

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 19 期 Vol.33 No.19 **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19期 2013年10月 (半月刊)

目次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 生态系统服务研究文献现状及不同研究方向评述 马凤娇,刘金铜,A. Egrinya Eneji (5963)
- 非人灵长类性打搅行为研究进展 杨斌,王程亮,纪维红,等 (5973)
- 密度制约效应对啮齿动物繁殖的影响 韩群花,郭聪,张美文 (5981)
- 食物链长度远因与近因研究进展综述 王玉玉,徐军,雷光春 (5990)
- AM 真菌在植物病虫害生物防治中的作用机制 罗巧玉,王晓娟,李媛媛,等 (5997)
- 保护性耕作对农田碳、氮效应的影响研究进展 薛建福,赵鑫,Shadrack Batsile Dikgwatlhe,等 (6006)
- 圈养大熊猫野化培训期的生境选择特征 张明春,黄炎,李德生,等 (6014)
- 利用红外照相技术分析野生白冠长尾雉活动节律及时间分配 赵玉泽,王志臣,徐基良,等 (6021)
- 风速和持续时间对树麻雀能量收支的影响 杨志宏,吴庆明,董海燕,等 (6028)
- 白马雪山自然保护区灰头小鼯鼠的巢址特征 李艳红,关进科,黎大勇,等 (6035)
- 生境片段化对千岛湖岛屿上黄足厚结猛蚁遗传多样性的影响 罗媛媛,刘金亮,黄杰灵,等 (6041)
- 基于 28S, COI 和 Cytb 基因序列的薛荔和爱玉子传粉小蜂分子遗传关系研究
..... 吴文珊,陈友铃,孙伶俐,等 (6049)
- 高榕榕果内 *Eupristina* 属两种榕小蜂的遗传进化关系 陈友铃,孙伶俐,武蕾蕾,等 (6058)
- 镉胁迫下杞柳对金属元素的吸收及其根系形态构型特征 王树凤,施翔,孙海菁,等 (6065)
- 邻苯二甲酸对萝卜种子萌发、幼苗叶片膜脂过氧化及渗透调节物质的影响
..... 杨延杰,王晓伟,赵康,等 (6074)
- 极端干旱区多枝桧柳幼苗对人工水分干扰的形态及生理响应 马晓东,王明慧,李卫红,等 (6081)
- 贝壳砂生境酸枣叶片光合生理参数的水分响应特征 王荣荣,夏江宝,杨吉华,等 (6088)
- 陶粒覆盖对土壤水分、植物光合作用及生长状况的影响 谭雪红,郭小平,赵廷宁 (6097)
- 不同林龄短枝木麻黄小枝单宁含量及养分再吸收动态 叶功富,张尚炬,张立华,等 (6107)
- 珠江三角洲不同污染梯度下森林优势种叶片和枝条 S 含量比较 裴男才,陈步峰,邹志谨,等 (6114)
- AM 真菌和磷对小马安羊蹄甲幼苗生长的影响 宋成军,曲来叶,马克明,等 (6121)
- 盐氮处理下盐地碱蓬种子成熟过程中的离子积累和种子萌发特性 周家超,付婷婷,赵维维,等 (6129)
- CO₂ 浓度升高条件下内生真菌感染对宿主植物的生理生态影响 师志冰,周勇,李夏,等 (6135)
- 预处理方式对香蒲和芦苇种子萌发的影响 孟焕,王雪宏,佟守正,等 (6142)
- 镉在土壤-金丝垂柳系统中的迁移特征 张雯,魏虹,孙晓灿,等 (6147)
- 马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响 罗应华,孙冬婧,林建勇,等 (6154)
- 濒危海草贝克喜盐草的种群动态及土壤种子库——以广西珍珠湾为例
..... 邱广龙,范航清,李宗善,等 (6163)
- 毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮对凝结水形成和蒸发的影响 尹瑞平,吴永胜,张欣,等 (6173)
- 塔里木河上游灰胡杨种群生活史特征与空间分布格局 韩路,席琳乔,王家强,等 (6181)
- 短期氮素添加和模拟放牧对青藏高原高寒草甸生态系统呼吸的影响 宗宁,石培礼,蒋婧,等 (6191)
- 松嫩平原微地形下土壤水盐与植物群落分布的关系 杨帆,王志春,王云贺,等 (6202)

广州大夫山雨季林内外空气 TSP 和 PM _{2.5} 浓度及水溶性离子特征	肖以华,李 炯,旷远文,等 (6209)
马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局	汪振华,赵 静,王 凯,等 (6218)
黄海细纹狮子鱼种群特征的年际变化	陈云龙,单秀娟,周志鹏,等 (6227)
三种温带森林大型土壤动物群落结构的时空动态	李 娜,张雪萍,张利敏 (6236)
笔管榕榕小蜂的群落结构与物种多样性	陈友铃,陈晓倩,吴文珊,等 (6246)
海洋生态资本理论框架下的生态系统服务评估	陈 尚,任大川,夏 涛,等 (6254)
中国地貌区划系统——以自然保护区体系建设为目标	郭子良,崔国发 (6264)
生态植被建设对黄土高原农林复合流域景观格局的影响	易 扬,信忠保,覃云斌,等 (6277)
华北农牧交错带农田-草地景观镶嵌体土壤水分空间异质性	王红梅,王仲良,王 堃,等 (6287)
中国北方春小麦生育期变化的区域差异性与气候适应性	俄有浩,霍治国,马玉平,等 (6295)
中国南方喀斯特石漠化演替过程中土壤理化性质的响应	盛茂银,刘 洋,熊康宁 (6303)
气候变化对东北沼泽湿地潜在分布的影响	贺 伟,布仁仓,刘宏娟,等 (6314)
内蒙古不同类型草地土壤氮矿化及其温度敏感性	朱剑兴,王秋风,何念鹏,等 (6320)
黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应	马志敏,吕一河,孙飞翔,等 (6328)
成都平原北部水稻土重金属含量状况及其潜在生态风险评价	秦鱼生,喻 华,冯文强,等 (6335)
大西洋中部延绳钓黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙,马军杰,张 禹,等 (6345)
夏季台湾海峡南部海域上层水体的生物固氮作用	林 峰,陈 敏,杨伟锋,等 (6354)
北长山岛森林乔木层碳储量及其影响因子	石洪华,王晓丽,王 媛,等 (6363)
植被类型变化对长白山森林土壤碳矿化及其温度敏感性的影响	王 丹,吕瑜良,徐 丽,等 (6373)
油松遗传结构与地理阻隔因素的相关性	孟翔翔,狄晓艳,王孟本,等 (6382)
基于辅助环境变量的土壤有机碳空间插值——以黄土丘陵区小流域为例	文 雯,周宝同,汪亚峰,等 (6389)
基于生命周期视角的产业资源生态管理效益分析——以虚拟共生网络系统为例	施晓清,李笑诺,杨建新 (6398)
生态脆弱区贫困与生态环境的博弈分析	祁新华,叶士琳,程 煜,等 (6411)
“世博”背景下上海经济与环境的耦合演化	倪 尧,岳文泽,张云堂,等 (6418)



封面图说: 毛乌素沙地南缘沙丘的生物结皮——生物土壤结皮广泛分布于干旱和半干旱区,它的形成和发育对荒漠生态系统生态修复过程产生重要的影响。组成生物结皮的藻类、苔藓和地衣是常见的先锋植物,它们不仅能在严重干旱缺水、营养贫瘠恶劣的环境中生长、繁殖,并且能通过其代谢方式影响并改变环境。其中一个重要的特点是,生物结皮表面的凝结水显著大于裸沙。研究表明,凝结水是除降雨之外最重要的水分来源之一,在水分极度匮乏的荒漠生态系统,它对荒漠生态系统结构、功能和过程的维持产生着重要的影响。

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/stxb201305261189

王丹, 吕瑜良, 徐丽, 何秀, 徐志伟, 赵宁, 王瑞丽, 何念鹏. 植被类型变化对长白山森林土壤碳矿化及其温度敏感性的影响. 生态学报, 2013, 33(19): 6373-6381.

