

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 17 期 Vol.33 No.17 **2013**

中国生态学会
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 17 期 2013 年 9 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 植物角质层蜡质的化学组成研究综述 曾 琼, 刘德春, 刘 勇 (5133)
- 中国滨海盐沼湿地碳收支与碳循环过程研究进展 曹 磊, 宋金明, 李学刚, 等 (5141)

个体与基础生态

- 秸秆隔层对盐碱土水盐运移及食葵光合特性的影响 赵永敢, 逢焕成, 李玉义, 等 (5153)
- 盐地碱蓬二型性种子及其幼苗对盐渍环境的适应性 刘 艳, 周家超, 张晓东, 等 (5162)
- 不同抗旱性花生品种的根系形态发育及其对干旱胁迫的响应 丁 红, 张智猛, 戴良香, 等 (5169)
- 夏季苹果新梢生理指标与抗苹果绵蚜的关系 王西存, 周洪旭, 于 毅, 等 (5177)
- 花期海蓬子对盐胁迫的生理响应 刘伟成, 郑春芳, 陈 琛, 等 (5184)
- 白蜡多年卧孔菌生物学特性及驯化栽培 鲁 铁, 图力古尔 (5194)
- 重度火烧迹地微地形对土壤微生物特性的影响——以坡度和坡向为例
..... 白爱芹, 傅伯杰, 曲来叶, 等 (5201)
- 秸秆还田与施肥对稻田土壤微生物生物量及固氮菌群落结构的影响 刘骁蓓, 涂仕华, 孙锡发, 等 (5210)
- 大穗型小麦叶片性状、养分含量及氮素分配特征 王丽芳, 王德轩, 上官周平 (5219)
- 复合不育剂 EP-1 对小鼠空间记忆与焦虑行为的影响 王晓佳, 秦婷婷, 胡 霞, 等 (5228)

种群、群落和生态系统

- 小兴安岭阔叶红松混交林林隙特征 刘少冲, 王敬华, 段文标, 等 (5234)
- 高寒矮嵩草群落退化演替系列氮、磷生态化学计量学特征 林 丽, 李以康, 张法伟, 等 (5245)
- 中亚热带人工针叶林生态系统碳通量拆分差异分析 黄 昆, 王绍强, 王辉民, 等 (5252)
- 高寒山区一年生混播牧草生态位对密度的响应 赵成章, 张 静, 盛亚萍 (5266)
- 乳山近海大型底栖动物功能摄食类群 彭松耀, 李新正 (5274)

景观、区域和全球生态

- 采伐干扰对大兴安岭落叶松-苔草沼泽植被碳储量的影响 牟长城, 卢慧翠, 包 旭, 等 (5286)
- 西南喀斯特地区轮作旱地土壤 CO₂ 通量 房 彬, 李心清, 程建中, 等 (5299)
- 干湿季节下基于遥感和电磁感应技术的塔里木盆地北缘绿洲土壤盐分的空间变异性
..... 姚 远, 丁建丽, 雷 磊, 等 (5308)
- 东北温带次生林和落叶松人工林土壤 CH₄ 吸收和 N₂O 排放通量 孙海龙, 张彦东, 吴世义 (5320)
- 新疆东部天山蝶类多样性及其垂直分布 张 鑫, 胡红英, 吕昭智 (5329)
- 玉米农田空气动力学参数动态及其与影响因子的关系 蔡 福, 周广胜, 明惠青, 等 (5339)

天山北坡家庭牧场复合系统对极端气候的响应过程..... 李西良,侯向阳,丁 勇,等 (5353)

大城市边缘区景观破碎化空间异质性——以北京市顺义区为例..... 李 灿,张凤荣,朱泰峰,等 (5363)

资源与产业生态

基于 GLBM 模型的中国大陆阿根廷滑柔鱼鱿钓渔业 CPUE 标准化 陆化杰,陈新军,曹 杰 (5375)

三峡库区古夫河水质时空分异特征..... 冉桂花,葛继稳,苗文杰,等 (5385)

城乡与社会生态

汉、藏、回族地区农户的环境影响——以甘肃省张掖市、甘南藏族自治州、临夏回族自治州为例.....

..... 赵雪雁,毛笑文 (5397)

研究简报

中国近海浮游动物群落结构及季节变化..... 杜明敏,刘镇盛,王春生,等 (5407)

海洋污染物对菲律宾蛤仔的免疫毒性..... 丁鉴锋,闫喜武,赵力强,等 (5419)

衰亡期沉水植物对水和沉积物磷迁移的影响..... 王立志,王国祥 (5426)

伊洛河流域外来草本植物分布格局..... 郭屹立,丁圣彦,苏 思,等 (5438)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-09



封面图说: 帽儿山次生林林相——帽儿山属于长白山山脉的张广才岭西坡,松花江南岸支流阿什河的上游,最高海拔 805m,由侏罗纪中酸性火山岩构成,是哈尔滨市附近的最高峰,因其貌似冠状而得名。东北林业大学于 1958 年在此建立了实验林场。山上生长着松树、榆树、杨树及各种灌木等,栖息着山鸡、野兔等野生动物,在茂密的草地上还生长有各种蘑菇。其地带性植被为温带针阔混交林,目前状况为天然次生林。部分地方次生林转变为落叶松人工林后,落叶松林地的凋落物层影响了林地土壤水分的格局。

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/stxb201204110509

白爱芹, 傅伯杰, 曲来叶, 王森, 孙家宝. 重度火烧迹地微地形对土壤微生物特性的影响——以坡度和坡向为例. 生态学报, 2013, 33(17): 5201-5209.

Bai A Q, Fu B J, Qu L Y, Wang M, Sun J B. The study of characteristics of soil microbial communities at high severity burned forest sites for the Great Xingan Mountains: an example of slope and aspect. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(17): 5201-5209.

