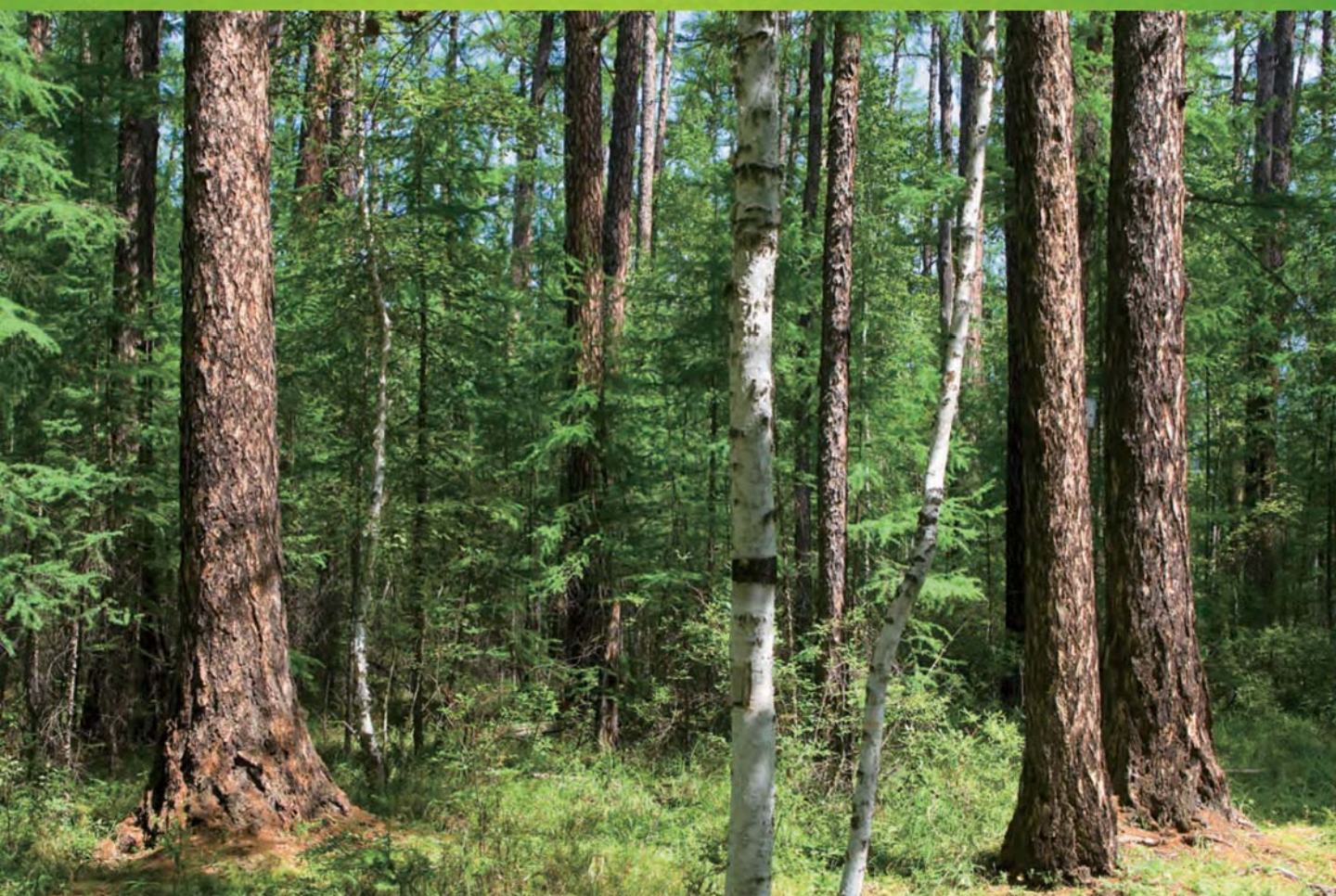


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第23期 Vol.33 No.23 **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 23 期 2013 年 12 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 基于树干液流技术的北京市刺槐冠层吸收臭氧特征研究..... 王 华, 欧阳志云, 任玉芬, 等 (7323)
- 三疣梭子蟹增殖过程对野生种群的遗传影响——以海州湾为例..... 董志国, 李晓英, 张庆起, 等 (7332)
- 土壤盐分对三角叶滨藜抗旱性能的影响..... 谭永芹, 柏新富, 侯玉平, 等 (7340)
- 南美斑潜蝇为害对黄瓜体内 4 种防御酶活性的影响..... 孙兴华, 周晓榕, 庞保平, 等 (7348)

个体与基础生态

- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物养分输入量的早期影响..... 肖银龙, 涂利华, 胡庭兴, 等 (7355)
- 茎瘤芥不同生长期植株营养特性及其与产量的关系..... 赵 欢, 李会合, 吕慧峰, 等 (7364)
- 雷竹覆盖物分解速率及其硅含量的变化..... 黄张婷, 张 艳, 宋照亮, 等 (7373)
- 渍水对油菜苗期生长及生理特性的影响..... 张树杰, 廖 星, 胡小加, 等 (7382)
- 广西扶绥黑叶猴的主要食源植物及其粗蛋白含量..... 李友邦, 丁 平, 黄乘明, 等 (7390)
- 氮素营养水平对膜下滴灌玉米穗位叶光合及氮代谢酶活性的影响..... 谷 岩, 胡文河, 徐百军, 等 (7399)
- PFOS 对斑马鱼胚胎及仔鱼的生态毒理效应 夏继刚, 牛翠娟, 孙麓垠 (7408)
- 浒苔干粉末提取物对东海原甲藻和中肋骨条藻的克生作用..... 韩秀荣, 高 嵩, 侯俊妮, 等 (7417)
- 基于柑橘木虱 CO I 基因的捕食性天敌捕食作用评估 孟 翔, 欧阳革成, Xia Yulu, 等 (7430)
- 健康和虫害的红松挥发物对赤松梢斑螟及其寄生蜂寄主选择行为的影响.....
..... 王 琪, 严善春, 严俊鑫, 等 (7437)

种群、群落和生态系统

- 小麦蚕豆间作对蚕豆根际微生物群落功能多样性的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系.....
..... 董 艳, 董 坤, 汤 利, 等 (7445)
- 喀斯特峰丛洼地不同生态系统的土壤肥力变化特征..... 于 扬, 杜 虎, 宋同清, 等 (7455)
- 黄土高原人工苜蓿草地固碳效应评估..... 李文静, 王 振, 韩清芳, 等 (7467)

景观、区域和全球生态

- 粉垄耕作对黄淮海北部土壤水分及其利用效率的影响..... 李轶冰, 逢焕成, 杨 雪, 等 (7478)
- 三峡库区典型农林流域景观格局对径流和泥沙输出的影响..... 黄志霖, 田耀武, 肖文发, 等 (7487)
- 基于 BP 神经网络与 ETM+ 遥感数据的盐城滨海自然湿地覆被分类..... 肖锦成, 欧维新, 符海月 (7496)
- 寒温带针叶林土壤 CH₄ 吸收对模拟大气氮沉降增加的初期响应..... 高文龙, 程淑兰, 方华军, 等 (7505)
- 寒温带针叶林土壤呼吸作用的时空特征..... 贾丙瑞, 周广胜, 蒋延玲, 等 (7516)

黄土高原小麦田土壤呼吸季节和年际变化..... 周小平,王效科,张红星,等 (7525)

