、干旱缺水和土地生产力下降,而且还导致生态系统退化和植被消亡。桂西北严重的地质生态环境问题,威胁着当地居民的基本生存,严重制约了当地社会经济的发展。增加植被覆盖是防治石漠化的重要举措。随着国家退耕还林、生态移民等治理措施的实施,区域植被碳密度显著增加,生态环境有所好转。图为喀斯特地区农民见缝插针用来耕种的鸡窝地(指小、碎、分散的土地),已经退耕还林了。

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/stxb201204270607

梁晓琴, 刘建, 丁文娟, 常瑞英, 王仁卿. 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响. 生态学报, 2013, 33(15): 4583-4590.

Liang X Q, Liu J, Ding W J, Chang R Y, Wang R Q. Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica*. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4583-4590.

模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响

梁晓琴^{1,2}, 刘建¹, 丁文娟³, 常瑞英¹, 王仁卿^{1,2,3,*}

(1. 山东大学环境研究院, 济南 250100; 2. 山东大学山东省植被生态工程技术中心, 济南 250100;

3. 山东大学生命科学院生态学与生物多样性研究所, 济南 250100)

摘要: 选择中国北方落叶阔叶林的主要组成树种蒙古栎(*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.)的1年生幼苗为研究对象, 设置4个酸雨酸度(重度、中度、轻度和对照)和3个降雨量(自然雨量和增、减雨量30%), 以期阐明酸雨对蒙古栎幼苗形态生长、生物量和根系伤流量的影响, 探讨中国北方日趋严重的酸雨是否会影响蒙古栎幼苗的生长, 为酸雨区森林恢复植物的选择提供依据。研究结果显示: 1) 在本实验的酸雨酸度下, 酸雨降雨量的增加对蒙古栎幼苗各生理生态指标均有一定的促进作用; 2) 酸雨酸度对蒙古栎幼苗形态和生物量的影响不显著, 但酸度增加降低了幼苗的根系伤流量; 3) 增雨的重度酸雨处理促进了蒙古栎幼苗形态生长和生物量累积; 4) 两因素对蒙古栎幼苗的影响没有交互作用。说明蒙古栎对酸雨具有一定的抗性, 可考虑选择为酸雨区植被构建的物种。

关键词: 模拟酸雨; 蒙古栎幼苗; 生长指标; 生物量; 根系伤流量

Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica*

LIANG Xiaolin^{1,2}, LIU Jian¹, DING Wenjuan³, CHANG Ruiying¹, WANG Renqing^{1,2,3,*}

1 Institute of Environmental Research, Shandong University, Jinan 250100, China

2 Shandong Provincial Engineering and Technology Research Center for Vegetation Ecology, Shandong University, Jinan 250100, China

3 Institute of Ecology and Biodiversity, School of Life Science, Shandong University, Jinan 250100, China

Abstract: Acid rain pollution is one of the serious environmental problems in China. It is also one of the reasons behind the aggravated pollution situation in the northern regions of the country. Large areas suffering from the continued occurrence of strong acid rains are at risk for serious threats to the health of terrestrial ecosystems. Plants above and below the ground are seriously affected by acid rain, because they are the main receptors of acid pollution. The impacts of acid rain on plants specifically affect their growth and root systems. Therefore, studies on growth and bleeding sap amount of root of typical tree species in reaction to acid rains in northern China have important theoretical and practical values. These can help us understand the effects of acid rain on forest community and vegetation restoration. *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. is one of the main species of deciduous broad-leaved forests in northern China, and is the main associated tree species of pines in temperate coniferous forests. Thus, in the present work, we chose one-year-old *Q. mongolica* seedlings to study the effects of simulated acid rain on plant growth, biomass, and bleeding sap amount of root. From June to September 2011, *Q. mongolica* seedlings were exposed to 12 simulated acid rain treatments of 4 different acidities (severe, moderate, slight and control) that are delivered by 3 types of rainfalls (natural rainfall in summer, and increased or decreased amounts by

基金项目: 国家自然科学基金项目(30970166); 山东省科技发展计划项目(2009GG10002006, 2011GGH21605); 山东大学自主创新基金(2012TS038)

收稿日期: 2012-04-27; 修订日期: 2012-10-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wrq@sdu.edu.cn

30% , respectively). Simulated acid rains were applied to the seedlings on a weekly basis. The results demonstrate that an increase of 30% acid rain rainfall significantly raised the biomass and leaf numbers, promoted height growth, and increased bleeding sap amount of root of *Q. mongolica* seedlings. However, growth and biomass accumulation of *Q. mongolica* seedlings were slightly influenced by acid rain acidity, such that when acidity increased the bleeding sap amount of root became significantly lower. Furthermore, the root systems of the *Q. mongolica* seedlings were damaged by the high acidity of simulated acid rain. Compared with other treatments, in the treatment with an increase of 30% in severe acid rain rainfall, *Q. mongolica* seedlings exhibited significantly higher height levels, grew more leaf numbers, and accumulated more biomass. Based on our estimations, the stimulation of seedling growth and the acceleration of biomass accumulation were caused by the increased concentration of soil N, which came from the added NO_3^- in acid rain. The acid rain also served as a fertilizer, thereby promoting the growth of *Q. mongolica* seedlings. Relative to acidity, acid rain rainfall had greater impact on *Q. mongolica* seedlings, however, no interaction between two factors was found. In conclusion, *Q. mongolica* showed resistance and adaptability to acid rain. Thus, they can be considered as pioneer and constructive plant species for use in the recovery of regions suffering from acid rain.

