

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 1 期
Vol.31 No.1
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 1 期 2011 年 1 月 (半月刊)

目 次

青藏高原东缘林线杜鹃-岷江冷杉原始林的空间格局	缪 宁,刘世荣,史作民,等 (1)
季风常绿阔叶林不同恢复阶段藤本植物的物种多样性比较	李帅锋,苏建荣,刘万德,等 (10)
越冬和复苏时期太湖水体蓝藻群落结构的时空变化	顾婷婷,孔繁翔,谭 啸,等 (21)
海南新村湾海草床主要鱼类及大型无脊椎动物的食源	樊敏玲,黄小平,张大文,等 (31)
广西涠洲岛造礁珊瑚种群结构的空间分布	梁 文,张春华,叶祖超,等 (39)
宽窄行栽植模式下三倍体毛白杨根系分布特征及其与根系吸水的关系	席本野,王 烨,贾黎明,等 (47)
干旱河谷-山地森林交错带土壤水分与养分特征	刘 彬,罗承德,张 健,等 (58)
信号分子水杨酸减缓干旱胁迫对紫御谷光合和膜脂过氧化的副效应	易小林,杨丙贤,宗学风,等 (67)
UV-B 辐射对南方红豆杉生活史型和紫杉烷类含量的影响	于景华,李德文,庞海河,等 (75)
模拟氮沉降对石栎和苦槠幼苗土壤呼吸的影响	李 凯,江 洪,由美娜,等 (82)
环渤海湾地区连作苹果园土壤中酚酸类物质变化	孙海兵,毛志泉,朱树华 (90)
不同施肥方法对马来沉香和土沉香苗期根系生长的影响	王 冉,李吉跃,张方秋,等 (98)
秋华柳和枫杨幼苗对镉的积累和耐受性	贾中民,魏 虹,孙晓灿,等 (107)
祁连山北坡退化林地植被群落的自然恢复过程及土壤特征变化	赵成章,石福习,董小刚,等 (115)
中国北方农牧交错带 C3 草本植物 $\delta^{13}\text{C}$ 与温度的关系及其对水分利用效率的指示	刘贤赵,王国安,李嘉竹,等 (123)
不同退耕模式细根(草根)分解过程中 C 动态及土壤活性有机碳的变化	荣 丽,李守剑,李贤伟,等 (137)
黑龙江省完达山东部林区东北虎猎物生物量	周绍春,张明海,孙海义 (145)
生态保护项目对大熊猫栖息地的影响	张玉波,王梦君,李俊清 (154)
石灰和 EM 处理条件下土壤动物群落在落叶分解中的变化	高梅香,张雪萍 (164)
基于 EPG 的麦长管蚜、麦二叉蚜和禾谷缢管蚜取食行为比较	苗 进,武予清,郁振兴,等 (175)
对映-贝壳杉烷型二萜类化合物对土壤纤毛虫群落的毒性效应	宁应之,杜海峰,王红军 (183)
红脂大小蠹种群空间格局地统计学分析及抽样技术	潘 杰,王 涛,宗世祥,等 (195)
山西不同生态型大豆种质资源蛋白亚基的变异	王燕平,李贵全,郭数进,等 (203)
施肥和覆膜垄沟种植对旱地小麦产量及水氮利用的影响	李廷亮,谢英荷,任苗苗,等 (212)
近 40a 甘肃省气候生产潜力时空变化特征	罗永忠,成自勇,郭小芹 (221)
基于 GIS 的农村住区生态重要性空间评价及其分区管制——以兴国县长冈乡为例	谢花林,李秀彬 (230)
农户收入差异对生活用能及生态环境的影响——以江汉平原为例	杨 振 (239)
河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因	王 千,金晓斌,周寅康,等 (247)
土地利用对石漠化地区土壤团聚体有机碳分布及保护的影响	罗友进,魏朝富,李 渝,等 (257)
专论与综述	
景观格局-土壤侵蚀研究中景观指数的意义解释及局限性	刘 宇,吕一河,傅伯杰 (267)
美国煤矿废弃地的生态修复	张成梁,B. Larry Li (276)
农田土壤食物网管理的原理与方法	陈云峰,胡 诚,李双来,等 (286)
学术信息与动态	
旱地、荒漠和荒漠化:探寻恢复之路——第三届国际荒漠化会议述评	吕一河,傅伯杰 (293)

模拟氮沉降对石栎和苦槠幼苗土壤呼吸的影响

李 凯¹, 江 洪^{1, 2, 3, *}, 由美娜², 曾 波¹

(1. 教育部三峡库区生态环境重点实验室, 西南大学生命科学学院, 重庆 400715;

2. 浙江农林大学浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 杭州 311300; 3. 南京大学国际地球系统科学研究所, 南京 210093)

摘要:用 LI-8100 开路式土壤碳通量测量系统测定模拟氮沉降 4 种不同处理水平 (0、60、120、240 kg·hm⁻²·a⁻¹) 下石栎 (*Lithocarpus glabra*) 和苦槠 (*Castanopsis sclerophylla*) 幼苗的土壤呼吸速率及土壤温度、含水量对其土壤呼吸的影响。结果表明, 氮沉降对土壤呼吸的影响根据施氮水平和幼苗的种类不同而异。低氮 (60 kg·hm⁻²·a⁻¹) 处理下石栎和苦槠的土壤呼吸速率平均值分别为 (4.014 ± 0.812) μmol·m⁻²·s⁻¹ 和 (5.170 ± 0.689) μmol·m⁻²·s⁻¹, 比对照组 (0 kg·hm⁻²·a⁻¹) 土壤呼吸速率平均值 (3.802 ± 0.948) μmol·m⁻²·s⁻¹ 和 (3.557 ± 0.906) μmol·m⁻²·s⁻¹ 分别高 5% 和 45%; 两树种在中、高氮处理下均出现对土壤呼吸明显的抑制。其中石栎中、高氮实验组的土壤呼吸速率分别为 (2.653 ± 0.681) μmol·m⁻²·s⁻¹、(2.592 ± 0.736) μmol·m⁻²·s⁻¹, 比对照组低 27% 和 29%。苦槠中、高氮实验组的土壤呼吸速率为 (3.563 ± 0.402) μmol·m⁻²·s⁻¹、(3.466 ± 0.994) μmol·m⁻²·s⁻¹, 比对照组低 7% 和 8%; 石栎在高氮 (240 kg·hm⁻²·a⁻¹) 处理水平下, 其土壤呼吸速率同 10cm 土壤温度之间呈现显著的指数关系 ($R^2 = 0.811, P = 0.001$), 而在低、中氮实验均未发现有明显指数关系。苦槠各处理水平下其土壤呼吸与土壤温度之间均未发现有明显的指数关系; 在土壤呼吸与 5cm 土壤含水量的相关性方面, 仅有苦槠高氮实验组表现出明显的二次方程关系 ($R^2 = 0.722$), 而其低、中氮实验组及石栎各实验组均未有明显的相关性; 与单因素 (温度、含水量) 拟合它们与土壤呼吸速率的方程相比, 多元回归分析得到的土壤呼吸速率同土壤温度和含水量之间的拟合方程在 $P = 0.05$ 水平上能更好地解释土壤呼吸的变化情况。石栎和苦槠在氮沉降处理下的土壤呼吸温度系数 Q_{10} 值分别为 2.29、1.95、1.59 和 1.46、1.41、1.76, 同对照组 2.64 和 1.78 相比, 均有明显降低, 且两者 Q_{10} 值的变化分别呈递减和先减小后增大的趋势, 表明氮沉降是影响石栎和苦槠土壤 CO₂ 通量的一个重要因素。