Wang D, Lü Y L, Xu L, He X, Xu Z W, Zhao N, Wang R L, He N P. Impact of changes in vegetation types on soil C mineralization and associated temperature sensitivity in the Changbai Mountain forests of China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6373-6381.

植被类型变化对长白山森林土壤碳矿化 及其温度敏感性的影响

王 丹^{1,2}, 吕瑜良¹, 徐 丽³, 何 秀⁴, 徐志伟², 赵 宁², 王瑞丽², 何念鹏^{2,*}

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所 生态系统网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101;
3. 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070; 4. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016)

摘要: 土壤有机质是陆地生态系统最大的碳库, 土壤有机质分解速率及其温度敏感性对生态系统碳循环及其碳汇功能具有重要影响。为揭示植被类型变化对森林土壤有机质分解的影响, 以长白山针阔混交林的原生林和次生林为研究对象, 分别将土壤在不同水分(30%、60%和90%土壤饱和含水量(SSM))和不同温度(5、10、15、20、25和30℃)下培养, 在为期56d的培养期内分9次测定土壤碳矿化速率。实验结果表明: 植被类型、培养温度和水分对土壤碳矿化速率具有显著影响, 且三者间存在显著的交互效应($P < 0.001$)。次生林土壤碳矿化累积量显著高于原生林($P < 0.05$), 在90%SSM和温度30℃培养状况下分别为346.41 $\mu\text{gC/g}$ 和241.01 $\mu\text{gC/g}$ 。包含温度和水分的双因素模型可很好地拟合土壤碳矿化速率的变化, 温度和水分可共同解释土壤碳矿化速率的82.7%—95.9%变异。次生林土壤碳矿化温度敏感性(Q_{10})显著高于原生林; 水分对温度敏感性的影响较复杂, 次生林在60%SSM最高, 而原生林在90%SSM最高。总之, 原生林遭砍伐后将会加速土壤有机质的分解, 从而降低土壤有机质含量; 另外, 根据 Q_{10} 值可以预测次生林土壤有机质的分解速率对全球变暖反映更明显。

关键词: 水分; 植被类型变化; 土壤呼吸; 土壤有机质; 温度; 温度敏感性; Q_{10}

Impact of changes in vegetation types on soil C mineralization and associated temperature sensitivity in the Changbai Mountain forests of China

WANG Dan^{1,2}, LÜ Yuliang¹, XU Li³, HE Xiu⁴, XU Zhiwei², ZHAO Ning², WANG Ruili², HE Nianpeng^{2,*}

1 College of Geographical Science, Southwest University, Chongqing 400715, China

2 Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070

4 Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, Liaoning 110016, China

Abstract: Soil organic matter (SOM) is the largest carbon pool in terrestrial ecosystems, with its temperature sensitivity playing an important role in the carbon (C) cycle and C sink at the ecosystem level. To elucidate how changes in vegetation types (primary forest *versus* secondary forest) influence SOM decomposition, we assessed a deciduous broad-leaved primary forest and secondary forest in the Changbai Mountains in the study, respectively; Soil samples from each forest type were incubated under different moisture (30%, 60% and 90% saturated soil moisture (SSM)) and temperatures (5, 10, 15, 20, 25 and 30 °C) condition. Then, SOM decomposition rates were measured at 9 times over 56 d incubation period. It was found that vegetation type, incubation temperature, and moisture had significant impacts on soil carbon mineralization rates, with a significant interaction among these parameters ($P < 0.001$). Higher accumulation of soil C mineralization occurred in the secondary forest compared to the primary forest, e.g., 346.41 $\mu\text{gC/g}$ versus 241.01 $\mu\text{gC/g}$ at 90% SSM and 30 °C

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项项目(XDA05050601); 国家自然科学基金资助项目(31290221; 31270519)

收稿日期: 2013-05-26; 修订日期: 2013-07-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: henp@igsnr.ac.cn

temperature, respectively. The two-factor models, including temperature and moisture, provide a good fit to soil C mineralization, with both temperature and moisture explaining 82.7% to 95.9% variation in soil C mineralization. Moreover, the temperature sensitivity (Q_{10}) of soil C mineralization was significantly higher in the secondary forest than in the primary forest; however, moisture has a complex effect on Q_{10} . For example, the highest Q_{10} was obtained for 60% SSM in the secondary forest versus 90% SSM in the primary forest. Our findings indicate that transformation from primary forest to secondary forest would accelerate the decomposition rates of SOM, resulting in a larger loss of SOM. Moreover, secondary forests with higher Q_{10} should be expected to be more sensitive to warmer scenarios in view of SOM decomposition. In conclusion, the complex impact of changing vegetation types change and soil moisture on the soil C cycle in forests requires focused research in future studies.

Key Words: moisture; vegetation types change; soil respiration; soil organic matter; temperature; temperature sensitivity; Q_{10}

森林生态系统是陆地生态系统最重要的碳库^[1],森林土壤碳收支取决于新有机质输入和原土壤有机质的分解这两个重要过程,任何影响上述两个过程的因素均会对森林生态系统碳源汇功能产生重要影响^[2]。原生林遭受干扰转变为次生林的过程中,植被类型以及生境条件发生动态演替,这种变化严重影响了森林碳循环过程的变化,进而对气候变化产生影响^[3],因此,准确估计植被类型变化(或土地利用变化)对森林生态系统碳收支及其关键参数的影响是当前全球气候变化研究的重点内容之一^[4-5]。

土壤有机质分解受多种环境因素的影响,其中最主要的是土壤温度和含水量^[6-7]。大量研究已经表明温度和水分对土壤有机质分解具有重要影响^[8-9],且存在显著的交互效应^[10-11];弄清温度和水分对特定森林土壤有机质分解的影响及其交互效应,对揭示该森林生态系统碳循环至关重要。然而,在实地测定土壤碳矿化(或土壤呼吸)时,容易受到其它环境因素的交互影响,很难准确的将温度和水分对土壤碳矿化的影响区分开来;因此,室内培养就被广泛地应用于土壤有机质分解的机理性研究^[12-14]。

本文以长白山地区典型的针阔混交林为研究对象,分别将其原生林和次生林的土壤进行不同温度和不同水分的室内培养,并定期测定其土壤碳矿化速率。本文的主要目的:1)探讨植被类型变化(原生林 VS 次生林)对森林土壤碳矿化及其温度敏感性的影响? 2)揭示温度和水分对森林土壤碳矿化的交互影响?

1 试验样地及方法

1.1 试验样地概况

研究地点位于长白山自然保护区以及吉林省安图县二道白河镇境内,它东边受太平洋的影响,气候潮湿多雨,为典型的大陆性温带季风气候,年平均气温为-4.8—2.9 °C,年降水量为 600—900 mm。全年日照时数为 2271—2503 h,无霜期 109—141 h^[15],土壤为山地暗棕色森林土。

实验样地为中国科学院长白山森林生态系统定位研究站的长期实验样地,分别为原生的针阔混交林(地理坐标 128°5'33" E,42°24'18" N)和砍伐后形成的次生混交林(地理坐标 128°4'18" E,42°37'43" N)。针阔混交林样地为原生林,它是长白山地区的地带性植被类型,主要树种有红松(*Pinus koraiensis*)、春榆(*Ulmus davidiana* var. *japonica*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、槭类等;次生林是原生林(针阔混交林)在皆伐后形成的次生林(—20a),主要树种为蒙古栎(*Quercus mongolica*)、红松(*P. koraiensis*)、山杨(*Populus davidiana*)、栎类等,草本植物较发达^[15-16],调查的样方情况如下(表 1)。

