

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

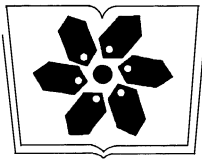
## Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 24 期 Vol.32 No.24 **2012**

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 32 卷 第 24 期

2012 年 12 月 (半月刊)

## 目 次

从文献计量角度分析中国生物多样性研究现状.....	刘爱原,郭玉清,李世颖,等 (7635)
CO <sub>2</sub> 浓度升高和模拟氮沉降对青川箭竹叶营养质量的影响.....	周先容,汪建华,张 红,等 (7644)
陕西中部黄土高原地区空气花粉组成及其与气候因子的关系——以洛川县下黑木沟村为例.....	吕素青,李月从,许清海,等 (7654)
长三角地区 1995—2007 年生态资产时空变化.....	徐昔保,陈 爽,杨桂山 (7667)
基于智能体模型的青岛市林地生态格局评价与优化.....	傅 强,毛 锋,王天青,等 (7676)
青藏高原高寒草地生态系统服务功能的互作机制.....	刘兴元,龙瑞军,尚占环 (7688)
北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估.....	张 彪,高吉喜,谢高地,等 (7698)
武汉市造纸行业资源代谢分析.....	施晓清,李笑诺,赵吝加,等 (7706)
丽江市家庭能耗碳排放特征及影响因素.....	王丹寅,唐明方,任 引,等 (7716)
基于分布式水文模型和福利成本法的生态补偿空间选择研究.....	宋晓谕,刘玉卿,邓晓红,等 (7722)
设施塑料大棚风洞试验及风压分布规律.....	杨再强,张 波,薛晓萍,等 (7730)
湖南珍稀濒危植物——珙桐种群数量动态.....	刘海洋,金晓玲,沈守云,等 (7738)
云南岩陀及其近缘种质资源群体表型多样性.....	李萍萍,孟衡玲,陈军文,等 (7747)
沙埋和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发、出苗和幼苗生长的影响.....	杨慧玲,梁振雷,朱选伟,等 (7757)
栗山天牛天敌花绒寄甲在栎林中的种群保持机制.....	杨忠岐,唐艳龙,姜 静,等 (7764)
基于相邻木排列关系的混交度研究.....	娄明华,汤孟平,仇建习,等 (7774)
三种回归分析方法在 Hyperion 影像 LAI 反演中的比较.....	孙 华,鞠洪波,张怀清,等 (7781)
红松和蒙古栎种子萌发及幼苗生长对升温与降水综合作用的响应.....	赵 娟,宋 媛,孙 涛,等 (7791)
新疆杨边材贮存水分对单株液流通量的影响.....	党宏忠,李 卫,张友焱,等 (7801)
火干扰对小兴安岭毛赤杨沼泽温室气体排放动态影响及其影响因素.....	顾 韩,牟长城,张博文 (7808)
不同潮汐和盐度下红树植物幼苗秋茄的化学计量特征.....	刘滨尔,廖宝文,方展强 (7818)
腾格里沙漠东南缘沙质草地灌丛化对地表径流及氮流失的影响.....	李小军,高永平 (7828)
西双版纳人工雨林群落结构及其林下降雨侵蚀力特征.....	邓 云,唐炎林,曹 敏,等 (7836)
西南高山地区净生态系统生产力时空动态.....	庞 瑞,顾峰雪,张远东,等 (7844)
南北样带温带区栎属树种种子化学组成与气候因子的关系.....	李东胜,史作民,刘世荣,等 (7857)
模拟酸雨对龙眼叶片 PS II 反应中心和自由基代谢的影响.....	李永裕,潘腾飞,余 东,等 (7866)
沈阳市城郊表层土壤有机污染评价.....	崔 健,都基众,马宏伟,等 (7874)
降雨对旱作春玉米农田土壤呼吸动态的影响.....	高 翔,郝卫平,顾峰雪,等 (7883)
冬季作物种植对双季稻根系酶活性及形态指标的影响.....	于天一,逢焕成,任天志,等 (7894)
施氮量对小麦/玉米带田土壤水分及硝态氮的影响.....	杨蕊菊,柴守玺,马忠明 (7905)
微山湖鸟类多样性特征及其影响因素.....	杨月伟,李久恩 (7913)
新疆北部棉区作物景观多样性对棉铃虫种群的影响.....	吕昭智,潘卫林,张 鑫,等 (7925)
杭州西湖北里湖沉积物氮磷内源静态释放的季节变化及通量估算.....	刘静静,董春颖,宋英琦,等 (7932)
基于实码遗传算法的湖泊水质模型参数优化.....	郭 静,陈求稳,张晓晴,等 (7940)
气候环境因子和捕捞压力对南海北部带鱼渔获量变动的影响.....	王跃中,孙典荣,陈作志,等 (7948)
象山港南沙岛不同养殖类型沉积物酸可挥发性硫化物的时空分布.....	颜婷茹,焦海峰,毛玉泽,等 (7958)
<b>专论与综述</b>	
提高植物抗寒性的机理研究进展.....	徐呈祥 (7966)
植被对多年冻土的影响研究进展.....	常晓丽,金会军,王永平,等 (7981)
凋落物分解主场效应及其土壤生物驱动.....	查同刚,张志强,孙 阁,等 (7991)
街尘与城市降雨径流污染的关系综述.....	赵洪涛,李叙勇,尹澄清 (8001)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 374 \* zh \* P \* ¥70.00 \* 1510 \* 40 \* 2012-12

封面图说:永兴岛海滩植被——永兴岛是中国西沙群岛的主岛,也是西沙群岛及南海诸岛中最大的岛屿。国务院 2012 年 6 月批准设立的地级三沙市,管辖西沙群岛、中沙群岛、南沙群岛的岛礁及其海域,三沙市人民政府就驻西沙永兴岛。永兴岛岛上自然植被密布,野生植物有 148 种,占西沙野生植物总数的 89%,主要树种有草海桐(羊角树)、麻枫桐、野枇杷、海棠树和椰树等。其中草海桐也称为羊角树,是多年生常绿亚灌木植物,它们总是喜欢倚在珊瑚礁岸或是与其他滨海植物聚生于海岸沙滩,为典型的滨海植物。

彩图提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com



DOI: 10.5846/stxb201112151919

顾韩,牟长城,张博文. 火干扰对小兴安岭毛赤杨沼泽温室气体排放动态影响及其影响因素. 生态学报, 2012, 32(24): 7808-7817.

Gu H, Mu C C, Zhang B W. Dynamics of greenhouse gases emission and its impact factors by fire disturbance from *Alnus sibirica* forested wetland in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(24): 7808-7817.

## 火干扰对小兴安岭毛赤杨沼泽温室气体 排放动态影响及其影响因素

顾 韩<sup>1,2</sup>, 牟长城<sup>1,\*</sup>, 张博文<sup>3</sup>

(1. 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040; 2. 黑龙江科技学院, 哈尔滨 150027; 3. 佳木斯市环境科学院, 佳木斯 150042)

**摘要:** 利用静态箱-气相色谱法, 对小兴安岭轻度火烧毛赤杨沼泽  $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  生长季排放通量进行研究。结果表明: 火烧使毛赤杨沼泽生长季  $\text{CH}_4$  排放通量提高 485.2%,  $\text{CO}_2$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放通量分别下降 45.5%、24.8%。火烧未改变  $\text{CH}_4$  季节性排放规律, 但改变了  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  季节性变化规律。火烧样地  $\text{CH}_4$  排放通量与土壤 15cm 温度间存在显著正相关性关系而与水位相关性不显著, 火烧样地  $\text{CO}_2$  排放与土壤 0—30 cm 温度呈显著或极显著正相关, 与水位极显著负相关。对照样地  $\text{CO}_2$  排放通量与土壤 0—15 cm 温度呈显著或极显著正相关, 与水位极显著负相关, 火烧使毛赤杨沼泽  $\text{CH}_4$  排放源的强度增强,  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  的排放削弱, 全球温室潜势下降约为 43.34%。

**关键词:** 小兴安岭; 毛赤杨沼泽; 温室气体排放; 火干扰

## Dynamics of greenhouse gases emission and its impact factors by fire disturbance from *Alnus sibirica* forested wetland in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China

GU Han<sup>1,2</sup>, MU Changcheng<sup>1,\*</sup>, ZHANG Bowen<sup>3</sup>

1 College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 Heilongjiang Institute of Science and Technology, Harbin 150027, China

3 The Jiamusi City Academy of Environmental Sciences, Jiamusi 154042, China

**Abstract:** Wetlands are important sources and sinks of greenhouse gases. Fire disturbance plays an important role in wetland ecosystems. It commonly is an important carbon sink of the land ecosystems, the Lesser Xing'an Mountains of China's northeast is the frequent area of the fire disturbance as well as a major distribution area of China's wetlands. Fire-related disturbance in forests are more frequent in mid-to high latitudes than elsewhere. In the present study, *Alnus sibirica* wetland, were studied to reveal the emission variation of  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ , and  $\text{N}_2\text{O}$  under fire disturbance during the growing season. The study area is located in the Lesser Xing'an Mountains. We used a static opaque chamber and gas chromatography methods, and we monitored related environmental factors. The results were as follows: disturbance by fire increased air and soil temperature by 2.5—5.0°C, and lowered the water table by an average of 0.24—6.36 cm. Burning increased  $\text{CH}_4$  emissions from *Alnus sibirica* wetlands by 485.2. Burning decreased the  $\text{CO}_2$  and  $\text{N}_2\text{O}$  emissions by 45.5% and 24.8% respectively from *Alnus sibirica* wetland. Burning also changed the *Alnus sibirica* wetland  $\text{CO}_2$  and  $\text{N}_2\text{O}$  flux patterns in the growing season, but no marked variations were detected in the *Alnus sibirica* wetland  $\text{CH}_4$ .