不同排放源周边大气环境中 NH₃ 浓度动态..... 刘杰云,况福虹,唐傲寒,等 (7537)

施加秸秆和蚯蚓活动对麦田 N₂O 排放的影响 罗天相,胡 锋,李辉信 (7545)

资源与产业生态

基于水声学方法的天目湖鱼类资源捕捞与放流的生态监测..... 孙明波,谷孝鸿,曾庆飞,等 (7553)

应用支持向量机评价太湖富营养化状态..... 张成成,沈爱春,张晓晴,等 (7563)

研究简报

亚热带 4 种森林凋落物量及其动态特征 徐旺明,闫文德,李洁冰,等 (7570)

青蒿素对蔬菜种子发芽和幼苗生长的化感效应 白 祯,黄 玥,黄建国 (7576)

NO 参与 AM 真菌与烟草共生过程 王 玮,赵方贵,侯丽霞,等 (7583)

基于核密度估计的动物生境适宜度制图方法..... 张桂铭,朱阿兴,杨胜天,等 (7590)

施氮方式对转基因棉花 Bt 蛋白含量及产量的影响 马宗斌,刘桂珍,严根土,等 (7601)

学术信息与动态

未来地球——全球可持续性研究计划..... 刘源鑫,赵文武 (7610)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 292 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 33 * 2013-12



封面图说：兴安落叶松林景观——中国的寒温带针叶林属于东西伯利亚森林向南的延伸部分,它是大兴安岭北部一带的地带性植被类型,一般可分为落叶针叶林和常绿针叶林两类。兴安落叶松林景观地下部分为棕色森林土,中上部为灰化棕色针叶林土,均呈酸性反应。随着全球气候持续变暖,寒温带针叶林生态系统潜在的巨大碳库将可能成为大气 CO₂ 的重要来源,研究表明,温度是寒温带针叶林生态系统土壤呼吸作用的主要调控因子,对温度的敏感性随纬度升高而增加,根系和凋落物与土壤呼吸作用表现出相似的空间变异性。

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/stxb201208221184

贾丙瑞, 周广胜, 蒋延玲, 王宇, 殷晓洁, 胡天宇. 寒温针叶林土壤呼吸作用的时空特征. 生态学报, 2013, 33(23): 7516-7524.

Jia B R, Zhou G S, Jiang Y L, Wang Y, Yin X J, Hu T Y. Temporal-spatial characteristics of soil respiration in Chinese boreal forest ecosystem. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(23): 7516-7524.

寒温针叶林土壤呼吸作用的时空特征

贾丙瑞¹, 周广胜^{1,2,*}, 蒋延玲¹, 王宇¹, 殷晓洁¹, 胡天宇¹

(1. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093; 2. 中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要: 利用 Li-6400 便携式 CO₂ 分析系统对寒温针叶林土壤呼吸作用观测数据分析表明, 土壤呼吸作用日、季动态均呈单峰型变化, 日最大值出现在 16:00 左右, 与 5 cm 土壤温度日动态相似, 滞后于气温日动态变化; 月最大值出现在 8 月份, 2006 年和 2007 年分别为 8.19 和 6.89 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。日、季土壤呼吸作用与土壤温度的相关性均好于气温。土壤呼吸作用存在较大的空间变异性, 一天内 3:00、7:00 和 11:00 的土壤呼吸作用变异系数分别为 35.5%、27.6% 和 23.0%, 根系和凋落物与土壤呼吸作用表现出相似的空间变异性, 其中细根与土壤呼吸作用的相关性最好。

关键词: 大兴安岭; 兴安落叶松; 土壤呼吸作用; 日季动态; 变异性

Temporal-spatial characteristics of soil respiration in Chinese boreal forest ecosystem

JIA Bingrui¹, ZHOU Guangsheng^{1,2,*}, JIANG Yanling¹, WANG Yu¹, YIN Xiaojie¹, HU Tianyu¹

1 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

2 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

Abstract: Boreal forest is naturally situated between 45° and 70° north latitude, where temperature increases strongly. With the largest soil carbon pool in the world, boreal forest becomes an important research region concerning global climate change and carbon cycle. The variable patterns of soil respiration in both temporal and spatial scales were measured with Li-6400 portable photosynthesis system in Chinese boreal forest ecosystem (51° 47' N, 123° 01' E). The results showed that the diurnal dynamics of soil respiration was one-humped curve, and the maximum occurred at 16:00, similar to the dynamics of soil temperature at 5 cm depth. Soil respiration increased from June and peaked in August (8.19 and 6.89 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ in 2006 and in 2007, respectively), then decreased and dropped down only 0.61 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ in October when air temperature was about 0 °C. The diurnal and seasonal variations of soil respiration related more to soil temperature than to air temperature. To study on spatial heterogeneity of soil respiration in Chinese boreal forest ecosystem, 40 circular plots (10 cm in diameter) were set with 5 columns and 8 rows, and the interval was 2 m. The averages of variation ranges of soil respiration ranged from 4.96 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ to 5.97 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ among 40 circular plots, larger or close to the averages of diurnal dynamics ranging from 2.88 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ to 5.31 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, and smaller than the averages of seasonal dynamics ranging from 6.48 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ to 7.38 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Soil respiration showed great variability among 40 circular plots, and the coefficients of variation were 35.5%, 27.6% and 23.0% on 3:00 am, 7:00 am and 11:00 am, respectively. When soil respiration of the close plots was averaged, their coefficients of variation decreased with the repeated plots increasing. The coefficients of variation with 3 repeats were 27.0%, 16.8% and 13.0% on 3:00 am, 7:00

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2010CB833501); 植被与环境变化国家重点实验室森林联网课题(成熟林的重要功能过程对环境变化响应联网研究); 国家自然科学基金资助项目(40705008)

收稿日期: 2012-08-22; 修订日期: 2013-01-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gszhou@ibcas.ac.cn

am and 11:00 am, respectively. The coefficients of variation with 6 repeats were 22.8%, 11.1% and 11.8% on 3:00 am, 7:00 am and 11:00 am, respectively, close to the smallest coefficients of variation with 7—10 repeats. Therefore, soil respiration should be measured with 6 repeats of circular plots (10 cm in diameter) in this research region. Similar spatial heterogeneities were found on root and litter biomass among 40 circular plots, the coefficients of variation from large to small were 103.8% of coarse root, 60.3% of total root, 47.1% of litter and 32.1% of fine root. The spatial correlation of soil respiration was best with the fine root ($R^2 = 0.322-0.396$), indicating that the spatial heterogeneity of soil respiration could be mainly induced with fine root.