表 1 调查样方植被信息

Table 1 Vegetation characteristics of the experimental plots

植被类型 Vegetation type	海拔 Altitude /m	乔木层 Tree Layer				灌木层 Shrub layer		草本层 Herb Layer	
		面积 Area /m ²	物种数 No. of species	平均树高 Height average /m	平均胸径 DBH average /cm	面积 Area /m ²	物种数 No. of species/S	面积 Area /m ²	物种数 No. of species/S
次生林 Secondary forest	536	1200	15	10.49	12.41	25	4	1	14
原生林 Primary forest	746	1200	12	15.47	23.46	25	8	1	9

表中数据为 4 个调查样地的平均值

1.2 样地设置及研究方法

2012 年 8 月,根据地形和地势的情况,分别在原生林和次生林建立了 4 个 30 m × 40 m 样地。每个样地,设置 30—40 个采

集点,在去除地表凋落物后,采用土钻法对 0—30 cm 土壤样品进行取样;多个采集点的土壤样品形成一个混合土壤样品(> 5 kg);即分别在原生林和次生林获得 4 个混合土壤样品。取样后,在室内对土壤样品进行过筛处理(2 mm 土壤筛),并手工挑除根系和杂质。经过预处理的少量土壤样品(约 100 g)风干处理,其余部分 4 °C 冷藏。

1.3 室内测试与培养

培养实验共设置 3 个水分梯度(30%、60%、90%土壤饱和含水量(SSM))和 6 个温度梯度(5、10、15、20、25 和 30 °C),4 次重复,共计 144 个培养样品。其中,土壤饱和含水量采用简易法进行测定,重复 3 次,详细方法可参见文献^[16]。

培养实验开始前,先采用烘干法测定土壤含水量,经过含水量换算后,再称取土壤鲜样 40 g 和石英砂 10 g,装入 150 mL 塑料圆瓶,摇匀后加蒸馏水分别调节至 30%、60%和 90% SSM。样品先在 20 °C 培养 1 周,并测定土壤碳矿化速率。随后,培养样品分别放入 5、10、15、20、25 和 30 °C 的恒温恒湿培养箱内进行培养。

在 8 周测定期内,土壤碳矿化释放速率共测定 9 次,分别为培养 1、3、5、7、15、21、28、42 和 56 d 时测试。在培养过程中,每隔 2—3 d 采用称重法给土壤样品补水 1 次。土壤碳矿化速率采用自主研发的土壤微生物呼吸速率测定系统进行测定,详见代景忠等^[17]。

土壤全碳和全氮含量采用元素分析仪测定,土壤 pH 值利用 pH 计测定,土壤电导率使用电导仪测定。实验样地的土壤性质见表 2。

表 2 土壤理化特性

Table 2 Soil properties of experimental plots

实验样地 Experimental plots	全碳 Total Carbon C/%	全氮 Total Nitrogen N/%	全磷 Total Phosphorus P/%	pH	电导率 Electric conductivity
原生林 Primary forest	8.06(0.59) a	0.70(0.05) a	0.16(0.01) a	5.29(0.15) a	93.89(9.51) a
次生林 Secondary forest	4.03(0.47) b	0.33(0.02) b	0.11(0.03) b	4.99(0.12) b	64.89(4.49) b

表中数据为平均值,括号内数字代表标准误($n=4$),不同小写字母表示样地间差异显著($P<0.05$)

1.4 数据处理

土壤碳矿化速率采用如下公式进行计算^[17]:

$$R = \frac{C \times V \times \alpha \times \beta}{m} \quad (1)$$

式中, R 为土壤微生物呼吸速率($\mu\text{gC g}^{-1} \text{d}^{-1}$), C 为测试时间内 CO_2 浓度变化的直线斜率, V 是培养瓶和管线的总体积, m 是培养瓶内土壤干重, α 是 CO_2 气体质量转化系数, β 是时间转化系数。

Q_{10} 值采用指数模型关系进行计算:

$$R = a \times e^{bT} \quad (2)$$

$$Q_{10} = e^{10b} \quad (3)$$

式中, a, b 为参数。

建立双因素关系模型探讨温度和水分对土壤碳矿化的影响:

$$R = (a \times e^{bT}) \times (c \times w^2 + d \times w + e) \quad (4)$$

式中, R 为土壤碳矿化累积量, T 为培养温度, w 为土壤含水量, a, b, c, d, e 为参数。

利用 SPSS 13.0 统计软件包对实验样地各类指标进行成对 T 检验,采用单变量多因素分析方法检验了温度、水分和植被类型对土壤碳矿化及其温度敏感性的影响,显著性差异水平为 $P=0.05$ 。利用 Sigmaplot 10.0 拟合土壤碳矿化速率随着培养温度和水分的变化趋势。

2 结果与分析

2.1 植被类型变化对土壤碳矿化累积量的影响

植被类型变化对土壤碳矿化累积量具有显著影响($F = 3505.19, P < 0.001$) (表 3)。在相同温度下,次生林的土壤碳矿化累积量显著高于原生林,温度越高这种差距越明显(图 1)。以 90% SSM 为例,整个培养期内(56 d),温度为 5 °C 时,次生林土壤碳矿化累积量为 110.51 $\mu\text{gC/g}$,而原生林土壤碳矿化累积量为 101.28 $\mu\text{gC/g}$;当培养温度为 30 °C 时,次生林土壤碳矿化累积量(346.41 $\mu\text{gC/g}$)显著高于原生林(241.01 $\mu\text{gC/g}$)。