Burning changed the *Alnus sibirica* wetland greenhouse gas flux patterns in the growing season. The  $\text{CH}_4$  emissions and the seasonal change pattern were affected by fire disturbance. Before and after the fire disturbance,  $\text{CH}_4$  emission flux

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30670349)

收稿日期: 2012-01-20; 修订日期: 2012-10-10

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mcnefu@yahoo.com

remained unchanged during the growing season. The  $\text{CH}_4$  was absorbed weakly by the wetland soil ( $M_0, M_1$ ) in spring and emitted in summer and autumn. The  $\text{CH}_4$  emission flux in summer was less than that in autumn. the  $\text{CO}_2$  and  $\text{N}_2\text{O}$  emission fluxes had changed. At the unburned site, the  $\text{CO}_2$  flux had a seasonal variation where summer flux > spring > autumn; under fire disturbance, the  $\text{CO}_2$  flux in summer > autumn > spring. The  $\text{N}_2\text{O}$  flux varied in the order of spring > autumn > summer under no fire disturbance, but under slight fire disturbance, the order was spring > summer > autumn.

The  $\text{CH}_4$  flux from the reference marsh wetland plot (unburned) was significantly correlated ( $P < 0.05$ ) with soil temperature at 15 cm-depth, but it was not correlated with water table depth in the burned plot. No significant correlations were found between  $\text{CH}_4$  flux and soil temperature in any soil horizons, or with water table depth in the *Alnus sibirica* wetland. In the reference plots of *Alnus sibirica* wetland, the  $\text{CO}_2$  flux had a significant positive correlation ( $p < 0.05$ ) with soil temperature at depths between 0—15 cm; at burned sites, the  $\text{CO}_2$  flux had a highly positive correlation with soil temperature in the 0—30 cm depth. Fire disturbance enhanced  $\text{CH}_4$  emission intensity, and reduced the  $\text{CO}_2$  and  $\text{N}_2\text{O}$  emissions. Under such circumstances, the global warming potential at burned sites would be decreased by 43.34%. Therefore, fire disturbance could decrease the emission of greenhouse gases from the *Alnus sibirica* of forested wetlands. Statistically significant negative correlation ( $P < 0.05$ ) was found between  $\text{CO}_2$  flux and water table depth within marsh, reference and burned plots of *Alnus sibirica* wetlands. Burning increased  $\text{CH}_4$  emission intensity, and reduced the  $\text{CO}_2$  and  $\text{N}_2\text{O}$  emissions. The global warming potential at burned sites decreased by 43.34%. Therefore, fire disturbance could decrease the emission of greenhouse gases from the *Alnus sibirica* of forested wetlands.

**Key Words:** Lesser Xing'an; *Alnus sibirica* swamp; greanhouse gas emission; fire disturbance

大气中  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  等主要温室气体浓度的不断增加,是导致全球气候变暖的主要因素<sup>[1-2]</sup>。全球气候变暖对中高纬度森林及湿地影响最为显著。湿地作为重要的生态系统,在陆地生态系统碳循环具有重要作用<sup>[3]</sup>,由于湿地存储了巨大的有机固态碳<sup>[4]</sup>,因此,对气候变化表现出较高的敏感性和不确定性<sup>[5-6]</sup>。天然湿地被破坏、改造利用<sup>[1]</sup>及火烧干扰,导致碳的净排放增加<sup>[7]</sup>,可能成为碳源<sup>[8]</sup>;火烧能引起森林湿地植被、土壤温度、水位、微生物等因素的变化;研究表明,火后一时间内,受火干扰区域土壤温度通常会高于未干扰的地区<sup>[9-11]</sup>,从而对  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  等温室气体的排放通量产生潜在影响。Sawamoto<sup>[12]</sup>研究发现,西伯利亚地区火灾后土壤呼吸降低,二氧化碳排放减少。Hick<sup>[13]</sup>在对北美北方林 NPP 进行模拟研究时发现,在火灾后的 8a 内迹地为碳源,8a 后开始成为碳汇。Rapalee<sup>[14]</sup>研究北方林迹地恢复时发现火灾后大约 30a 迹地由碳源变成碳汇。因此,在分析某一区域碳的源汇时,应考虑火烧干扰的影响。

大、小兴安岭和长白山是我国森林湿地集中分布区,占该区域湿地面积的 44%<sup>[15]</sup>。火是该区域常见的干扰因素<sup>[16]</sup>,目前有关该区域火干扰的研究主要集中在火后生态效应、植物多样性、土壤性质等方面<sup>[17-19]</sup>,仅牟长城等<sup>[20-21]</sup>对小兴安岭白桦和落叶松-苔草沼泽火干扰碳排放通量进行研究,结果表明,轻火干扰白桦沼泽  $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$  和  $\text{N}_2\text{O}$  生长季平均排放通量分别为  $0.0965\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 、 $353.607\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 、 $0.0028\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ,火烧提高  $\text{CH}_4$  排放通量 169.5%, $\text{CO}_2$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放通量分别下降 21.2%—34.7% 和 65.6%—95.8%;经轻度火干扰后,落叶松-苔草沼泽  $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$  和  $\text{N}_2\text{O}$  生长季平均排放通量分别为  $0.1337\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 、 $508.140\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 、 $0.0021\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ,火干扰改变两类型样地温室气体季节性分布格局。为深入了解火烧对森林湿地温室气体排放的影响,于 2009 年 5—9 月在小兴安岭,运用静态箱-气相色谱法,原位同步观测了火烧毛赤杨沼泽土壤  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  季节性排放通量特征及环境因子,研究火烧对毛赤杨沼泽温室气体排放季节性变化规律,影响因子,对全面了解小兴安岭森林湿地温室气体排放提供科学参考。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究地点位于在小兴安岭中段伊春市友好林业局岭峰林场( $48^{\circ}03'53''$ — $48^{\circ}17'11''$  N,  $128^{\circ}30'36''$ — $128^{\circ}$

45°00' E), 该区域春秋季节干燥多风, 火灾发生频繁, 2009 年 4 月下旬发生火灾, 由伊南河林场火烧进入伊春林区, 过火面积近万  $\text{hm}^2$ 。本研究区平均海拔在 436—546 m 之间, 属温带大陆湿润季风气候, 气候变化明显。主要表现为: 春季风大干旱, 夏季温湿多雨, 秋季多风干燥, 冬季寒冷漫长。年平均气温为  $-1^\circ\text{C}$ , 年平均降水量为 629.6 mm, 全年的两个降水高峰期分别为冬季降雪和 7—8 月的降雨, 约占全年降水量的 70%。地带性土壤主要为暗棕壤, 面积约占所有土壤类型的 71%。非地带性土壤有: 草甸土、沼泽土和泥炭土, 草甸土和沼泽土占 27%, 泥炭土占 2%。

## 1.2 样地设置

2009 年 5 月下旬, 在研究区相同海拔高度、地势平坦的地段, 分别设置毛赤杨火烧(属于轻度火灾, 主要烧毁凋落物层、草本层、灌木层及幼树等)、对样地, 面积均为  $80\text{ m} \times 80\text{ m}$ 。毛赤杨沼泽主要乔木树种为毛赤杨(*Alnus sibirica*), 草本层主要有修氏苔草和小叶樟(*Calamagrostis angustifolia*); 毛赤杨对照( $M_0$ )、毛赤杨火烧( $M_1$ )样地。在每个处理样地设置 3 个观测小区, 于 2009 年 5 月 22 日至 9 月 22 日对各样地进行野外原位测定, 每 10d 观测 1 次。