重度火烧迹地微地形对土壤微生物特性的影响 ——以坡度和坡向为例

白爱芹^{1,2}, 傅伯杰¹, 曲来叶^{1,*}, 王 森^{1,2}, 孙家宝³

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 黑龙江省森林保护研究所 154000)

摘要:通过对大兴安岭重度火烧迹地不同坡度和坡向的土壤微生物群落进行调查,旨在揭示重度火烧迹地过火 6a 后森林恢复过程土壤微生物群落的变化规律与影响因素。研究表明:平地土壤微生物生物量碳含量(MBC)和土壤微生物生物量碳氮比(MBC/MBN)均高于坡地,其中 MBC/MBN 达到差异极显著水平。平地土壤微生物的代谢活性 AWCD 值、对 31 种 4 类碳源(糖类、脂类、氨基酸、代谢物)的利用能力和 Shannon-Winner 多样性指数(H')均极显著低于坡地。西坡土壤微生物 AWCD 值和 H' 高于南坡,但 AWCD 和 H' 与土壤养分、pH 值、EC 无显著相关关系,说明坡向可能与土壤微生物代谢活性和多样性的关系并不密切,反映了两坡向土壤微生物群落结构的相似性。坡度由于影响了土壤养分和水分条件,进而影响了土壤微生物的生物量、群落结构、物种多样性和碳源利用能力。火烧迹地恢复初期平地土壤微生物量碳高于坡地,西坡高于南坡;恢复 6a 后,土壤微生物量碳的差异已不显著,但土壤微生物群落结构、物种多样性以及代谢特性仍具有显著差异,这可能与地形坡度仍然显著影响土壤水分含量的因素有关。

关键词:土壤微生物; 重度火烧迹地; 植被恢复; 大兴安岭; 坡度; 坡向

The study of characteristics of soil microbial communities at high severity burned forest sites for the Great Xingan Mountains: an example of slope and aspect

BAI Aiqin^{1,2}, FU Bojie¹, QU Laiye^{1,*}, WANG Miao^{1,2}, SUN Jiabao³

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Research Institute of Forest Conservation of Heilongjiang, Harbin 154000, China

Abstract: It is well known that the Great Xingan Mountain forest region is one of the most important parts of the northeast forest region. Not only does it serve as an important resource for lumber, it also is an important ecological regulator that keeps balance in this area. Fires are common disturbances in this area. Severe fires can cause enormous losses, and can significantly change the structure of the forest ecosystem and disturb its succession process. In order to help the forest recover from such disturbances, it is necessary to study the restoration of soil quality, which can directly affect the forest restoration process. Soil microorganisms, which are common residents in soil, can interact with soil environment during the process of soil quality restoration. They are very sensitive to the changes in soil quality, thus serving as very useful

基金项目:国家自然科学基金项目(30700639);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-T13);教育部留学回国人员科研启动基金(教外司留[2009]1001号)

收稿日期:2012-04-11; 修订日期:2013-05-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lyqu@rcees.ac.cn

indicators of soil quality. Among many environmental factors, topographic factors, such as slope and aspect, are very important to the restoration of forest soil quality. They affect the distribution of other environmental factors (such as light, heat, water, soil, etc.), and further affect ecological processes in various degrees. In this study we focused on the response of microbial populations to changes in the soil environment of different topographic factors (such as slope and aspect) in recently severe burned areas in the Great Xingan Mountain, where the restoration was at the early regeneration stage. The purpose of this study was to examine the effects of slope and aspect on soil microbial biomass distribution, soil microbial community structure, and soil microbial functional diversity in these areas.

Soil samples were collected from severely burned forest sites (2003 fires) with different slopes and aspects. Standard experimental methods were used to measure typical physical and chemical indicators, such as total nitrogen (TN), total carbon (TC), soil organic carbon (SOC), soil moisture (SM), soil available nitrogen (AN), and electrical conductance (EC). Fumigation, extraction, and Biolog methods were used to detect soil microbial biomass, soil microbial community structure, and soil microbial functional diversity, respectively.

Our results showed that soil microorganism biomass carbon (MBC) on flat land is higher than that on sloped lands. The ratio between soil microorganism biomass carbon and microorganism biomass nitrogen (MBN) has the same pattern, with the flat land having a significantly higher value (9.49) than that of the sloped land (6.76). Soil microorganism metabolic activities and carbon use capacities of microorganism community, which are assessed by average well-color development (AWCD), however, showed different patterns. That is, the value of AWCD on flat land was significantly lower than that on the sloped land, with values of 0.39 and 1.21 on the flat land and sloped land, respectively. Four types of carbon source use capacities and the Shannon-Weiner index of diversity (H') of microorganism community exhibited a pattern similar to AWCD. AWCD and H' values were higher on west (facing) slopes than those on south slopes, but data analysis showed that AWCD and H' have no significant correlations with soil nutrition, pH or electricity conductance (EC), which suggests that aspect might not be closely related with soil microorganism metabolic activities and diversity of microorganism community. Soil microorganism community structures on these two aspects showed similarity. Slope influenced the soil nutrition and water supply condition of different areas, which can affect soil microorganism biomass, soil microbial community structure, and soil microbial functional diversity in these areas. In the early restoration stages of severely burned areas, MBC values on the flat land were higher than those on slope land, and those on west slopes were higher than those on south slopes. Differences in MBC are not significant among these areas after rehabilitation for 6 years. However, soil microbial community structure and soil microbial functional diversity are still significantly different which might due to different soil water content caused by different slope.

Key Words: Great Xingan Mountain; burned forest site; soil microorganism community; severe fire; slope; aspect

大兴安岭林区是我国最大的林区和重要的木材供应基地,不仅是我国东北林区的重要组成部分,同时也对维护东北亚地区的生态平衡具有不可替代的作用^[1]。然而该地区也是我国林火发生最严重的地区之一^[2],林火已成为大兴安岭地区森林生态系统重要的扰动因子^[3]。严重的森林火灾会显著地改变森林生态系统的结构和演替过程^[4],例如:烧死大量的地上植被改变植物群落的组成;土壤物理性质恶化并造成土壤养分的大量流失;引起土壤水文功能改变;微型和大型动物区系减少;土壤微生物种群改变以及影响其他与之相关的一系列生态过程等等^[5]。随之而来的火烧迹地森林植被的更新和土壤质量的恢复等问题,是恢复森林生态系统功能和维持自然生态平衡的关键。

重度火烧迹地(烧死木占蓄积量的60%以上)^[6-8]的植被恢复一般建议采取人工促进更新或人工更新的方式^[9]。目前,大兴安岭地区火烧迹地森林恢复的研究,大多集中于地上植被类型^[4,10]以及土壤养分的变化^[11-12],对火烧迹地土壤生态系统中土壤微生物的研究还很薄弱。土壤微生物作为土壤有机质和养分(N、