关键词:模拟氮沉降; 土壤呼吸; 石栎; 苦槠; Q_{10} 值

Effect of simulated nitrogen deposition on the soil respiration of *Lithocarpus glabra* and *Castanopsis sclerophylla*

LI Kai¹, JIANG Hong^{1, 2, 3, *}, YOU Meina², ZENG Bo¹

1 Key Laboratory of Eco-environments of Three Gorges Reservoir Region; Ministry of Education; School of Life Sciences; Southwest University, Chongqing 400715, China

2 Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Hangzhou 311300, China

3 International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China

Abstract: To investigate the response of soil respiration of *Lithocarpus glabra* and *Castanopsis sclerophylla* seedlings for increased nitrogen deposition, a field experiment with 4 simulated nitrogen deposition levels, 0 kg·hm⁻²·a⁻¹, 60 kg·hm⁻²·a⁻¹, 120 kg·hm⁻²·a⁻¹ and 240 kg·hm⁻²·a⁻¹, were conducted. The measurement of soil respiration was made by a LI-8100 soil CO₂ efflux system. The soil temperature at 10 cm depth and soil moisture at 5 cm depth also were recorded at the same time. Results show that: (1) The soil respiration rate of *Lithocarpus glabra* and *Castanopsis sclerophylla* seedlings were fluctuated significantly under different nitrogen deposition levels. To *Lithocarpus glabra* seedling, the mean

基金项目:国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2005CB422207, 2005CB422208, 2010CB428503); 国家自然科学基金项目 (4067113); 科技部重大国际合作项目 (2008DFA31810); 科技部重大基础性项目 (2007FY110300-8); 浙江省重大科技专项 (2008C13042)

收稿日期:2010-04-06; **修订日期:**2010-09-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jianghong_china@hotmail.com

rate of soil respiration was $(4.014 \pm 0.812) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ under $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ level and increased 5% comparing with control level ($0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$). The mean rate of soil respiration were $(2.653 \pm 0.681) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and $(2.592 \pm 0.736) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ under $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ and $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ level, and reduced 27% and 29% respectively comparing with control level ($0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$). The mean rate of soil respiration of *Castanopsis sclerophylla* seedling, was $(5.170 \pm 0.689) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ under $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ level and increased 45% comparing with control level ($0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$). The mean rate of soil respiration were $(3.563 \pm 0.402) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and $(3.466 \pm 0.994) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ under $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ and $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ level, as well as reduced 7% and 8% respectively. (2) The relationship between soil respiration and soil temperature at 10 cm of *Lithocarpus glabra* seedling was significant ($R^2 = 0.811, P = 0.001$) under $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ level, which could be described by exponential equation. While, under the 4 simulated nitrogen deposition levels, the relationships between soil respiration and soil temperature at 10 cm of *Castanopsis sclerophylla* were not significant. However, both of *Lithocarpus glabra* and *Castanopsis sclerophylla*, the relationship between soil respiration and soil moistures at 5 cm depth also were not significant. The relationships between soil respiration and soil temperature at 10 cm and soil moisture at 5 cm depth were analyzed by multiple regression equation. The regression equations had more predicative capability than those using only temperature or moisture as a single independent variable at the $P = 0.05$ level. The regression equations of *Lithocarpus glabra* and *Castanopsis sclerophylla* soil respiration can interpret the results 89.9%—85.4% and 87.9%—78.7% respectively. the R^2 values of *Lithocarpus glabra* seedling soil respiration tended to decrease with nitrogen deposition, but the R^2 values of *Castanopsis sclerophylla* soil respiration tended to increase with nitrogen deposition in $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ and $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, and decrease with $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. (3) The Q_{10} values at four different nitrogen treatment levels of *Lithocarpus glabra* and *Castanopsis sclerophylla* seedlings were 2.29、1.95、1.59 and 1.46、1.41、1.76 respectively. Compared with which at control level, the Q_{10} values of *Lithocarpus glabra* seedling soil respiration tended to decrease with nitrogen deposition, but the Q_{10} values of *Castanopsis sclerophylla* seedling soil respiration tended to decrease with nitrogen deposition in $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ and $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, and increased with $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. But *Lithocarpus glabra* and *Castanopsis sclerophylla* soil respiration, the Q_{10} are all lower than the control level ($0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$). Both of them, the Q_{10} values at control level are 2.64 and 1.78 respectively. The results indicated that nitrogen deposition is an important factor in affecting soil CO_2 efflux of *Lithocarpus glabra* and *Castanopsis sclerophylla* seedlings.

Key Words: simulated nitrogen deposition; soil respiration; *Lithocarpus glabra*; *Castanopsis sclerophylla*; Q_{10} value

氮元素是森林生态系统的养分限制因子^[1]。但自工业革命以来,由于人类活动向大气中排放的含氮物质浓度不断上升,使大气氮沉降不断增加,过剩的氮输入已经对森林生态系统产生了不同程度的影响,因而引起了科学家和公众的极大关注^[2-3]。据估计,全球每年沉降到各类陆地生态系统的活性氮为 43.7 TgN/a ,沉降到海洋表面的活性氮有 27 TgN/a ^[4]。我国是世界三大氮沉降集中区域之一(其余两个是欧洲和美国),从 1961—2000 年,我国活性氮的排放从 $1.4 \times 10^{10} \text{ kg/a}$ 升至 $6.8 \times 10^{10} \text{ kg/a}$,预计在 2030 年将上升至 $1.05 \times 10^{11} \text{ kg/a}$ ^[5],随着我国社会经济的高速发展,氮沉降量可能还会继续升高,氮沉降增加所引起的我国生态环境的改变以及对社会经济的影响,越来越受到人们的关注。