## 1.3 样品采集与分析

气体采集采用静态暗箱-气相色谱法。采样箱由( $50\text{ cm} \times 50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$  四周和顶部密闭, 外围覆盖保温材料)箱体和不锈钢底座( $50\text{ cm} \times 50\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ )两部分组成。取样前先将底座插入土壤里约 10 cm, 安装过程未对底座内植被进行干扰, 整个生长季底座固定在试验样地保持不动, 最大限度降低对植被和土壤内部的干扰。每次采气时先将顶箱扣在注满水的底座上, 防止箱子和底座的接触处漏气, 箱体内顶部安装直径 10 cm 小风扇, 用 12 V 的蓄电池供电, 以使箱体内气体均匀。用 60 mL 的聚氯乙烯医用注射器经过三通阀连接针头通过箱顶的部橡胶塞取样。取样时间为 8:00—11:00。取样时, 在静态箱封闭后 0、10、20、30 min, 用注射器取气注入 500 mL 的气体采集袋。样品分析在 1 周之内, 用 HP5890 II 型气相色谱仪进行。 $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  用离子火焰化检测器(FID)检测,  $\text{N}_2\text{O}$  用电子捕获检测器(ECD)检测, 所有样品气体浓度和采样时间相关系数( $R^2$ ) > 0.95 时视为有效。仪器工作原理详见文献<sup>[22]</sup>。利用气体通量公式计算<sup>[23]</sup>:

$$F = \frac{dc}{dt} \frac{M}{V_0} \frac{P}{P_0} \frac{T_0}{T} H$$

式中,  $F$  为气体通量( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ), 正值为排放, 负值为吸收;  $P_0$ 、 $V_0$ 、 $T_0$  分别为标准状态下的标准大气压、气体摩尔体积和绝对温度;  $dc/dt$  为采样时气体浓度随时间变化的直线斜率;  $M$  为被测气体的摩尔质量;  $P$ 、 $T$  为采样点的实际大气压和温度;  $H$  为采样箱高度。

## 1.4 环境因子测定

气体采样时, 原位同步测定气温、箱温、0、5、10、15、20、30、40 cm 土温以及观测样地水位。温度的测定使用 JM 624 便携式数字温度计。在采样箱附近挖井来测量地下水位深度。

## 1.5 数据处理

采用 SPSS16.0 统计分析软件包和 Microsoft Office Excel 2007 对数据进行分析处理, 采用最小显著差异法(LSD)比较不同数据组间的差异, 用 Pearson 相关系数评价相关环境因子间的相关关系, 图型应用 sigmaplot10.0 软件绘制。

# 2 结果

## 2.1 火烧对毛赤杨沼泽气温和土壤温度及水位的变化

由图 1 可知, 火烧对毛赤杨沼泽生长季样地空气、地表及各土层温度影响显著。 $M_0$ 、 $M_1$  样地平均空气温度为 15.58、18.10 $^\circ\text{C}$ ,  $M_1$  较  $M_0$  空气温度提高了 2.52 $^\circ\text{C}$ ; 两者地表温度依次为 12.57、17.45 $^\circ\text{C}$ , 经火烧干扰后  $M_1$  地表平均温度提高 4.88 $^\circ\text{C}$ ,  $M_0$  与  $M_1$  样地 5—40cm 土壤平均温度分布在 3.55—5.50、7.47—10.89 $^\circ\text{C}$ , 平均提高 3.92—5.39 $^\circ\text{C}$ 。进一步经配对样本  $t$  检验,  $M_1$  与  $M_0$  样地与气温、地表及 5—40cm 土壤平均温度之间均存在显著差异( $P < 0.05$ )。

火烧干扰使得  $M_1$  水位较  $M_0$  样地下降(图2)。 $M_0$ 、 $M_1$  样地生长季平均水位分别为 4.43、1.38 cm,  $M_1$  样地下降约为 3.05 cm。 $M_0$ 、 $M_1$  样地在生长季均维持在高水位(平均水位约为 1.3 cm), 进入 9 月水位下降明显, 下降幅度约为 252.8%。进一步经配对样本  $t$  检验, 火烧样地与对照样地水位之间存在显著差异( $P < 0.05$ )。由此可见, 火烧显著提高了毛赤杨沼泽的空气、地表及各层土壤温度, 同时降低了土壤水位。

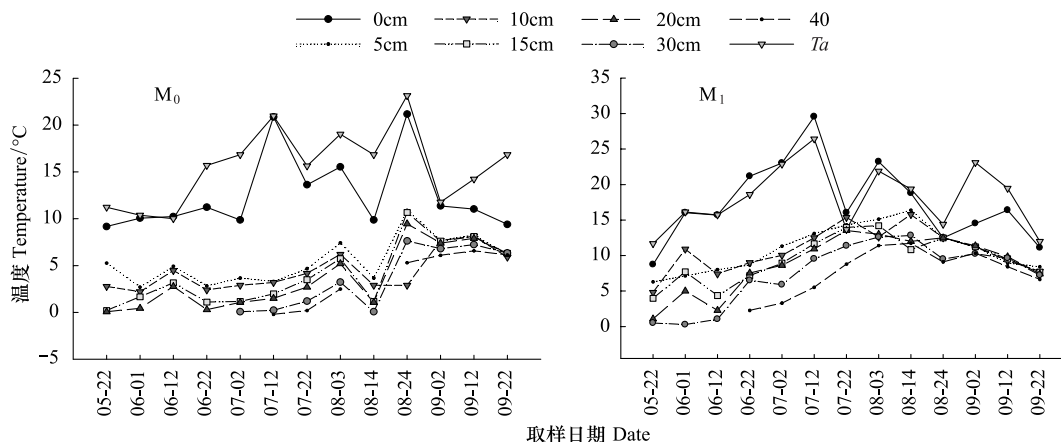


图1 火烧毛赤杨沼泽温度的季节变化

Fig.1 Seasonal dynamics of temperature of *Alnus sibirica* swamps disturbed by fire

Ta: 空气温度 Air Temperature

## 2.2 火烧对毛赤杨沼泽 $CH_4$ 、 $CO_2$ 和 $N_2O$ 排放通量及其季节性的影响

### 2.2.1 $CH_4$ 排放通量及其季节性变化

由图3可知,  $M_0$  样地生长季  $CH_4$  排放呈单峰型曲线, 春夏季吸收与排放速率较低, 进入 9 月出现排放峰值( $1.62 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ), 随后降低, 其生长季  $CH_4$  平均排放通量为( $0.2815 \pm 0.54$ )  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $CH_4$  排放呈现秋季>夏季>春季的季节分布格局;  $M_1$  样地  $CH_4$  排放呈双峰型曲线, 5—7 月吸收和排放速率较低, 进入 8 月开始升高, 在 8 月中旬和 9 月上旬出现爆发式排放现象, 峰值分别为  $8.89 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $9.33 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ , 随之迅速下降,  $M_1$  样地生长季节  $CH_4$  平均排放通量为( $1.6474 \pm 3.40$ )  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ , 其  $CH_4$  排放呈现出与  $M_0$  样地相同的变化。 $M_0$  与  $M_1$  样地  $CH_4$  排放均呈现出春季弱汇(平均通量为  $-0.0154$ 、 $-0.0280 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )、夏季和秋季排放(平均通量为  $0.0317$ 、 $1.3594$  和  $1.1612$ 、 $3.9950 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )的季节性排放格局。火烧未改变毛赤杨沼泽湿地甲烷的季节动态, 但增加了  $CH_4$  的排放速率, 后者较前者提高了 485.2%。

### 2.1.2 $CO_2$ 排放通量及其季节变化

由图4可知, 火烧降低了毛赤杨沼泽  $CO_2$  排放通量, 改变了其生长季分布格局。 $M_0$  与  $M_1$  样地均排放  $CO_2$ , 其生长季节土壤  $CO_2$  的平均排放通量分别为( $482.549 \pm 178.75$ 、 $262.940 \pm 86.35$ )  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ , 火干扰  $CO_2$  排放通量下降了 45.5%。经配对样本  $t$  检验, 火烧样地与对照样地差异显著。 $M_0$  样地  $CO_2$  排放通量呈波性变化, 6 月上旬出现第一次小峰值, 随后下降, 7 月中旬出现排放峰值( $872.580 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ), 之后波动下降上升, 分别在 8 月与 9 月中旬出现两次小峰值。 $M_0$  样地春秋两季土壤  $CO_2$  排放通量(分别为  $435.180$ 、 $433.570 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )相对较低且相近(变化幅度 0.4%), 夏季排放通量( $523.840 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )最高, 较春秋

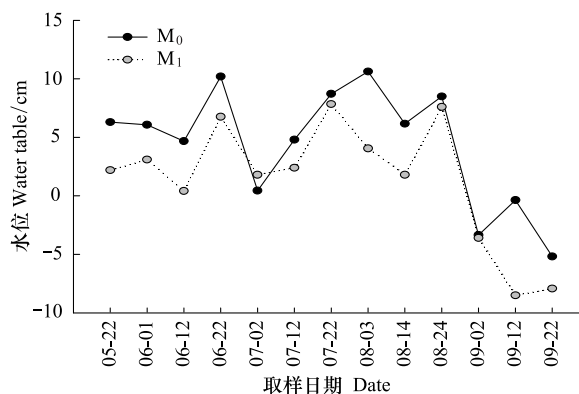


图2 火烧后毛赤杨沼泽水位的季节变化

Fig.2 Seasonal dynamics of water table of *Alnus sibirica* swamps disturbed by fire



土壤  $\text{CO}_2$  通量分别高出 20.4%、20.8%。

$M_1$  样地  $\text{CO}_2$  排放通量曲线与对照相似, 总体呈现随生长季延长而略有上升的趋势, 但呈现波动性较大趋势。春季排放量逐渐上升在 6 月下旬出现第一次小峰值, 8 月中旬出现排放峰值 ( $438.84 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )。  $M_1$  样地土壤  $\text{CO}_2$  生长季排放通量呈现出夏季 ( $313.440 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ; 较秋季分别高 31.8%、84.1%) > 秋季 ( $237.835 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ) > 春季 ( $170.212 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ) 的季节变化规律。