Key Words: simulated acid rain; *Quercus mongolica* seedlings; growth indices; biomass; bleeding sap amount of root

酸雨是指 pH 值小于 5.6 的雨水,也包括雪、雾、雹等其它形式的酸性降水,科学上称作酸沉降^[1]。我国已成为继欧洲、北美之后世界上的第三大酸雨片区,酸雨区的覆盖面积占我国国土面积的 40% 左右,酸雨危害已相当严重^[2]。自 20 世纪 60 年代以来,随着酸雨污染的日益严重及其生态影响的日益扩大,酸雨问题越发达地受到各国政府和科研人员的重视^[3]。

在陆地生态系统中,植物是酸雨污染的主要受体^[3],因此,酸雨对植物影响的研究是生态学的热点。国外学者分别从植物细胞、植物个体和种群与群落组成的不同水平上分析了酸雨对植物生长的影响^[4-6],国内学者对酸雨问题及酸雨对植物影响的研究也屡有报道,但多集中在西南地区,北方地区由于酸雨污染较轻,所以对这方面的研究较少。但是,近 20 年来,我国酸雨区范围明显向北持续扩展,且酸雨酸度增强趋势明显,局部地区如北京、山西、河南和山东等部分省、直辖市的酸雨和强酸雨频率在 2008 年达到自 1993 年来的最高值^[7]。酸雨检测资料分析显示我国北方地区酸雨污染形势明显加重^[1-2,7]。因此,研究酸雨对于北方地区典型树种的影响具有重要意义。

栎类是我国北方阔叶树种中非常重要的一个属,在温带的针阔混交林、暖温带的落叶阔叶林和亚热带的常绿阔叶林中,栎属的一些种都占有非常重要的地位^[8]。其中,蒙古栎在栎林中面积最大,是温带针阔混交林区域地带性植被类型松林的重要伴生树种之一,同时是在松林被干扰后,形成次生阔叶林面积比例最大的建群树种,是我国北方阔叶林的典型树种之一^[9]。

国内外在进行模拟酸雨对植物生长影响的实验研究中,多是在单因素水平上根据 pH 值设置不同的酸雨酸度水平,结合其他因素的多因素实验,如不同臭氧水平,添加不同钙、镉离子浓度等,虽有所涉及,但相对较少^[10-12]。而结合降雨量因素,分析酸雨酸度和降雨量双因素对植物生长的影响还鲜有报道。因此,本研究通过人工模拟不同酸度和降雨量水平的酸雨,研究其对蒙古栎幼苗的影响,试图回答问题:(1)酸雨对蒙古栎幼苗的生长是否造成伤害;(2)酸雨的酸度和降雨量因素分别对蒙古栎幼苗的生长造成什么影响;(3)两因素间是否存在交互作用,以探讨我国北方日趋严重的酸雨是否会影响蒙古栎幼苗的生长,为酸雨区森林恢复植物的选择提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料及研究地点

蒙古栎(*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.),壳斗科栎属,落叶乔木,主要分布于我国东北三省、内蒙古和河北省北部,为我国落叶阔叶林的主要组成树种和我国的主要用材树种。蒙古栎喜光、耐寒、喜凉爽气候;

根系发达,耐干旱耐瘠薄、耐火烧、不耐盐碱、喜中性至酸性土壤。本实验选用从种子站购买成熟的蒙古栎种子作为实验材料。

模拟实验于 2011 年 4 月至 9 月在山东莱芜市房干村山东大学房干生态学教学科研基地(北纬 36°26', 东经 117°27') 进行。该地气候为暖温带季风型大陆气候,年平均气温约 12.4 °C,年平均降雨量为 600—830 mm,主要分布在 7、8、9 月份,四季分明,雨热同期^[13],地带性土壤为棕壤^[14-15]。

1.2 实验设计

将购买的成熟蒙古栎种子于 2011 年 4 月放入人工气候箱中进行催芽萌发,后栽种于内径 23 cm、深 30 cm 的塑料花盆中,每盆 1 株。取当地土壤(棕壤土)作为栽培土,土壤基本理化性质为:有机质含量 27.86 g/kg,总氮 1.29 g/kg,有效磷 24.07 mg/kg,有效钾 85.38 mg/kg,pH 为 6.54。实验前保证幼苗充足供水,并进行常规田间管理。

经过前期适应性生长后,选取长势基本一致、平均株高约 15 cm 的蒙古栎幼苗于人工气候大棚中开始进行控制实验。将其随机设置为 4 个酸雨酸度与 3 个酸雨降雨量处理的组合,每个处理 6 个重复,共 72 株,即 4 个酸雨处理 × 3 个降雨量处理 × 6 重复。根据山东地区酸雨检测分析资料^[16-17],按 $\text{SO}_4^{2-}:\text{NO}_3^-$ 体积分数 12:1 配置母液,用自来水(pH 6.5—7)稀释成 pH 值分别为 2.5(重度)、3.5(中度)、4.5(轻度)和 5.6(CK)的酸雨溶液。根据山东省自有气象记录以来的夏季均降雨量 410 mm^[18,19],计算并设置自然降雨量处理(R)的每盆植株实验期总喷淋量约为 17.03 L,分别增减 30% 设置为增雨处理(R+)和减雨处理(R-)。喷淋于 6 月底开始,进行 3 个月处理,每个月喷淋 4 次,每 7d 喷 1 次。

1.3 测定指标与方法

从实验处理开始,每 15d 测量 1 次生长指标,共 6 次,用钢性卷尺测量株高,并记录叶片数目。

蒙古栎幼苗根系伤流量的测定:在实验结束时,进行根系伤流液的收集并测定伤流量^[20-21]。在试管内塞入一定量的脱脂棉,用塑料薄膜封口,准确称出试管重量。每个处理组内选取 4 株蒙古栎幼苗,在临近傍晚时,将茎部距根约 2 cm 处剪断,下部茎段自小孔插入试管与脱脂棉轻轻接触,收集约 15 h,到第 2 天清晨取下试管再次准确称重。两次质量之差即为植株根系伤流量。