P、S 等)转化和循环的动力,参与有机质的分解、腐殖质的形成,在土壤生态系统的能量流动和养分转化中起着重要作用^[13]。土壤微生物群落的变化可以灵敏地反映外界条件变化引起的土壤状况变化^[14-16]。土壤微生物生物量和多样性的变化是监测土壤质量变化的重要指标^[17]。Vekemans 等^[18]认为揭示土壤微生物与土壤因子的相互关系对于森林生态系统恢复与重建具有重要意义。

在众多的环境因子中,地形因子因为影响了光、热、水、土的分布状况,对于火烧迹地森林土壤质量的恢复显得尤为重要,它能在不同程度上影响着生态系统各种自然生态过程^[19]。本文通过考察对不同地形的火烧迹地土壤微生物生物量、代谢活性、碳源利用能力以及多样性指数的变化规律,旨在揭示大兴安岭林区地形对火烧迹地恢复过程中土壤微生物群落的影响,探讨土壤环境与土壤微生物群落的相互作用关系,为森林更新提供一定的理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区新林区林业局位于黑龙江省西北部,地处大兴安岭伊勒呼里山的东北坡。地理坐标为东经 123°41′至 125°25′,北纬 51°20′至 52°10′,南北长约 108 km,东西宽约 103 km。寒温带季风气候区,冬季达 9 个月(平均气温<10℃),夏季最长不超过 1 个月(平均气温>22℃),全年降水量 350—550 mm,积雪期达 5 个月。地带性土壤为棕色针叶林土,另外还分布有沼泽土,河滩森林草甸土^[20]。地带性植被类型为寒温带针叶林,以兴安落叶松(*Larix gmelinii*)为优势树种,并混有少量樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)和白桦(*Betula platyphylla* Suk.),灌木主要有兴安杜鹃(*Rhododendron dauricum*)、杜香(*Ledum palustre*)和越桔(*Vaccinium vitis-idaea*)等,草本主要有大叶章(*Deyeuxia langsdorffii* (Link) kunth)、小叶章(*Deyeuxia angustifolia*)和苔草(*Carex appendiculata*)等。地貌类型为大兴安岭北部石质中低山山地,坡度平缓,一般坡度在 15°以下,局部阳坡较陡。海拔多在 500—1000 m。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计

根据大兴安岭新林林业局防火办关于近 30 年来火灾发生的纪录,对该区的重度火烧迹地及其对照样地进行了考察。样地选取的标准是过火前优势乔木为兴安落叶松林并且火后没有或人为干预较少、自然更新的重度火烧迹地。本文选取了 2003 年重度火烧的处于相邻地点(海拔差异不超过 30 m)的平地(F)、西坡(W)和南坡(S)火烧迹地共 3 块样地来考察坡度和坡向等地形因子对土壤微生物群落特征的影响。本文通过比较平地与坡地(西坡和南坡平均值)研究坡度的影响,而通过比较西坡和南坡研究坡向的影响。研究样地具体情况见表 1。

表 1 研究样地概况

Table 1 A survey of study sites

研究样地 Study sites	坡度 Slope/(°)	坡向 Aspect	土壤类型 Soil type
平地 Flat land	0	无	棕色针叶林土
西坡 West slope	25—30	西	棕色针叶林土
南坡 South slope	25—30	南	棕色针叶林土

1.2.2 土样的采集

由于该区土层极薄,因此采集了 0—10 cm 的土壤样品。取样时首先去除表面的枯枝落叶层以及其他杂物,然后用直径为 3 cm 的土钻每个样地随机选取 5 个点,该 5 点的土样均匀混合作为一个样品,在每个样地至少选取 3 个混合样品。新鲜土样马上放入 4℃ 冰盒保存,部分新鲜土样实验室过 2 mm 筛后用于土壤微生物生物指标的测定;另一部分土样风干过 2 mm 筛,用于土壤理化常规指标的测定。

1.2.3 测定方法

土壤理化指标的测定:全碳(TC)、全氮(TN)采用元素分析仪测定,pH 值采用酸度计(土水比为 1:5),电

导率(EC)采用电导率仪(土水比为1:5)测定,土壤有机碳(SOC)采用重铬酸钾氧化外加热法,元素分析仪测定,其它土壤指标如土壤碱解氮含量(AN)、土壤含水率(SOM)的测定采用土壤农化常规分析方法^[21]。

微生物指标的测定:土壤微生物生物量碳(MBC)采用氯仿熏蒸浸提法,氯仿熏蒸和未熏蒸土壤用0.5 mol/L的K₂SO₄溶液浸提(土液比为1:4),浸提溶液中有机碳含量采用UV-Persuate全自动有机碳分析仪(Tekmar-Dohrmann Co, USA)测定,转换系数 k_c 取值0.45^[22];土壤微生物生物量氮(MBN)参照Brookes等^[23]的方法测定,转换系数(k_N)取值0.54。

微生物群落代谢活性采用Biolog EcoPlate微平板培养法^[24-26]测定。具体方法除每孔接种量为150 μL外,其它过程均与何寻阳等^[27]的方法一致。土壤微生物的整体代谢活性用培养时间为96 h的Biolog EcoPlate微平板的每孔颜色平均变化率(AWCD)来描述,土壤微生物群落多样性指标如Shannon-Wiener多样性指数(H')、丰富度指数(S)、Shannon-Weiner均匀度指数(E)、Simpson优势度指数(D_s)也根据该培养时间的数据进行计算。计算方法采用胡婵娟等^[28]的方法:

$$AWCD = \sum \frac{(C - R)}{n}$$

式中, C 为有碳源的每个孔的光密度值, R 为对照孔的光密度值, n 为碳源的数目,BIOLOG生态板的C源数目为31。土壤微生物群落功能多样性指标的计算公式如下:

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数: } H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log P_i$$

$$\text{丰富度指数: } S = \text{被利用碳源的总数目}$$

$$\text{Shannon-Wiener 均匀度指数: } E = \frac{H'}{\ln S}$$

$$\text{Simpson 优势度指数: } D_s = 1 - \sum P_i^2$$

式中, P_i 为第*i*个孔的相对吸光值与整个微平板相对吸光值的比值,计算公式为: $P_i = \frac{C - R}{\sum (C - R)}$

1.3 统计分析

对土壤理化数据,土壤微生物量,土壤微生物代谢功能多样性,采用SPSS 13.0软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同数据组间的差异;对不同类型碳源的利用,采用SPSS 13.0进行主成分分析,采用Primer 5.0软件进行聚类分析;用Pearson相关系数评价不同因子间的相关关系。

2 结果与分析

2.1 坡度对土壤微生物群落的影响

研究考察了平地和坡地的火烧迹地土壤微生物群落的微生物生物量、碳源利用情况以及多样性的变化规律。图1表明土壤微生物生物量碳(MBC)和土壤微生物生物量碳氮比(MBC/MBN)平地均高于坡地,其中MBC/MBN差异达到极显著水平,平地和坡地分别为9.5和6.8,平地与坡地的土壤微生物对31种碳源的利用亦具有明显的差异性。AWCD值、土壤微生物对4种碳源的利用情况和多样性指数均表现为平地极显著低于坡地。

通过对96 h培养后各种碳源的相对吸光值进行聚类分析和主成分分析,可以看到平地和坡地土壤微生物对碳源的利用情况(图2)。聚类分析结果表明平地和坡地之间碳源利用的差异较大,平地土壤微生物的碳源利用方式较为相似,而坡地(西坡和南坡)土壤微生物的碳源利用相似。主成分分析第1主成分(PC1)聚集了63.5%的数据变异,说明坡度是影响土壤微生物碳源利用的主要因素,PC1轴上平地主要分布在正方向,坡地主要分布在PC1轴负方向。平地和坡地在PC1轴上出现了明显的分异,也再次表明平地和坡地在碳源利用方面存在显著差异。

通过分析与土壤微生物生长和代谢相关的土壤物理化学指标,发现只有土壤水分平地极显著高于坡地,

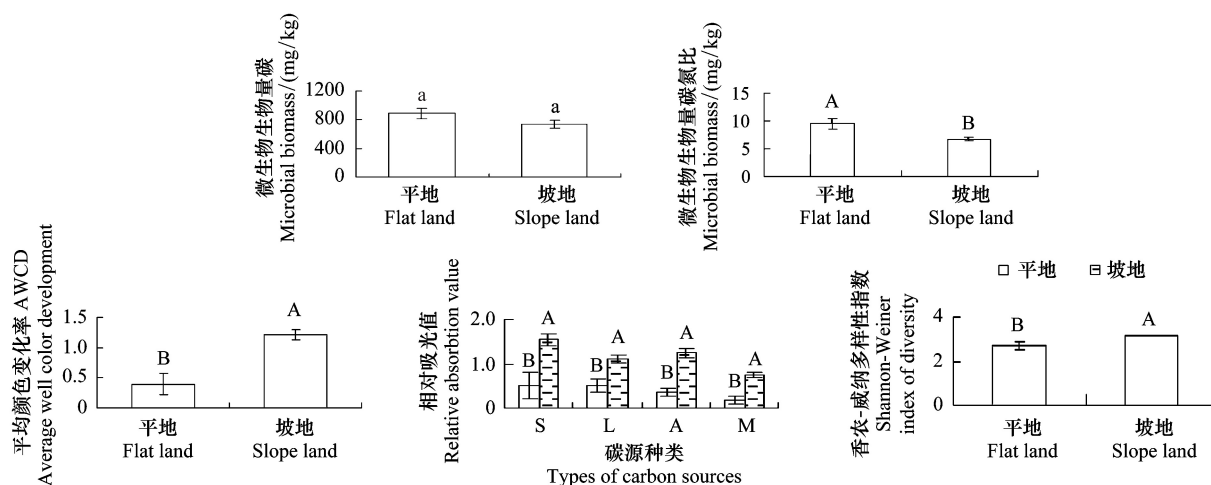


图1 平地和坡地土壤微生物生物量碳含量、MBC/MBN、AWCD、土壤微生物对不同类碳源的利用情况以及 H'

Fig.1 Soil microbial biomass carbon and MBC/MBN, AWCD, use efficiency of different carbon sources by soil microbes, Shannon-Weiner index of diversity (H') of flat and slope lands

图中不同的小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平下显著, 不同大写字母表示在 $P < 0.01$ 水平下显著; MBC: 土壤微生物生物量碳 Soil microbial biomass carbon; MBN: 土壤微生物生物量氮 microbial biomass nitrogen

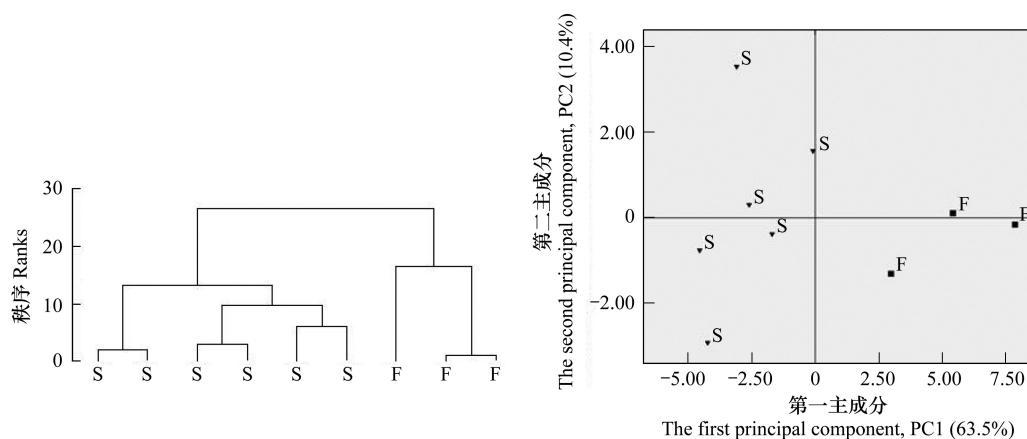


图2 平地和坡地的聚类分析与主成分分析

Fig.2 Cluster analysis and principle components analysis on soil microbial community in flat and slope lands