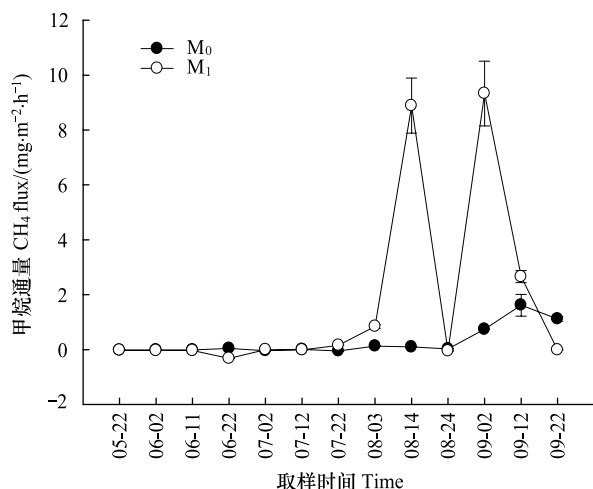


图3 毛赤杨沼泽  $\text{CH}_4$  排放通量的季节变化

Fig.3 Seasonal variations of  $\text{CH}_4$  flux of the *Alnus sibirica* swamp

$M_0$ : 对照 Control;  $M_1$ : 火烧 Burned

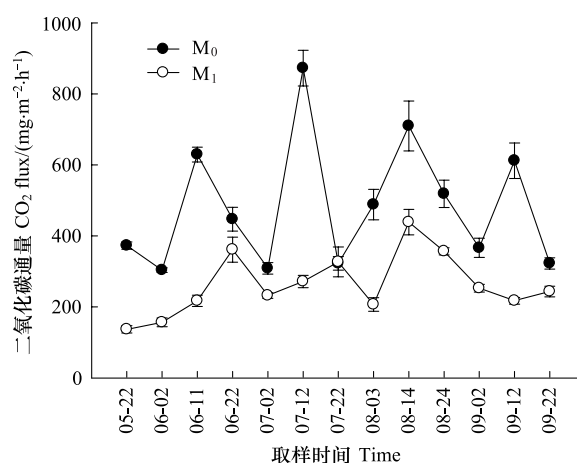


图4 毛赤杨沼泽  $\text{CO}_2$  排放通量的季节变化

Fig.4 Seasonal variations of  $\text{CO}_2$  flux of the *Alnus sibirica* swamp

$M_0$ : 对照 Control;  $M_1$ : 火烧 Burned

### 2.2.3 $\text{N}_2\text{O}$ 排放通量及其季节变化

火烧降低了毛赤杨沼泽生长季节  $\text{N}_2\text{O}$  排放通量 (图5)。  $M_0$  与  $M_1$  样地均排放  $\text{N}_2\text{O}$ , 其生长季节  $\text{N}_2\text{O}$  平均排放通量分别为 ( $41.9 \pm 73.78$ ,  $31.5 \pm 68.82$ )  $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ , 火烧使毛赤杨沼泽  $\text{N}_2\text{O}$  排放总体呈现随生长季延展而下降的趋势,  $M_1$  样地较  $M_0$  样地降低了 24.8%。经过配对样本  $t$  检验, 各样地间的差异性不显著。  $M_0$  样地  $\text{N}_2\text{O}$  排放通量曲线均呈单峰型 (图5), 对对照样地生长季之初  $\text{N}_2\text{O}$  排放速率下降, 6 月中旬出现排放峰值 ( $258.00 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ), 随后下降出现弱吸收 ( $-440.00 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ), 7 月直至生长季末,  $\text{N}_2\text{O}$  排放通量提高。  $M_0$  样地季节性排放规律呈春季 ( $135.30 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ) > 秋季 ( $32.00 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ) > 夏季 ( $6.00 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ );  $M_1$  样地  $\text{N}_2\text{O}$  排放通量在生长季初出现两次吸收现象, 后排放速率增加, 在 6 月中旬出现排放峰值 ( $205.00 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ), 之后下降保持较低的排放, 且在 8 月下旬与 9 月上旬出现两次吸收现象。  $M_1$  样地季节性排放规律呈春季 ( $51.90 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ) > 夏季 ( $33.40 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ) > 秋季 ( $6.50 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )。火干扰改变了毛赤杨  $\text{N}_2\text{O}$  排放通量季节性分布格局。

### 2.3 火烧对毛赤杨沼泽温室气体排放及环境因子的影响

毛赤杨对照与火烧样地  $\text{CH}_4$  排放通量与 15cm 土壤温度存在显著相关性 ( $P < 0.05$ ) 与水位相关性均不显著 (表1)。  $M_0$  样地土壤  $\text{CO}_2$  排放通量与 0, 5, 10, 15 cm 土壤温度呈显著 ( $P < 0.05$ ) 或极显著 ( $P < 0.01$ ) 正相

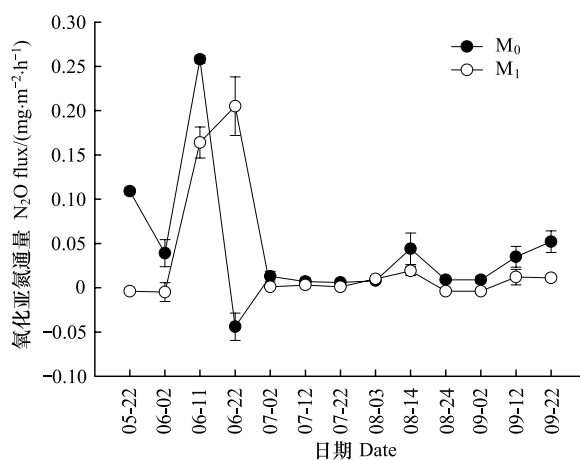


图5 毛赤杨沼泽  $\text{N}_2\text{O}$  排放通量的季节变化

Fig.5 Seasonal variations of  $\text{N}_2\text{O}$  flux of the *Alnus sibirica* swamp

关,  $M_1$  样地与 0—30 cm 土壤温度呈显著 ( $P<0.05$ ) 或极显著 ( $P<0.01$ ) 正相关。毛赤杨沼泽对照、火烧样地土壤  $CO_2$  排放通量与水位极显著负相关 ( $P<0.01$ )。可见, 土壤温度和地下水位是影响  $CO_2$  排放的主控因子, 并且火干扰提高了  $CO_2$  排放通量与深层土壤温度的相关性。火干扰对生长季  $N_2O$  排放环境因子的影响较小,  $N_2O$  排放通量与温度、水位相关性均不显著。

表 1 温室气体排放通量与温度、水位的相关关系

Table 1 Correlation between greenhouse fluxes with temperature and water table ( $n=13$ )

样地 Sites		水位 Water table	土壤温度 Soil temperature/°C						
			0	5	10	15	20	30	40
M0	CH <sub>4</sub>	-0.14	0.43	0.331	0.238	0.585 *	0.48	0.424	0.414
M1		0.186	0.198	0.259	0.269	0.519 *	0.272	0.244	0.393
M0	CO <sub>2</sub>	-0.887 **	0.629 **	0.714 **	0.650 **	0.563 *	0.461	0.249	-0.044
M1		-0.870 **	0.641 **	0.816 **	0.760 **	0.709 **	0.672 **	0.585 *	0.358
M0	N <sub>2</sub> O	-0.286	-0.364	-0.107	0.403	0.376	0.292	-0.008	-0.216
M1		0.051	-0.205	-0.036	0.005	0.041	0.046	0.068	0.145

\* \*  $P<0.01$ ; \*  $P<0.05$   $M_0$ :对照 Control;  $M_1$ :火烧 Burned

## 2.4 火烧对毛赤杨沼泽温室气体源/汇功能的影响

火烧提高了毛赤杨沼泽  $CH_4$  排放通量, 火烧样地排放通量是对照样地的 5.8 倍。火烧增强其排放源强度。毛赤杨沼泽火干扰前后均为  $CO_2$  排放源, 火烧样地  $CO_2$  排放源强度分别较对照地下降 45.5%, 可见, 火干扰削弱了各类型沼泽生长季节土壤  $CO_2$  的排放。毛赤杨沼泽火干扰前后均为  $N_2O$  排放源, 火干扰后排放源强度较对照地下降 24.8%, 火干扰削弱了毛赤杨沼泽生长季节  $N_2O$  的排放。

结合全球变暖潜势值<sup>[2]</sup>(global warming potential GWP),  $CO_2$ 、 $CH_4$  和  $N_2O$  的 GWP 值依次为 1、23 和 296。温室气体 GWP 值毛赤杨沼泽对照、火烧样地在生长季节(本实验生长季天数为 124 d), 温室效应贡献潜力依次为 5.845、3.312 t  $CO_2 \cdot hm^{-2} \cdot d^{-1}$ (表 2)。火干扰削弱了毛赤杨沼泽温室效应贡献潜力 43.34%。