实验结束后,将幼苗整棵挖出清洗干净,分为地下和地上两部分,在 80 °C 下烘干至恒重。称量两部分生物量并计算生物量分配的相关参数,包括地下生物量比(BMR,地下生物量/总生物量)、地上生物量比(AMR,地上生物量/总生物量)、根冠比(R/S,地下生物量/地上生物量)。

1.4 统计分析

利用 SPSS 13.0(SPSS Inc. IL, USA)对数据进行正态检验和方差齐性检验后进行单因素与双因素的 ANOVA 分析,比较各个参数分别在不同酸雨酸度与酸雨降雨量水平下的差异,以及两因素间是否存在交互作用。存在显著差异的进行邓肯(Duncan)多重比较,并用字母进行标记。绘图由 Origin 8.0(OriginLab Co., Massachusetts, USA)完成。

2 实验结果

2.1 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生物量的影响

双因素方差分析的结果表明,酸雨降雨量对蒙古栎幼苗地上、地下和总生物量均有显著性影响(表 1),而酸雨酸度的影响不显著,两因素之间没有明显的交互作用。从图 1 中可以看出,在低酸雨酸度下,蒙古栎幼苗生物量呈现出随着降雨量增加而增加的趋势,并且在酸雨酸度最低(pH 2.5)时表现的尤为显著。当酸雨降雨量相同时蒙古栎幼苗生物量指标的表现不甚一致,但是在增雨处理(R+)内,当酸雨酸度最低(pH 2.5)时蒙古栎幼苗的生物量指标表现出显著的增加。虽然模拟酸雨对蒙古栎幼苗生物量分配方面的影响不显著,但其基本的变化趋势与生物量的变化趋势相同。

2.2 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长指标的影响

降雨量的增多直接导致了土壤含水量的增加(表 1),进而使得蒙古栎幼苗的株高和叶片数均有显著

表 1 不同酸雨酸度和降雨量处理对蒙古栎幼苗生物量及其分配、生长指标和根系伤流量影响的 *F* 值

Table 1 *F* value of two-way ANOVA of the effects of different pH value and rainfall of simulated acid rain on biomass, biomass allocation, growth and bleeding sap amount of root of *Quercus mongolica* seedlings

指标 Indices	酸雨酸度 pH value		酸雨降雨量 Rainfall		酸雨酸度×降雨量 pH value × rainfall	
	MS	<i>F</i>	MS	<i>F</i>	MS	<i>F</i>
地上生物量 Aboveground biomass	4.308	1.060	24.473	6.022 **	7.392	1.819
地下生物量 Belowground biomass	9.254	2.184	15.493	3.657 *	2.789	0.658
总生物量 Total biomass	23.068	1.680	74.042	5.392 **	17.262	1.257
地上生物量比 Aboveground mass ratio	0.006	1.335	0.016	3.350 *	0.006	1.191
地下生物量比 Below ground mass ratio	0.006	1.337	0.016	3.350 *	0.006	1.191
根冠比 Root to shoot ratio	0.246	1.410	0.429	2.460	0.214	1.224
株高 Height	67.024	1.493	293.257	6.532 **	57.672	1.285
叶片数 Leaf number	57.000	1.555	171.431	4.678 *	46.264	1.262
根系伤流量 Bleeding sap amount of root	0.079	3.485 *	0.166	7.308 **	0.030	1.309

* 表示方差分析结果为显著性差异 ($P < 0.05$) ; ** 表示方差分析结果为极显著性差异 ($P < 0.01$) ; 酸雨酸度、酸雨降雨量和酸雨酸度×降雨量指标的自由度分别为 3,2 和 6