土壤呼吸作为生态系统碳循环的一个主要组成部分,其碳释放是陆地生态系统与大气两个碳库之间进行交换循环的重要途径。它包括土壤有机质分解和土壤生物与植物根系的呼吸过程^[6-7]。大气氮沉降增加了森林生态系统氮输入量,过量的氮可通过几种方式直接或间接的影响植物的土壤呼吸。提高植物的暗呼吸,促进单位根呼吸速率和增加根生物量^[8-11];也可减少向地下部分的碳分配,对根和根际微生物呼吸都有不利的影响^[12-15];对凋落物和土壤有机质分解的影响变化也很大,可能促进^[16],也可能抑制^[17]或者没有影响^[18]。氮沉降对土壤呼吸的影响会随着地点、土壤类型和植被盖度的不同而不同。作为一个复杂的生物学过程,土

壤呼吸受植被、微生物等生物因子的影响,同时土壤温度、土壤水分含量、土壤有机质含量、土壤 pH 以及土壤中 C/N 比等因子也会对其产生很大的作用^[19]。目前,人们对于土壤呼吸对氮沉降的响应和调控机制理解得还远远不够。这也是开展本实验的原因之一。

莫江明等^[20-21]在广州鼎湖山地区系统的研究了南亚热带森林生态系统对氮沉降的响应。但是在长江流域,尤其是长江三角洲地区,类似研究还少有报道^[22]。石栎 (*Lithocarpus glabra*) 和苦槠 (*Castanopsis sclerophylla*) 是该地区常见的壳斗科经济树种,种植广泛,具有较好的经济价值和生态价值。石栎是亚热带森林群落的主要建群种之一,具有较高的遗传多样性,在不同演替系列群落中均有分布^[23]。以苦槠为优势种的常绿阔叶林是我国东南部中亚热带常绿落叶林破坏后,次生演替过程中最先出现的常绿阔叶林类型之一^[24]。为此,通过模拟氮沉降对两树种土壤呼吸影响的研究及其反馈的探讨,不但可以为同类森林生态系统的可持续发展和健康管理提供科学基础,而且还可以为氮沉降的深入研究提供有价值的信息。

1 实验方法

1.1 实验地概况

实验地设在浙江省临安市浙江林学院东湖校区(119°42'E, 30°14'N),属中纬度北亚热带季风气候,温暖湿润,四季分明,年平均降雨量 1400mm,年平均气温为 15.8℃^[25]。

1.2 实验设计

参照欧洲 NITREX 项目和北美 Harvard Forest^[26-27]等,及莫江明等^[21]在南亚热带森林的同类研究的设计,并结合杭州本地氮沉降情况,于 2008 年 10 月在浙江林学院实验地模拟氮沉降对石栎和苦槠这两种亚热带植物生理生态的影响。实验分 4 个处理组,分别为对照(CK:0 kg·hm⁻²·a⁻¹)、低氮(LN:60 kg·hm⁻²·a⁻¹)、中氮(MN:120 kg·hm⁻²·a⁻¹)、高氮(HN:240 kg·hm⁻²·a⁻¹)(不包括大气氮沉降量)。共 4 个处理样地,每个样地面积为 27.78m²,均匀种植 10 株幼苗,幼苗高度在 1.7—1.9m 之间,且每个处理的样地间有 0.5m 的间隔。自 2008 年 10 月开始,每周周初对样地开始进行喷施氮(NH₄NO₃),全年平均喷施。方法是根据氮处理水平,将每个处理每次所需要喷施的 NH₄NO₃溶解在 5L 水中(全年所增加的水量相当于新增降水 1.2mm)后,以背式喷雾器在样地人工来回均匀喷洒,喷洒高度 1.5m 左右。对照样方则喷洒等量的清水。除施氮处理外,各样地的其他处理均保持一致。

1.3 数据的测量

于实验开始的 9 个月后,即 2009 年 7 月开始测量,每周测量 1 次,连续测量 2 个月。主要利用 LI-8100 开路式土壤碳通量测量系统对模拟实验的石栎和苦槠进行土壤呼吸速率测量。在测定前将直径 10cm 的 PVC 环插入土壤 2cm 左右,将环内的杂草等去除,砸实 PVC 环防止漏气,并保持 PVC 环在整个实验期间位置不变。在插入 PVC 环 24h 后进行测定,因为经过 24h 后土壤呼吸速率会逐步恢复到 PVC 环插入前的水平,减少放置 PVC 环对土壤扰动而对呼吸速率造成的影响。测定时将 LI-8100 的短期测量室置于 PVC 环之上并用其携带的温湿度探针同步测定地表下 10cm 处土壤温度及 5cm 处含水量。两种植物各梯度样地选取 3 个 PVC 环进行测量($n=3$),每次测定均是在人工喷施氮的两天后进行。

1.4 数据的分析

本文用 SPSS16.0 对数据进行处理分析, Sigmaplot10.0 辅助作图。利用 One-Way ANOVA 方差分析和 LSD 多重比较法检验石栎和苦槠不同模拟氮沉降处理及种间土壤呼吸速率的差异显著性,以及回归分析方法建立土壤温度、湿度与土壤呼吸之间的统计关系。

土壤呼吸速率与土壤温度之间关系采用指数模型: $y = ae^{bt}$ 。式中, y 为土壤呼吸; a 为温度为 0℃ 时的土壤呼吸^[28]; b 为温度反应系数; t 为温度。 Q_{10} 值通过下式确定^[29]: $y = e^{10b}$, b 同上式。

2 研究结果

2.1 土壤呼吸速率对氮沉降的响应

经 9 个月人工模拟氮沉降实验,石栎和苦槠 3 个实验处理的平均土壤呼吸值分别是(4.014 ± 0.812)

$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $(2.653 \pm 0.681) \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $(2.592 \pm 0.736) \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $(5.170 \pm 0.689) \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $(3.563 \pm 0.402) \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $(3.466 \pm 0.994) \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (图 1)。在氮沉降影响下,苦槠各实验组的土壤呼吸速率普遍高于石栎。各实验组之间,石栎和苦槠两种树幼苗的土壤呼吸速率都达到了显著差异 ($P < 0.01$),其中石栎幼苗的低氮(LN)组和空白对照(CK)组差异不明显,说明早期低水平的氮沉降对石栎幼苗土壤呼吸速率的影响不大,而中、高氮实验组与对照组之间存在显著差异,且差异的显著性成递增趋势,说明早期高浓度的氮沉降对其幼苗的土壤呼吸速率还是有不同程度影响的。但是苦槠的低氮(LN)组和空白对照(CK)组具有显著差异,中、高氮实验组与对照组无显著差异,表明苦槠随着氮沉降浓度的增加土壤呼吸对氮沉降的响应不敏感。