表 2 火干扰前后温室气体生长季的排放量及 GWP 值

Table 2 Fluxes of greenhouse gases before and after fire during growth season and the GWP values

采样点 Sites	甲烷 CH <sub>4</sub>		二氧化碳 CO <sub>2</sub>		氧化亚氮 N <sub>2</sub> O	
	排放总量 Total flux	CH <sub>4</sub> -CO <sub>2</sub>	排放总量 Total flux	CH <sub>4</sub> -CO <sub>2</sub>	排放总量 Total flux	CH <sub>4</sub> -CO <sub>2</sub>
	/(kg·hm <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	/(t·hm <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	/(kg·hm <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	/(t·hm <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	/(kg·hm <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	/(t·hm <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )
M <sub>0</sub>	2.965	0.068	5.082	5.082	1.3	0.131
M <sub>1</sub>	17.350	0.399	2.769	2.769	0.977	0.098

## 3 讨论

### 3.1 火烧对毛赤杨沼泽生长季环境因子的影响

火干扰能影响或改变区域小气候<sup>[24-25]</sup>。毛赤杨沼泽样地经火烧干扰后空气、表层土壤温度提高, 水位下降。空气与地表平均温度提高幅度 2.52—4.88℃, 与 Amiro 等<sup>[26]</sup>试验中发现的结果接近(火灾迹地或者年轻立地的地表温度较成熟立地高 6℃)。主要原因是火烧改变了毛赤杨沼泽大气、植被、地表及土壤间的热平衡<sup>[20]</sup>。首先, 火烧区域林冠层被破坏或完全消失, 遮荫效果被移除<sup>[27]</sup>, 同时, 林中郁闭度的减小, 使得约 90% 的太阳辐射能透过冠层到达地表<sup>[28]</sup>, 表层土壤获得更多能量。其次, 火烧过程使地表的凋落物、草本(部分灌木)及有机层部分的被去除减少了由于蒸散发损失的能量, 使得更多的地表热量能传到土壤<sup>[20,9]</sup>; 同时生物燃烧残留的黑色灰烬对太阳辐射具有高吸收率和低反射率, 使得土壤温度提高。毛赤杨沼泽经火干扰后水位降低, 可能是与火烧后环境温度改变有关, 火灾过程增加了沼泽热量的输入, 促进了土壤、植被层蒸发和蒸散等水分交换过程, 因而出现了不同程度的水位下降。这与湿地垦殖或排水造林干扰提高土壤温度与降低水位的研究结论<sup>[28-30]</sup>基本一致。



### 3.2 火烧对毛赤杨沼泽生长季温室气体排放季节变化规律的影响

#### 3.2.1 火烧对 CH<sub>4</sub> 通量排放及季节变化的影响

从实验结果看,火烧未改变毛赤杨沼泽 CH<sub>4</sub> 排放季节分布格局,均呈现随生长季延长排放通量逐渐增大的趋势。整个生长季 M<sub>0</sub> 样地与 M<sub>1</sub> 样地均表现为 CH<sub>4</sub> 的源,春季均出现弱吸收现象,吸收速率接近(6.0、1.0 μg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>),这可能与火烧在一定程度上直接使土壤微生物致死,改变土壤菌落环境<sup>[31]</sup>有关;也可能是处于冻融末期与生长期过渡阶段,受多种因子的影响所致,因此,生长季初期 CH<sub>4</sub> 为弱吸收。随生长季延伸,排放峰值均出现在秋季,特别是 M<sub>1</sub> 样地在 8 月中旬和 9 月上旬出现爆发式排放,一方面轻度火烧可以提高群落生产力<sup>[32]</sup>,降低了群落竞争,从而促进草本植物的生长,经生长季积累、秋季凋落物的聚增,可利用的活性有机物增多,同时植物根系的分泌物又为甲烷古菌提供碳源,都增加了碳的输入<sup>[24,33]</sup>,火烧后灰分增加提高土壤水的 pH 值<sup>[34]</sup>,提供了产 CH<sub>4</sub> 菌适宜水环境;火烧后水中溶解有机碳和氨态氮含量的增加<sup>[11]</sup>,提供了 CH<sub>4</sub> 产生的底物,促进甲烷菌产生 CH<sub>4</sub>。另一方面夏季温度高,植物生长旺盛,有机物质的分解促进了还原过程,氧化还原电位降低,CH<sub>4</sub> 排放通量增加<sup>[7]</sup>;2009 年小兴安岭持续强度降雨导致 M<sub>0</sub> 与 M<sub>1</sub> 样地长期处于水淹状态(水位分别为 4.43、1.3 cm),水位与 CH<sub>4</sub> 的排放密切相关,它决定了湿地有氧和厌氧微生物过程在泥炭层中的分布<sup>[35]</sup>,当地表积水或地下水位较高时,产 CH<sub>4</sub> 菌活性及有机物质厌氧分解程度增强,CH<sub>4</sub> 排放增强。当火烧水位下降过程中,接近地表时可能存在 CH<sub>4</sub> 爆发的临界环境。上述因素可能是引起 M<sub>1</sub> 样地 CH<sub>4</sub> 的排放量猛增的原因(M<sub>1</sub> 样地是 M<sub>0</sub> 样地的 4.85 倍)。

#### 3.2.2 火烧对 CO<sub>2</sub> 通量排放及季节变化的影响

火烧改变了毛赤杨沼泽 CO<sub>2</sub> 生长季排放通量的季节分布格局且降低其排放强度。火烧与对照样地夏季排放通量高,M<sub>0</sub> 样地土壤 CO<sub>2</sub> 排在夏季最高、春秋两季相对较低;M<sub>1</sub> 样地仍以夏季最高,但秋季>春季。主要原因是春季火灾烧毁了大量的植被和地表凋落物,减少了反应底物,同时植物根系、土壤有机质、土壤微生物、土壤动物,也将不同程度的受到破坏或影响,抑制了土壤呼吸及碳物质的化学氧化作用<sup>[27]</sup>过程,使其春季土壤呼吸降低。大量观测结果表明,土壤排放通量的季节变化与地上生物量季节动态呈极显著正相关<sup>[36]</sup>,火烧去除了大量的植被,因而使得 CO<sub>2</sub> 排放通量降低;而凋落物又是影响土壤 CO<sub>2</sub> 释放通量的重要因素,Raich,吴雅琼等<sup>[37-38]</sup>发现土壤 CO<sub>2</sub> 释放通量随着凋落物量的增加而增加,森林生态系统年凋落物量与土壤 CO<sub>2</sub> 释放通量之间存在正相关关系。植被、土壤微生物经夏季的生长与恢复,至秋季植物根呼吸及微生物分解作用也得到加强,凋落物的积累增加反应底物,使得秋季土壤呼吸大于春季;从而在一定程度上改变了 CO<sub>2</sub> 生长季排放通量的季节分布格局。同时,由于火灾抑制了植物根系呼吸及微生物分解过程,使整个生长季节土壤 CO<sub>2</sub> 的排放减少。Richter 等<sup>[11]</sup>对阿拉斯加地区的研究也发现,火灾后区域的土壤呼吸大约是未干扰区域的 1/2。本研究毛赤杨沼泽湿地 CO<sub>2</sub> 生长季排放通量下降 45.5%,与之相吻合。

#### 3.2.3 火烧对 N<sub>2</sub>O 通量排放及季节变化的影响

火烧使毛赤杨沼泽 N<sub>2</sub>O 排放季节分布格局发生改变并降低其排放强度。原因是火烧改变了土壤 O<sub>2</sub> 供给状况,当 O<sub>2</sub> 供应充足时,硝化的最终产物是 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>,O<sub>2</sub> 供应过低或在厌氧环境下反硝化作用生成 N<sub>2</sub><sup>[39]</sup>。当土壤中 O<sub>2</sub> 的含量,恰好同时适宜硝化和反硝化过程产 N<sub>2</sub>O 这一条件,则会引起 N<sub>2</sub>O 的大量排放<sup>[40]</sup>。另一方面,火烧后土壤表层温度升高,土壤含水量降低<sup>[41]</sup>,pH 值增大,有利于土壤硝化和反硝化作用<sup>[42]</sup>。M<sub>1</sub> 样地夏季 N<sub>2</sub>O 排放通量高于秋季,原因可能为夏季降雨时,样地地表积水,天晴时地表积水消失但土壤保持湿润,这种干湿交替有利于 N<sub>2</sub>O 的产生和排放,导致了同时适宜硝化和反硝化过程的 O<sub>2</sub> 供应状况,因而引起 N<sub>2</sub>O 排放通量的增加。火烧毛赤杨沼泽湿 N<sub>2</sub>O 排放强度的降低,可能还与火烧后植被的恢复过程、微生物活性等方面有关,确切的影响机制尚有待探讨。

### 3.3 火烧对毛赤杨沼泽温室气体排放与环境因子关系的影响

火烧毛赤杨沼泽生长季 CH<sub>4</sub> 排放与环境因子关系较弱,仅与 15 cm 土壤温度呈显著相关。主要原因是 CH<sub>4</sub> 排放受环境因子影响显著。甲烷的分解一般经历生成、氧化与传输释放 3 个过程,整个过程均受温度的