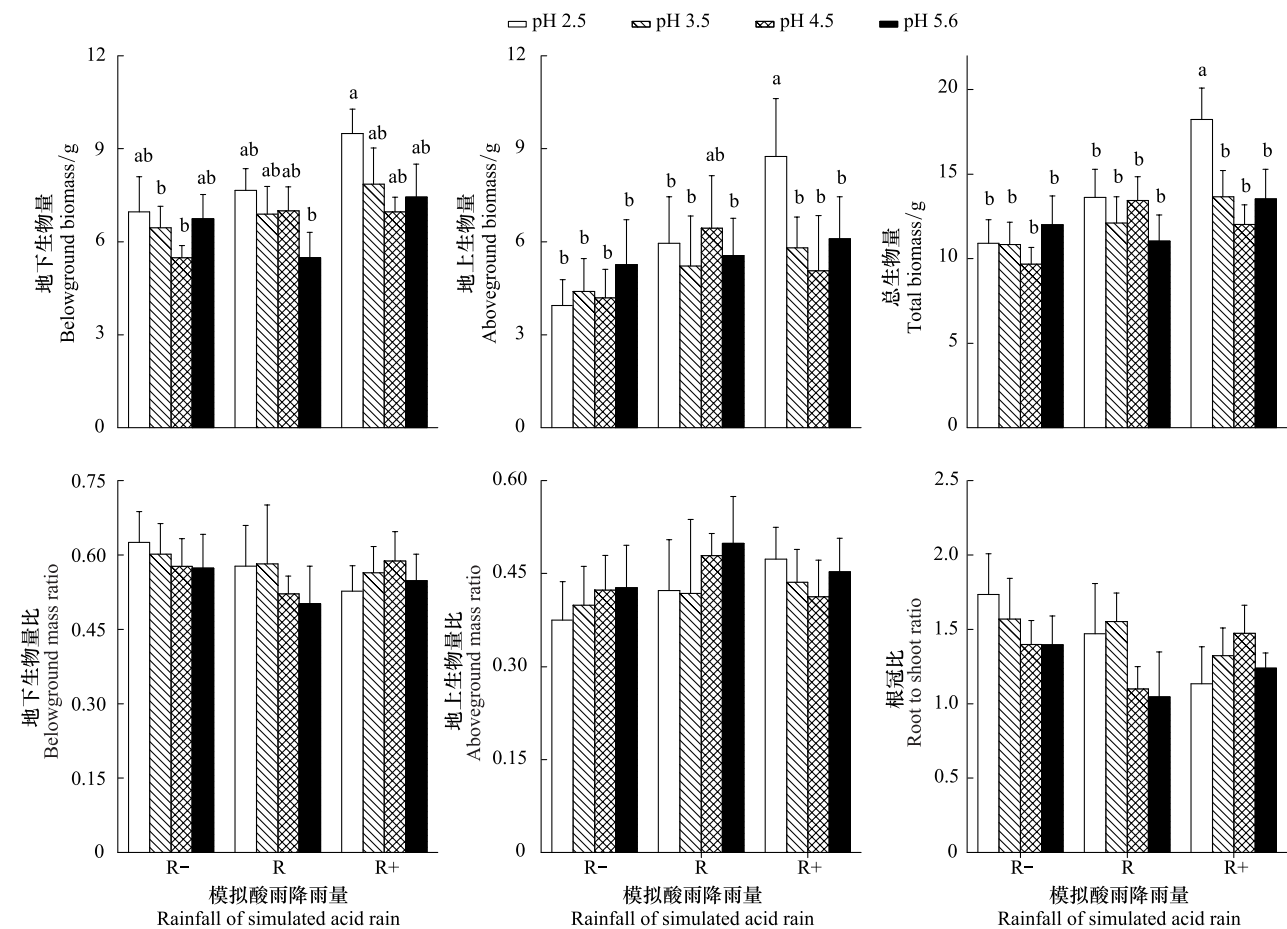


图 1 模拟不同酸雨酸度和降雨量处理下蒙古栎幼苗生物量和生物量分配的变化 (平均值±标准误)

Fig. 1 Effects of different pH value and rainfall of simulated acid rain on biomass and biomass allocation of *Quercus mongolica* seedlings (mean ± SE)

不同处理间字母不同表示存在显著差异 ($P < 0.05$)

增加。而酸雨酸度对蒙古栎幼苗生长的影响不显著,同时与降雨量没有显著的交互作用。但在减雨(R-)和自然雨量(R)处理内,蒙古栎幼苗的株高和叶片数基本表现出 $\text{pH } 2.5 > \text{pH } 3.5 < \text{pH } 4.5 < \text{pH } 5.6$ 的趋势;同样在增雨处理(R+)酸雨酸度最大($\text{pH } 2.5$)时,蒙古栎幼苗株高的生长和叶片数明显的增加。

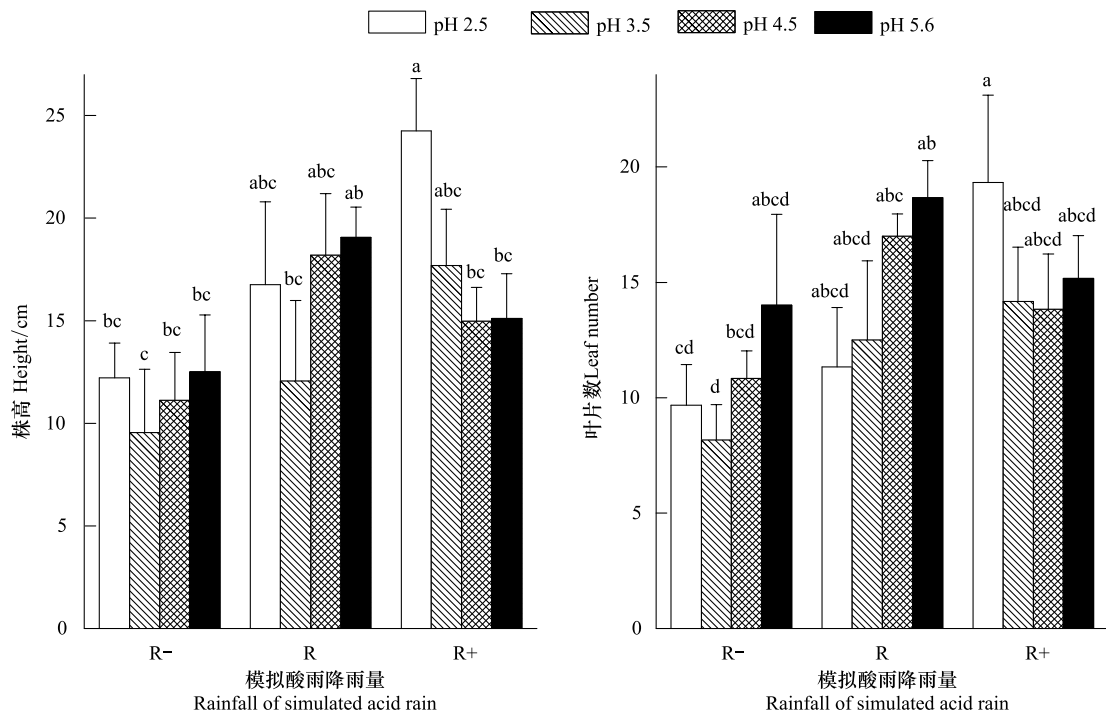


图2 模拟不同酸雨酸度和降雨量处理下蒙古栎幼苗生长指标的变化(平均值±标准误)

Fig.2 Effects of different pH value and rainfall of simulated acid rain on growth of *Quercus mongolica* seedlings (mean ± SE)