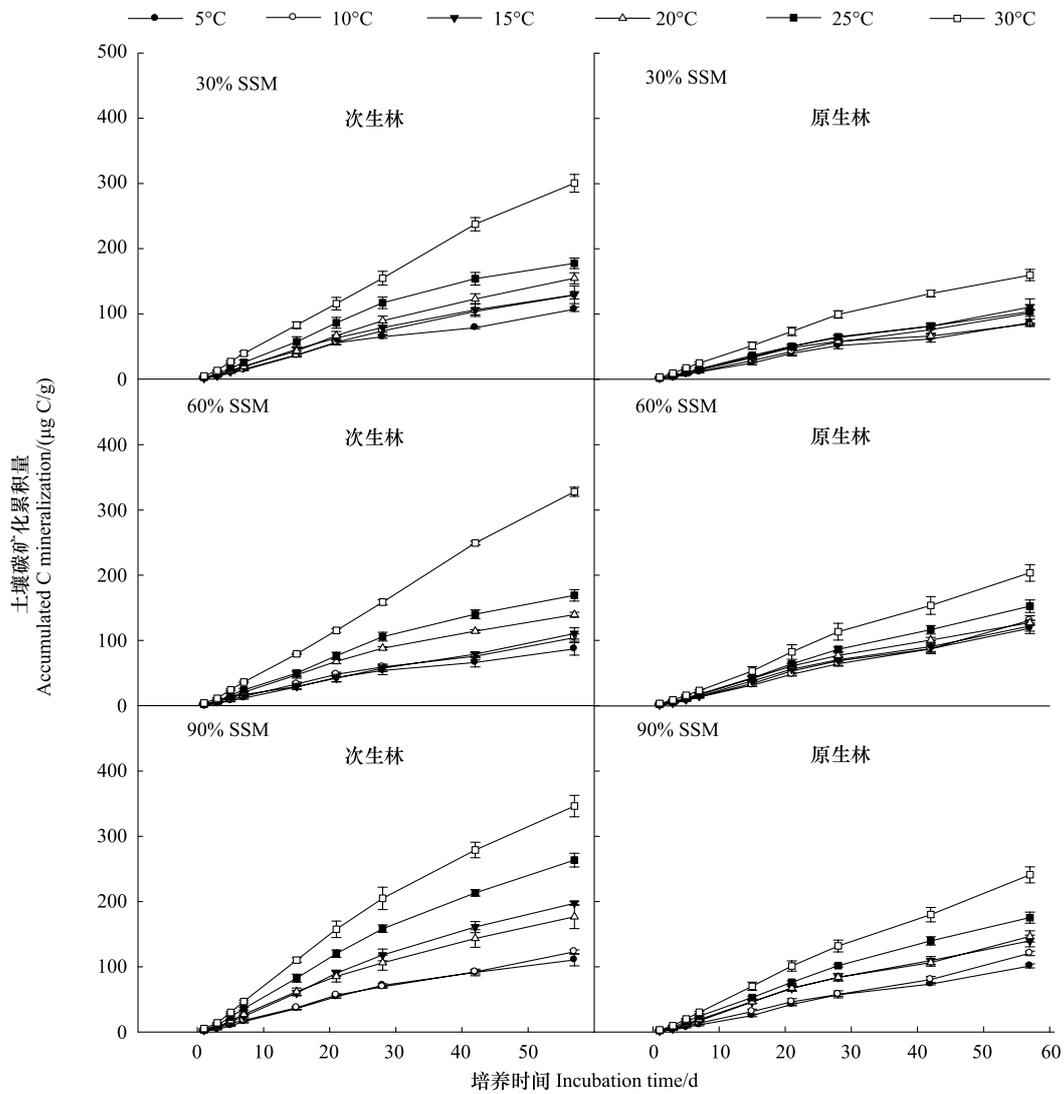


图 1 土壤碳矿化累积量的动态

Fig.1 Dynamics of soil C mineralization in the 56 d incubation

SSM: 土壤饱和含水量

表 3 植被类型、培养温度、水分和培养时间对土壤碳矿化速率的影响

Table 3 Effects of vegetation type, incubation temperature, incubation moisture and time on soil C mineralization rate

	df	F	P		df	F	P
植被类型 Vegetation Types (V)	1	3505.190	< 0.0001	培养水分 Incubation moisture (M)	2	893.689	< 0.0001
培养温度 Incubation temperature (T)	5	3508.190	< 0.0001	培养时间 Incubation time (I)	8	393.316	< 0.0001
V × M	2	248.008	< 0.0001	V × T	5	353.065	< 0.0001
V × I	8	10.970	< 0.0001	M × T	10	79.208	< 0.0001
M × I	16	10.591	< 0.0001	T × I	40	4.332	< 0.0001
V × M × T	10	11.357	< 0.0001	V × M × I	16	4.977	< 0.0001
V × T × I	40	3.836	< 0.0001	M × T × I	80	3.547	< 0.0001
V × M × T × I	80	1.964	< 0.0001				

2.2 温度 and 水分对土壤碳矿化的影响

土壤温度 ($F = 3508.19, P < 0.001$) 和水分 ($F = 893.68, P < 0.001$) 对土壤碳矿化速率有显著影响(表 3)。土壤碳矿化累

积量与温度成正相关,在不同含水量状况下土壤矿化累积量均随温度升高而增多,30℃时达到最高(图1)。次生林和原生林的土壤碳矿化速率对温度变化的响应强度存在差异;在不考虑水分的状况下,次生林土壤碳矿化速率的上升趋势显著高于原始林(图2)。

土壤含水量对土壤碳矿化速率的影响极显著($P < 0.001$),相同水分条件下,次生林土壤碳矿化速率显著高于原始林(图3)。在低温时($< 15^\circ\text{C}$),60% SSM的原始林土壤碳矿化速率最高,当温度超过 15°C 时,原始林的土壤碳矿化速率随水分上升而上升。而在低温时($< 25^\circ\text{C}$),次生林土壤碳矿化速率在60% SSM时相对低,而在90% SSM时略高;而当温度为 30°C 时,土壤碳矿化速率随水分升高而升高。

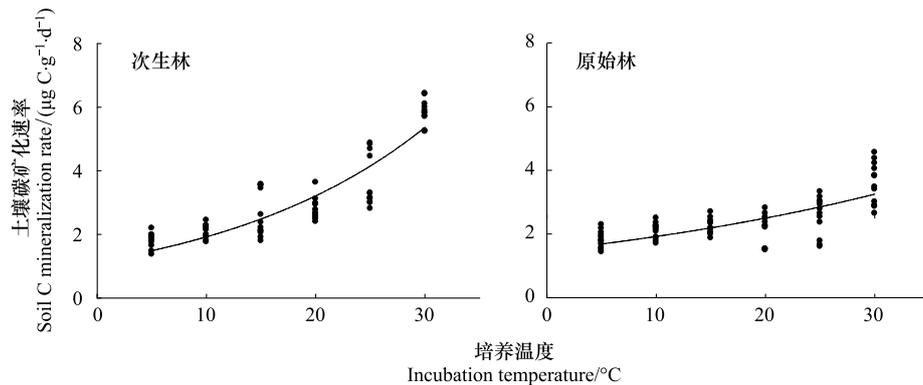


图2 温度对土壤碳矿化速率的影响

Fig.2 The effect of temperature on the rates of soil C mineralization rate

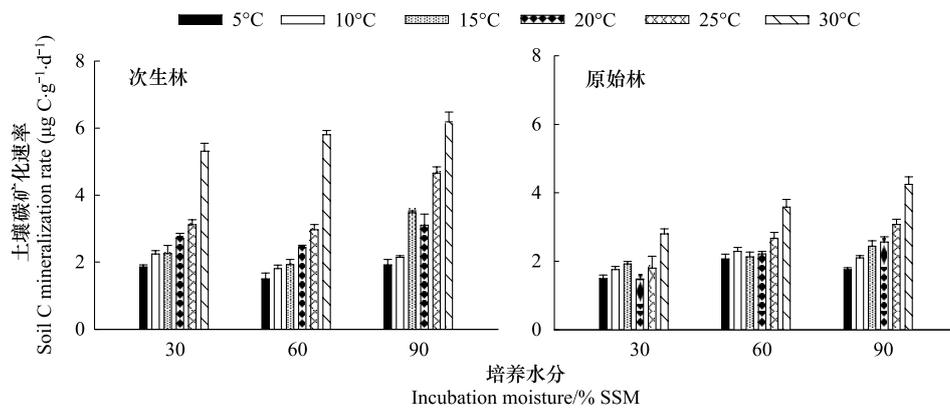


图3 水分对土壤呼吸速率的影响

Fig.3 The effect of incubation water on soil C mineralization rate

2.3 土壤温度和湿度对土壤碳矿化的模型拟合结果

本文采用双因素关系模型 $R = (a \times e^{bt}) \times (c \times w^2 + d \times w + e)$ 来分析土壤温度和湿度对土壤碳矿化累积量的影响。实验结果表明:培养7 d,土壤温度和湿度共同解释了土壤碳矿化能力的85.7%—95.9%,而培养56 d,温度和水分共同解释了土壤碳矿化的82.7%—89.2%(图4,表4)。此外,模型中 b 为温度敏感性指数,而 c 为水分敏感性指数;由表3可知短期培养期内(培养7 d)次生林土壤碳矿化对温度变化比较敏感,而原生林土壤碳矿化更易受土壤含水量的影响。在经过较长时间培养后(培养56 d),根据对 b 和 c 分析可以看出,次生林的土壤碳矿化对温度和湿度的交互影响更为敏感(表4)。

2.4 Q_{10} 与植被类型和水分的关系

植被类型对土壤碳矿化的温度敏感性(Q_{10})有显著影响($F = 483.81, P < 0.001$),次生林的 Q_{10} 值显著高于原始林(图5)。水分对土壤碳矿化的温度敏感性 Q_{10} 具有显著影响($F = 105.59, P < 0.001$),且植被类型和水分二者间存在显著的交互影响($P < 0.001$)(表4)。培养前7 d,次生林的 Q_{10} 值随水分显著升高,而到了56 d时则表现为60% SSM最高(1.61)。在原始林,在培养7 d时,30% SSM时 Q_{10} 值为1.26,60% SSM时 Q_{10} 值为1.23,而90% SSM时 Q_{10} 值为1.46;在培养56 d时 Q_{10} 随培养水分的升高而升高。