影响<sup>[43]</sup>,因此,CH<sub>4</sub>排放可能与温度存在相关性。但以往的研究发现,CH<sub>4</sub>通量与任何一层土壤温度(或泥炭温度和水温)都无显著相关性<sup>[44-45]</sup>,只有当水位达到或接近地表时,温度才会成为CH<sub>4</sub>排放的主控制因子<sup>[46-47]</sup>。而整个生长季样地的平均水位都高于地表,所以,CH<sub>4</sub>排放与温度关系不显著。M<sub>0</sub>与M<sub>1</sub>生长季CH<sub>4</sub>排放与水位均无显著相关关系,与加拿大北方森林湿地实验结果一致,即单一样点或全部样点的甲烷排放通量与水位之间无相关性<sup>[48]</sup>,一方面可能是温度对甲烷的排放产生干扰,掩盖了水位与其之间的相关性,也可能是水位对CH<sub>4</sub>的排放具有滞后效应,只有经过一段时间后,才表现出对CH<sub>4</sub>生成和排放的影响<sup>[9]</sup>。

火烧毛赤杨沼泽生长季土壤CO<sub>2</sub>排放与温度和水位存在显著相关性。火干扰提高土壤CO<sub>2</sub>排放通量与土壤温度的相关性,M<sub>0</sub>与0—15cm土温极显著相关(与15cm显著相关),火烧后与0—30cm极显著(与30cm显著相关),但相关性随土壤深度降低。原因可能是由于火烧打破了大气、植被、地表凋落物和土壤之间的水热平衡,改变了土壤的水热分布状况<sup>[41, 39]</sup>,同时,微生物异养呼吸和植物根系呼吸产生的CO<sub>2</sub>主要也受土壤温度和湿度控制<sup>[42, 49]</sup>。本研究中毛赤杨火烧样地水位相对较高,抑制了根系呼吸和微生物的分解作用。研究表明,在一定的水分含量范围内,CO<sub>2</sub>释放量与水分含量呈极显著相关<sup>[50]</sup>。在北方湿地研究中,发现CO<sub>2</sub>排放通量与水位存在正相关关系。但多数研究表明水位与CO<sub>2</sub>排放通量呈负相关。Freeman C等对泥炭地温室气体通量研究表明,水位高度是其主要影响因子,CO<sub>2</sub>通量与水位高度呈强烈的负相关<sup>[51]</sup>,本研究与上述结论相一致。

火烧毛赤杨沼泽生长季N<sub>2</sub>O排放环境因子的影响较弱,与各层土壤温度和水位均无明显相关性。原因可能是N<sub>2</sub>O由硝化作用和反硝化作用耦合产生,同时受到土壤有机质、pH、土壤温度和湿地、矿质态氮含量影响。火干扰不仅改变植被群落的林相结构,同时也改变了土壤的物理(温度、湿度)<sup>[9-10, 52]</sup>及生物特性,从而对温室气体的排放产生影响。可见,N<sub>2</sub>O的产生和排放受外界环境及湿地类型等诸多因素的影响与制约,因此,湿地中N<sub>2</sub>O通量的排放表现出很强的时空变异性<sup>[53]</sup>。

#### 4 结论

火烧提高了小兴安岭毛赤杨沼泽生长季空气及各层土壤温度,降低其土壤水位。火烧干扰使温度提高了2.5—5.0℃,水位下降0.24—6.36cm。

火烧改变了毛赤杨沼泽生长季温室气体排放通量的分布格局。M<sub>0</sub>与M<sub>1</sub>样地CH<sub>4</sub>排放通量季节分布格局未发生改变,均呈现春季弱吸收、夏季和秋季排放,且排放通量夏季<秋季<春季。M<sub>0</sub>样地土壤CO<sub>2</sub>排放通量呈现夏季>春秋>秋季,火烧使之转化为夏季>秋季>春季;M<sub>0</sub>样地N<sub>2</sub>O排放通量春季>秋季>夏季,M<sub>1</sub>样地N<sub>2</sub>O排放通量春季>夏季>秋季。

火烧干扰增强了毛赤杨沼泽生长季CO<sub>2</sub>排放通量与温度因子的相关关系,而CH<sub>4</sub>排放通量仅与15cm土壤温度存在显著相关性,N<sub>2</sub>O排放通量与温度、水位相关性均不显著。

经火烧后,除CH<sub>4</sub>排放增强,CO<sub>2</sub>和N<sub>2</sub>O的排放均被削弱。分别较对照地下降了45.5%、24.8%。火烧削弱了毛赤杨沼泽温室气体全球变暖潜势值43.34%。火干扰对碳循环的影响是一个复杂的过程,既包括短期的直接影响,也有长期的间接影响。因此,要全面准确了解火烧干扰对森林温室气体排放通量的影响需要长期、持续、深入的观测与研究。

#### References:

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change // Solomo S D, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K B, Tignor M, Miller H L. Climate Change in 2007: The Physical Science Basis. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [2] Valentini R, Matteucci G, Dolman A J, Schulze E D, Rebmann C, Moors E J, Granier A, Gross P, Jensen N O, Pilegaard K, Lindroth A, Grelle A, Bernhofer C, Grünwald T, Aubinet M, Ceulemans R, Kowalski A S, Vesala T, Rannik Ü, Berbigier P, Loustau D, Guðmundsson J, Thorgeirsson H, Ibrom A, Morgenstern K, Clement R, Moncrieff J, Montagnani L, Minerbi S, Jarvis P G. Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests. *Nature*, 2000, 404(6780): 861-865.
- [3] Song C C, Zhang L H, Wang Y Y, Zhao Z C. Annual dynamics of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O emissions from freshwater marshes and affected by nitrogen