不同处理间字母不同表示存在显著差异($P < 0.05$)

2.3 模拟酸雨对蒙古栎幼苗根系伤流量的影响

根系伤流量是表征根系活力的指标之一,作为重要的根系生理活动指标,其大小直接影响植株对营养物质的吸收,进而影响地上部分的生长发育^[22-23]。由于根压作用,从植株茎部的切口处溢出液滴的现象被称为根系伤流,伤流量的大小可以反映根系生理活动的强弱^[24]。本实验结果显示,酸雨降雨量的增加极显著地增强了蒙古栎幼苗的根系伤流量。而酸雨酸度的增加使得根系伤流量显著减弱,蒙古栎幼苗根系受到伤害。酸度和降雨量间没有明显交互影响作用。

表2 不同酸度和降雨量酸雨对蒙古栎幼苗根系伤流量的影响(平均值±标准误)

Table 2 Effects of different pH value and rainfall of simulated acid rain on bleeding sap amount of root of *Quercus mongolica* seedlings (mean ± SE)

降雨量 Rainfall		重度酸雨 Severe acid rain (pH 2.5)	中度酸雨 Moderate acid rain (pH 3.5)	轻度酸雨 Slight acid rain (pH 4.5)	对照(CK) Control (pH 5.6)
根系伤流量	减雨处理(R-)	0.1412±0.0454d	0.2455±0.0551cd	0.2011±0.0294cd	0.2568±0.0377bcd
Bleeding sap amount	自然雨量处理(R)	0.2770±0.0440bcd	0.2782±0.0827bcd	0.3498±0.1164bcd	0.6082±0.1172a
of root/g	增雨处理(R+)	0.3016±0.0305bcd	0.3575±0.0945bcd	0.4988±0.0888ab	0.4246±0.0835abc

经 Duncan 多重比较,不同处理间字母不同表示差异性显著($P < 0.05$)

3 讨论

水分是限制植物生长的主要决定因子之一,降水变化可以从不同尺度影响植物生理及生态学过程,改变其水分利用策略^[25-26]。本实验选择模拟酸雨降雨量和酸度,研究不同的酸雨降雨水平对蒙古栎幼苗生长的

影响,结果显示在本实验的酸雨强度下,降雨量减少对幼苗总生物量的影响表现为减少其累积^[26-27],而植株分配给根系的生物量却有所增加,蒙古栎幼苗根冠比增大,表明幼苗将更多的生物量分配给地上部分而减少了地下部分的投入^[28];随降雨量的减少,幼苗的株高等形态指标也逐渐降低^[29]。酸雨降雨量对根系伤流量的影响表现为随着降雨量的增大,蒙古栎幼苗的根系伤流量增强。而根系作为植物吸收水分和矿质影响的重要器官,根系伤流量的高低,对植物地上部分生长具有直接的影响^[20],根系伤流量加大会促进植株地上部分的生长和生物量的累积^[30],这又进一步验证了本研究中酸雨降雨量这一因素对蒙古栎幼苗的影响结果。

过去模拟酸雨对植物影响的研究大多为模拟高强度酸雨酸度,特别是 pH 值低至 2—2.5 的情况,在此条件下,酸雨对植物叶片会造成明显伤害,抑制植物幼苗生长、降低生物量累积等。但仍有部分研究证明,酸雨处理可能促进某些阔叶树种的生长,提高幼苗的生物量,其原因可能是酸雨中硝酸根离子的添加增加了土壤的氮含量,因此对植物产生了施肥作用,从而有利于植物幼苗的生长^[31-33]。本研究根据中国北方的酸雨现状并预测若酸雨污染严峻后可能的高酸度酸雨情况,设置不同酸度水平的模拟酸雨,发现酸雨酸度增加对蒙古栎幼苗的株高生长、叶片数增加和生物量累积有一定的促进作用,这支持了酸雨处理具有施肥效应的假说^[34],特别是在酸雨酸度和降雨量同时达到最大时,大量累积的硝酸根离子使得这一处理下的蒙古栎幼苗在生长和生物量指标的各个方面都达到最大值。

酸雨对植物的影响一方面在于酸雨淋溶对地上部分的直接影响,另一方面在于酸雨在导致土壤酸化的过程中对植物的间接影响^[3]。而酸雨造成的土壤酸化对植物的直接影响主要表现在对根系的伤害。本研究结果表明,随着酸雨酸度的增加,蒙古栎幼苗的根系伤流量明显降低,说明重度酸雨对植物根系造成了伤害,虽然在对地下生物量累积方面没有显著影响,但是根冠比的增加显示蒙古栎幼苗通过增加植株对地下生物量的投入来抵抗这一伤害。

蒙古栎作为我国落叶阔叶林的主要组成树种,对环境具有广泛的适应性。目前对蒙古栎适应性的研究多集中在其对温度、CO₂ 和光能等方面的适应,而研究其对酸雨的适应情况的文章相对较少,进一步将酸雨酸度和降雨量双因素的影响结合在一起综合分析其适应情况的研究则更具有意义。酸雨对植物生长的影响表现在酸雨酸度、酸雨降雨量和酸雨频率等方面,本研究仅模拟在其他条件相同的情况下酸雨酸度和降雨量对蒙古栎幼苗的影响。结果显示,酸雨降雨量对蒙古栎幼苗的生长在多方面均表现出显著性影响,而酸雨酸度仅影响了幼苗的根系伤流量,相对于酸雨酸度,降雨量对蒙古栎生长起到了主效作用。二者的交互作用不显著,但是酸雨酸度最大降雨量也最大的条件对蒙古栎幼苗的生长具有明显的促进作用,说明蒙古栎是对酸雨具有抗性的树种,而满足其适生条件的土壤为偏酸性土壤也显示出蒙古栎是一种耐酸甚至喜酸的植物,这与金清等的研究结果阔叶树幼苗对酸胁迫具有一定的适应和缓冲能力相符合^[35]。