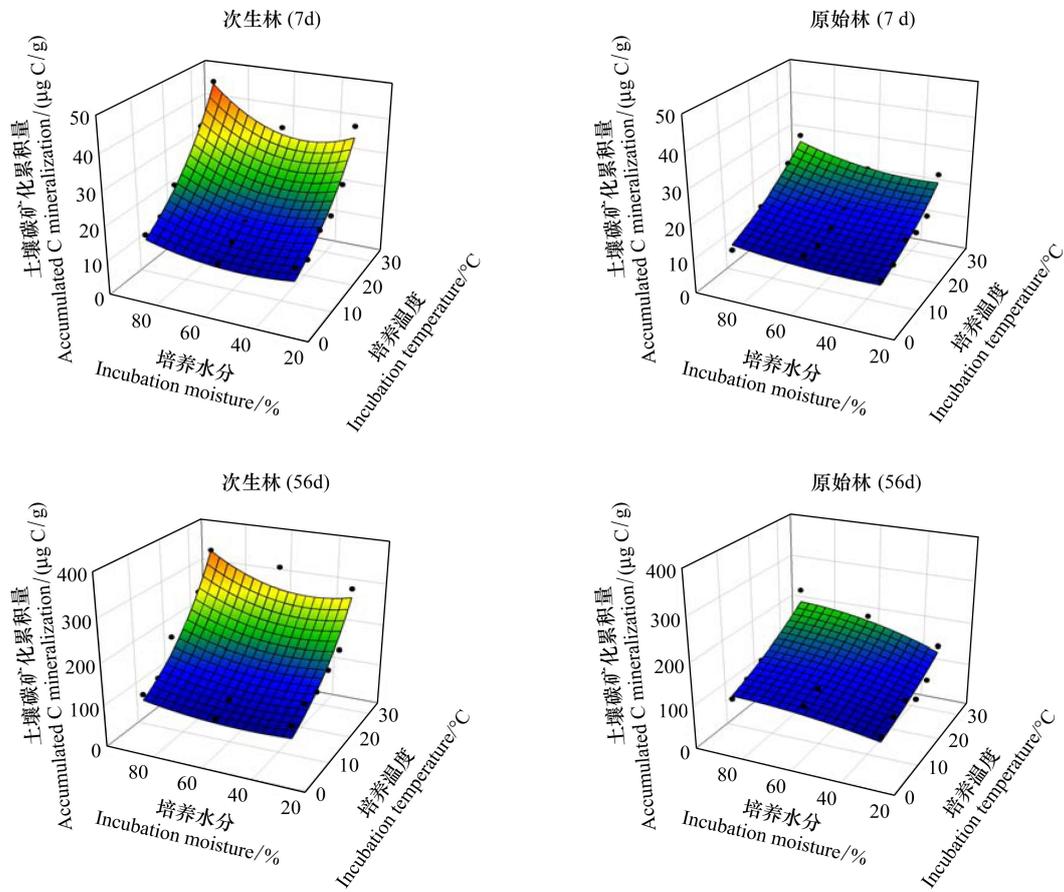


图4 温度和水分对土壤碳矿化影响的模型模拟

Fig.4 The effect of water and temperature on soil C mineralization

表4 土壤碳矿化与培养温度和水分模拟模型的主要参数

Table 4 Model parameters of soil C mineralization with incubation moisture and incubation temperature

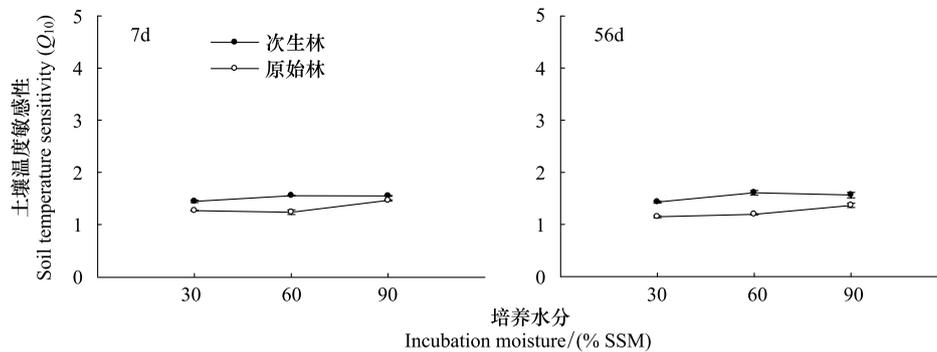
参数 Parameter	土壤碳矿化量(前7d) Soil C mineralization in 7 d		土壤碳矿化量(前56d) Soil C mineralization in 56 d	
	次生林 Secondary forest	原生林 Primary forest	次生林 Secondary forest	原生林 Primary forest
参数 a parameter a	1.270	2.226×10^{-8}	3.378	1.836×10^{-9}
参数 b parameter b	0.047	0.033	0.051	0.027
参数 c parameter c	0.015	3.644×10^5	0.027	-3.599×10^7
参数 d parameter d	-1.518	-2.781×10^7	-2.513	7.044×10^9
参数 e parameter e	101.982	4.239×10^5	230.924	1.729×10^{11}
R^2	0.959	0.897	0.892	0.827
F	76.112	28.150	26.707	15.492
P	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

模型为 $R = (a \times e^{bt}) \times (c \times w^2 + d \times w + e)$

表5 植被类型和水分对土壤碳矿化的温度敏感性(Q_{10})的影响

Table 5 The effect of vegetation types and incubation moisture on the temperature sensitivity (Q_{10}) of soil C mineralization

处理 Treatment	培养前 7 d Duration of 7 d incubation		培养前 56 d Duration of 56 d incubation	
	F	P	F	P
植被类型 Vegetation types (V)	483.81	< 0.001	467.53	< 0.001
水分 Incubation moisture (M)	105.59	< 0.001	55.41	< 0.001
V × M	58.24	< 0.001	20.05	< 0.001

图5 土壤碳矿化温度敏感性 Q_{10} 随水分的变化Fig.5 The effect of moisture on the temperature sensitivity (Q_{10}) of soil C mineralization

3 讨论

3.1 植被类型变化与土壤碳矿化

次生林的土壤碳矿化累积量显著高于原始林,意味着植被类型对土壤碳矿化具有显著影响。这与其他学者所得出的结论相似^[18-19],研究发现森林生态系统中的原生林经过人为干扰转变为次生林后土壤呼吸增强^[3,20],产生这种变化是因为次生林是原生林在遭受认为干扰后形成的更新林,林分种类较原生林简单,群落分盖度低于原生林,从而导致其林内气候更易受到外界影响,进而影响土壤有机质的分解速率;此外,森林演替过程中植被群落结构、类型和数量不断变化,并和周围环境和土壤相互作用,形成不同土壤环境^[21],进而引起微生物活动过程发生变化,或形成不同的土壤的物理性质(孔隙、团聚体)^[21-23]。因此,进一步深入研究植被类型对土壤碳矿化的影响及其机理对于研究森林碳循环对气候变化的响应非常必要。

3.2 土壤碳矿化对温度和水分变化的响应

温度和水分是影响森林生态系统土壤碳矿化的主要因素,土壤碳矿化的大部分变化是由温度和湿度引起的^[9,24-25]。从本文分析可知,温度对土壤碳矿化有显著影响,原生林和次生林的土壤碳矿化能力都随温度上升,这与前期的研究结论一致^[26],引起这种变化的主要原因可能是温度上升会促使土壤中微生物、土壤中酶的活性和根的呼吸增强等^[24]。