- fertilization. Chinese Journal of Environmental Science, 2006, 27(12): 2369-2375.
- [4] Bubier J L, Bhatia G, Moore T R, Roulet N T, Lafleur P M. Spatial and temporal variability in growing-season net ecosystem carbon dioxide exchange at a large Peatland in Ontario, Canada. Ecosystems, 2003, 6(4): 353-367.
- [5] Alm J, Schulman L, Walden J, Nykänen H, Martikainen P J, Silvola J. Carbon balance of a boreal bog during a year with an exceptionally dry summer. Ecology, 1999, 80(1): 161-174.
- [6] Baron J S, Hartman M D, Band L E, Lammers R B. Sensitivity of a high-elevation rocky mountain watershed to altered climate and CO<sub>2</sub>. Water Resources Research, 2000, 36(1): 89-99.
- [7] Alongi D M, Trott L A, Pfitzner J. Deposition, mineralization, and storage of carbon and nitrogen in sediments of the far northern and northern Great Barrier Reef shelf. Continental Shelf Research, 2007, 27(20): 2595-2622.
- [8] Whitting G J, Chanton J P. Greenhouse carbon balance of wetlands: Methane emission versus carbon sequestration. Tellus, 2001, 53(5): 521-528.
- [9] O'Neill K P, Kasischke E S, Richter D D. Seasonal and decadal patterns of soil carbon uptake and emission along an age sequence of burned black spruce stands in interior Alaska. Journal of Geophysical Research, 2003, 108: 8155-8170.
- [10] Kasischke E S, French N H F. Constraints on using AVHRR composite index imagery to study patterns of vegetation cover in boreal forests. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(11): 2403-2426.
- [11] Richter D D, O'Neil K P, Kasischke E S. Postfire stimulation of microbial decomposition in black spruce (*Picea mariana* L.) forest soils: a hypothesis // Kasischke E S, Stocks B J, eds. Fire, Climate Change and Carbon Cycling in North American Boreal Forests, Ecological Studies Series. New York: Springer, 2000: 197-213.
- [12] Sawamoto T, Hatano R, Yajima T, Takahashi K, Isaev A P. Soil respiration in Siberian taiga ecosystems with different histories of forest fire. Soil Science and Plant Nutrition, 2000, 46(1): 31-42.
- [13] Hicke J A, Asner G P, Kasischke E S, French N H F, Randerson J T, James C G, Stocks B J, Tucker C J, Los S O, Field C B. Postfire response of North American boreal forest net primary productivity analyzed with satellite observations. Global Change Biology, 2003, 9(8): 1145-1157.
- [14] Rapalee G, Trumbore S E, Davidson E A, Harden J W, Veldhuis H. Soil carbon stocks and their rates of accumulation and loss in a boreal forest landscape. Global Biogeochemical Cycles, 1998, 12(4): 687-701.
- [15] Lang H Q. Chinese Wetlands Vegetations. Beijing: Science Press, 1999: 35-74.
- [16] Zhao K Y, Zhang W F, Zhou Y W, Yang Y X. Effects of Fire in Great Xing'an Mountains on Environment and the Strategies. Beijing: Science Press, 1994.
- [17] Zhao H M, Yu X F, Wang J, Wang G P. Effects of fire on wetland ecosystems-a review. Advances in Earth Science, 2010, 25(4): 374-380.
- [18] Shang L N, Wu Z F, Yang Q, Jiang M, Liu J P. The effects of fire on the nutrient status of wetland soil in Sanjiang plain. Wetland Science, 2004, 2(1): 54-60.
- [19] Qiu Y, Li Z D, Zhang Y J, Xu H C, Yu R Y. The effects of fire disturbance on the biodiversity of understory plant in virgin forest, northern region of Daxinganling Mountains, China. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 2863-2869.
- [20] Mu C C, Zhang B W, Han L D, Yu L L, Gu H. Short-term effects of fire disturbance on greenhouse gases emission from *Betula platyphylla*-forested wetland in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(4): 857-865.
- [21] Yu L L, Mu C C, Gu H, Zhang B W. Effects of fire disturbance on greenhouse gas emission from *Larix gmelinii*-*Carex schmidtii* forested wetlands in XiaoXing'an Mountains, Northeast China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(18): 5180-5191.
- [22] Wang Y S, Liu G R, Wang Y H, Sun Y, Xue M. Simultaneous measurement of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emission from terrestrial ecosystem with one improved gas chromatography. Techniques and Equipment For Environmental Pollution Control, 2003, 4(10): 84-90.
- [23] Wang Y S. Chamber methods for measuring carbon exchange // Chen P Q, ed. Carbon Circling in Earth System. Beijing: Science Press, 2004: 130-145.
- [24] Chen L D, Fu B J. Ecological significance, characteristics and types of disturbance. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(4): 581-586.
- [25] Zhang X, Chui Y C, Zhu J, Pan D Q, Yang C H, Chen J, Wu P. Influence of fire on stands of *Pinus massoniana* in a karst mountain area of central Guizhou province. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(21): 6442-6450.
- [26] Amiro B D, MacPherson J I, Desjardins R L. BOREAS flight measurements of forest-fire effects on carbon dioxide and energy fluxes. Agricultural and Forest Meteorology, 1999, 96(4): 199-208.
- [27] Kasischke E S, Christensen N L Jr, Stocks B J. Fire, global warming, and the carbon balance of boreal forests. Ecological Applications, 1995, 5(2): 437-451.
- [28] Singh J S, Gupta S R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. The Botanical Review, 1977, 43(4): 449-529.
- [29] Luo J, Tillman R W, Ball P R. Factors regulating denitrification in a soil under pasture. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31(6): 913-927.
- [30] Feng K, Yin S X. Factors affecting N<sub>2</sub>O formation and emission from soils. Progress in Soil Science, 1995, 23(6): 35-42.
- [31] Xu Y H, Zhang T, Li Z, Xu J H, Mao P H, Jin X, Lou K. Rapid response of shrubbery soil archaeal communities to surface wildfire. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(24): 6804-6811.
- [32] Norton D A, de Lange P J. Fire and vegetation in a temperate peat bog: implications for the management of threatened species. Conservation Biology, 2003, 17(1): 138-148.
- [33] Kang H, Freeman C. The influence of hydrochemistry on methane emissions from two contrasting northern wetlands. Water, Air, and Soil Pollution, 2002, 141(1/4): 263-272.
- [34] Christensen N L. The effect of fire on physical and chemical properties of soil in Mediterranean climate shrubland // Moreno J M, Oechel W C, eds. The Role of Fire in Mediterranean-Type Ecosystems. New York: Springer, 1994: 79-95.
- [35] Liikanen A, Huttunen J T, Karjalainen S M, Heikkinen K, Vaisanen T S, Nykänen H, Martikainen P J. Temporal and seasonal changes in



- greenhouse gas emissions from a constructed wetland purifying peat mining runoff waters. *Ecological Engineering*, 2006, 26(3): 241-251.
- [36] Elberling B, Brandt K K. Uncoupling of microbial CO<sub>2</sub> production and release in frozen soil and its implications for field studies of arctic C cycling. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35(2): 263-272.
- [37] Raich J W, Nadelhoffer K J. Belowground carbon allocation in forest ecosystems: Global trends. *Ecology*, 1989, 70(5): 1346-1354.
- [38] Wu Y Q, Liu G H, Fu B J, Guo Y H. Soil CO<sub>2</sub> efflux of forest ecosystem in China: distribution and controlling factors. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 2126-2135.
- [39] Ogée J, Brunet Y. A forest floor model for heat and moisture including a litter layer. *Journal of Hydrology*, 2002, 255(1/4): 212-233.
- [40] Zheng X H, Wang M X, Wang Y S, Shen R X, Shanguan H J, Kogge M, Heyer J, Papen H, Jin X S, Li L T. CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from rice paddy fields in southeast China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1997, 21(2): 231-237.
- [41] Sharrow S H, Wright H A. Effects of fire, ash, and litter on soil nitrate, temperature, moisture and tobosa grass production in the Rolling Plains. *Journal of Range Management*, 1997, 30(4): 266-270.
- [42] Robertson G P. Nitrification and denitrification in humid tropical ecosystems: Potential controls on nitrogen retention // Proctor J, ed. *Mineral Nutrients in Tropical Forest and Savanna Ecosystems*. Oxford: Blackwell Scientific, 1989: 55-69.
- [43] Sillasoo Ü, Mauquoy D, Blundell A, Charman D, Blaauw M, Daniell J R G, Toms P, Newberry J, Chambers F M, Karofeld E. Peat multi-proxy data from Männikjärve bog as indicators of Late Holocene climate changes in Estonia. *Boreas*, 2007, 36: 20-37.
- [44] Song C C, Yan B X, Wang Y S, Wang Y Y, Lou Y J, Zhao Z C. Fluxes of carbon dioxide and methane from swamp and impact factors in Sangjiang Plain, China. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(24): 2749-2753.
- [45] Morrissey L A, Livingston G P. Methane emissions from Alaska Arctic Tundra: An assessment of local spatial variability. *Journal of Geophysical Research*, 1992, 97(D15): 16661-16670.
- [46] Moore T R, Knowles R. Methane emissions from fen, bog and swamp peatlands in Quebec. *Biogeochemistry*, 1990, 11(1): 45-61.
- [47] Sun X X, Mu C C, Shi L Y, Cheng W, Liu X, Wu Y X, Feng D J. Methane emission from forested swamps in Xiaoxing'an Mountains, Northeastern China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(3): 535-545.
- [48] Rask H, Schoenau J, Anderson D. Factors influencing methane flux from a boreal forest wetland in Saskatchewan, Canada. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(4): 435-443.
- [49] Bartlett K B, Crill P M, Sass R L, Harriss R C, Dise N B. Methane emissions from tundra environments in the Yukon-Kuskokwim delta, Alaska. *Journal of Geophysical Research*, 1992, 97(D15): 16645-16660.
- [50] Chimner R A, Cooper D J. Influence of water table levels on CO<sub>2</sub> emissions in a Colorado subalpine fen: an in situ microcosm study. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35(3): 345-351.
- [51] Freeman C, Lock M A, Reynolds B. Flux of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from a Welsh peatland following simulation of water table draw-down: Potential feedback to climatic change. *Biogeochemistry*, 1993, 19(1): 51-60.
- [52] Andersson M, Michelsen A, Jensen M, Kjeller A. Tropical savannah woodland: effects of experimental fire on soil microorganisms and soil emissions of carbon dioxide. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36(5): 849-858.
- [53] Groffmann P M, Brumme R, Butterbach-Bahl K, Dobbie K E, Mosier A R, Ojima D, Papen H, Parton W J, Smith K A, Wagner-Riddle C. Evaluating annual nitrous oxide fluxes at the ecosystem scale. *Global Biogeochemical Cycles*, 2000, 14(4): 1061-1070.

