

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第12期 Vol.31 No.12 **2011**

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 31 卷 第 12 期

2011 年 6 月 (半月刊)

目 次

基于植被遥感的西南喀斯特退耕还林工程效果评价——以贵州省毕节地区为例	李 昊, 蔡运龙, 陈睿山, 等 (3255)
扩散对破碎化景观上宿主-寄生种群动态的影响	苏 敏 (3265)
湿地功能评价的尺度效应——以盐城滨海湿地为例	欧维新, 叶丽芳, 孙小祥, 等 (3270)
模拟氮沉降对杉木幼苗养分平衡的影响	樊后保, 廖迎春, 刘文飞, 等 (3277)
中国东部森林样带典型森林水源涵养功能	贺淑霞, 李叙勇, 莫 菲, 等 (3285)
山西太岳山油松群落对采伐干扰的生态响应	郭东罡, 上官铁梁, 白中科, 等 (3296)
长期施用有机无机肥对潮土微生物群落的影响	张焕军, 郁红艳, 丁维新 (3308)
云南元江干热河谷五种优势植物的内生真菌多样性	何彩梅, 魏大巧, 李海燕, 等 (3315)
塔里木河中游洪水漫溢区荒漠河岸林实生苗更新	赵振勇, 张 科, 卢 磊, 等 (3322)
基于 8hm 样地的天山云杉林蒸腾耗水从单株到林分的转换	张毓涛, 梁凤超, 常顺利, 等 (3330)
古尔班通古特沙漠土壤酶活性和微生物量氮对模拟氮沉降的响应	周晓兵, 张元明, 陶 冶, 等 (3340)
Pb 污染对马蔺生长、体内重金属元素积累以及叶绿体超微结构的影响	原海燕, 郭 智, 黄苏珍 (3350)
春、秋季节树干温度和液流速度对东北 3 树种树干表面 CO ₂ 释放通量的影响	王秀伟, 毛子军, 孙 涛, 等 (3358)
云南南部和中部地区公路旁紫茎泽兰土壤种子库分布格局	唐樱殷, 沈有信 (3368)
利用半球图像法提取植被冠层结构特征参数	彭焕华, 赵传燕, 冯兆东, 等 (3376)
黑河上游蝗虫与植被关系的 CCA 分析	赵成章, 周 伟, 王科明, 等 (3384)
额尔古纳河流域秋季浮游植物群落结构特征	庞 科, 姚锦仙, 王 昊, 等 (3391)
九龙江河口浮游植物的时空变动及主要影响因素	王 雨, 林 茂, 陈兴群, 等 (3399)
东苕溪中下游河岸类型对鱼类多样性的影响	黄亮亮, 李建华, 邹丽敏, 等 (3415)
基于 RS/GIS 公路路域水土流失动态变化的研究——以榆靖高速公路为例	陈爱侠, 李 敏, 苏智先, 等 (3424)
流域景观结构的城市化影响与生态风险评价	胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 (3432)
基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析	高 宾, 李小玉, 李志刚, 等 (3441)
若尔盖高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响	李晋昌, 王文丽, 胡光印, 等 (3451)
施用鸡粪对土壤与小白菜中 Cu 和 Zn 累积的影响	张 妍, 罗 维, 崔晓勇, 等 (3460)
基于 GIS 的宁夏灌区农田污染源结构特征解析	曹艳春, 冯永忠, 杨引禄, 等 (3468)
底墒和种植方式对夏大豆光合特性及产量的影响	刘 岩, 周勋波, 陈雨海, 等 (3478)
不同施肥模式调控沿湖农田无机氮流失的原位研究——以南四湖过水区粮田为例	谭德水, 江丽华, 张 骞, 等 (3488)
丛枝菌根真菌对低温下黄瓜幼苗光合生理和抗氧化酶活性的影响	刘爱荣, 陈双臣, 刘燕英, 等 (3497)
外源半胱氨酸对铜胁迫下小麦幼苗生长、铜积累量及抗氧化系统的影响	彭向永, 宋 敏 (3504)
专论与综述	
水平扫描技术及其在生态学中的应用前景	胡自民, 李晶晶, 李 伟, 等 (3512)
研究简报	
昆仑山北坡 4 种优势灌木的气体交换特征	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (3522)
不同比例尺 DEM 数据对森林生态类型划分精度的影响	唐立娜, 黄聚聪, 代力民 (3531)
苏南丘陵区毛竹林冠截留降雨分布格局	贾永正, 胡海波, 张家洋 (3537)
外来种湿地松凋落物对土壤微生物群落结构和功能的影响	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3543)
深圳地铁碳排放量	谢鸿宇, 王习祥, 杨木壮, 等 (3551)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-06