F 代表平地, S 代表坡地

而土壤养分(土壤全碳、有机质、全氮、速效氮)平地虽然高于坡地,但是并未达到显著水平。pH 值和电导率表现为平地显著小于坡地。这说明平地和坡地影响土壤微生物代谢多样性的原因可能是由土壤水分、pH 值和电导率的差异导致。

进一步分析土壤微生物指标与土壤理化性质的相关关系。发现 MBC 与 TN、TC、SOC、AN、SM 均呈显著正相关关系,其中与 TN、TC、SOC 达到极显著水平,说明土壤养分和土壤水分是影响土壤微生物生物量碳的重要因素。MBC 与 pH 值、EC 显著负相关。MBC/MBN 与坡度呈极显著负相关关系, MBC/MBN 与 SM 显著正相关,与 pH 值、EC 显著负相关,可以发现土壤微生物群落结构受到坡度、土壤水分、pH 值和电导率的影响。AWCD 值与坡度、pH 值以及 H' 表现显著正相关关系,其中与坡度和 H' 达到极显著水平。AWCD 与 TC、SOC、SM 表现显著负相关关系,并且与 SM 达到极显著水平; H' 与坡度极显著正相关,与 pH 值显著正相关,与 TN 显著负相关与 TC、SOC、SM 极显著负相关。以上结果表明土壤微生物群落多样性与坡度、土壤水分、pH 值和 TN 显著相关。

第一主成分 PC1 与坡度及土壤理化指标相关分析结果表明,第一主成分 PC1 与坡度、TC 和 SM 具有极显著的相关关系,与 pH 值具有显著的相关关系。

2.2 坡向对土壤微生物群落的影响

上面的研究结果揭示了坡度对土壤微生物生物量、群落结构和代谢多样性的影响有显著差异,进一步分析不同坡向,即半阳坡的西坡和阳坡的南坡对土壤微生物群落的影响(图3)。结果表明 MBC、MBC/MBN、AWCD 值、 H' 以及土壤微生物对不同碳源的利用能力西坡高于南坡,其中 MBC 西坡为 845.3 mg/kg 南坡为 635.2 mg/kg,差异显著,对糖类的利用上两坡向差异显著。

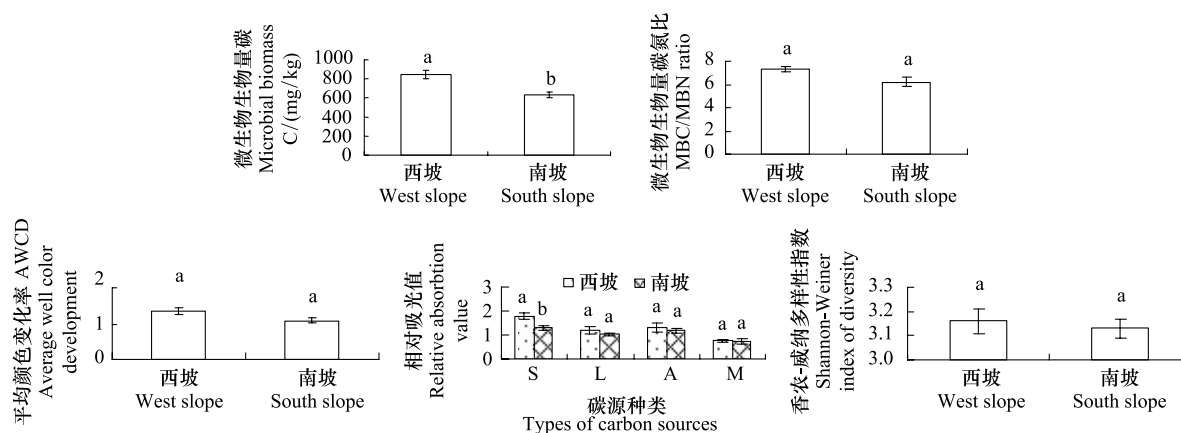


图3 西坡和南坡土壤微生物生物量碳含量、MBC/MBN、AWCD、土壤微生物对不同碳源的利用情况以及 H'

Fig. 3 Soil microbial biomass carbon, MBC /MBN, AWCD, Use efficiency of different carbon sources by soil microbes, and Shannon-Weiner index of diversity (H') of west and south slopes

图中不同的小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平下显著

西坡和南坡土壤物理化学性质的结果表明:土壤 TN、TC、AN、SM 含量西坡显著高于南坡,土壤有机质没有显著差异;pH 值、EC 西坡低于南坡,其中 EC 的差异极显著。

对土壤微生物生物量和代谢多样性指数与土壤理化性质进行了相关分析,发现 MBC 与坡向、TN、AN、EC 呈显著相关关系,其中与 AN 呈极显著相关关系,说明坡向显著影响土壤微生物量碳,而速效氮的含量可能是影响生物量碳的最主要因子。MBC/MBN 与 pH 值呈现显著负相关关系,说明细菌与真菌的比例受到 pH 值的调控和影响。AWCD 与 H' 正相关关系但不显著,AWCD 和 H' 均与土壤养分、pH 值、EC 无显著相关关系,说明坡向可能与土壤微生物代谢活性和多样性的关系并不密切。土壤水分与坡向、TN、TC、SOC、AN 呈显著正相关关系,其中与 TC 达到极显著水平。

3 讨论

平地 and 坡地的地形差异对土壤微生物的生物量、群落结构、代谢活性和多样性有显著性的影响。平地土壤微生物量碳高于坡地,相关分析表明这可能与平地的土壤养分和水分高于坡地有关。与平地相比,坡地更容易受到土壤侵蚀的作用,养分和水分更易于流失,这在重度火烧迹地的初期草本还没恢复的时期表现的尤为明显,因而平地相对坡地在这一时期土壤质量恢复的更快。

MBC/MBN 反映土壤中真菌和细菌的比例,微生物生物量碳氮比越高,土壤中真菌所占的数量越多^[29]。平地 MBC/MBN 高于坡地并且差异极显著,说明平地土壤微生物群落中真菌/细菌比值大于坡地真菌/细菌比值,反映了平地 and 坡地在微生物群落结构的差异。火烧后由于风力和降水对灰烬的重新分配会引起土壤有效氮在空间分布上的异质性^[30]。地形差异导致的土壤有效氮异质性可能是引起土壤微生物群落结构变化的因素,研究结果发现平地有效氮含量虽然高于坡地含量,但未达到显著水平,说明土壤有效氮不是影响群落结构组成的主要因素,而平地 and 坡地的土壤含水量、pH 值、电导率具有显著差异,并且 MBC/MBN 与此三者显著相关。因此三者可能是引起土壤微生物群落结构组成差异的重要因素。