#### 参考文献:

- [3] 宋长春, 张丽华, 王毅勇, 赵志春. 淡水沼泽湿地 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放通量年际变化及其对氮输入的响应. *环境科学*, 2006, 27(12): 2369-2375.
- [15] 郎惠卿. 中国湿地植被. 北京: 科学出版社, 1999: 35-74.
- [16] 赵魁义, 张文芬, 周幼吾, 杨永兴. 大兴安岭森林火灾对环境的影响与对策. 北京: 科学出版社, 1994.
- [17] 赵红梅, 于晓菲, 王健, 王国平. 火烧对湿地生态系统影响研究进展. *地球科学进展*, 2010, 25(4): 374-380.
- [18] 商丽娜, 吴正方, 杨青, 姜明, 刘吉平. 火烧对三江平原湿地土壤养分状况的影响. *湿地科学*, 2004, 2(1): 54-60.
- [19] 邱扬, 李湛东, 张玉钧, 徐化成, 于汝元. 火干扰对大兴安岭北部原始林下层植物多样性的影响. *生态学报*, 2006, 26(9): 2863-2869.
- [20] 牟长城, 张博文, 韩丽冬, 于丽丽, 顾韩. 火干扰对小兴安岭白桦沼泽温室气体排放的短期影响. *生态学报*, 2011, 22(4): 857-865.
- [21] 于丽丽, 牟长城, 顾韩, 张博文. 火干扰对小兴安岭落叶松-苔草沼泽温室气体排放的影响. *生态学报*, 2011, 31(18): 5180-5191.
- [22] 王跃思, 刘广仁, 王迎红, 孙杨, 薛敏. 一台气相色谱仪同时测定陆地生态系统 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放. *环境污染治理技术与设备*, 2003, 4(10): 84-90.
- [23] 王跃思. 碳交换的箱法测定 // 陈泮勤, 主编. *地球系统碳循环*. 北京: 科学出版社, 2004: 130-145.
- [24] 陈利顶, 傅伯杰. 干扰的类型、特征及其生态学意义. *生态学报*, 2000, 20(4): 581-586.
- [25] 张喜, 崔迎春, 朱军, 潘德权, 杨春华, 陈骏, 吴鹏. 火烧对黔中喀斯特山地马尾松林分的影响. *生态学报*, 2011, 31(21): 6442-6450.
- [30] 封克, 殷士学. 影响氧化亚氮形成与排放的土壤因素. *土壤学进展*, 1995, 23(6): 35-42.
- [31] 徐赢华, 张涛, 李智, 徐建华, 毛培宏, 金湘, 娄恺. 灌木林土壤古菌群落结构对地表野火的快速响应. *生态学报*, 2010, 30(24): 6804-6811.
- [38] 吴雅琼, 刘国华, 傅伯杰, 郭玉华. 中国森林生态系统土壤 CO<sub>2</sub> 释放分布规律及其影响因. *生态学报*, 2007, 27(5): 2126-2135.
- [44] 宋长春, 阎百兴, 王跃思, 王毅勇, 姜彦景, 赵志春. 三江平原沼泽湿地 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 通量及影响因子. *科学通报*, 2003, 48(23): 2473-2477.
- [47] 孙晓新, 牟长城, 石兰英, 程伟, 刘霞, 吴云霞, 冯登军. 小兴安岭森林沼泽甲烷排放及其影响因子. *植物生态学报*, 2009, 33(3): 535-545.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 24 December, 2012 (Semimonthly)

## CONTENTS

A bibliometric study of biodiversity research in China .....	LIU Aiyuan, GUO Yuqing, LI Shiyong, et al (7635)
Effects of elevated CO <sub>2</sub> and nitrogen deposition on leaf nutrient quality of <i>Fargesia rufa</i> Yi .....	..... ZHOU Xianrong, WANG Jianhua, ZHANG Hong, et al (7644)
Airborne pollen assemblages and their relationships with climate factors in the central Shaanxi Province of the Loess Plateau: a case in Xiaheimugou, Luochuan County .....	LÜ Suqing, LI Yuecong, XU Qinghai, et al (7654)
Spatial and temporal change in ecological assets in the Yangtze River Delta of China 1995—2007 .....	..... XU Xibao, CHEN Shuang, YANG Guishan (7667)
Evaluation and optimization of woodland ecological patterns for Qingdao based on the agent-based model .....	..... FU Qiang, MAO Feng, WANG Tianqing, et al (7676)
Interactive mechanism of service function of alpine rangeland ecosystems in Qinghai-Tibetan Plateau .....	..... LIU Xingyuan, LONG Ruijun, SHANG Zhanhuan (7688)
Preliminary evaluation of air temperature reduction of urban green spaces in Beijing .....	..... ZHANG Biao, GAO Jixi, XIE Gaodi, et al (7698)
Resources metabolism analysis for the pulp and paper industry in Wuhan, China .....	..... SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, ZHAO Linjia, et al (7706)
The characteristics and influential factors of direct carbon emissions from residential energy consumption: a case study of Lijiang City, China .....	WANG Danyin, TANG Mingfang, REN Yin, et al (7716)
Spatial targeting of payments for ecosystem services Based on SWAT Model and cost-benefit analysis .....	..... SONG Xiaoyu, LIU Yuqing, DENG Xiaohong, et al (7722)
The wind tunnel test of plastic greenhouse and its surface wind pressure patterns .....	..... YANG Zaiqiang, ZHANG Bo, XUE Xiaoping, et al (7730)
Population quantitative characteristics and dynamics of rare and endangered plant <i>Davidia involucrata</i> in Hunan Province .....	..... LIU Haiyang, JIN Xiaoling, SHEN Shouyun, et al (7738)
Phenotypic diversity in populations of germplasm resources of <i>Rodgersia sambucifolia</i> and related species .....	..... LI Pingping, MENG Hengling, CHEN Junwen, et al (7747)
Effects of sand burial and seed size on seed germination, seedling emergence and growth of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. (Fabaceae) ...	..... YANG Huiling, LIANG Zhenlei, ZHU Xuanwei, et al (7757)
Population-keeping mechanism of the parasitoid <i>Dastarcus helophoroides</i> (Coleoptera: Bothrideridae) of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) in oak forest .....	YANG Zhongqi, TANG Yanlong, JIANG Jing, et al (7764)
Study of mingling based on neighborhood spatial permutation .....	LOU Minghua, TANG Mengping, QIU Jianxi, et al (7774)
Comparison of three regression analysis methods for application to LAI inversion using Hyperion data .....	..... SUN Hua, JU Hongbo, ZHANG Huaiqing, et al (7781)
Response of seed germination and seedling growth of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Quercus mongolica</i> to comprehensive action of warming and precipitation .....	ZHAO Juan, SONG Yuan, SUN Tao, et al (7791)
Impacts of water stored in sapwood <i>Populus bolleana</i> on its sap flux .....	DANG Hongzhong, LI Wei, ZHANG Youyan, et al (7801)
Dynamics of greenhouse gases emission and its impact factors by fire disturbance from <i>Alnus sibirica</i> forested wetland in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China .....	GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen (7808)
Different tide status and salinity alter stoichiometry characteristics of mangrove <i>Kandelia candel</i> seedlings .....	..... LIU Biner, LIAO Baowen, FANG Zhanqiang (7818)
Effects of shrub encroachment in desert grassland on runoff and the induced nitrogen loss in southeast fringe of Tengger Desert .....	..... LI Xiaojun, GAO Yongping (7828)
Community structure and throughfall erosivity characters of artificial rainforest in Xishuangbanna .....	..... DENG Yun, [TANG Yanlin], CAO Min, et al (7836)
Temporal-spatial variations of net ecosystem productivity in alpine area of southwestern China .....	..... PANG Rui, GU Fengxue, ZHANG Yuandong, et al (7844)

Relationships between chemical compositions of <i>Quercus</i> species seeds and climatic factors in temperate zone of NSTEC .....	LI Dongsheng, SHI Zuomin, LIU Shirong, et al (7857)
Effects of simulated acid rain stress on the PS II reaction center and free radical metabolism in leaves of longan .....	LI Yongyu, PAN Tengfei, YU Dong, et al (7866)
Assessment of organic pollution for surface soil in Shenyang suburbs .....	CUI Jian, DU Jizhong, MA Hongwei, et al (7874)
The impact of rainfall on soil respiration in a rain-fed maize cropland .....	GAO Xiang, HAO Weiping, GU Fengxue, et al (7883)
Effects of winter crops on enzyme activity and morphological characteristics of root in subsequent rice crops .....	YU Tianyi, PANG Huancheng, REN Tianzhi, et al (7894)
Dynamic changes of soil moisture and nitrate nitrogen in wheat and maize intercropping field under different nitrogen supply .....	YANG Ruiju, CHAI Shouxi, MA Zhongming (7905)
Characteristics of the bird diversity and the impact factors in Weishan Lake .....	YANG Yuewei, LI Jiuen (7913)
The effect of cropping landscapes on the population dynamics of the cotton bollworm <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera, Noctuidae) in the northern Xinjiang .....	LU Zhaozhi, PAN Weilin, ZHANG Xin, et al (7925)
The seasonal variations of nitrogen and phosphorus release and its fluxes from the sediments of the Beili Lake in the Hangzhou West Lake .....	LIU Jingjing, DONG Chunying, SONG Yingqi, et al (7932)
Optimization of lake model salmo based on real-coded genetic algorithm .....	GUO Jing, CHEN Qiuwen, ZHANG Xiaoqing, et al (7940)
The influence of climatic environmental factors and fishing pressure on changes of hairtail catches in the northern South China Sea .....	WANG Yuezhong, SUN Dianrong, CHEN Zuozhi, et al (7948)
Seasonal and spatial distribution of acid volatile sulfide in sediment under different mariculture types in Nansha Bay, China .....	YAN Tingru, JIAO Haifeng, MAO Yuze, et al (7958)
<b>Review and Monograph</b>	
Research progress on the mechanism of improving plant cold hardiness .....	XU Chengxiang (7966)
Influences of vegetation on permafrost: a review .....	CHANG Xiaoli, JIN Huijun, WANG Yongping, et al (7981)
Home-field advantage of litter decomposition and its soil biological driving mechanism: a review .....	ZHA Tonggang, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (7991)
Research progress on the relationship of pollutants between road-deposited sediments and its washoff .....	ZHAO Hongtao, LI Xuyong, YIN Chengqing (8001)



# 《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 24 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 24 (December, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元