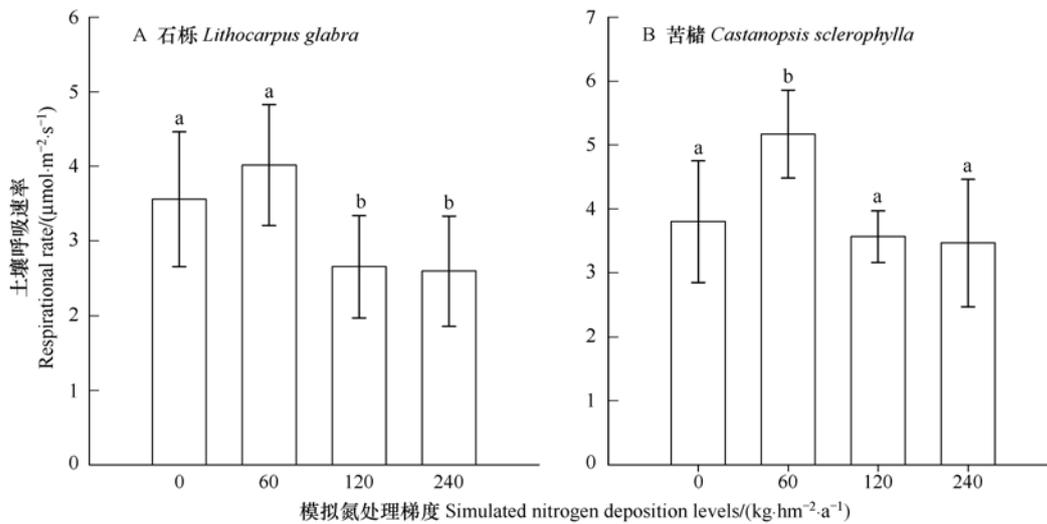


图 1 模拟氮沉降影响下石栎和苦槠土壤呼吸值的变化

Fig. 1 Changes of soil respiration of *Lithocarpus glabra* and *Castanopsis sclerophylla* under different levels of simulated nitrogen deposition

* 图中数据为平均值(标准误),字母表示处理间的差异性($P < 0.05$)

2.2 土壤呼吸速率与土壤温湿度的关系

大多数研究中观测到土壤呼吸通常都与温度存在确定的关系。本实验中,石栎的高氮(HN)组的土壤呼吸和温度有明显的指数关系($R^2 = 0.811$, $P = 0.001$), Q_{10} 值为 1.59,而其低氮(LN)组和中氮(MN)组的 R^2 都小于 0.5,相关性不显著;苦槠各个实验组土壤呼吸与温度均未发现有明显的相关性(表 1)。

表 1 石栎和苦槠土壤呼吸与温度关系模型参数

Table 1 Results of exponential equation between soil temperature and soil respiration of *Lithocarpus glabra* and *Castanopsis sclerophylla* under different levels of simulated nitrogen deposition

树种 Species	处理 Treatment	方程 Equation	判定系数 R^2	显著性 Sig	常数 Constant
石栎 <i>Lithocarpus glabra</i>	LN	指数方程	0.257	0.169	0.083
	MN	指数方程	0.021	0.763	0.067
	HN	指数方程	0.811	0.001	0.047
苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i>	LN	指数方程	0.211	0.360	0.008
	MN	指数方程	0.391	0.113	0.005
	HN	指数方程	0.004	0.922	0.007

LN:低氮组($60 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$),MN:中氮组($120 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$),HN:高氮组($240 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)

在分析两树种土壤呼吸与地下 5cm 含水量的关系中发现,苦槠的高氮(HN)组土壤呼吸与土壤湿度之间呈现二次方程的关系($R^2 = 0.722$)。而其低氮(LN)组和中氮(MN)组都无明显的回归关系。石栎各实验组

的土壤呼吸与土壤湿度相关性不明显。

可见,只是考虑单因素的线性回归分析不能很好的解释本实验的现象。氮沉降对亚热带植物的生理和其生长的土壤环境都产生了影响,而且土壤水热变化,以及土壤微生物变化,也会对土壤呼吸产生影响。

鉴于土壤呼吸与多种环境因素的复杂关系,本实验以 10cm 土壤温度和 5cm 土壤含水量为变量,采用多元线性回归中的 stepwise 方法,在 95% 的置信区间内,分析土壤呼吸速率与两变量间的关系,得到线性模型,土壤温度和湿度两因素共同分别解释石栎和苦槠各组土壤呼吸速率的 89.9%—85.4% 和 87.9%—78.7%。石栎的 R^2 呈现递增趋势,说明随氮沉降加重,土壤水热条件对其土壤呼吸的影响越大。而苦槠的 R^2 呈现出抛物线趋势。表明两种植物对氮沉降耐受的不同。多元回归分析要比单因素回归分析能够更好的解释本例中的现象(表 2)。

表 2 石栎和苦槠土壤呼吸与温度,湿度多元回归关系模型参数

Table 2 Results of regression in common among soil temperature and soil water and soil respiration of *Lithocarpus glabra* and *Castanopsis sclerophylla* under different levels of simulated nitrogen deposition

树种 Species	处理 Treatment	常数 Constant	判定系数 R^2	显著性 Sig F	回归 Regression	剩余 Residual
石栎 <i>Lithocarpus glabra</i>	LN	72.476	0.854	0.003	7.076	2.364
	MN	68.375	0.872	0.000	6.219	1.065
	HN	66.727	0.899	0.001	3.499	0.834
苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i>	LN	48.678	0.787	0.000	5.197	4.855
	MN	39.045	0.879	0.001	9.219	0.765
	HN	0.587	0.833	0.004	0.312	0.013

LN:低氮组(60 kg·hm⁻²·a⁻¹),MN:中氮组(120 kg·hm⁻²·a⁻¹),HN:高氮组(240 kg·hm⁻²·a⁻¹)

2.3 Q_{10} 值的变化

Q_{10} 值反映了土壤呼吸对温度变化的敏感^[29]。本实验中,模拟氮沉降 LN、MN 和 HN 处理下的石栎和苦槠 Q_{10} 值分别为:2.29、1.95、1.59 和 1.46、1.41、1.76。随着氮沉降氮浓度的增加,石栎的 Q_{10} 值呈现出逐渐减少的趋势,而苦槠则呈现出先减小后增大的抛物线趋势。与各自对照组的 Q_{10} 值 2.64 和 1.78 相比,均有降低。