AWCD 值是反映土壤微生物对碳源的综合利用能力指标,它一方面与土壤微生物量有关,又与土壤微生物群落的多样性有关,数据分析结果表明平地土壤微生物群落代谢活性极显著地低于坡地。在对糖类、脂类、氨基酸和代谢物等四类碳源利用能力的研究发现平地土壤微生物对各类碳源的利用能力都显著的低于坡地。主成分分析和聚类分析的结果,反映了平地 and 坡地土壤微生物在碳源利用上的差异。坡度、TN、TC、SM、pH 值与第一主成分 PC1 具有极显著的相关关系,可能是导致土壤微生物在对碳源利用能力上的差异的重要因素。 H' 是将丰富度和均匀度综合起来的一个量,能较全面的说明土壤微生物的物种多样性,它与 AWCD 的变化规律一致,说明土壤微生物的物种多样性在平地亦低于坡地。

由于土壤微生物对养分有效性及土壤质量具有重要的作用,植物与土壤微生物之间存在着相互依存、相互竞争的关系,土壤微生物直接或间接作用于植物多样性和生产力^[14],对植物的生长发育和群落结构的演替具有重要作用^[31-32]。因此平地和坡地土壤微生物群落在生物量、群落结构、代谢活性和多样性的显著差异,将直接影响植物对养分吸收和植物生长,最终可能导致植物群落演替的速度和群落结构的不同。

不同的坡向,即西坡和南坡的土壤微生物群落特征也存在明显差异。大兴安岭地区重度火烧迹地在火后草本物种迅速增多,物种丰富度增加,相近火烧年份的草本相似度接近^[10]。但是发现西坡和南坡的土壤有机质含量和全碳有差异,西坡和南坡的 TN、AN 含量和土壤水分西坡显著高于南坡, TN、TC、SOC、AN 与土壤水分呈显著正相关关系。MBC 与坡向、TN、AN 呈显著相关关系,由于调查取样的西坡和南坡的坡度相同,所以西坡和南坡在土壤养分含量的差异可能是由于土壤含水量不同导致,西坡和南坡土壤养分和水分含量的不同可能是导致土壤微生物碳库差异的主要原因。其中 MBC 与 AN 呈极显著正相关关系,说明速效氮可能是影响西坡和南坡 MBC 高低的主要因子。MBC/MBN 西坡高于南坡但差异不显著,反映了两坡向土壤微生物群落结构的相似性。AWCD 和 H' 与土壤养分、pH 值、EC 相关关系未达到显著水平,说明坡向可能与土壤微生物代谢活性和多样性的并无密切关系。

综合以上研究结果,由于坡度影响土壤养分和水分条件,进而影响了土壤微生物的生物量、群落结构、物种多样性和碳源利用能力,因而火烧迹地恢复初期平地相比较于坡地土壤质量更好,在种源相同的条件下更易于植物进行更新。但随着恢复时间的增加,坡度影响逐渐减弱,在本研究重度火烧迹地恢复 6a 后,土壤微生物量碳的差异已不显著,但土壤微生物群落结构、物种多样性以及代谢特性仍具有显著差异,这可能与坡度因素仍然显著影响土壤水分含量有关。西坡和南坡坡向的差异对土壤微生物群落影响不明显,但土壤有效氮在坡向的差异导致了微生物碳的显著不同,可见由于坡向引起的土壤有效氮空间异质性在重度火烧 6a 后仍对土壤碳库具有显著影响。由于本研究没有找到合适的北坡进行对照研究,关于坡向对土壤微生物群落特征的影响还需要未来进一步的补充。

致谢: 东北林业大学袁晓颖教授以及大兴安岭新林林业局防火办和林场对野外群落调查、土壤取样给予支持,特此致谢。

References:

- [1] Li W H. Studies on Natural Forest in Northeast China. Beijing: China Meteorological Press, 2011.
- [2] Liu B. The Fire Regime in Daxing'anling Region [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2011.
- [3] Song Q L, Dong X B, Li Y, Qin S L. Evaluation on burned slash vegetation natural restoration effects in Daxinganling. Forest Engineering, 2010, 26(4): 14-18.
- [4] Sun J B, Hu H Q. Community succession of burned forestland of *Larix gmelinii* in Great Xing'an Mountains. Journal of Northeast Forestry University, 2010, 38(5): 30-33.
- [5] Neary D G, Klopatek C C, DeBano L F, Ffolliott P F. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. Forest Ecology and Management, 1999, 122(1/2): 51-71.
- [6] Luo D K. Modes of regeneration in Daxing'anling burned area. Forestry Science & Technology, 1987, (5): 10-12.
- [7] Shu L F, Zuo J C, Tian W T. Discussion on the modes of regeneration in Daxing'anling burned area by the fire on 6 May 1987. Forest Resources Management, 1996, (6): 43-45.