封面图说: 自然奇观红海滩·辽宁省盘锦市——在辽河入海口生长着大片的潮间带植物碱蓬草, 举目望去, 如霞似火, 蔚为壮观, 人们习惯地称之为红海滩。粗壮的根系加快着海滩土壤的脱盐过程, 掉下的茎叶腐质后肥化了土壤, 它是大海的生态屏障。

彩图提供: 段文科先生 中国鸟网 <http://www.birdnet.cn> E-mail: dwk9911@126.com

春、秋季节树干温度和液流速度对东北 3 树种 树干表面 CO₂ 释放通量的影响

王秀伟, 毛子军*, 孙 涛, 吴海军

(东北林业大学, 哈尔滨 150040)

摘要:为探明温度与液流速度对树干表面 CO₂ 释放通量的影响, 采用红外气体分析法 (IRGA) 原位连续测定白桦、兴安落叶松和水曲柳树干表面 CO₂ 释放通量, 同时测定树干液流速度及树干温度。3 树种树干 CO₂ 释放通量和液流速度在昼夜变化和季节变化上有一定规律, 春、秋季节树干表面 CO₂ 释放通量昼夜动态均呈明显的单峰型曲线, 但是峰值出现的时间有所区别: 6 月份树干表面 CO₂ 释放通量峰值出现在夜间, 温度峰值则在白天; 9 月份树干表面 CO₂ 释放通量和液流速度及树干温度在昼夜间的变化规律总体上呈相同趋势, 均为白天升高, 晚上降低, 呈单峰曲线, 峰值基本在中午出现。3 树种树干表面 CO₂ 释放通量有明显的季节性规律, 即 6 月份的 CO₂ 释放通量明显高于 9 月份。9 月份和 6 月份白桦、兴安落叶松和水曲柳的日平均树干表面 CO₂ 释放通量分别为 $0.82, 3.32 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; $0.74, 3.78 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $1.98, 4.98 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 6 月份和 9 月份日平均液流速度分别为 $2.48, 10.02 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$; $4.78, 10.71 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $2.69-7.93 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。树干表面 CO₂ 释放通量与树干温度和液流速度相关关系显著, 6 月份和 9 月份树干表面 CO₂ 释放通量与树干温度均呈正相关; 树干表面 CO₂ 释放通量与液流速度间的相关关系 6 月与 9 月份不同, 6 月份液流速度与树干表面 CO₂ 释放通量呈负相关, 而 9 月份呈正相关。实验发现, 除落叶松外, 同 1 株树 24h 周期内水曲柳和白桦液流上升期和下降期液流速度对树干表面 CO₂ 释放通量的影响不一致, 可能是由于上、下午之间温度不同, 导致树干内部 CO₂ 溶解度不同, 使上下午树干内部 CO₂ 与表面通量的平衡发生改变, 这种改变存在种间差异, 表明温度和液流的共同作用影响树干 CO₂ 释放通量。水曲柳月份间树干表面 CO₂ 释放通量的差异受液流速度影响较大, 白桦和兴安落叶松树干表面 CO₂ 释放通量的月份间变化则是液流速度和温度的共同作用的结果。其结论是: 温度是影响树干呼吸速率的关键因子, 但树干呼吸产生的 CO₂ 向大气的释放也同时受树干液流速度的影响。温度与液流对春、秋季节 3 树种树干表面 CO₂ 释放通量的影响有所不同。

关键词: 树干表面 CO₂ 通量; 液流速度; 树干温度; 兴安落叶松; 水曲柳; 白桦

Effects of temperature and sap flow velocity on CO₂ efflux from stems of three tree species in spring and autumn in Northeast China