3 讨论及结语

3.1 石栎和苦槠的土壤呼吸对氮沉降的响应

氮沉降通过几种方式直接影响土壤呼吸。氮沉降会改变土壤的 C/N 比,提高土壤氮矿化速率,引起微生物活性的变化,进而影响土壤释放 CO₂^[30]。氮沉降也会通过影响凋落物分解而影响微生物呼吸来改变植物的土壤呼吸^[31-32]。氮沉降同时可能改变了植物的营养结构,而植物组织中含氮量较高常与组织的蛋白质含量较高和生长速率较高有关,这会导致蛋白质修复和更新过程中的维持呼吸和生长呼吸较高^[33-34]。氮沉降也可以通过影响生态系统生产而间接影响土壤呼吸,比如添加氮能刺激植物的初级生产^[35],为土壤呼吸提供更多的底物。但是目前对于植物土壤呼吸对氮沉降响应的调控机制理解得还远远不够,已经做的工作表明不同森林生态系统土壤呼吸对氮沉降的响应是不同的^[36]。在本实验中,石栎和苦槠在低浓度的氮沉降条件下,其各自的土壤呼吸是增强的,低氮(LN)组的石栎和苦槠的土壤呼吸速率分别是(4.014 ± 0.812) μmol·m⁻²·s⁻¹ 和(5.170 ± 0.689) μmol·m⁻²·s⁻¹。而高浓度的氮沉降则会引起土壤呼吸的下降,高氮(HN)组的石栎和苦槠的土壤呼吸速率分别是(2.592 ± 0.736) μmol·m⁻²·s⁻¹ 和(3.466 ± 0.994) μmol·m⁻²·s⁻¹,甚至低于各自的对照组(3.802 ± 0.948) μmol·m⁻²·s⁻¹ 和(3.557 ± 0.906) μmol·m⁻²·s⁻¹,这可能是由于高浓度的氮影响了土壤微生物群落,从而产生了抑制物质或影响了土壤的酶系统,而使土壤碳释放减慢。徐国良、莫江明等^[37]对氮沉降影响凋落物分解的实验揭示了氮减缓分解的过程。但是氮影响分解作用的机制还不清楚^[38],目前的研究认为,纤维素的降解过程受氮的限制,通常随着氮含量的增加而增加。木质素的降解会因为高浓度的氮打乱了

木质素降解酶的化学键结构^[39]而受到抑制,也可能是高浓度的氮通过 NH_4^+ 抑制了许多真菌降解木质素的活动^[40]以及抑制了白腐真菌^[41]产生木质素降解酶系统而降低了木质素的降解。另一方面,氮可利用性的差异和氮沉积^[42]或全球变化^[43-44]所造成的氮可利用性的变化都会改变土壤呼吸速率。本实验结果表明短时间高浓度的大气氮沉降对石栎和苦槠这两种植物的生长是不利的,但由于不同植物的耐受性不同,因此土壤呼吸降低的幅度有所差异。在本实验中苦槠的耐受性是高于石栎的。这可能与两种植物光合作用提供呼吸底物的能力差别有关,有报道表明土壤呼吸与地上部分光合作用的底物供应之间存在着直接和动态的联系^[45]。但是目前还很难建立定量的关系将土壤呼吸和地上部分的光合作用直接联系起来。这也本实验以后需要继续探索的方向。

3.2 环境因素对石栎和苦槠的土壤呼吸的协同影响

自然和人为干扰常常造成多个因子同时改变,有可能对土壤呼吸产生复杂的交互作用。因此,检验多个因子对土壤呼吸的交互作用是很关键的^[46-47]。很多研究都发现土壤呼吸与土壤温度和湿度等多种环境因子的协同作用关系。Rochette^[48]等在农田土壤呼吸的时空变化研究中提出了线性模型。O'Connell^[49]在对澳大利亚西南部的森林进行研究时发现土壤呼吸与温度呈现出二阶指数函数关系。方晰等^[50]对亚热带地区杉木人工林研究表明土壤呼吸与温度在一定范围内呈一元线性正相关关系,黄承才^[51]研究表明浙江省马尾松林土壤呼吸与地下 5cm 温度之间存在显著的乘幂关系。此外,Hanson^[52]等报道了根生长影响到土壤呼吸对温度的敏感性。土壤湿度对土壤呼吸的直接影响是通过影响根和土壤微生物的生理过程,而间接影响是通过影响底物和氧气的扩散^[53]。但是土壤微生物具有极大的灵活性,可通过自身的渗透调节机制抵抗地下的水分胁迫环境^[54],因此土壤呼吸对湿度的响应不是很敏感。也可能是由于土壤呼吸对土壤湿度的响应有一个很宽的平稳期,只有在土壤湿度过低或过高时土壤呼吸才会剧烈变化^[55]。本实验通过多元回归分析得到的线性模型中,土壤温度和湿度两因素共同分别解释了石栎和苦槠各实验组土壤呼吸速率的 89.9%—85.4% 和 87.9%—78.7%。

土壤温度和湿度的协同作用主要表现在两个方面。一方面,在一定时期内土壤温度的升高导致水分蒸腾的增加而有可能降低土壤含水量和土壤水膜的厚度,进而影响到土壤中气体和溶质的运输,对植物的土壤呼吸产生影响。另一方面,土壤湿度条件会影响土壤呼吸的温度敏感性。Dörr 和 Münnich^[56]在对德国的一个草地和一个山毛榉-云杉(*beech-spruce*)林进行多年的研究发现, Q_{10} 在湿润年份较低,干燥年份较高。因为 O_2 和 CO_2 的扩散活动的有效面积随着被水占据的空隙空间的增加而成比例地下降。本实验中,在氮沉降的影响下,土壤温度和湿度的协同作用更为重要,单个因素对这两种植物的影响作用都不是很明显。

3.3 氮沉降对两树种 Q_{10} 的影响

随着氮沉降氮浓度的增加,两树种 Q_{10} 值的变化不同,可能与各自的根系结构的不同,其土壤团聚体的微结构具有差异,使各自对温度的变化响应不一致。也有可能是石栎对氮沉降耐受的阈值低于苦槠的,在高于阈值的情况下,敏感性会下降。另外,在氮处理下,苦槠的各实验组的呼吸速率较石栎的都高,但其 Q_{10} 值都小于石栎,说明石栎土壤呼吸对温度的响应更敏感。