- [8] Zhou Y L. Vegetation of Da Hinggan Ling in China. Beijing: Science Press, 1991.
- [9] Wang X G, Li X Z, Kong F H, Li Y H, Shi B L, Gao Z L. Model of vegetation restoration under natural regeneration and human interference in the burned area of northern Daxinganling. Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(5): 30-34.
- [10] Wang X G, Li X Z, He H T, Leng W F, Wen Q C. Postfire succession of larch forest on the northern slope of Daxinganling. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(5): 35-41.
- [11] Song Q L, Dong X B, Li Y, Liu J M. Impacts of burning and logging disturbance on soil chemical properties of forest in Daxing'anling Mountain Region. Forest Engineering, 2010, 26(5): 4-7.
- [12] Gu H Y, Jin J B, Chen X W, Wang E H, Zhou Y Y, Chai Y F. The Long-term impacts on chemical properties of *Larix gmelini* forest on the northern slope of Greater Hinggan Mountains from a forest fire of varying fire intensity. Journal of Natural Resources, 2010, 25(7): 1114-1121.
- [13] Harris J A, Birch P. Soil microbial activity in opencast coal mine restorations. Soil Use and Management, 1989, 5(4): 155-160.
- [14] Jiang J, Song M H. Review of the roles of plants and soil microorganisms in regulating ecosystem nutrient cycling. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(8): 979-988.
- [15] Steenwerth K L, Jackson L E, Calderón F J, Stromberg M R, Scow K M. Soil microbial community composition and land use history in cultivated and grassland ecosystems of coastal California. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34(11): 1599-1611.
- [16] Bucher A E, Lanyon L E. Evaluating soil management with microbial community-level physiological profiles. Applied Soil Ecology, 2005, 29(1): 59-71.
- [17] Liu Z F, Fu B J, Liu G H, Zhu Y G. Soil quality: concept, indicators and its assessment. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(3): 901-913.
- [18] Vekemans X, Godden B, Penninckx M J. Factor analysis of the relationships between several physico-chemical and microbiological characteristics of some Belgian agricultural soils. Soil Biology and Biochemistry, 1989, 21(1): 53-58.
- [19] Kong F H, Li X Z, Yin H W, Wang X G, Xie F J. Gradient analysis on the influence of terrain on the forest landscape pattern in the burned blanks of the north slope of Mt. Daxing'anling. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(9): 1863-1870.
- [20] Xu H C. Da Xingan Ling Mountains Forests in China. Beijing: Science Press, 1998.
- [21] Bao S D. Soil and Agricultural Chemistry Analysis. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [22] Wu J, Joergensen R G, Pommerening B, Chaussod R, Brookes P C. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction-An automated procedure. Soil Biology and Biochemistry, 1990, 22(8): 1167-1169.
- [23] Brookes P C, Landman A, Pruden G, Jenkins D S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soils. Soil Biology and Biochemistry, 1985, 17(6): 837-842.
- [24] Zak J C, Willig M R, Moorhead D L, Wildman H G. Functional diversity of microbial communities: A quantitative approach. Soil Biology and Biochemistry, 1994, 26(9): 1101-1108.
- [25] Staddon W J, Duchesne L C, Trevors J T. Impact of clear-cutting and prescribed burning on microbial diversity and community structure in a Jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) clear-cut using Biolog Gram-Negative microplates. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 1998, 14(1): 119-123.
- [26] Schutter M, Dick R. Shifts in substrate utilization potential and structure of soil microbial communities in response to carbon substrates. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 36(11): 1596-1576.
- [27] He X Y, Wang K L, Xu L L, Chen H S, Zhang W. Soil microbial metabolic diversity and its seasonal variations along a vegetation succession in a Karst area: a case study in southwest China. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(12): 2590-2596.
- [28] Hu C J, Fu B J, Liu G H, Jin T T, Liu Y. Soil microbial functional and diversity under typical artificial woodlands in the hilly area of the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 727-733.
- [29] Marumoto T, Anderson J P E, Domsch K H. Decomposition of ^{14}C - and ^{15}N -labelled microbial cells in soil. Soil Biology and Biochemistry, 1982, 14(5): 461-467.
- [30] Grogan P, Bruns T D, Chapin F S III. Fire effects on ecosystem nitrogen cycling in a Californian bishop pine forest. Oecologia, 2000, 122(4): 537-544.
- [31] Du W C, Yuan X, Qu T B. Research progress of the relationship between soil microbial diversity and above-ground vegetation types. Contemporary Eco-Agriculture, 2011, (1/2): 14-18.
- [32] Bi J T, He D H. Research Advances in effects of plant on soil microbial diversity. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(9): 244-250.

参考文献:

- [1] 李文华. 东北天然林研究. 北京: 气象出版社, 2011.
- [2] 刘斌. 大兴安岭林火动态变化 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011.

- [3] 宋启亮,董希斌,李勇,秦世立. 大兴安岭火烧迹地植被天然恢复效果的评价. 森林工程, 2010, 26(4): 14-18.
- [4] 孙家宝,胡海清. 大兴安岭兴安落叶松林火烧迹地群落演替状况. 东北林业大学学报, 2010, 38(5): 30-33.
- [6] 罗德昆. 大兴安岭过火迹地更新方式的研讨. 林业科技, 1987, (5): 10-12.
- [7] 舒立辅,左继春,田文涛. 大兴安岭“五·六”大火火烧迹地的天然更新探讨. 林业资源管理, 1996, (6): 43-45.
- [8] 周以良. 中国大兴安岭植被. 北京: 科学出版社, 1991.
- [9] 王绪高,李秀珍,孔繁花,李月辉,石秉路,高振岭. 大兴安岭北坡火烧迹地自然与人工干预下的植被恢复模式初探. 生态学杂志, 2003, 22(5): 30-34.
- [10] 王绪高,李秀珍,贺红士,冷文芳,问青春. 大兴安岭北坡落叶松林火后植被演替过程研究. 生态学杂志, 2004, 23(5): 35-41.
- [11] 宋启亮,董希斌,李勇,刘继明. 采伐干扰和火烧对大兴安岭森林土壤化学性质的影响. 森林工程, 2010, 26(5): 4-7.
- [12] 谷会岩,金靖博,陈祥伟,王恩姮,周一杨,柴亚凡. 不同火烧强度林火对大兴安岭北坡兴安落叶松林土壤化学性质的长期影响. 自然资源学报, 25(7): 1114-1121.
- [14] 蒋婧,宋明华. 植物与土壤微生物在调控生态系统养分循环中的作用. 植物生态学报, 2010, 34(8): 979-988.
- [17] 刘占锋,傅伯杰,刘国华,朱永官. 土壤质量与土壤质量指标及其评价. 生态学报, 2006, 26(3): 901-913.
- [19] 孔繁花,李秀珍,尹海伟,王绪高,解伏菊. 地形对大兴安岭北坡林火迹地森林景观格局影响的梯度分析. 生态学报, 2004, 24(9): 1863-1870.
- [20] 徐化成. 中国大兴安岭森林. 北京: 科学出版社, 1998.
- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [27] 何寻阳,王克林,徐丽丽,陈洪松,张伟. 喀斯特地区植被不同演替阶段土壤细菌代谢多样性及其季节变化. 环境科学学报, 2008, 28(12): 2590-2596.
- [28] 胡婵娟,傅伯杰,刘国华,靳甜甜,刘宇. 黄土丘陵沟壑区典型人工林下土壤微生物功能多样性. 生态学报, 2009, 29(2): 727-733.
- [31] 杜玮超,袁霞,曲同宝. 土壤微生物多样性与地上植被类型关系的研究进展. 当代生态农业, 2011, (1/2): 14-18.
- [32] 毕江涛,贺达汉. 植物对土壤微生物多样性的影响研究进展. 中国农学通报, 2009, 25(9): 244-250.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 17 Sep. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The overview and prospect of chemical composition of plant cuticular wax ZENG Qiong, LIU Dechun, LIU Yong (5133)
- Research progresses in carbon budget and carbon cycle of the coastal salt marshes in China
..... CAO Lei, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (5141)