WANG Xiuwei, MAO Zijun*, SUN Tao, WU Haijun

Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract: *Bettula platyphylla* Suck., *Larix gmelinni* (Rupl.) Rupl. and *Flaxinus mandshurica* Rupr. are key tree species in the secondary forests in Northeast China, which play an important role in the carbon balance of temperate and boreal forest ecosystems. In temperate climates with four distinct seasons, large differences in temperature and sap flow velocity between spring and autumn may result in a significant difference in stem respiration. In the current study, we tested the effects of temperature and sap flow velocity on the CO₂ efflux from stems of the birch, larch and ash trees in both June and September of 2005 – 2007 by using the Li-7000 infra-red CO₂/H₂O gas analyzer (IRGA) in situ. Measurements were carried out at two locations; one in a 35 year-old temperate larch plantation mixed with ash and birch in Laoshan Forest Experiment Station in Northeast of China (E127°34', N45°20') and the other in the Botanical Garden of Northeast Forestry

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目 (2010CB951301); 国家自然科学基金资助项目 (31070350); 黑龙江省自然科学基金资助项目 (C200702)

收稿日期: 2010-05-19; **修订日期:** 2010-08-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zijunm@yahoo.com.cn

University (E126°38', N45°43') with plenty of planted birch, larch and ash trees (ca. 20 years old). Strong diel and seasonal variations in respiration rates and sap flow velocity were found in all the three species tested. Diel dynamics of CO₂ efflux and sap flow velocity showed various unimodal-curves depending on the season. The peak of CO₂ efflux in June occurred during the scotophase which is contrary to that of the temperature, whereas both the CO₂ efflux peak and the maximum temperature co-occurred at the mid-day in September. Stem CO₂ efflux was much higher in June than in September. Daily mean stem CO₂ effluxes (September/June) of the birch, larch and ash were 0.82/3.32, 0.74/3.78 and 1.98/4.98 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ respectively; daily mean sap flow velocities (September/June) were 2.48/10.02, 4.78/10.71 and 2.69/7.93 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, respectively. Significant correlations were found among stem temperature, sap flow velocity and stem CO₂ efflux for the three tree species. There were significant positive correlations between the temperature and the stem CO₂ efflux for both seasons; negative correlations between stem CO₂ efflux and sap flow velocity for June; and positive correlations in September for all three species. Effects of the sap flow velocity from stems of birch and larch on their CO₂ efflux were different between the sap flow upward and downward phases (morning and afternoon). This might be due to significant temperature differences in the 24 hour-cycle that cause the variations in CO₂ solubility within the stems, which further alters the balance between internal CO₂ concentration and surface CO₂ efflux. Such balance changes varied by tree species. This might indicate an interactive effect between sap flow velocity and temperature on stem CO₂ efflux. The difference in CO₂ efflux from stems of ash trees between June and September was mainly influenced by the sap flow velocity, but as to the birch and ash, the seasonal difference might result from variations of both temperature and sap flow velocity. Our results showed that temperature is a key factor influencing stem respiration rate; however, the stem respiration (release of CO₂ into the atmosphere) is also affected by the sap flow velocity. The effects of temperature and sap flow velocity on CO₂ efflux from stems of the birch, larch and ash differ between the spring and autumn.

Key Words: CO₂ efflux; sap flow velocity; stem temperature; larch; ash; birch

树干和枝的呼吸约占森林生态系统总自养呼吸的 5%—42%^[1-3] 和总初级生产力的 5%—15%^[4], 是群落、生态系统碳通量的主要决定因子。所以树干呼吸研究是当前森林群落碳平衡研究的热点之一。目前, 估测树干呼吸最普遍的方法是局部通量测定法, 假定局部释放通量起源于与测定面积相对应的组织的呼吸, 而且所有局部组织呼吸产生的 CO₂ 都通过树皮释放到大气中^[5], 并且认为呼吸组织生物化学过程的反应速率与植物体该部位对应的气室之间的 CO₂ 释放通量相当^[6]。基于这种假设, 人们通常使用的测定 CO₂ 释放通量的方法是在树干(枝)的某一部位(或全部)的表面借助仪器或装置形成一个封闭的气室, 测定该气室的 CO₂ 通量^[7-10]。而用测得的该 CO₂ 通量(CO₂ 释放通量)作为树干呼吸作用的表征参数(表观呼吸速率)。再通过一定的模型转换成整个树木及林分的呼吸量^[11-17]。然而, 对基于这种理论而进行的气体交换研究结果进行比较, 发现差别很大, 如树冠的呼吸速率可以是树干基部的 19—42 倍^[3-18], *Abies balsamea* 林分之间的维持呼吸速率的差别可达 100%—125%^[14]。组织类型内和类型间以及种间呼吸与环境之间缺乏相关性有许多解释, 如温度^[19-20]、树木的胸径、边材的体积、侧面积、树木的生长状态等。近年又有报道树干表面 CO₂ 通量与木质部液流速度有很大关系。