本文研究了模拟氮沉降对石栎和苦槠土壤呼吸的影响以及其同土壤温度、含水量等水热因子间的关系,但未对氮沉降作用下土壤理化性质发生的变化进行监测分析。在未来还需要对土壤酶活性、根系生物量等数据进行同步测定,以使研究结果能够更好地说明氮沉降对土壤呼吸带来的综合反应和作用。

致谢:曲道春等参与有关实验工作,特此致谢。

References:

- [1] Xiao H L. Atmospheric nitrogen deposition and nitrogen dynamics of forest ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(1): 90-99.
- [2] Free-smith P H, Mansfield T A. The combined effect of low temperature and $\text{SO}_2 + \text{NO}_2$ pollution on the new season's growth and water relation of *Picea sitchensis*. *New Phytologist*, 1987, 106(6): 237-250.
- [3] Galloway J N, Aber J D, Erisman J W, Seitzinger S P, Howarth R W, Cowling E B, Cosby B J. The nitrogen cascade. *Bioscience*, 2003, 53

- (4) : 341-356.
- [4] Galloway J N, Cowling E B. Reactive nitrogen and the world; 200 years of change. *Ambio*, 2002, 31 : 64-71.
- [5] Zheng X H, Fu C B, Xu X K, Yan X, Huang Y, Han S, Hu F, Chen G. The Asian nitrogen case study. *Ambio*, 2002, 31(2) : 79-87.
- [6] Goulden M L, Munger J W, Fan S M, Daube B C, Wofsy S C. Measurements of carbon sequestration by long-term eddy covariance: methods and a critical evaluation of accuracy. *Global Change Biology*, 1996, 2(3) : 169-182.
- [7] Law B E, Falge E, Gu L, Baldocchi D D, Bakwin P, Berbigier P, Davis K, Dolman A J, Falk M, Fuentes J D. Environmental controls over carbon dioxide and water vapor exchange of terrestrial vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2002, 113(1/4) : 97-120.
- [8] Mitchell R J, Runion G B, Prior S A, Rogers H H, Amthor J S, Henning F P. Effect of nitrogen on *Pinus palustris* foliar respiratory to elevated atmospheric CO₂ concentration. *Journal of Experimental Botany*, 1995, 46(10) : 1561-1567.
- [9] Ibrahim L, Roe M F, Cameron A D. Main effects of nitrogen supply and drought stress upon whole plant carbon allocation in poplar. *Canadian Journal of Forest Research*, 1997, 27(9) : 1413-1419.
- [10] Griffin K L, Bashkin M A, Thomas R B, Strain R B. Interactive effects of soil nitrogen and atmospheric carbon dioxide on root/rhizosphere carbon dioxide flux from loblolly and ponderosa pine seedlings. *Plant Soil*, 1997, 190(1) : 11-18.
- [11] Lutze J L, Gifford R M, Adams H N. Litter quality and decomposition in *Danthonia richardsonii* swards in response to CO₂ and nitrogen supply over four years of growth. *Global Change Biology*, 2000, 6(1) : 13-24.
- [12] Franklin O, Högberg P, Ekblad A, Agren J I. Pine forest floor carbon accumulation in response to N and PK additions, bomb 14C modeling and respiration studies. *Ecosystem* 2003, 6(7) : 644-658.
- [13] Giardian C P, Ryan M G, Binkley D, Fownes J H. Primary production and carbon allocation in relation to nutrient supply in a tropical experimental forest. *Global Change Biology*, 2003, 9(10) : 1438-1450.
- [14] Giardian C P, Ryan M G, Binkley D, Fownes J H, Senock R S. Belowground carbon cycling in a humid tropical forest decreases with fertilization. *Oecologia*, 2004, 139(4) : 545-550.
- [15] Olsson P, Linder S, Giesler R, Högberg P. Fertilization of boreal forest reduces both autotrophic and heterotrophic soil respiration. *Global Change Biology*, 2005, 11(10) : 1745-1753.
- [16] Hobbie S E. Interactions between litter lignin and soil nitrogen availability during leaf litter decomposition in a Hawaiian montane forest. *Ecosystems*, 2000, 3(5) : 484-494.
- [17] Resh S C, Binkley D, Parrotta J A. Greater soil carbon sequestration under nitrogen-fixing trees compared with *Eucalyptus* species. *Ecosystems*, 2002, 5(3) : 217-231.
- [18] Hoosbeek M R, van Breemen N, Vasander H, Buttler A, Berendse F. Potassium limits potential growth of bog vegetation under elevated atmospheric CO₂ and N deposition. *Global Change Biology*, 2002, 8(11) : 1130-1138.
- [19] Schimel D S, House J I, Hibbard K A, Bousquet P, Ciais P, Peylin P, Braswell B H, Apps M J, Baker D, Bondeau A. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. *Nature*, 2001, 414(6860) : 169-172.
- [20] Fang Y T, Mo J M, Zhou G Y, Xue J H. Response of diameter at breast height increment to N additions in Forests of Dinghushan Biosphere Reserve. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2005, 13(3) : 198-204.
- [21] Mo J M, Fang T Y, Xu G L. The short-term responses of soil CO₂ emission and CH₄ uptake to simulated N deposition in nursery and forests of Dinghushan in subtropical China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4) : 682-690.
- [22] Song X G, Hu T X, Xian J R, Xiao C L, Liu W T. Soil Respiration and Its Response to Simulated Nitrogen Deposition in Evergreen Broad-Leaved Forest, Southwest Sichuan. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(4) : 168-172.
- [23] Li J H, Jin Z X, Lou W Y, Li J M. Genetic diversity of *Ithocarpus Harlandii* populations in three forest communities with different succession stage. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(4) : 509-514.
- [24] Zhang X, Xu G F, Shen D W, Gu Y J, Gao H, Luo X H, Chen X Y. Maintenance and natural regeneration of *Castanopsis sclerophylla* populations on islands of Qiandao Lake Region. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2) : 424-432.
- [25] Zhejiang Province environment protection bureau. Zhejiang Provincial Environmental Quality Report, 2006.
- [26] Wright R F, Rasmussen L. Introduction to the NITREX and EXMAN projects. *Forest Ecology and Management*, 1998, 101(1/3) : 1-7.
- [27] Gundersen P, Emmett B A, Kjonaas O J, Koopmans C J, Tietema A. Impact of nitrogen deposition on nitrogen cycling in forest: a synthesis of NITREX data. *Ecology and Management*, 1998, 101(1/3) : 37-55.
- [28] Luo Y, Wan S, Hui D, Wallace L L. Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie. *Nature*, 2001, 413(6856) : 622-625.
- [29] Xu M, Qi Y. Spatial and seasonal variation of Q10 determined by soil respiration at a Sierra Nevada forest. *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, 15(3) : 687-696.
- [30] Gundersen P. Effects of enhanced nitrogen deposition in a spruce forest at Klosterhede, Denmark, examined by moderate NH₄NO₃ addition. *Forest Ecology and Management*, 1998, 101(1/3) : 251-268.
- [31] Magill A H, Aber J D. Long-term effects of experimental nitrogen additions on foliar litter decay and humus formation in forest ecosystem. *Plant and Soil*, 1998, 203(2) : 301-311.
- [32] Saiya-Cork K R, Sinsabaugh R L, Zak D R. The effect of long term nitrogen deposition on extra cellular enzyme activity in an *Acer saccharin* forest soil. *Soil Biology Biochemistry*, 2002, 34 : 1309-1315.
- [33] De Vries, FWTP. The cost of maintenance processes in plant cells. *Annals of Botany*, 1975, 39(1) : 77-92.
- [34] Bouma T J, De Visser R, Janssen J H A, De Kock M J, Van Leeuwen P H, Lambers H. Respiratory energy requirements and rate of protein