Autecology & Fundamentals

- Effects of straw interlayer on soil water and salt movement and sunflower photosynthetic characteristics in saline-alkali soils
..... ZHAO Yonggan, PANG Huancheng, LI Yuyi, et al (5153)
- Adaptations of dimorphic seeds and seedlings of *Suaeda salsa* to saline environments
..... LIU Yan, ZHOU Jiachao, ZHANG Xiaodong, et al (5162)
- Responses of root morphology of peanut varieties differing in drought tolerance to water-deficient stress
..... DING Hong, ZHANG Zhimeng, DAI Liangxiang, et al (5169)
- The relationship between physiological indexes of apple cultivars and resistance to *Eriosoma lanigerum* in summer
..... WANG Xicun, ZHOU Hongxu, YU Yi, et al (5177)
- Physiological responses of *Salicornia bigelovii* to salt stress during the flowering stage
..... LIU Weicheng, ZHENG Chunfang, CHEN Chen, et al (5184)
- Biological characteristics and cultivation of fruit body of wild medicinal mushroom *Perenniporia fraxinea*
..... LU Tie, BAU Tolgor (5194)
- The study of characteristics of soil microbial communities at high severity burned forest sites for the Great Xingan Mountains: an
example of slope and aspect BAI Aiqin, FU Bojie, QU Laiye, et al (5201)
- Effect of different fertilizer combinations and straw return on microbial biomass and nitrogen-fixing bacteria community in a paddy
soil LIU Xiaoqian, TU Shihua, SUN Xifa, et al (5210)
- Structural characters and nutrient contents of leaves as well as nitrogen distribution among different organs of big-headed wheat
..... WANG Lifang, WANG Dexuan, SHANGGUAN Zhouping (5219)
- Effects of EP-1 on spatial memory and anxiety in *Mus musculus* WANG Xiaojia, QIN Tingting, HU Xia, et al (5228)

Population, Community and Ecosystem

- Gap characteristics in the mixed broad-leaved Korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains
..... LIU Shaochong, WANG Jinghua, DUAN Wenbiao, et al (5234)
- Soil nitrogen and phosphorus stoichiometry in a degradation series of *Kobresia humilis* meadows in the Tibetan Plateau
..... LIN Li, LI Yikang, ZHANG Fawei, DU Yangong, et al (5245)
- An analysis of carbon flux partition differences of a mid-subtropical planted coniferous forest in southeastern China
..... HUANG Kun, WANG Shaoqiang, WANG Huimin, et al (5252)
- The niche of annual mixed-seeding meadow in response to density in alpine region of the Qilian Mountain, China
..... ZHAO Chengzhang, ZHANG Jing, SHENG Yaping (5266)
- Functional feeding groups of macrozoobenthos from coastal water off Rushan PENG Songyao, LI Xinzhen (5274)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Effects of selective cutting on vegetation carbon storage of boreal *Larix gmelinii*-*Carex schmidtii* forested wetlands in Daxing'anling,
China MU Changcheng, LU Huicui, BAO Xu, et al (5286)
- CO₂ flux in the upland field with corn-rape seed rotation in the karst area of southwest China
..... FANG Bin, LI Xinqing, CHENG Jianzhong, et al (5299)
- Monitoring spatial variability of soil salinity in dry and wet seasons in the North Tarim Basin using remote sensing and electromagn-
etic induction instruments YAO Yuan, DING Jianli, LEI Lei, et al (5308)
- Methane and nitrous oxide fluxes in temperate secondary forest and larch plantation in Northeastern China
..... SUN Hailong, ZHANG Yandong, WU Shiyi (5320)
- Butterfly diversity and vertical distribution in eastern Tianshan Mountain in Xinjiang
..... ZHANG Xin, HU Hongying, LÜ Zhaozhi (5329)

- Dynamics of aerodynamic parameters over a rainfed maize agroecosystem and their relationships with controlling factors CAI Fu, ZHOU Guangsheng, MING Huiqing, et al (5339)
- The response process to extreme climate events of the household compound system in the northern slope of Tianshan Mountain LI Xiliang, HOU Xiangyang, DING Yong, et al (5353)
- Analysis on spatial-temporal heterogeneities of landscape fragmentation in urban fringe area; a case study in Shunyi district of Beijing LI Can, ZHANG Fengrong, ZHU Taifeng, et al (5363)
- Resource and Industrial Ecology**
- CPUE Standardization of *Illex argentinus* for Chinese Mainland squid-jigging fishery based on generalized linear Bayesian models LU Huajie, CHEN Xinjun, CAO Jie (5375)
- Spatial-temporal differentiation of water quality in Gufu River of Three Gorges Reservoir RAN Guihua, GE Jiwen, MIAO Wenjie, et al (5385)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Comparison environmental impact of the peasant household in han, zang and hui nationality region; case of zhangye, Gannan and Linxia in Gansu Province ZHAO Xueyan, MAO Xiaowen (5397)
- Research Notes**
- The seasonal variation and community structure of zooplankton in China sea DU Mingmin, LIU Zhensheng, WANG Chunsheng, et al (5407)
- Immunotoxicity of marine pollutants on the clam *Ruditapes philippinarum* DING Jianfeng, YAN Xiwu, ZHAO Liqiang, et al (5419)
- Influence of submerged macrophytes on phosphorus transference between sediment and overlying water in decomposition period WANG Lizhi, WANG Guoxiang (5426)
- Distribution patterns of alien herbs in the Yiluo River basin GUO Yili, DING Shengyan, SU Si, et al (5438)

《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 张利权

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 17 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 17 (September, 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@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 90.00 元