温度被认为是控制呼吸速率的重要环境因子, 在控制条件, 温度与呼吸作用有很好的相关关系^[4-7]。在细胞水平上, 温度对呼吸速率的作用也是肯定的^[8]。一些研究表明, 茎干温度与茎干呼吸之间存在着很好的相关关系^[9-11], 王文杰等在研究兴安落叶松(*Larix gmelini* (Rupr.) Rupr.) 的树干呼吸时发现温度与呼吸只是部分地正相关^[12]。然而, 在野外条件下, 却经常发现温度与呼吸速率的关系不明显。在一天中相同温度、不同时间测定的呼吸速率有所不同^[13-14]。Negisi 在研究赤松(*Pinus densiflora*) 树干呼吸时发现, 在高呼吸时期, 树干 CO₂ 释放通量反而降低^[15]。Martin 等在研究 *Pinus taeda* 幼苗的呼吸时, 也得出了相似的结果^[16]。这种现象也发现于其他一些研究中^[17-18]。

最近几年,一些研究发现 CO_2 释放通量与温度的不相关主要与液流速度有关^[16,19]。Boman 等发现,新西兰陆均松(*Dacrydium cupressinum*)树干 CO_2 释放通量与液流呈负相关^[20], Gansert 等也发现,欧洲白桦(*Betula pendula*)树干 CO_2 释放通量与液流速度存在负相关关系^[19],推测是由于液流将部分呼吸产生的 CO_2 带走,从而降低了树干表面 CO_2 的释放通量^[21]。然而,由于目前的研究还很有限,且还存在技术上的困难,所以对于木质部 CO_2 浓度、液流速度与 CO_2 释放通量尚无满意的解释^[22]。温度和液流速度的综合作用是影响树干 CO_2 释放通量的主要因子,而且由于温度和液流速度具有不同季节性的变化,也可能导致二者对 CO_2 释放通量的影响不同。

东北森林资源面积占全国森林总面积的 28.1%,是全国最大的林区^[23],同时该区也是温带、寒温带的过渡地带,属于针阔叶混交林与北方针叶林的过渡区域,弄清影响该地区森林树干呼吸变化的内外因素以及树干呼吸导致的生态系统碳变化,是构建森林生态系统碳循环模型所必不可少的环节,对于准确估测树木和森林群落碳平衡及北方森林对全球碳平衡的作用具有重要意义。考虑到该区域春、秋季节温度、树干液流速度差异较大,可能导致树干呼吸出现差异。本研究以 3 种东北重要森林树种(白桦(*Betula platyphylla* Suk.)、兴安落叶松(*Larix gmelini* (Rupr.) Rupr.) 和水曲柳(*Fraxinus mandshurica* Rupr.) 为研究对象,分别在春、秋季节对树干液流速度、树干温度及树干表面的 CO_2 释放通量进行原位连续测定,其目的是探明液流速度及温度对树干表面 CO_2 释放通量的综合影响,以及在不同季节的差异。为树木生理学理论研究及准确估测东北地区森林生态系统的碳平衡提供科学参考。

1 研究样地点自然概况

本研究样地分别设于东北林业大学帽儿山林场老山生态定位站和东北林业大学校内植物园。地理坐标分别为 $\text{E}127^{\circ}34'$, $\text{N}45^{\circ}20'$ 和 $\text{E}126^{\circ}38.036'$, $\text{N}45^{\circ}43.096'$ 。该区域为大陆性季风气候,有典型的四季交替,冬季长,夏季短。冬季寒冷干燥,夏季炎热湿润,少风多雨。降雨主要集中在 7 月份、8 月份。春季气候干燥、蒸发较强、降雨少,并且常有大风和干旱现象;秋季温度略高于春季,并且天气变化不如春季显著。年平均气温 2.8°C ,年平均相对湿度 70%,年平均降水量 723.8mm,年平均蒸发量 1093.9 mm,年平均日照数 2471.3h,无霜期 120—140d。