- turnover in vivo determined by use of an inhibitor of protein synthesis and a probe to assess its effect. *Physiologia Plantarum*, 1994, 92(4): 585-594.
- [35] Vitousek P M, Howarth R W. Nitrogen limitation on land and in the sea, How can it occur?. *Biogeochemistry*, 1991, 13(2): 87-115.
- [36] Li D J, Mo J M, Fang T Y, Peng S L, Per Gundersen. Impact of nitrogen deposition on forest plants. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1891-1900.
- [37] Xu G L, Mo J M, Zhuo G Y, Xue J H. Litter decomposition under N deposition in Dinghushan forests and its relationship with soil fauna. *Ecology and Environment*, 2005, 14(6): 901-907.
- [38] Sinsabaugh R L, Carriro M M, Reper D A. Allocation of extracellular enzymatic activity in relation to litter composition, N deposition, and mass loss. *Biogeochemistry*, 2002, 60(1): 1-24.
- [39] Berg B. Nutrient release from litter and humus in coniferous soil-a mini review. *Journal of Forest Research*, 1986, 1: 359-369.
- [40] Kaal E E J, De Jong E, Field J A. Stimulation of ligninolytic peroxidase activity by nitrogen nutrients in the white rot fungus *Bjerkandera* sp. Strain BOS55. *Applied and Environmental Microbiology*, 1993, 59(12): 4031-4036.
- [41] Carreiro M M, Sinsabaugh R L, Reper D A, Parkhurst D F. Microbial enzyme shifts explain litter decay responses to simulated nitrogen deposition. *Ecology*, 2000, 81(9): 2359-2365.
- [42] Aber J D, Nadelhoffer K J, Stuedler P, Melillo J M. Nitrogen saturation in northern forest ecosystems. *Bioscience*, 1989, 39(6): 378-386.
- [43] Pastor J, Post W M. Response of northern forests to CO₂-induced climate change. *Nature*, 1988, 334: 55-58.
- [44] Cohen Y, Pastor J. The responses of a forest model to serial correlations to global warming. *Ecology*, 1991, 72(3): 1161-1165.
- [45] Verburg P J, Arnone J A, Obrist D, Schorran D, Evans R D, Leroux-Swarthout D, Johnson D W, Luo Y, Coleman J S. Net ecosystem carbon exchange in two experimental grassland ecosystems. *Global Change Biology*, 2004, 10(4): 498-508.
- [46] Beier C. Climate change and ecosystem function-full-scale manipulations of CO₂ and temperature. *New Phytologist*, 2004, 162(2): 234-245.
- [47] Norby R J, Lou Y. Evaluating ecosystem responses to rising atmospheric CO₂ and global warming in a multi-factor world. *New Phytologist*, 2004, 162(2), 281-293.
- [48] Rochette P, Desjardins R L, Ptty E. Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields. *Canadian Journal of Soil Science*, 1991, 71(2): 189-196.
- [49] O'Connell A M. Microbial decomposition(respiration) of litter in eucalypt forests of southwestern Australia: an empirical model based on laboratory incubations. *Soil Biology Biochemistry*, 1990, 22: 153-160.
- [50] Fang X, Tian D L, Xiang W H, Yan W D, Kang W X. Soil CO₂ release rate and its effect factors in Chinese Fir plantation. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(2): 1-7.
- [51] Huang C C. Research of Soil Respiration of *Pinus Massoniana* in Zhejiang Province. Shaoxing University, 1999, 19(5): 65-69.
- [52] Hanson P J, Edwards N T, Garten C T, Andrews J A. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A view of methods and observations. *Biogeochemistry*, 2000, 48: 115-146.
- [53] Linn D M, Doran J W. Effects of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1984, 48: 1267-1727.
- [54] Harris R F. Effect of water potential on microbial growth and activity. *Water Potential Relations In Soil Microbiology*, 1981, 9: 23-95.
- [55] Bownden R D, Nadelhoffer K J, Boone R D, Melillo, J M, Garrison J B. Contributions of aboveground litter, below ground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 1993, 23: 1402-1407.
- [56] Dörr H, Münnich K O. Annual variation in soil respiration in selected areas of the temperate zone. *Tellus B*, 1987, 39(2): 114-121.

参考文献:

- [1] 肖辉林. 大气氮沉降与森林生态系统的氮动态. *生态学报*, 1996, 16(1): 90-99.
- [20] 方运霆, 莫江明, 周国逸, 薛璟花. 鼎湖山主要森林类型植物胸径生长对氮沉降增加的初期响应. *热带亚热带植物学报*, 2005, 13(3): 198-204.
- [21] 莫江明, 方运霆, 徐国良. 鼎湖山苗圃和主要森林土壤 CO₂ 排放和 CH₄ 吸收对模拟 N 沉降的短期响应. *生态学报*, 2005, 25(4): 682-690.
- [22] 宋学贵, 胡庭兴, 鲜骏仁, 肖春莲, 刘文婷. 川西南常绿阔叶林土壤呼吸及其对氮沉降的响应. *水土保持学报*, 2007, 21(4): 168-172.
- [23] 李建辉, 金则新, 楼文燕, 李均敏. 东南石栎种群在演替系列群落中的遗传多样性. *生态学杂志*, 2007, 26(4): 509-514.
- [24] 张欣, 徐高福, 沈栋伟, 顾泳洁, 高辉, 罗小华, 陈小勇. 千岛湖岛屿苦槠 (*Castanopsis sclerophylla*) 种群的维持和天然更新. *生态学报*, 2007, 27(2): 424-432.
- [25] 浙江省环境保护局. 浙江省环境质量报告书(2001—2005). 杭州: 浙江省环境保护局, 2006.
- [36] 李德军, 莫江明, 方运霆, 彭少麟, Per Gundersen. 氮沉降对森林植物的影响. *生态学报*, 2003, 23(9): 1891-1900.
- [37] 徐国良, 莫江明, 周国逸, 薛璟花. 氮沉降下鼎湖山森林凋落物分解及与土壤动物的关系. *生态环境*, 2005, 14(6): 901-907.
- [50] 方晰, 田大伦, 项文化, 闫文德, 康文星. 杉木人工林林地土壤 CO₂ 释放量及其影响因子的研究. *林业科学*, 2005, 41(2): 1-7.
- [51] 黄承才. 浙江省马尾松林土壤呼吸的研究. *绍兴文理学院学报*, 1999, 19(5): 65-69.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 1 January, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