Key Words: Great Xing'an Mountains; *Larix gmelinii*; soil respiration; diurnal and seasonal dynamics; variation

北方林又称泰加林,分布于 $45^{\circ}-70^{\circ}\text{N}$ 之间的寒温带地区,横贯欧亚和北美大陆的北部。北方林向南延伸到我国大兴安岭北部,即我国的寒温针叶林。作为我国寒温针叶林的主要植被类型,兴安落叶松林面积占全国森林面积的 30%,被认为在碳汇中占据重要份额^[1]。北方林是地球上第二大陆地生物群区,来自地面植被观测、大气 CO_2 和 O_2 浓度监测、卫星遥感信息应用、生态和大气模型模拟等方面的研究均表明,北半球中高纬度的森林生态系统是一个巨大的碳汇,固定了全球碳循环中大部分“未知碳汇”^[2-3]。

彭少麟等^[4]研究表明,土壤碳大量积累并不是来自大的输入量,而是其它因素(如低温)对分解者的限制起主导作用。北方林生态系统地处寒温带气候区,因此,北方林生态系统拥有全球最大的土壤碳库,约占全球土壤碳库总量的 23.4%^[5]。已有研究表明,温度是寒温针叶林生态系统土壤呼吸作用的主要调控因子^[6-11]。王庆丰等^[12]对移栽自不同纬度的兴安落叶松研究表明,土壤呼吸作用对温度的敏感性随纬度升高而增加;其他研究也发现,寒冷气候区土壤呼吸作用对温度升高更加敏感^[13-15]。因此,北方林生态系统因其巨大的土壤碳库和对温度变化的响应极为敏感而备受关注。我国大兴安岭林区近 50 年来气温呈显著增加趋势^[16-18]。如果全球持续变暖,寒温针叶林生态系统潜在的巨大碳库将可能成为大气 CO_2 的重要来源。因此,寒温针叶林在气候变化与全球碳收支中具有十分重要的作用^[19]。

土壤呼吸作用作为土壤碳主要输出途径和重要的大气 CO_2 源,对其精确测定已成为全球变化研究中的关键问题之一。目前,土壤呼吸作用野外原位测定通常依据观测样方大小不同随机选取 3—5 个观测样点^[7,12,20-24],少数研究设置更多的观测样点数^[9,25]。已有研究表明,寒温针叶林生态系统土壤呼吸作用空间变动性很大^[8,10,20,26-28]。土壤呼吸作用的空间变化增加了其测定的不确定性,为准确估算土壤呼吸作用,必须解决土壤呼吸作用小尺度上的空间变异性^[29]。同时,土壤呼吸作用时空动态变化特征及其驱动因子研究对于预测生态系统对气候变化的响应至关重要^[8,22]。本研究对大兴安岭原始寒温针叶林生态系统土壤呼吸作用的日、季动态特征及其影响因子进行了分析,并比较同一区域不同观测样方个数土壤呼吸作用的变异性及其取样代表性,为深入研究寒温针叶林生态系统碳动态特征和准确估算土壤碳排放量提供科学依据与基础资料。

1 材料和方法

1.1 区域概况

本研究在中国科学院植物研究所中国北方林森林生态系统定位研究站($51^{\circ}47'\text{N}$, $123^{\circ}01'\text{E}$, 海拔 773 m)进行。该站位于我国最大的寒温针叶林保护区——黑龙江呼中国家级自然保护区,属寒温带大陆性季风气候。年均气温 -4.4°C ,在 -2.7°C — -5.3°C 之间波动。降水量为 481.6 mm,主要集中在 6—8 月,无霜期 80—100 d。棕色针叶林土是该地区最具代表性的土壤类型,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。地带性植被类型为寒温针叶林,以兴安落叶松(*Larix gmelinii*)为单优势树种,并混有少量白桦(*Betula platyphylla*),平均树高 15 m,郁闭度 0.52,林下灌木主要有杜香(*Ledum palustre*)、越桔(*Vaccinium vitis-idaea*)等。

1.2 研究方法

采用便携式光合作用测量系统 Li-6400 (LI-COR Inc., USA) 配合土壤气室 (Li-6400-09) 测定土壤呼吸作用, 土壤呼吸作用测定前一天将 10 cm 直径 PVC 环插入土壤表面下 2 cm, 保持不动, 并剪掉植被地上部分, 共设置 9 个重复, 每个重复连续测定 3 次, 取其平均值。2006 年和 2007 年 6 月至 10 月, 每月进行 1 次土壤呼吸作用测定, 其中 2006 年 7 月 5—6 日和 8 月 10—11 日、2007 年 7 月 22—23 日进行了土壤呼吸作用全天日动态测定, 其他为白天 (6:00—18:00) 日动态测定, 每隔 2 h 测定 1 次。为了解土壤呼吸作用的空间异质性及其取样代表性, 选择平坦的样地布设 40 个观测样点, 分为 5 列 8 行, 列和行间距均为 2 m, 2009 年 7 月 4 日分别于 3:00、7:00 和 11:00 测定土壤呼吸作用。测定完成后收集 40 个观测点的地表凋落物, 并挖取每个样点 0—30 cm 土壤, 用 0.5 mm 孔径筛冲洗分别拣出土层中的粗根 (>2 mm) 和细根 (≤ 2 mm), 带回实验室烘干 (75 °C) 称重。气象观测塔距观测样地约 100 m, 每半小时自动记录 1 次, 包括 1.5 m 气温 (HMP45C, Vaisala, Finland); 表层、5 cm 和 10 cm 土壤温度 (107 L, Campbell Scientific Inc., USA) 等。

1.3 统计分析

运用 SPSS 统计软件双变量相关分析中的 Pearson 相关分析, 进行土壤呼吸作用与不同层次温度在日、季尺度的相关性比较。为求取土壤呼吸作用、根系和凋落物 40 个观测样点不同取样个数的变异性, 分别以 1 个样点观测值以及相邻 2 个、3 个、..., 10 个样点平均值计算变异系数, 用于描述样地空间异质性造成的取样变异性, 变异系数 = 标准差 / 平均值 $\times 100$ 。

2 结果和分析

2.1 气温与地温的日、季动态变化

寒温带针叶林生态系统 6 月至 10 月 1.5 m 气温日动态呈单峰型曲线 (图 1), 最高值出现在午后 14:00 左右, 最低值通常出现在 4:30 左右; 6—10 月月均温分别为 14.47、15.81、16.15、5.29、0.19 °C, 6 月、7 月和 8 月气温逐渐升高, 9 月和 10 月气温则大幅降低且夜间气温降到 0 °C 以下。图 1 给出了寒温带针叶林生态系统 6—10 月 5 cm 土壤温度日动态变化, 其中 6—9 月呈单峰型曲线, 10 月变幅很小, 基本在 0 °C 上下波动。6—9 月 5 cm 土壤温度最高值出现在 16:00 左右, 滞后于气温 2 h; 最低值出现在 6:00 左右, 滞后于气温约 1.5 h。6—8 月 1.5 m 月平均气温比 5 cm 土壤温度高约 5 °C, 9 月和 10 月两者月均温则接近。

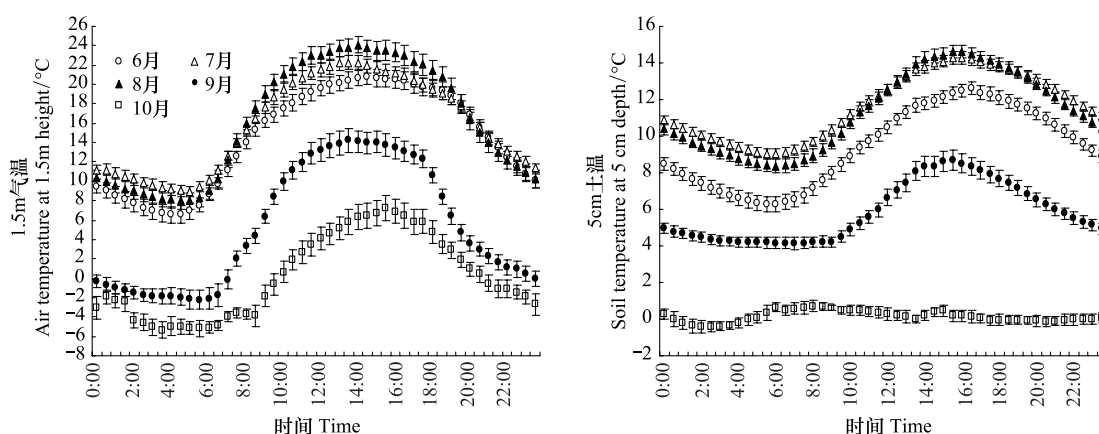


图 1 6—10 月 1.5 m 气温和 5 cm 土温月平均日动态

Fig.1 Mean diurnal dynamics of air temperature at 1.5 m height and soil temperature at 5 cm depth from June to October. Dots are monthly means with standard error bars