2 材料与方法

2.1 样本选择

选取胸径大小相近、树干通直、生长状态正常、树龄 35a 左右的白桦、兴安落叶松和水曲柳样木。于 2005 年至 2007 年选择 6 月下旬和 9 月中旬对 3 树种的树干表面 CO_2 释放通量、液流速度和树干温度进行 24—72 h 的连续测定。其中,2005 年 9 月于老山生态定位站分别选取立地条件和生长状态基本一致、年龄基本相同的 3 树种各 1 株(由于是 3 树种同步测定,受树种分布限制,3 树种在帽儿山的测定时,其中的 3 株树为单株测定),2006 年 9 月和 2007 年 6 月分别于东北林业大学校内植物园和老山生态定位站分别选取 3 树种各 2 株,测定时每次同时测定 3 株树,每种 1 株。

2.1 树干温度测定

在树干胸径位置的向阳面和背阴面分别钻取直径 5mm,深 1cm 的孔,采用 Thermo Recorder Tr-71U (T&D Corp. 日本)温度自动记录仪对树干胸径位置的南面和北面的树干边材温度进行连续测定,每 10min 记录 1 次数据。

2.2 树干液流速度测定

根据热扩散原理,采用 TDP 插针式植物茎流计(Model TDP-30; DynaMax Corp., Houston, TX, USA)对树干距离地面 1.3m 处南面和北面边材的液流速度同时进行测量,液流速度用数据采集器(CR10X, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, 美国)每 10min 记录 1 次平均值,将茎流计用防辐射材料包裹,以避免因温度变化对液流测定结果产生的干扰。

2.3 树干表面 CO₂ 释放通量测定

树干表面的 CO₂ 释放通量用气室法原位测定。用聚乙烯塑料在树干胸径部位围成 50cm 高的气室。首先在树干胸径部位上下相距 25cm 处分别用有弹性的橡胶管(直径 2cm)紧紧环绕树干,并用硅酮防水胶密封,形成气室两端的支撑环,再将事先做好的 50cm 高、宽度略大于树干截面周长的带有上下 2 个通气孔道的无色聚乙烯塑料薄膜的上下端环住树干并用密封胶布将其紧密固定于橡胶管上,薄膜在侧面的结合处亦用密封胶布粘牢,再用橡皮泥将橡胶管与树皮结合处密封,形成密封的气室,气室通过套在通气孔道上的胶管与 CO₂/H₂O 分析仪(Model 7000; Li-Cor Inc., Lincoln, NE, 美国)相连,设定程序对电磁阀进行控制,实现 3 株样木生理指标的同时连续测定,每组样木测定的周期为 30min,即每株样木测定时间为 10min,在开始测定的前 4min 不记录数据,为气体平衡时间,后 6min 每分钟记录 1 次平均值。用气体流量计(AWM5000 Honeywell 美国)测量进出系统的气体流速。所有数据用数据采集器(CR10X, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, 美国)记录收集(图 1)。

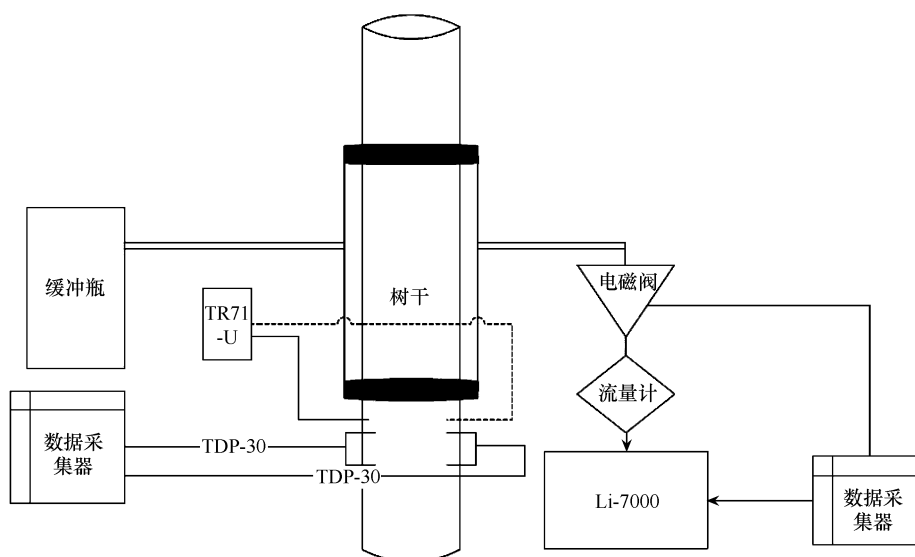


图 1 树干表面 CO₂ 释放通量、树干液流测定和树干温度测定系统示意图

Fig. 1 Scheme of the experimental set-up for measurement of stem CO₂ efflux, sap flow and temperature