水分对原生林和次生林土壤碳矿化有着显著影响,原始林在低温时,60% SSM 的土壤碳矿化速率最高,当温度超过 15 °C 时,原始林的土壤碳矿化速率随水分上升而上升。次生林土壤碳矿化能力都表现为 90% SSM 时最高,大量研究表明:含水量为 60%—70% 之间的水分最利于土壤呼吸作用的进行,土壤水分或过低过多会抑制土壤 CO₂ 的释放量^[27],含水量过高会降低土壤的空隙和氧气含量,从而抑制土壤微生物呼吸与气体交换过程^[28],而含水量过低时微生物和酶的活性会降低,不利于土壤呼吸作用的进行。这与次生林在低温时所得出的结论相似,温度超过 15 °C 时,水分上升,碳矿化速率加快,其原因可能是温度超过 15 °C 时温度和水分交互影响时温度的作用占主导地位,而原生林土壤碳矿化速率在 90% SSM 时最高,其原因可能是由于水分较高时交互效应影响引起的。

双因素关系模型 $R = (a \times e^{bt}) \times (c \times w^2 + d \times w + e)$ 进行分析可以很好地解释土壤碳矿化的变异,也说明温度和水分是土壤碳矿化的重要影响因素。在培养 7 d 时,土壤温度和湿度共同解释了长白山森林土壤碳矿化能力的 85.7%—95.9%,而在培养 56 d 时,温度和水分共同解释了森林土壤碳矿化的 82.7%—89.2%。Rey 等在研究指出温度和湿度共同解释柞树矮林土壤呼吸年变化的 91%^[29],Qi 等采用双因素关系模型发现温度和水分共同解释了不同森林土壤呼吸季节变化的 80%—96%^[30]。而整个培养期内,由参数 b 和 c 分析可知,次生林的参数 b 值(温度敏感性因子)显著大于原始林,而原生林的 c 值(水分敏感性因子)大于次生林,但温度和水分的交互影响结果表现为原始针阔混交林的土壤碳矿化累积量显著高于次生针阔混交林,这其中的原因可能是温度对原始针阔混交林和次生混交林的影响力大于水分。土壤碳矿化受温度和水分的影响程度不同,因此采用单因素模型来解释温度和水分对土壤碳矿化或土壤呼吸的结果时要更加谨慎,未来应进一步加强水分和温度对土壤碳矿化的交互效应的研究。

3.3 Q_{10} 及其主要影响因素

植被类型和土壤水分对原始林和次生林土壤碳矿化的温度敏感性(Q_{10})都具有显著影响,且这两种因素之间存在着显著的交互效应。培养 7 d 和培养 56 d,无论是原始的针阔混交林还是次生的针阔混交林,植被类型变化都对其土壤碳矿化有着显著影响,相同水分条件下次生林的 Q_{10} 值大于原始林,这种现象的形成可能是因为不同类型森林土壤中的底物对温度的不同反应所引起的,还有可能是其土壤微生物群落差异所导致的^[31-32]。不同森林类型间的 Q_{10} 值存在着相当大的差异,说明植被类型变化会强烈影响土壤碳矿化及其对温度变化的敏感程度^[33]。植被类型发生变化会对土壤有机碳的数量与结构产生明显的影响,并改变植被类型以及生物量、植被盖度、根系分布和微生物种类和数量等^[34],从而导致 Q_{10} 值的巨大变异^[33];未来应仔细深入

开展底物和土壤微生物是如何影响两种森林类型的温度敏感性,为揭示该地区的碳周转提供理论依据。

整个培养期内(培养 56 d),次生林的 Q_{10} 值在饱和含水量为 60% SSM 时候最高,而原始林的 Q_{10} 则是随着水分升高而升高。水分显著影响土壤碳矿化,但水分对不同生态系统 Q_{10} 的影响方向和程度不同^[27],因此水分对温度敏感性的影响也不一致,Gulledge 和 Schimel 发现水分增加会促进土壤呼吸敏感性^[35],而 Dörr^[36] 则发现水分变化对土壤呼吸温度敏感性 Q_{10} 没有产生显著影响。这些不一致的结论可能是由于研究地所处的生态系统中土壤基质不同,也可能是因为不同生态系统中水分对土壤通透性,植物根系及微生物活动的影响不一样所导致的^[37]。

4 结论

植被类型变化对土壤碳矿化速率具有显著影响,原始的针阔混交林在砍伐后形成次生林,其土壤碳矿化能力显著增强。温度和水分对原始林和次生林的土壤碳矿化均具有显著影响,且二者间存在显著的交互效应。利用双因素模型 $R = (a \times e^{bt}) \times (c \times w^2 + d \times w + e)$ 可很好模拟长白山森林土壤碳矿化速率的变异(82.7%—95.9%)。次生林土壤碳矿化速率及其温度敏感性均高于原始林,意味着森林采伐会加速土壤有机质的分解,从而导致土壤碳贮量下降。

References:

- [1] Alvarez R, Alvarez C. Temperature regulation of soil carbon dioxide production in the Humid Pampa of Argentina: estimation of carbon fluxes under climate change. *Biology and Fertility of Soils*, 2001, 34(4): 282-285.
- [2] Xiao H L. Climate change in relation to soil organic matter. *Soil and Environmental Sciences*, 1999, 8(4): 300-304.
- [3] Wang X, Zhou G S, Jiang Y L, Jia B R, Wang F Y, Zhou L. Soil respiration in natural mixed (*Betula platyphylla* and *Populus davidiana*) secondary forest and primary broad-leaved Korean pine forest. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 2007, 31(3): 348-354.
- [4] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology*, 2000, 6: 317-327.
- [5] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, Melillo J M. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 1997, 278(5325): 494-499.
- [6] Kucera C L, Kirkham D R. Soil respiration studies in tallgrass prairie in Missouri. *Ecology*, 1971, 52(5): 912-915.
- [7] Wildung R E, Garland T R, Buschbom R L. The interdependent effects of soil temperature and water content on soil respiration rate and plant root decomposition in arid grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1975, 7(6): 373-378.
- [8] Cecon C, Panzacchi P, Scandellari F, Prandi L, Ventura M, Russo B, Millard P, Tagliavini M. Spatial and temporal effects of soil temperature and moisture and the relation to fine root density on root and soil respiration in a mature apple orchard. *Plant and Soil*, 2011, 342(1/2): 195-206.
- [9] Davidson E A, Belk E, Boone R D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biology*, 1998, 4(2): 217-227.
- [10] Yang Y S, Chen G S, Wang X G, Xie J S, Gao R, Li Z, Jin Z. Response of soil CO₂ efflux to forest conversion in subtropical zone of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(7): 1684-1690.
- [11] Wang X G, Zhu B, Wang Y Q, Zheng X H. Soil respiration and its sensitivity to temperature under different land use conditions. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 1960-1968.
- [12] Reichstein M, Bednorz F, Broll G, Kätterer T. Temperature dependence of carbon mineralisation: conclusions from a long-term incubation of subalpine soil samples. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(7): 947-958.
- [13] Reichstein M, Subke J A, Angeli A C, Tenhunen J D. Does the temperature sensitivity of decomposition of soil organic matter depend upon water content, soil horizon, or incubation time? *Global Change Biology*, 2005, 11(10): 1754-1767.
- [14] Fang C, Moncrieff J B. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33(2): 155-165.
- [15] Zhao S Q, Fang J Y, Zong Z J, Zhu B, Shen H H. Composition, structure and species diversity of plant communities along an altitudinal gradient on the northern slope of Mt. Changbai, Northeast China. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 164-173.
- [16] Shen C C, Xiong J B, Zhang H Y, Feng Y Z, Lin X G, Li X Y, Liang W J, Chu H Y. Soil pH drives the spatial distribution of bacterial communities along elevation on Changbai Mountain. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, 57: 204-211.
- [17] Dai J Z, Wei Z J, He N P, Wang R M, Wen X H, Zhang Y H, Zhao X N, Yu G R. Effect of grazing enclosure on the priming effect and temperature sensitivity of soil C mineralization in *Leymus chinensis* grasslands, Inner Mongolia, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2012, 36(12): 1226-1236.
- [18] Dube F, Zagal E, Stolpe N, Espinosa M. The influence of land-use change on the organic carbon distribution and microbial respiration in a volcanic soil of the Chilean Patagonia. *Forest Ecology and Management*, 2009, 257(8): 1695-1704.
- [19] Zheng D L, Chen J Q, LeMoine J M, Euskirchen E S. Influences of land-use change and edges on soil respiration in a managed forest landscape, WI, USA. *Forest Ecology and Management*, 2005, 215(1/3): 169-182.
- [20] Huang C C, Ge Y, Chang J. Effect of artificial disturbance on soil respiration of forest ecosystem. *Journal of Zhejiang Forestry Science & Technology*, 1999, 19(4): 19-27.
- [21] Trumbore S E, Davidson E A, de Camargo P B, Nepstad D C, Martinelli L A. Belowground cycling of carbon in forests and pastures of Eastern Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, 1995, 9(4): 515-528.