- Spatial pattern analysis of a *Rhododendron-Abies* virginial forest near timberline on the eastern edge of Qinghai-Tibetan Plateau, China MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (1)
- Changes of liana species diversity in different restoration stages of monsoonal broad-leaved evergreen forest LI Shuaifeng, SU Jianrong, LIU Wandu, et al (10)
- Investigation on spatio-temporal pattern of cyanobacterial community structure by T-RFLP during overwinter and recruitment period in Taihu Lake GU Tingting, KONG Fanxiang, TAN Xiao, et al (21)
- Food sources of fish and macro-invertebrates in a tropical seagrass bed at Xincun Bay, Southern China FAN Minling, HUANG Xiaoping, ZHANG Dawen, et al (31)
- Spatial pattern of Scleractinian coral Population Structure in Weizhou Island, Beihai, Guangxi LIANG Wen, ZHANG Chunhua, YE Zuchao, et al (39)
- Property of root distribution of triploid *Populus tomentosa* and its relation to root water uptake under the wide-and-narrow row spacing scheme XI Benye, WANG Ye, JIA Liming, et al (47)
- Soil nutritional properties and moisture gradient of the ecotone between dry valley and montane forest of the Minjiang River LIU Bin, LUO Chengde, ZHANG Jian, et al (58)
- Signal chemical salicylic acid mitigates the negative effects of drought on photosynthesis and membrane lipid peroxidation of purple majesty YI Xiaolin, YANG Bingxian, ZONG Xuefeng, et al (67)
- Effects of supplementary UV-B radiation on life cycle forms and the accumulation of taxanes of *Taxus chinensis* var. *mairei* YU Jinghua, LI Dewen, PANG Haihe, et al (75)
- Effect of simulated nitrogen deposition on the soil respiration of *Lithocarpus glabra* and *Castanopsis sclerophylla* LI Kai, JIANG Hong, YOU Meina, et al (82)
- Changes of phenolic acids in the soil of replanted apple orchards surrounding Bohai Gulf SUN Haibing, MAO Zhiqian, ZHU Shuhua (90)
- Growing dynamic root system of *Aquilaria malaccensis* and *Aquilaria sinensis* seedlings in response to different fertilizing methods WANG Ran, LI Jiyue, ZHANG Fangqiu, et al (98)
- Accumulation and tolerance of *Salix variegata* and *Pterocarya stenoptera* seedlings to cadmium JIA Zhongmin, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (107)
- Dynamics of vegetation structure and soil properties in the natural restoration process of degraded woodland on the northern slope of Qilian Mountains, northwestern China ZHAO Chengzhang, SHI Fuxi, DONG Xiaogang, et al (115)
- Relationship between temperature and $\delta^{13}\text{C}$ values of C3 herbaceous plants and its implications of WUE in farming-pastoral zone in North China LIU Xianzhao, WANG Guoan, LI Jiazhu, et al (123)
- Carbon dynamics of fine root (grass root) decomposition and active soil organic carbon in various models of land use conversion from agricultural lands into forest lands RONG Li, LI Shoujian, LI Xianwei, et al (137)
- Prey biomass of the Amur tiger (*Panthera tigris altaica*) in the eastern Wanda Mountains of Heilongjiang Province, China ZHOU Shaochun, ZHANG Minghai, SUN Haiyi (145)
- The impact of conservation projects on giant Panda Habitat ZHANG Yubo, WANG Mengjun, LI Junqing (154)
- Fluctuation of soil fauna community during defoliation decomposition under lime and EM treatment GAO Meixiang, ZHANG Xueping (164)
- Comparative of feeding behaviors of *Sitobion avenae*, *Sitobion graminum* and *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae) using electrical penetration graph (EPG) MIAO Jin, WU Yuqing, YU Zhenxing, et al (175)
- Toxic effects of *ent*-kaurane diterpenoids on soil ciliate communities NING Yingzhi, DU Haifeng, WANG Hongjun (183)
- Geostatistical analysis and sampling technique on spatial distribution pattern of *Dendroctonus valens* population PAN Jie, WANG Tao, ZONG Shixiang, et al (195)
- Variation analysis of protein subunits of soybean germplasms of different eco-types in Shanxi WANG Yanping, LI Guiquan, GUO Shujin, et al (203)
- Effects of fertilization and plastic film mulched ridge-furrow cultivation on yield and water and nitrogen utilization of winter wheat on dryland LI Tingliang, XIE Yinghe, REN Miaomiao, et al (212)
- The changing characteristics of potential climate productivity in Gansu Province during nearly 40 years LUO Yongzhong, CHENG Ziyong, GUO Xiaoqin (221)
- Spatial assessment and zoning regulations of ecological importance based on GIS for rural habitation in Changgang Town, Xinguo county XIE Hualin, LI Xiubin (230)
- Influences of rural households' income differences on living energy consumption and eco-environment: a case study of Jiangnan Plain, China YANG Zhen (239)
- Spatial differences and its driving factors of energy indices on cultivated land eco-economic system in Hebei Province WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang, et al (247)
- Effects of land use on distribution and protection of organic carbon in soil aggregates in karst rocky desertification area LUO Youjin, WEI Chaofu, LI Yu, et al (257)
- Review and Monograph**
- Implication and limitation of landscape metrics in delineating relationship between landscape pattern and soil erosion LIU Yu, LÜ Yihe, FU Bojie (267)
- Ecological reclamation and restoration of abandoned coal mine in the United States ZHANG Chengliang, B. Larry Li (276)
- Managing farmland soil food web: principles and methods CHEN Yunfeng, HU Cheng, LI Shuanglai, et al (286)

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 1 期 (2011 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 1 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

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
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

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
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

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 FENG Zong-Wei
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
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