树干表面 CO₂ 释放通量(E_A) 计算:

$$\text{单位面积的树干表面 CO}_2\text{ 释放通量 } E_A = (f_A \times \Delta[\text{CO}_2]) / S$$

式中, f_A 为通过气室的空气气流速度; S 为气室所包围树干的面积, $\Delta[\text{CO}_2]$ 为进出气室空气的 CO₂ 浓度差。

2.4 统计分析

树干温度与液流速度的回归分析,同一树种不同月份树干表面 CO₂ 释放通量及液流速度的比较均采用单因子 ANOVA 方差分析,协方差分析均在 SPSS 16.0 软件上进行,绘图采用 Origin 8.0。

3 结果与分析

3.1 树干 CO₂ 释放通量、液流速度及温度的昼夜动态一般特征

总体上,3 树种树干表面 CO₂ 释放通量与液流速度有一定规律性,但是在生长季的不同时期其规律有所不同。6 月份树干 CO₂ 释放通量和液流速度在昼夜间的变化规律总体上呈相反趋势,即液流速度白天升高,晚上降低,在 12:00 时左右达到最高峰,在 20:00 时至翌日 6:00 之间,液流都处于相对稳定的最低点。而树干表面 CO₂ 释放通量的变化规律则表现为白天降低,晚上升高的趋势,最高峰出现在 22:00—00:00 时左右(图 2)。9 月份树干表面 CO₂ 释放通量和液流速度及树干温度在昼夜间的变化规律总体上呈相同趋势,树干表面

CO₂释放通量和液流速度及树干温度均为白天升高,晚上降低,呈单峰曲线,峰值基本在中午出现。当白天液流出现瞬时下降的同时,树干表面 CO₂释放通量也出现了相应的相对稍微滞后的下降,这种液流和树干表面 CO₂释放通量的瞬时减少可能是由于瞬间云层引起的(图3)。