我国是煤炭资源比较丰富的国家,从能源消费结构来看,煤炭依然在我国能源消费中占主导地位。这就决定了在未来相当长的一个时期内,酸雨都将会作为我国一个严重的环境问题而存在^[36]。所以,在我国已成为全球第三大酸雨区,且酸雨区范围明显向北持续扩展、酸雨酸度增强趋势明显的情况下,通过研究酸雨对蒙古栎幼苗生长的影响,有利于进一步开展酸雨区酸雨对陆地生态系统的影响研究。其次,通常酸雨对植物造成的伤害首先是使植物生长变得缓慢,随之,植物为生态系统固定的碳量减少^[37],酸雨区内植物碳库含量的减少将导致这一区域碳循环的失衡,所以选择对酸雨抗性较好、缓冲能力较高、适应性较强的植物,对维持酸雨区生态系统的碳平衡具有重要意义。另外,选择既是我国北方地区的典型阔叶树种又具有酸雨抗性的植物作为酸雨区森林恢复重建的候选树种^[35],对于在区域环境胁迫下生态系统结构和功能的恢复可能具有重要的意义。本研究的结果可为我国已知及潜在的酸雨区内筛选诸如蒙古栎这样适应性较强、抗酸雨能力较高的植物作为植被构建物种提供理论参考依据。

本研究中酸雨对蒙古栎幼苗的影响是在人工气候大棚的层次上进行的短期实验,而自然条件下酸雨对植物的影响是十分复杂的,而且具有长期的累积效应,其影响因素众多,需要进行相关因素的复合影响实验。同时,测定不同处理下根系、叶片氮含量随时间的变化,叶片光合作用相关指标等将有助于深入理解酸雨对北方

植物的影响及其可能的氮施肥效应。

References:

- [1] Zhao Y X, Hou Q. Characteristics of the acid rain variation in China during 1993—2006 and associated causes. *Acta Meteor Sinica*, 2010, 24 (2): 239-250.
- [2] Wu D, Wang S G, Shang K Z. Progress in research of acid rain in China. *Arid Meteorology*, 2006, 24(2): 70-77.
- [3] Qi Z M, Wang X D, Song G Y. The research progress of the effect of acid rain on plant. *World Sci-tech Research & Development*, 2004, 26(2): 36-41.
- [4] Ferenbaugh R W. Effects of simulated acid rain on *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae). *American Journal of Botany*, 1976, 63(3): 283-288.
- [5] Lee J J, Weber D E. The effect of simulated acid rain on seedling emergence and growth of eleven woody species. *Forest Science*, 1979, 25(3): 393-398.
- [6] Ulrich B, Mayer R, Khanna P K. Chemical changes due to acid precipitation in a loess-derived soil in central Europe. *Soil Science*, 1980, 130 (4): 193-199.
- [7] Zhang X M, Chai F H, Wang S L, Sun X Z, Han M. Research progress of acid precipitation in China. *Research of Environmental Sciences*, 2010, 23(5): 527-532.
- [8] Feng Q H, Shi Z M, Dong L L, Liu S R. The response of functional traits of *Quercus* species to meteorological factors in temperate zone of NSTEC. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(21): 5781-5789.
- [9] Yu S L, Ma K P, Xu C B, Jin S F, Song X B, Chen L Z. The species diversity characteristics comparison of *Quercus mongolica* community along environmental gradient factors. *Acta Ecologica sinica*, 2004, 24(12): 2932-2939.
- [10] Chappelka III A H, Chevone B I. White ash seedling growth response to ozone and simulated acid rain. *Canadian Journal of Forest Research*, 1986, 16(4): 786-790.
- [11] Liu T W, Wu F H, Wang W H, Chen J, Li Z J, Dong X J, Patton J, Pei Z M, Zheng H L. Effects of calcium on seed germination, seedling growth and photosynthesis of six forest tree species under simulated acid rain. *Tree Physiology*, 2011, 31(4): 402-413.
- [12] Liao B H, Liu H Y, Lu S Q, Wang K F, Probst A, Probst J L. Combined toxic effects of cadmium and acid rain on *Vicia faba* L. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2003, 71(5): 998-1004.
- [13] Zhang X Q, Liu J, Welham C V J, Liu C C, Li D N, Chen L, Wang R Q. The effects of clonal integration on morphological plasticity and placement of daughter ramets in black locust (*Robinia pseudoacacia*). *Flora*, 2006, 201(7): 547-554.
- [14] Wang R Q, Zhou G Y. *Shandong Vegetation*. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 2000: 259-266.
- [15] Fang Y, Meng Z N, Zhu X Z. *Shandong forest plant resources and application*. Beijing: China International Radio Press, 2006: 41-42.
- [16] Liu H B, Wang X T. The city's atmospheric precipitation pH observation of Shandong and initial analysis. *Environmental Monitoring in China*, 2006, 22(6): 92-95.
- [17] Zhen W D. Study on conditions and genesis of acid precipitation in cities in Shandong Province [D]. Jinan: Shandong University, 2005.
- [18] Chi Z P. Spatial and temporal distributions and climatic change of summer precipitation in Shandong Province. *Plateau Meteorology*, 2009, 28 (1): 220-226.
- [19] Xu Z X, Meng C L, Zhao F F. Long-term trend analysis for temperature and precipitation in Shandong Province. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2007, 27(4): 387-393.
- [20] Llugany M, Lombini A, Poschenrieder C, Dinelli E, Barceló J. Different mechanisms account for enhanced copper resistance in *Silene armeria* ecotypes from mine spoil and serpentine sites. *Plant and Soil*, 2003, 251(1): 55-63.
- [21] Yin Y D, Qiu L Q, Wei M, Yang F J, Wang X F. Effects of CO₂ enrichment in greenhouse on root growth as well as root exudates and bleaching sap of cucumber seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1860-1867.
- [22] Shen B, Wang X. Physiological activities of root system in two inter-subspecific hybrid rice combinations. *Chinese Journal of Rice Science*, 2002, 16(2): 146-150.
- [23] Cao S Q, Deng Z R, Zhai H Q, Tang Y L, Han G B, Zhang R X, Sheng S L, Gong H B, Yang T N. Analysis on heterosis and combining ability for bleeding sap amount of root and its declined properties in indica hybrid rice. *Chinese Journal of Rice Science*, 2002, 16(1): 19-23.
- [24] Shi X D, Liu Y F, Wen Z Q, Wang W W. Research progress in plant root bleeding. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2006, 34(10): 2043-2045.
- [25] Lindner M, Maroschek M, Netherer S, Kremer A, Barbat Anna, Garcia-Gonzalo J, Seidl R, Delzon S, Corona P, Kolstrom M, Lexer M J, Marchetti M. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 2010, 259(4): 698-709.
- [26] Wu J L, Wang M, Lin F, Hao Z Q, Ji L Z, Liu Y Q. Effects of precipitation and interspecific competition on *Quercus mongolica* and *Pinus koraiensis* seedlings growth. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(2): 235-240.
- [27] Wang M, Li Q R, Hao Z Q, Dong B L. Effects of soil water regimes on the growth of *Quercus mongolica* seedlings in Changbai Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(10): 1765-1770.