2.2 土壤呼吸作用的日、季动态及其影响因子

图 2 给出了 2006 年 7 月 5—6 日和 8 月 10—11 日、2007 年 7 月 22—23 日土壤呼吸作用日动态变化, 一天内土壤呼吸作用均呈单峰型曲线变化, 高峰值出现在 16:00 左右, 最低值出现在 6:00 左右, 日变动幅度分

别为 2.88 、 $5.31 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 和 $4.42 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 与 5 cm 土壤温度日动态变化趋势相近, 滞后于气温日动态变化(图 1)。10:00 和 22:00 的土壤呼吸作用最接近一天的平均值。因此, 可以选择 10:00 左右测定的土壤呼吸作用平均值作为日平均值。姚玉刚等^[30]对热带雨林研究也表明, 9:00—11:00 土壤呼吸作用接近日平均值。

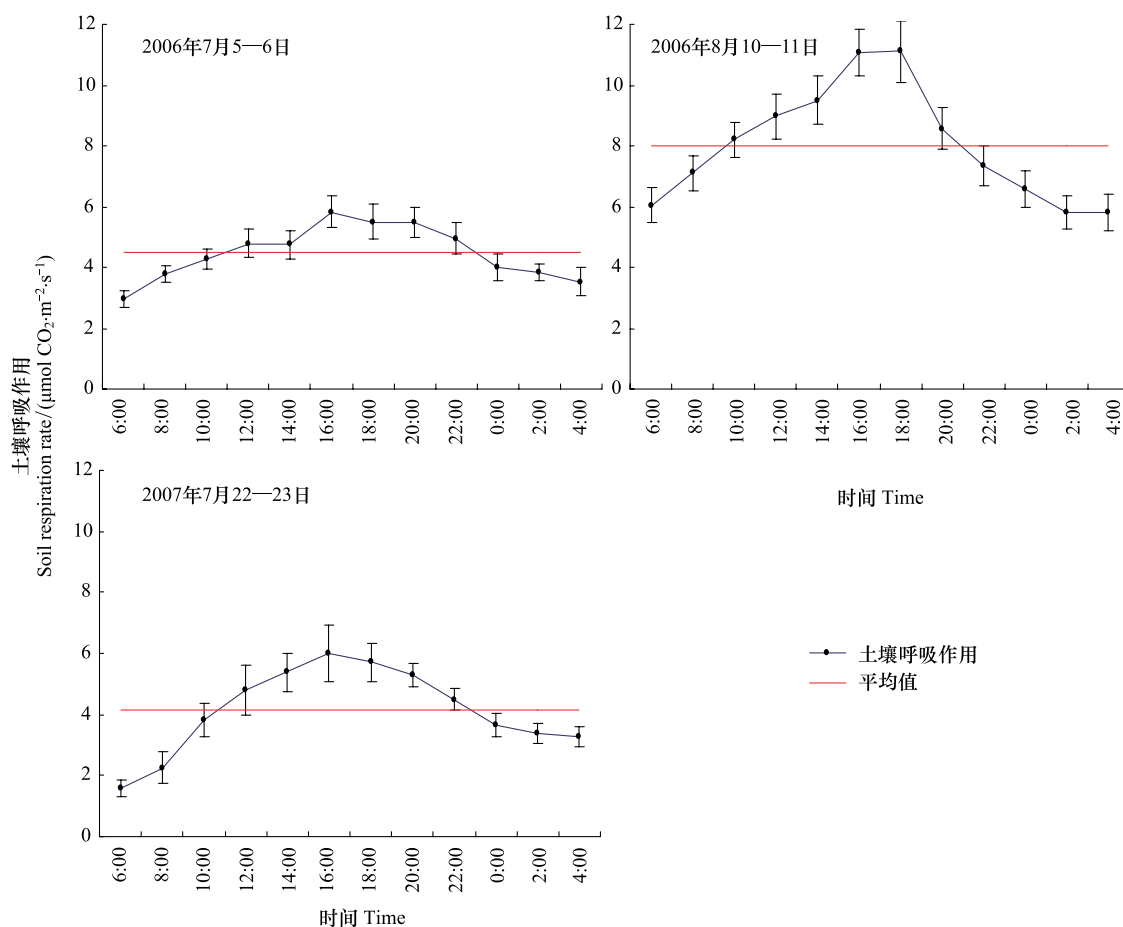


图 2 2006 年和 2007 年土壤呼吸作用日动态变化

Fig.2 Diurnal dynamics of soil respiration rate on Jul. 5—6, 2006, Aug. 10—11, 2006 and Jul. 22—23, 2007

Vertical bars represent the standard error of the measurement mean ($n=9$) for each hour

图 3 给出了 2006 年和 2007 年生长季节 6—10 月土壤呼吸作用动态变化, 6 月份随着天气转暖和植被生长土壤呼吸作用逐渐增大, 8 月份气温最高时土壤呼吸作用也达到最大值, 2006 年和 2007 年分别为 $8.19 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 和 $6.89 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 随后 9 月份气温迅速下降土壤呼吸作用也降低, 到 10 月份气温波动于 0°C 左右, 寒温针叶林生态系统只维持微弱的土壤呼吸作用, 约为 $0.61 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。2006 年和 2007 年 6—10 月土壤呼吸作用季节动态变化幅度分别为 $7.38 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 和 $6.48 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。兴安落叶松人工林土壤呼吸作用与本研究结果相近, 6—10 月分别为 4.30 、 4.88 、 5.88 、 3.47 、 $2.76 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 最大值为