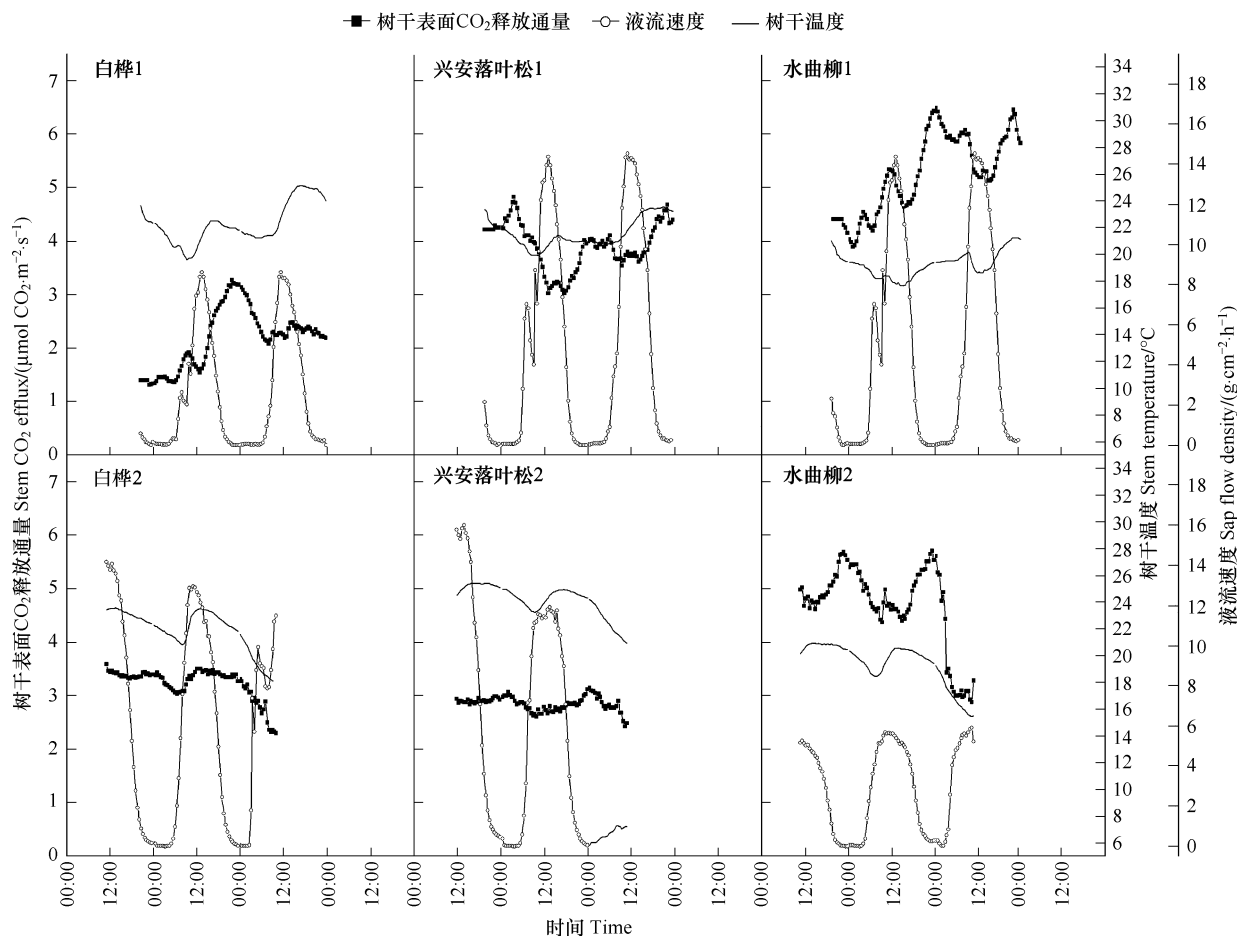


图2 6月份白桦、兴安落叶松和水曲柳树干液流速度、温度和树干表面 CO₂释放通量昼夜动态

Fig. 2 Dynamics of the stem CO₂ efflux, sap flow density and stem temperature in 24 hours

3.2 树干温度和液流速度与树干表面 CO₂释放通量之间的关系

对树干表面 CO₂释放通量与树干温度和液流速度的相关性分析表明,树干温度和液流速度对树干表面 CO₂释放通量影响均显著,在6月份和9月份树干温度与树干表面 CO₂释放通量均基本呈正相关。而液流速度对 CO₂释放通量的影响在6月份和9月各不相同,6月份液流速度与 CO₂释放通量基本呈负相关,9月液流速度与 CO₂释放通量则呈正相关(表1)。

3.2.1 液流速度对树干表面 CO₂释放通量的影响

相关分析表明(表1),液流速度对树干表面 CO₂释放通量影响显著,但是在24h周期内,在液流速度上升期和液流速度下降期,液流速度相同时树干表面 CO₂释放通量的相差很大(图2)。以液流速度峰值出现时间与液流速度停止时间为界限,将1天中数据划分为2个时间段,对同1株树上升期和下降期液流速度与树干表面 CO₂释放通量分别进行回归分析(表2),比较两条回归直线差异性^[24-25],以确定在上升期和下降期的液流速度对树干表面 CO₂释放通量的影响是否相同。结果表明:除兴安落叶松2006年2号样木,兴安落叶松树干表面 CO₂释放通量与上升和下降期间的液流速度回归直线差别均不显著($P>0.05$),说明在液流速度上升期和下降期液流速度对树干表面 CO₂释放通量的影响是一致的。但是相应的2个时间段水曲柳(水曲柳2006年2号样木除外)和白桦液流速度与其树干表面 CO₂释放通量回归直线差别均显著($P<0.05$)。