- [28] Wang X P, Fang J Y, Zhu B. Forest biomass and root-shoot allocation in northeast China. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(12): 4007-4020.
- [29] Xu F, Guo W H, Xu W H, Wang R Q. Effects of water stress on morphology, biomass allocation and photosynthesis in *Robinia pseudoacacia* seedlings. *Journal of Beijing Forestry University*, 2010, 32(1): 24-30.
- [30] Song X, Zeng D H, Lin H M, Yamaguchi T, Nishizaki Y, Yamada P. Effects of peat and weathered coal on activity of rice root system and its nutritional absorption. *Chinese Journal of applied ecology*, 2001, 12(6): 867-870.
- [31] 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(3): 321-329.
- [32] Dixon M J, Kuja A L. Effects of simulated acid rain on the growth, nutrition, foliar pigments and photosynthetic rates of sugar maple and white spruce seedlings. *Water, Air and Soil Pollution*, 1995, 83(3/4): 219-236.
- [33] Shan Y F. Acid rain, air pollution and vegetation. Beijing: China Environmental Science Press, 1993: 153-155.
- [34] 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 echinate* Mill.). *Tree Physiology*, 1993, 12(2): 163-172.
- [35] Jin Q, Jiang H, Yu S Q, Jin J, Wang Y H. Research on the growth and photosynthesis of typical seedlings in subtropical regions under acid rain stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 3322-3327.
- [36] Liu L Q, Liu C X, Sun Z Y. A survey of China's low-carbon application practice-Opportunity goes with challenge. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15(6): 2895-2903.
- [37] Fan H B, Huang Y Z, Yuan Y H, Li Y Y, Huang R Z, Fan H Y. Carbon cycling of forest ecosystems in response to global nitrogen deposition: a review. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 2997-3009.

参考文献:

- [2] 吴丹, 王式功, 尚可政. 中国酸雨研究综述. *干旱气象*, 2006, 24(2): 70-77.
- [3] 齐泽民, 王玄德, 宋光煜. 酸雨对植物影响的研究进展. *世界科技研究与发展*, 2004, 26(2): 36-41.
- [7] 张新民, 柴发合, 王淑兰, 孙新章, 韩梅. 中国酸雨研究现状. *环境科学研究*, 2010, 23(5): 527-532.
- [8] 冯秋红, 史作民, 董莉莉, 刘世荣. 南北样带温带区栎属树种功能性状对气象因子的响应. *生态学报*, 2010, 30(21): 5781-5789.
- [9] 于顺利, 马克平, 徐存宝, 金淑芳, 宋晓兵, 陈灵芝. 环境水平下蒙古栎群落的物种多样性特征. *生态学报*, 2004, 24(12): 2932-2939.
- [14] 王仁卿, 周光裕. 山东植被. 济南: 山东科学技术出版社, 2000: 259-266.
- [15] 房用, 孟振农, 朱宪珍. 山东森林植物资源及应用. 北京: 中国国际广播出版社, 2006: 41-42.
- [16] 刘焕彬, 王新堂. 山东省城市大气降水 pH 值观测结果及其初步分析. *中国环境监测*, 2006, 22(6): 92-95.
- [17] 甄文栋. 山东省城市酸沉降状况及成因研究. 济南: 山东大学, 2005.
- [18] 迟竹萍. 近 45 年山东夏季降水时空分布及变化趋势分析. *高原气象*, 2009, 28(1): 220-226.
- [19] 徐宗学, 孟翠玲, 赵芳芳. 山东省近 40 a 来的气温和降水变化趋势分析. *气象科学*, 2007, 27(4): 387-393.
- [21] 尹燕东, 裴立群, 魏珉, 杨凤娟, 王秀峰. 温室 CO₂ 施肥对黄瓜幼苗根系生长及分泌物和伤流液组成的影响. *生态学报*, 2010, 30(7): 1860-1867.
- [22] 沈波, 王熹. 两个亚种间杂交稻组合的根系生理活性. *中国水稻科学*, 2002, 16(2): 146-150.
- [23] 曹树青, 邓志瑞, 翟虎渠, 唐运来, 韩国标, 张荣铨, 盛生兰, 龚红兵, 杨图南. 籼型杂交水稻根系伤流量及其衰退特性的配合力及杂种优势分析. *中国水稻科学*, 2002, 16(1): 19-23.
- [24] 时向东, 刘艳芳, 文志强, 王卫武. 植物根系伤流研究进展. *安徽农业科学*, 2006, 34(10): 2043-2045.
- [26] 武静莲, 王森, 蔺菲, 郝占庆, 姬兰柱, 刘亚琴. 降水变化和种间竞争对红松和蒙古栎幼苗生长的影响. *应用生态学报*, 2009, 20(2): 235-240.
- [27] 王森, 李秋荣, 郝占庆, 董百丽. 土壤水分变化对长白山主要树种蒙古栎幼树生长的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1765-1770.
- [29] 徐飞, 郭卫华, 徐伟红, 王仁卿. 刺槐幼苗形态、生物量分配和光合特性对水分胁迫的响应. *北京林业大学学报*, 2010, 32(1): 24-30.
- [30] 宋轩, 曾德慧, 林鹤鸣, 山口·达明, 西崎·泰, 山田·帕丽达. 草炭和风化煤对水稻根系伤流量和养分吸收的影响. *应用生态学报*, 2001, 12(6): 867-870.
- [33] 单运峰. 酸雨、大气污染与植物. 北京: 中国环境科学出版社, 1993: 153-155.
- [35] 金清, 江洪, 余树全, 金静, 王艳红. 酸雨胁迫对亚热带典型树种幼苗生长与光合作用的影响. *生态学报*, 2009, 29(6): 3322-3327.
- [37] 樊后保, 黄玉梓, 袁颖红, 李燕燕, 黄荣珍, 樊海燕. 森林生态系统碳循环对全球氮沉降的响应. *生态学报*, 2007, 27(7): 2997-3009.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 15 Aug. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review on the application of remote sensing in mangrove ecosystem monitoring SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, GUO Wenyong, et al (4523)
- Urban metabolism process based on emergy synthesis: Theory and method LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (4539)
- Theoretical considerations on ecological civilization development and assessment ZHAO Jingzhu (4552)

Autecology & Fundamentals

- Assemblage composition and distribution of meiobenthos in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in autumn-winter season Yu Tingting, XU Kuidong (4556)
- Ecological distribution and nutrient limitation of phytoplankton in adjacent sea of Guanhe Estuary in spring FANG Tao, HE Xinran, FENG Zhihua, et al (4567)
- The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring HUANG Kaixuan, ZHANG Yun, OU Linjian, et al (4575)
- Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica* LIANG Xiaoqin, LIU Jian, DING Wenjuan, et al (4583)
- Allelopathic effects of organic acid allelochemicals on melon ZHANG Zhizhong, SUN Zhihao, CHEN Wenhui, et al (4591)
- Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH₄ emission fluxes WU Jiamei, JI Xionghui, HUO Lianjie, et al (4599)
- Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide WANG Huangping, ZHANG Qing, WENG Boqi, et al (4608)
- Comparison of isolation rate of mycobacteriophage in the different type soils XU Fengyu, SU Shengbing, MA Hongxia, et al (4616)
- Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars BIAN Yajiao, HUANG Jie, SUN Qisong, et al (4623)
- The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking LI Bingbing, WEI Xiaohong, XU Yan (4631)
- Physiological responses of four golden-leaf trees to SO₂ stress CHONG Peifang, SU Shiping (4639)
- Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil XIONG Bailian, ZHANG Jinzhong, DAI Juan, et al (4649)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal dynamics of food web energy pathways at the community-level XU Jun, ZHOU Qiong, WEN Zhourui, et al (4658)
- Population dynamics of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (4665)
- Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region ZHU Qiulian, XING Xiaoyi, ZHANG Hong, et al (4674)
- Adaptation strategies of reproduction of plant community in response to grassland degradation and artificial restoration LI Yuanyuan, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (4683)
- Effect of different *Cunninghamia lanceolata* plantation soil qualities on soil microbial community structure LIU Li, XU Mingkai, WANG Silong, et al (4692)
- Effects of different maize hybrids (inbreds) on the growth, development and population dynamics of *Rhopalosiphum maidis* Fitch ZHAO Man, GUO Xianru, LI Weizheng, et al (4707)
- Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve LU Xunling, DING Shengyan, YOU Li, et al (4715)

- Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China LIU Wei, MEN Lina, LIU Xinmin (4724)
- Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations KE Wenshan, CHEN Shijian, XIONG Zhiting, et al (4737)
- Measurement and retrieval of leaf area index using remote sensing data in Kanas National Nature Reserve, Xinjiang ZAN Mei, LI Dengqiu, JU Weimin, et al (4744)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City LIANG Youjia, XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, et al (4758)
- Spatiotemporal characteristics of *Spartina alterniflora* marsh change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities ZHANG Huabing, LIU Hongyu, Hou Minghang (4767)
- Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau SHANG Wen, YANG Yongxing, HAN Dayong (4776)
- On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS NAN Ying, JI Zhe, FENG Hengdong, et al (4790)
- Evaluation and simulation of historical range of variability of forest landscape pattern in Huzhong area WU Zhifeng, LI Yuehui, BU Rencang, et al (4799)
- Effects of precipitation timing on aboveground net primary productivity in inner mongolia temperate steppe GUO Qun, HU Zhongmin, LI Xuanran, et al (4808)
- Research Notes**
- Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China WANG Jianjian, WANG Yongji, LAI Liming, et al (4818)

《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 赵景柱

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 15 期 (2013 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 15 (August, 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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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