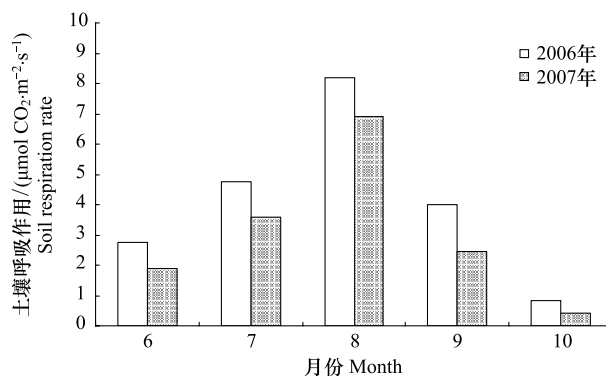


图 3 2006 年和 2007 年土壤呼吸作用季节动态变化

Fig.3 Seasonal dynamics of soil respiration rate in 2006 and 2007

出现在 8 月份^[31]。小兴安岭兴安落叶松沼泽林^[24]和寒温带落叶林^[21]也表现出相似的季节变化特征。

土壤呼吸作用平均值与气温和 3 个层次土壤温度相关性分析表明(表 1),在日尺度上,土壤呼吸作用与 3 个层次土壤温度的相关性均达到显著和极显著水平, Pearson 相关系数(R)在 0.737 以上;土壤呼吸作用与气温的相关系数为 0.502—0.868,土壤呼吸作用与土壤温度的相关性好于气温。在季节尺度上,2006 年土壤呼吸作用与土壤温度和气温的相关性均达到极显著水平,其中与 3 个层次土壤温度的相关系数在 0.846 以上,而与气温的相关系数为 0.687;2007 年土壤呼吸作用与 3 个层次土壤温度相关性均达到极显著水平且相关系数在 0.615 以上,与气温的相关性达到显著水平,相关系数为 0.513。因此,不论在日尺度上还是季节尺度上,寒温带针叶林生态系统土壤呼吸作用主要受土壤温度调控,尤其是 5 cm 土壤温度。对兴安落叶松人工林^[32]和兴安落叶松沼泽林^[24]研究均表明,土壤温度比气温更能准确地反映土壤呼吸作用的动态变化。

表 1 土壤呼吸作用与不同层次温度的 Pearson 相关系数(R)

Table 1 Pearson correlation coefficients (R) of soil respiration rate with temperature at different layers

温度 Temperature	日尺度 At the diurnal scale			季节尺度 At the seasonal scale	
	2006-07-05—06	2006-08-10—11	2007-07-22—23	2006	2007
1.5m 气温 Air temperature at 1.5m height	0.502	0.868 **	0.672 *	0.687 **	0.513 *
表层土温 Soil temperature at surface	0.893 **	0.908 **	0.828 **	0.851 **	0.615 **
5cm 土温 Soil temperature at 5cm depth	0.947 **	0.833 **	0.939 **	0.863 **	0.693 **
10cm 土温 Soil temperature at 10cm depth	0.838 **	0.793 **	0.737 *	0.846 **	0.655 **

* 相关性达到显著水平 $P < 0.05$; ** 相关性达到极显著水平 $P < 0.01$

2.3 土壤呼吸作用的空间分布特征

基于 3:00、7:00 和 11:00 以 2 m 间距(5 列 8 行)测定的 40 个观测样点土壤呼吸作用,分别以 1 个样点观测值以及相邻 2 个、3 个、…、10 个样点平均值计算的土壤呼吸作用变异系数如图 4。1 个观测样点变异系数即 40 个样方在 2 m 间距(5 列 8 行)范围内的空间变异性,3:00、7:00 和 11:00 分别为 35.5%、27.6% 和 23.0%,说明该研究地点以 10 cm 直径圆形样方测定土壤呼吸作用时,样方间存在较大的空间变异性。3:00、7:00 和 11:00 变动幅度分别为 5.97 、 $4.96 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 和 $5.84 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。随着观测样点个数增加,土壤呼吸作用变异系数呈逐渐递减趋势,3:00 由 35.5%减少到 19.8%,7:00 由 27.6%减少到 11.1%,11:00 由 23.0%减少到 9.1%。3 个观测样点时土壤呼吸作用变异系数迅速降低,3:00、7:00 和 11:00 变异系数分别为 27.0%、16.8% 和 13.0%;6 个观测样点时,3:00、7:00 和 11:00 变异系数分别为 22.8%、11.1% 和 11.8%,基本接近 7—10 个观测样点时的最小变异系数。因此,以 10 cm 直径圆形样方测定时,6 个观测样点基本能够反映寒温带针叶林的土壤呼吸作用变化情况。

对于 40 个样方的根系和凋落物来说,与土壤呼吸作用表现出相似的空间变异性(图 4)。其中粗根的空间变异性最大,达到 103.8%;总根系和凋落物次之,分别为 60.3% 和 47.1%;细根空间变异性最小,为 32.1%。随着观测样点个数增加,变异系数均逐渐降低,且降低幅度按粗根、总根、凋落物和细根顺序依次递减,3 个观测样点时变异系数分别为 53.1%、33.4%、34.1% 和 18.2%,6 个观测样点时变异系数分别为 37.8%、27.3%、25.7% 和 16.7%,与 7—10 个观测样点时的变异系数基本持平。

3:00、7:00 和 11:00 土壤呼吸作用与细根、粗根、总根及凋落物的相关性分析表明(图 5),3 个时段土壤呼吸作用均与细根的相关性最好,相关系数(R^2)分别为 0.351、0.396 和 0.322,说明该区域土壤呼吸作用的空间变异性主要由于细根差异引起,粗根和凋落物的影响并不大。

3 讨论

本研究土壤呼吸作用最大值出现在夏季生长旺盛期 8 月份气温最高时,2006 年和 2007 年分别为 $8.19 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 和 $6.89 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。兴安落叶松林 4 大类常见微生物(细菌、放线菌、真菌、自生固氮菌)最大数量也同样出现在夏季^[33]。10 月份气温波动于 0°C 左右,寒温带针叶林生态系统只维持微弱的土壤呼吸作用,约为 $0.61 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,接近于解冻前兴安落叶松林的土壤呼吸作用平均值($0.5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)^[12]。

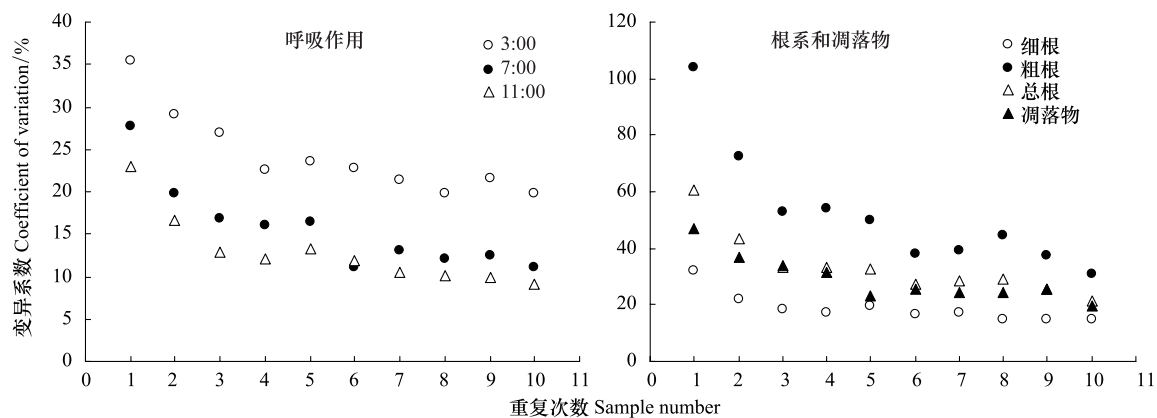


图 4 土壤呼吸作用变异系数、根系和凋落物变异系数与重复次数的关系

Fig.4 Relationship of sample number with coefficients of variation for soil respiration rate, root and litter