- [22] Larionova A A, Yermolayev A M, Blagodatsky S A, Rozanova L N, Yevdokimov I V, Orlinsky D B. Soil respiration and carbon balance of gray forest soils as affected by land use. *Biology and Fertility of Soils*, 1998, 27(3): 251-257.
- [23] Lal R, Kimble J, Follett R. Land use and soil C pool in terrestrial ecosystems // Lal R, Kimble J, Follett R, Stewart B A, eds. *Management of Carbon Sequestration in Soil*. Boca Raton: CRC Press, 1998: 1-10.
- [24] Liu Y, Han S J. Factors controlling soil respiration in four types of forest of Changbai Mountains, China. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(3): 1061-1065.
- [25] Jia B, Zhou G, Wang Y, Wang F, Wang X. Effects of temperature and soil water-content on soil respiration of grazed and ungrazed *Leymus chinensis* steppes, inner Mongolia. *Journal of Arid Environments*, 2006, 67(1): 60-76.
- [26] Liu H S, Liu H J, Wang Z P, Xu M, Han X G, Li L H. The temperature sensitivity of soil respiration. *Progress in Geography*, 2008, 27(4): 52-58.
- [27] Bowden R D, Newkirk K M, Rullo G M. Carbon dioxide and methane fluxes by a forest soil under laboratory-controlled moisture and temperature conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30(12): 1591-1597.
- [28] Merilä P, Ohtonen R. Soil microbial activity in the coastal Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] forests of the Gulf of Bothnia in relation to humus-layer quality, moisture and soil types. *Biology and Fertility of Soils*, 1997, 25(4): 361-365.
- [29] Rey A, Pegoraro E, Tedeschi V, De Parri I, Jarvis P G, Valentini R. Annual variation in soil respiration and its components in a coppice oak forest in Central Italy. *Global Change Biology*, 2002, 8(9): 851-866.
- [30] Qi Y, Xu M. Separating the effects of moisture and temperature on soil CO₂ efflux in a coniferous forest in the Sierra Nevada mountains. *Plant and Soil*, 2001, 237(1): 15-23.
- [31] Balsler T C, Wixon D L. Investigating biological control over soil carbon temperature sensitivity. *Global Change Biology*, 2009, 15(12): 2935-2949.
- [32] Yang Y, Huang M, Liu H S, Liu H J. The Interrelation between temperature sensitivity and adaptability of soil respiration. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(10): 1811-1820.
- [33] Zhang J B, Song C C, Yang W Y. Temperature sensitivity of soil respiration and its effecting factors in the different land use. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 25(11): 1537-1542.
- [34] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus B*, 1992, 44(2): 81-99.
- [35] Gullledge J, Schimel J P. Controls on soil carbon dioxide and methane fluxes in a variety of taiga forest stands in interior Alaska. *Ecosystems*, 2000, 3(3): 269-282.
- [36] Dörr H, Münnich K. Annual variation in soil respiration in selected areas of the temperate zone. *Tellus B*, 1987, 39(1/2): 114-121.
- [37] Chen Q S, Li L H, Han X G, Yan Z D. Effects of water content on soil respiration and the mechanisms. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 972-978.

参考文献:

- [2] 肖辉林. 气候变化与土壤有机质的关系. *土壤与环境*, 1999, 8(4): 304-304.
- [3] 王旭, 周广胜, 蒋廷玲, 贾丙瑞, 王凤玉, 周莉. 山杨白桦混交次生林与原始阔叶红松林土壤呼吸作用比较. *植物生态学报*, 2007, 31(3): 348-354.
- [10] 杨玉盛, 陈光水, 王小国, 谢锦升, 高人, 李震, 金钊. 中国亚热带森林转换对土壤呼吸动态及通量的影响. *生态学报*, 2005, 25(7): 1684-1690.
- [11] 王小国, 朱波, 王艳强, 郑循华. 不同土地利用方式下土壤呼吸及其温度敏感性. *生态学报*, 2007, 27(5): 1960-1968.
- [15] 赵淑清, 方精云, 宗占江, 朱彪, 沈海花. 长白山北坡植物群落组成、结构及物种多样性的垂直分布. *生物多样性*, 2004, 12(1): 164-173.
- [17] 代景忠, 卫智军, 何念鹏, 王若梦, 温学华, 张云海, 赵小宁, 于贵瑞. 封育对羊草草地土壤碳矿化激发效应和温度敏感性的影响. *植物生态学报*, 2012, 36(12): 1226-1236.
- [20] 黄承才, 葛滢, 常杰. 人为扰动对森林生态系统土壤呼吸的影响. *浙江林业科技*, 1999, 19(4): 19-27.
- [24] 刘颖, 韩士杰. 长白山四种森林土壤呼吸的影响因素. *生态环境学报*, 2009, 18(3): 1061-1065.
- [26] 刘洪升, 刘华杰, 王智平, 徐明, 韩兴国, 李凌浩. 土壤呼吸的温度敏感性. *地理科学进展*, 2008, 27(4): 52-58.
- [32] 杨毅, 黄玫, 刘洪升, 刘华杰. 土壤呼吸的温度敏感性和适应性研究进展. *自然资源学报*, 2011, 26(10): 1811-1820.
- [33] 张金波, 宋长春, 杨文燕. 不同土地利用下土壤呼吸温度敏感性差异及影响因素分析. *环境科学学报*, 2005, 25(11): 1537-1542.
- [37] 陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 阎志丹. 水分对土壤呼吸的影响及机理. *生态学报*, 2003, 23(5): 972-978.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.19 Oct. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