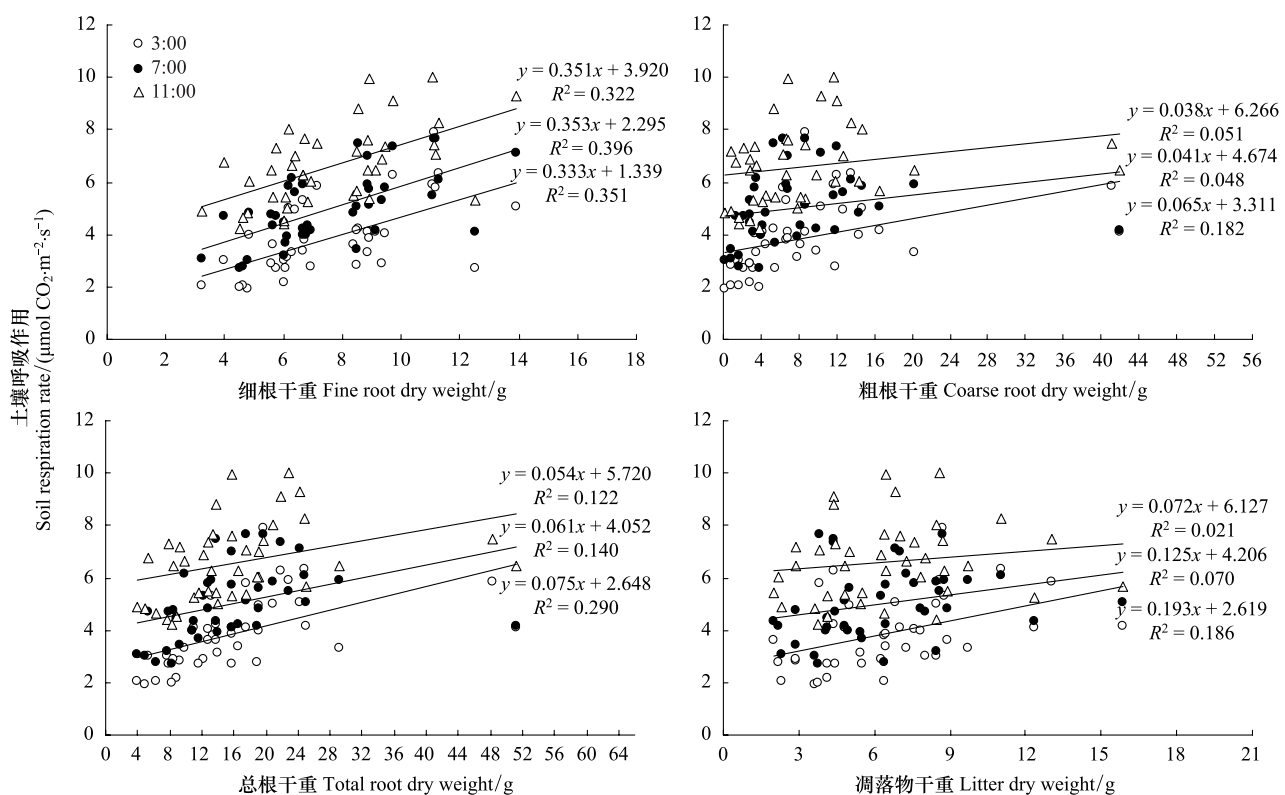


图 5 土壤呼吸作用与细根、粗根、总根及凋落物的关系

Fig.5 Relationships of soil respiration rate with fine root, coarse root, total root and litter

分布于其他纬度的北方林生态系统土壤呼吸作用变动范围为 $0.4\text{--}6.9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($48^\circ 13' \text{N}$)^[10]、 $0.6\text{--}9.3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($53^\circ 42' \text{N}$)^[6]、 $0.1\text{--}7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($53^\circ 59' \text{N}$)^[9], 本研究结果基本接近这些范围。

本研究区域 40 个样方土壤呼吸作用的空间变异幅度为 $4.96\text{--}5.97 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 大于或接近土壤呼吸作用日动态变化幅度 ($2.88\text{--}5.31 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), 而小于土壤呼吸作用季节动态变化幅度 ($6.48\text{--}7.38 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), 与 Buchmann^[20] 研究结果相近。以 10 cm 直径圆形样方测定土壤呼吸作用时, 40 个样点在 3:00、7:00 和 11:00 3 个时间段的变异系数分别为 35.5%、27.6% 和 23.0%, 说明寒温针叶林生境下用 10 cm 直径圆形样方取样时各样方的空间变异性较大, 通过增加观测样点个数可使土壤呼吸作用变异系数迅速降低, 6 个观测样点基本能够反映寒温针叶林的土壤呼吸作用变化情况。Fang 等^[34] 佛罗里达湿地松人工

林研究表明,在 25×25 m 样地内 12 个样方(直径 7.1cm)的土壤呼吸作用变异系数高达 55%。Buchmann^[20]对挪威云杉林同样研究表明,夏季生长旺盛期土壤呼吸作用最大时,同一研究地点不同观测样方(直径 10 cm)间土壤呼吸作用的变异系数最高,达 40%。Yim 等^[27]对落叶松人工林研究表明,在 30 m×30 m 样地内 50 个样方(直径 12.6 cm)两个观测日期的土壤呼吸作用变异系数平均值为 28%。Rodeghiero 和 Cescatti^[28]对两个寒温针叶林生态系统研究表明,挪威云杉林和银冷杉林观测样方(直径 10 cm)间土壤呼吸作用变异系数平均值分别为 41.5%和 28.9%。另外,土壤呼吸作用空间变异性与其观测样方的大小有关^[27,35]。

对于相对均一的生态系统来说,温度和水分通常是影响土壤呼吸作用时间动态变化的主导因素,而根系、凋落物、土壤有机质和孔隙度等反映了土壤呼吸作用的空间变化特征^[27,34]。土壤呼吸作用主要由根系呼吸和微生物呼吸组成,森林生态系统根系呼吸所占比例平均为 45%—50%^[36]。细根分布不均是该区域土壤呼吸作用空间变动的主要因素之一,能解释土壤呼吸作用 32.2%—39.6%变化。究其原因,根系呼吸速率随直径增加而呈明显下降趋势^[37-38],细根呼吸速率大于粗根。Cook 等^[39]研究也表明,随着与树干距离的增加土壤呼吸作用呈指数形式递减,主要与细根密度的减少有关。

致谢:黑龙江呼中国家级自然保护区管理局赵增福、刘永志、李文山等帮助实验,中国科学院植物研究所许振柱研究员帮助写作,特此致谢。

References:

- [1] Gower S T, Richards J H. Larches: deciduous conifers in an evergreen world. *Bioscience*, 1990, 40(11): 818-826.
- [2] Fang J Y, Piao S L, Zhao S Q. The carbon sink: the role of the middle and high latitudes terrestrial ecosystems in the northern hemisphere. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(5): 594-602.
- [3] Yu G R, Li H T, Wang S Q. *Global Change, Carbon Cycle and Storage in Terrestrial Ecosystem*. Beijing: China Meteorological Press, 2003.
- [4] Peng S L, Li Y L, Ren H, Zhao P. Progress in research on soil respiration under the global change. *Advances in Earth Sciences*, 2002, 17(5): 705-713.
- [5] IPCC. *Climate change 2001: The Scientific Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm.
- [6] Russell C A, Voroney R P. Carbon dioxide efflux from the floor of a boreal aspen forest. I. Relationship to environmental variables and estimates of C respired. *Canadian Journal of Soil Science*, 1998, 78(2): 301-310.
- [7] Morén A S, Lindroth A. CO₂ exchange at the floor of a boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 101(1): 1-14.
- [8] Rayment M B, Jarvis P G. Temporal and spatial variation of soil CO₂ efflux in a Canadian boreal forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(1): 35-45.
- [9] Swanson R V, Flanagan L B. Environmental regulation of carbon dioxide exchange at the forest floor in a boreal black spruce ecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 108(3): 165-181.
- [10] Khomik M, Arain M A, McCaughey J H. Temporal and spatial variability of soil respiration in a boreal mixedwood forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, 140(1/4): 244-256.
- [11] Karhu K, Fritze H, Tuomi M, Vanhala P, Spetz P, Kitunen V, Liski J. Temperature sensitivity of organic matter decomposition in two boreal forest soil profiles. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, 42(1): 72-82.
- [12] Wang Q F, Wang C K, Tan L H. Vernal soil respiration of *Larix gmelinii* Rupr. forests transplanted from a latitudinal transect. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 1883-1892.
- [13] Lloyd J, Taylor J A. On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology*, 1994, 8(3): 315-323.
- [14] Peng S S, Piao S L, Wang T, Sun J Y, Shen Z H. Temperature sensitivity of soil respiration in different ecosystems in China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(5): 1008-1014.
- [15] Liao Y, Yang Z F, Xia X Q, Jiang H C. Research on temperature sensitivity of soil respiration and different active organic carbon fractions of Qinghai-Tibet Plateau permafrost. *Earth Science Frontiers*, 2011, 18(6): 85-93.
- [16] Zhou M, Yu X X, Feng L. Analysis on the driving force of the permafrost degeneration in Daxinganling. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2002, 16(4): 44-47.
- [17] Sun F H, Yang X Q, Lu S, Yang S Y. The contrast analysis on the average and extremum temperature trend in northeast China. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2006, 26(2): 157-163.

- [18] Wang Y, Zhou G S, Jia B R, Na J H. Climate change characteristics in Chinese boreal forest region from 1954 to 2005. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(5): 942-948.
- [19] Jia B R, Zhou G S. Advance in the studies of the response of boreal forest to climate change. *Advances in Earth Sciences*, 2009, 24(6): 668-674.
- [20] Buchmann N. Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in *Picea abies* stands. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(11/12): 1625-1635.
- [21] Lee M S, Nakane K, Nakatsubo T, Koizumi H. Seasonal changes in the contribution of root respiration to total soil respiration in a cool-temperate deciduous forest. *Plant and Soil*, 2003, 255(1): 311-318.
- [22] Li H J, Yan J X, Yue X F, Wang M B. Significance of soil temperature and moisture for soil respiration in a Chinese mountain area. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148(3): 490-503.
- [23] Yan J X, Qin Z D, Zhang Y H, Li H J. Effect of soil temperature and moisture on soil CO₂ efflux in a *Pinus tabulaeformis* forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(12): 6366-6376.
- [24] Mu C C, Cheng W, Sun X X, Wu Y X. Seasonal variation of emission fluxes of CO₂, N₂O and CH₄ from *Larix gmelinii* swamps soils in Xiaoxing' an Mountains of China. *Scientia Silvae Sinicae*, 2010, 46(7): 7-15.
- [25] Zhang J B, Shangguan T L, Meng Z Q. Changes in soil carbon flux and carbon stock over a rotation of poplar plantations in northwest China. *Ecological Research*, 2011, 26(1): 153-161.
- [26] Thierron V, Laudelout H. Contribution of root respiration to total CO₂ efflux from the soil of a deciduous forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 1996, 26(7): 1142-1148.
- [27] Yim M H, Joo S J, Shutou K, Nakane K. Spatial variability of soil respiration in a larch plantation: estimation of the number of sampling points required. *Forest Ecology and Management*, 2003, 175(1/3): 585-588.
- [28] Rodeghiero M, Cescatti A. Spatial variability and optimal sampling strategy of soil respiration. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(1): 106-112.
- [29] Han G X, Zhou G S. Review of spatial and temporal variations of soil respiration and driving mechanisms. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(1): 197-205.
- [30] Yao Y G, Zhang Y P, Yu G R, Sha L Q, Deng Y, Tan Z H. Representative time selection analysis on daily average value of soil respiration in a tropical rain forest. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition*, 2011, 35(4): 74-78.
- [31] Wang X W. Study on Key Process of Carbon Cycle in *Larix Gmelinii* Plantation [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2006: 12-43.
- [32] Wang C K, Yang J Y. Rhizospheric and heterotrophic components of soil respiration in six Chinese temperate forests. *Global Change Biology*, 2007, 13(1): 123-131.
- [33] Feng B P, Gao R H, Zhang Q L, Zhao Q M. Study on dynamic variation of soil microorganism under different management modes in *Larix Gmelinii* forest. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition*, 2009, 30(4): 74-79.
- [34] Fang C, Moncrieff J B, Gholz H L, Clark K L. Soil CO₂ efflux and its spatial variation in a Florida slash pine plantation. *Plant and Soil*, 1998, 205(2): 135-146.
- [35] Davidson E A, Savage K, Verchot L V, Navarro R. Minimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2002, 113(1/4): 21-37.
- [36] Hanson P J, Edwards N T, Garten C T, Andrews J A. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. *Biogeochemistry*, 2000, 48(1): 115-146.
- [37] Chapman S B. Some interrelationships between soil and root respiration in lowland Calluna heathland in southern England. *The Journal of Ecology*, 1979, 67(1): 1-20.
- [38] Jia S X, Zhao Y L, Ding G Q, Sun Y, Xu Y, Wang Z Q. Relationship among fine-root morphology, anatomy, tissue nitrogen concentration and respiration in different branch root orders in *Larix gmelinii* and *Fraxinus mandshurica*. *Chinese Bulletin of Botany*, 2010, 45(2): 174-181.
- [39] Cook F J, Thomas S M, Kelliher F M, Whitehead D. A model of one-dimensional steady-state carbon dioxide diffusion from soil. *Ecological Modelling*, 1998, 109(2): 155-164.

参考文献:

- [2] 方精云, 朴世龙, 赵淑清. CO₂ 失汇与北半球中高纬度陆地生态系统的碳汇. *植物生态学报*, 2001, 25(5): 594-602.
- [3] 于贵瑞, 李海涛, 王绍强. 全球变化与陆地生态系统碳循环和碳蓄积. 北京: 气象出版社, 2003.
- [4] 彭少麟, 李跃林, 任海, 赵平. 全球变化条件下的土壤呼吸效应. *地球科学进展*, 2002, 17(5): 705-713.
- [12] 王庆丰, 王传宽, 谭立何. 移栽自不同纬度的落叶松 (*Larix gmelinii* Rupr.) 林的春季土壤呼吸. *生态学报*, 2008, 28(5): 1883-1892.
- [15] 廖艳, 杨忠芳, 夏学齐, 蒋宏忱. 青藏高原冻土土壤呼吸温度敏感性和不同活性有机碳组分研究. *地学前缘*, 2011, 18(6): 85-93.