- A review of ecosystem services and research perspectives MA Fengjiao, LIU Jintong, A. Egrinya Eneji (5963)
- Sexual interference in non-human primates YANG Bin, WANG Chengliang, JI Weihong, et al (5973)
- Density-dependent effect on reproduction of rodents; a review HAN Qunhua, GUO Cong, ZHANG Meiwen (5981)
- Proximate and ultimate determinants of food chain length WANG Yuyu, XU Jun, LEI Guangchun (5990)
- Mechanism of biological control to plant diseases using arbuscular mycorrhizal fungi
..... LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LI Yuanyuan, et al (5997)
- Advances in effects of conservation tillage on soil organic carbon and nitrogen
..... XUE Jianfu, ZHAO Xin, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, et al (6006)
- Habitat selection of the pre-released giant panda in Wolong Nature Reserve
..... ZHANG Mingchun, HUANG Yan, LI Desheng, et al (6014)
- Activity rhythm and behavioral time budgets of wild Reeves's Pheasant (*Syrnaticus reevesii*) using infrared camera
..... ZHAO Yuze, WANG Zhichen, XU Jiliang, et al (6021)
- The energy budget of tree sparrows *Passer montanus* in wind different speed and duration
..... YANG Zhihong, WU Qingming, DONG Haiyan, et al (6028)
- Nest site characteristics of *Petaurista caniceps* in Baima Snow Mountain Nature Reserve
..... LI Yanhong, GUAN Jinke, LI Dayong, HU Jie (6035)
- Effects of habitat fragmentation on the genetic diversity of *Pachycondyla luteipes* on islands in the Thousand Island Lake, East
China LUO Yuanyuan, LIU Jinliang, HUANG Jieliang, et al (6041)
- The molecular genetic relationship between the pollinators of *Ficus pumila* var. *pumila* and *Ficus pumila* var. *aukeotsang*
..... WU Wenshan, CHEN Youling, SUN Lingli, et al (6049)
- The genetic evolutionary relationships of two *Eupristina* species on *Ficus altissima*
..... CHEN Youling, SUN Lingli, WU Leilei, et al (6058)
- Metal uptake and root morphological changes for two varieties of *Salix integra* under cadmium stress
..... WANG Shufeng, SHI Xiang, SUN Haijing, et al (6065)
- Effects of phthalic acid on seed germination, membrane lipid peroxidation and osmoregulation substance of radish seedlings
..... YANG Yanjie, WANG Xiaowei, ZHAO Kang, et al (6074)
- The morphological and physiological responses of *Tamarix ramosissima* seedling to different irrigation methods in the extremely
arid area MA Xiaodong, WANG Minghui, LI Weihong, et al (6081)
- Response characteristics of photosynthetic and physiological parameters in *Ziziphus jujuba* var. *spinosa* seedling leaves to soil
water in sand habitat formed from seashells WANG Rongrong, XIA Jiangbao, YANG Jihua, et al (6088)
- Effects of ceramsite mulching on soil water content, photosynthetic physiological characteristics and growth of plants
..... TAN Xuehong, GUO Xiaoping, ZHAO Tingning (6097)
- Dynamics of tannin concentration and nutrient resorption for branchlets of *Casuarina equisetifolia* plantations at different ages
..... YE Gongfu, ZHANG Shangju, ZHANG Lihua, et al (6107)
- Sulfur contents in leaves and branches of dominant species among the three forest types in the Pearl River Delta
..... PEI Nancai, CHEN Bufeng, ZOU Zhijin, et al (6114)
- Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth dynamics of *Bauhinia faberi* seedlings
..... SONG Chengjun, QU Laiye, MA Keming, et al (6121)
- Characteristics of ion accumulation and seed germination for seeds from plants cultured at different concentrations of nitrate
nitrogen and salinity ZHOU Jiachao, FU Tingting, ZHAO Weiwei, et al (6129)
- Physio-ecological effects of endophyte infection on the host grass with elevated CO₂
..... SHI Zhibing, ZHOU Yong, LI Xia, et al (6135)
- Effects of pretreatment on germination of *Typha domingensis* and *Phragmites australis*
..... MENG Huan, WANG Xuehong, TONG Shouzheng, et al (6142)
- Transfer characteristics of cadmium from soil to *Salix × aureo-pendula* ZHANG Wen, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (6147)
- Effect of Close-to-Nature management on the natural regeneration and species diversity in a masson pine plantation
..... LUO Yinghua, SUN Dongjing, LIN Jianyong, et al (6154)
- Population dynamics and seed banks of the threatened seagrass *Halophila beccarii* in Pearl Bay, Guangxi
..... QIU Guanglong, FAN Hangqing, LI Zongshan, et al (6163)
- Effects of biological crusts on dew deposition and evaporation in the Southern Edge of the Mu Us Sandy Land, Northern China
..... YIN Ruiping, WU Yongsheng, ZHANG Xin, et al (6173)
- Life history characteristics and spatial distribution of *Populus pruinosa* population at the upper reaches of Tarim River
..... HAN Lu, XI Linqiao, WANG Jiaqiang, et al (6181)
- Interactive effects of short-term nitrogen enrichment and simulated grazing on ecosystem respiration in an alpine meadow on the
Tibetan Plateau ZONG Ning, SHI Peili, JIANG Jing, et al (6191)

- The correlation between soil water salinity and plant community distribution under micro-topography in Songnen Plain YANG Fan, WANG Zhichun, WANG Yunhe, et al (6202)
- Comparison of TSP, PM_{2.5} and their water-soluble ions from both inside and outside of Dafushan forest park in Guangzhou during rainy season XIAO Yihua, LI Jiong, KUANG Yuanwen, et al (6209)
- Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago II. Spatio-temporal patterns of community structure WANG Zhenhua, ZHAO Jing, WANG Kai, et al (6218)
- Interannual variation in the population dynamics of snailfish *Liparis tanakae* in the Yellow Sea CHEN Yunlong, SHAN Xiujuan, ZHOU Zhipeng, et al (6227)
- Spatial and temporal variation of soil macro-fauna community structure in three temperate forests LI Na, ZHANG Xueping, ZHANG Limin (6236)
- Community structure and species biodiversity of fig wasps in syconia of *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. in Fuzhou CHEN Youling, CHEN Xiaoqian, WU Wenshan, et al (6246)
- Marine ecological capital: valuation methods of marine ecosystem services CHEN Shang, REN Dachuan, XIA Tao, et al (6254)
- Geomorphologic regionalization of China aimed at construction of nature reserve system GUO Ziliang, CUI Guofa (6264)
- Impact of ecological vegetation construction on the landscape pattern of a Loess Plateau Watershed YI Yang, XIN Zhongbao, QIN Yunbin, et al (6277)
- Spatial heterogeneity of soil moisture across a cropland-grassland mosaic: a case study for agro-pastoral transition in north of China WANG Hongmei, WANG Zhongliang, WANG Kun, et al (6287)
- The regional diversity of changes in growing duration of spring wheat and its correlation with climatic adaptation in Northern China E Youhao, HUO Zhiguo, MA Yuping, et al (6295)
- Response of soil physical-chemical properties to rocky desertification succession in South China Karst SHENG Maoyin, LIU Yang, XIONG Kangning (6303)
- Prediction of the effects of climate change on the potential distribution of mire in Northeastern China HE Wei, BU Rencang, LIU Hongjuan, et al (6314)
- Soil nitrogen mineralization and associated temperature sensitivity of different Inner Mongolian grasslands ZHU Jianxing, WANG Qiufeng, HE Nianpeng, et al (6320)
- Effects of land use on soil nutrient in oasis-desert ecotone in the middle reach of the Heihe River MA Zhimin, LÜ Yihe, SUN Feixiang, et al (6328)
- Assessment on heavy metal pollution status in paddy soils in the northern Chengdu Plain and their potential ecological risk QIN Yusheng, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (6335)
- Relationship between the temporal-spatial distribution of longline fishing grounds of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and the thermocline characteristics in the Central Atlantic Ocean YANG Shenglong, MA Junjie, ZHANG Yu, et al (6345)
- Biological nitrogen fixation in the upper water column in the south Taiwan Strait during summer 2011 LIN Feng, CHEN Min, YANG Weifeng, et al (6354)
- Storage and drivers of forests carbon on the Beichangshan Island of Miaodao Archipelago SHI Honghua, WANG Xiaoli, WANG Ai, et al (6363)
- Impact of changes in vegetation types on soil C mineralization and associated temperature sensitivity in the Changbai Mountain forests of China WANG Dan, LÜ Yuliang, XU Li, et al (6373)
- Analysis of relationship between genetic structure of Chinese Pine and mountain barriers MENG Xiangxiang, DI Xiaoyan, WANG Mengben, et al (6382)
- Soil organic carbon interpolation based on auxiliary environmental covariates: a case study at small watershed scale in Loess Hilly region WEN Wen, ZHOU Baotong, WANG Yafeng, et al (6389)
- Eco-management benefit analysis of industrial resources from life cycle perspective: a case study of a virtual symbiosis network SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, YANG Jianxin (6398)
- The game analysis between poverty and environment in ecologically fragile zones QI Xinhua, YE Shilin, CHENG Yu, et al (6411)
- The coupling development of economy and environment under the background of World Expo in Shanghai NI Yao, YUE Wenzhe, ZHANG Yuntang, et al (6418)

《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 陈利顶 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 19 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 33 No. 19 (October, 2013)

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 王如松
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

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

印 刷 北京北林印刷厂
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 WANG Rusong
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

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

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

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

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



ISSN 1000-0933
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