- [16] 周梅, 余新晓, 冯林. 大兴安岭林区多年冻土退化的驱动力分析. 干旱区资源与环境, 2002, 16(4): 44-47.
- [17] 孙风华, 杨修群, 路爽, 杨素英. 东北地区平均、最高、最低气温时空变化特征及对比分析. 气象科学, 2006, 26(2): 157-163.
- [18] 王宇, 周广胜, 贾丙瑞, 那济海. 1954—2005 年中国北方针叶林分布区的气候变化特征. 应用生态学报, 2008, 19(5): 942-948.
- [19] 贾丙瑞, 周广胜. 北方针叶林对气候变化响应的研究进展. 地球科学进展, 2009, 24(6): 668-674.
- [23] 严俊霞, 秦作栋, 张义辉, 李洪建. 土壤温度和水分对油松林土壤呼吸的影响. 生态学报, 2009, 29(12): 6366-6376.
- [24] 牟长城, 程伟, 孙晓新, 吴云霞. 小兴安岭落叶松沼泽林土壤 CO_2 , N_2O 和 CH_4 的排放规律. 林业科学, 2010, 46(7): 7-15.
- [29] 韩广轩, 周广胜. 土壤呼吸作用时空动态变化及其影响机制研究与展望. 植物生态学报, 2009, 33(1): 197-205.
- [30] 姚玉刚, 张一平, 于贵瑞, 沙丽清, 邓云, 谭正洪. 热带雨林土壤呼吸测定代表性时段研究. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2011, 35(4): 74-78.
- [31] 王秀伟. 兴安落叶松人工林碳循环关键过程的研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006: 12-43.
- [33] 冯保平, 高润宏, 张秋良, 赵全民. 不同经营方式下兴安落叶松林土壤微生物年季动态研究. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2009, 30(4): 74-79.
- [38] 贾淑霞, 赵妍丽, 丁国泉, 孙玥, 许畅, 王政权. 落叶松和水曲柳不同根序细根形态结构、组织氮浓度与根呼吸的关系. 植物学报, 2010, 45(2): 174-181.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.23 Dec., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Ozone uptake at the canopy level in *Robinia pseudoacacia* in Beijing based on sap flow measurements WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (7323)
- Genetic impact of swimming crab *Portunus trituberculatus* farming on wild genetic resources in Haizhou Bay DONG Zhiguo, LI Xiaoying, ZHANG Qingqi, et al (7332)
- The effect of soil salinity to improve the drought tolerance of arrowleaf saltbush TAN Yongqin, BAI Xinfu, HOU Yuping, et al (7340)
- Effects of *Liriomyza huidobrensis* infestation on the activities of four defensive enzymes in the leaves of cucumber plants SUN Xinghua, ZHOU Xiaorong, PANG Baoping, et al (7348)

Autecology & Fundamentals

- Early effects of simulated nitrogen deposition on annual nutrient input from litterfall in a *Pleioblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (7355)
- Relationship between nutrient characteristics and yields of tumorous stem mustard at different growth stage ZHAO Huan, LI Huihe, LÜ Huifeng, et al (7364)
- Decomposition rate and silicon dynamic of mulching residue under *Phyllostachys praecox* stands HUANG Zhangting, ZHANG Yan, SONG Zhaoliang, et al (7373)
- Effects of waterlogging on the growth and physiological properties of juvenile oilseed rape ZHANG Shujie, LIAO Xing, HU Xiaojia, et al (7382)
- The crude protein content of main food plants of François' langur (*Trachypithecus francoisi*) in Fusui, Guangxi, China LI Youbang, DING Ping, HUANG Chengming, et al (7390)
- Effects of nitrogen on photosynthetic characteristics and enzyme activity of nitrogen metabolism in maize under-mulch-drip irrigation GU Yan, HU Wenhe, XU Baijun, et al (7399)
- Ecotoxicological effects of exposure to PFOS on embryo and larva of zebrafish *Danio rerio* XIA Jigang, NIU Cuijuan, SUN Luyin (7408)
- Allelopathic effects of extracts from *Ulva prolifera* powders on the growth of *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* HAN Xiurong, GAO Song, HOU Junni, et al (7417)
- Predation evaluation of *Diaphorina citri*'s (Homoptera: Chermidae) natural enemies using the CO I marker gene MENG Xiang, OUYANG Gecheng, XIA Yulu, et al (7430)
- Effect of volatiles from healthy or worm bored Korean pine on host selective behavior of *Dioryctria sylvestrella* and its parasitoid *Macrocentrus* sp. WANG Qi, YAN Shanchun, YAN Junxin, et al (7437)

Population, Community and Ecosystem

- Relationship between rhizosphere microbial community functional diversity and faba bean fusarium wilt occurrence in wheat and faba bean intercropping system DONG Yan, DONG Kun, TANG Li, et al (7445)
- Characteristics of soil fertility in different ecosystems in depressions between karst hills YU Yang, DU Hu, SONG Tongqing, et al (7455)
- Evaluation on carbon sequestration effects of artificial alfalfa pastures in the Loess Plateau area LI Wenjing, WANG Zhen, HAN Qingfang, et al (7467)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Effects of deep vertically rotary tillage on soil water and water use efficiency in northern China's Huang-huai-hai Region LI Yibing, PANG Huancheng, YANG Xue, et al (7478)

- Effects of landscape patterns on runoff and sediment export from typical agroforestry watersheds in the Three Gorges Reservoir area, China HUANG Zhilin, TIAN Yaowu, XIAO Wenfa, et al (7487)
- Land cover classification of Yancheng Coastal Natural Wetlands based on BP neural network and ETM+ remote sensing data XIAO Jincheng, OU Weixin, FU Haiyue (7496)
- Early responses of soil CH₄ uptake to increased atmospheric nitrogen deposition in a cold-temperate coniferous forest GAO Wenlong, CHENG Shulan, FANG Huajun, et al (7505)
- Temporal-spatial characteristics of soil respiration in Chinese boreal forest ecosystem JIA Bingrui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (7516)
- Seasonal and interannual variability in soil respiration in wheat field of the Loess Plateau, China ZHOU Xiaoping, WANG Xiaoke, ZHANG Hongxing, et al (7525)
- Dynamics of atmospheric ammonia concentrations near different emission sources LIU Jieyun, KUANG Fuhong, TANG Aohan, et al (7537)
- Influence of residues and earthworms application on N₂O emissions of winter wheat ... LUO Tianxiang, HU Feng, LI Huixin (7545)
- Resource and Industrial Ecology**
- Ecological monitoring of the fish resources catching and stocking in Lake Tianmu basing on the hydroacoustic method SUN Mingbo, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (7553)
- Application of support vector machine to evaluate the eutrophication status of Taihu Lake ZHANG Chengcheng, SHEN Aichun, ZHANG Xiaoqing, et al (7563)
- Research Notes**
- Amount and dynamic characteristics of litterfall in four forest types in subtropical China XU Wangming, YAN Wende, LI Jiebing, et al (7570)
- Allelopathic effects of artemisinin on seed germination and seedling growth of vegetables BAI Zhen, HUANG Yue, HUANG Jianguo (7576)
- Nitric oxide participates symbiosis between am fungi and tobacco plants WANG Wei, ZHAO Fanggui, HOU Lixia, et al (7583)
- Mapping wildlife habitat suitability using kernel density estimation ZHANG Guiming, ZHU A'xing, YANG Shengtian, et al (7590)
- Effects of nitrogen fertilizer methods on the content of *Bacillus thuringiensis* insecticidal protein and yield of transgenic cotton MA Zongbin, LIU Guizhen, YAN Gentu, et al (7601)

《生态学报》2014 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,280 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 王德利

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 23 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 23 (December, 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