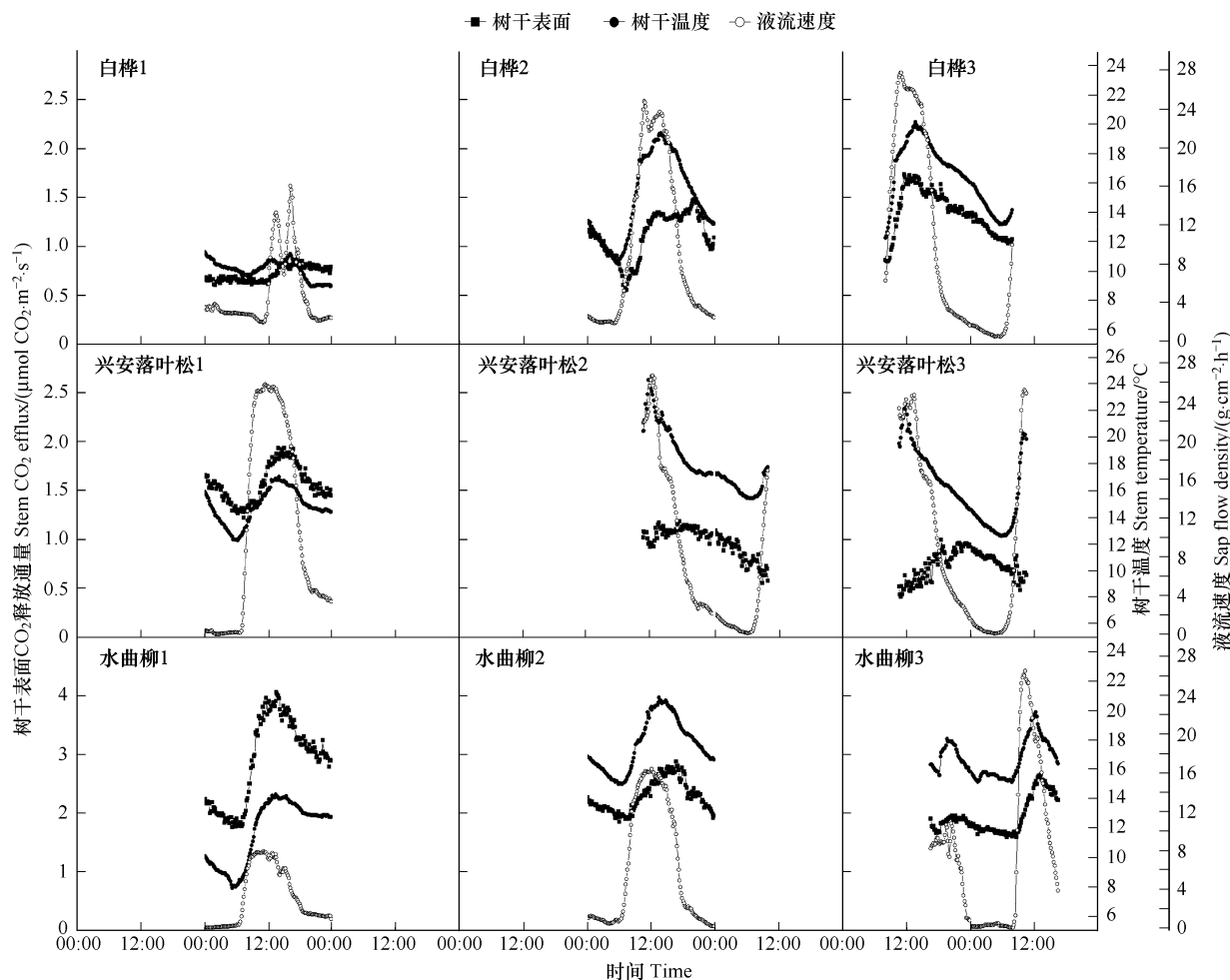


图 3 9 月份白桦、兴安落叶松和水曲柳树干液流速度、树干表面 CO₂ 释放通量和树干温度动态

Fig. 3 Dynamics of the stem CO₂ efflux, sap flow density and stem temperature of larch, birch and ash in 24 hours in September
其中白桦 1,兴安落叶松 1 和水曲柳 1 为 2005 年数据; 其它为 2006 年数据

表 1 树干表面 CO₂ 释放通量与树干温度和液流速度的相关分析

Table 1 Correlation between stem CO₂ efflux and stem temperature and sap flow density

时间 Time	树种 Species	树干温度 Stem temperature	液流速度 Sap flow density
2005-09	水曲柳 Ash	0.96 **	0.72 **
	兴安落叶松 Larch	0.89 **	0.53 **
	白桦 Birch	0.86 **	0.82 **
2006-09	水曲柳 1 Ash 1	0.91 **	0.53 **
	水曲柳 2 Ash 2	0.89 **	0.64 **
	兴安落叶松 1 Larch 1	0.46 **	0.21 *
	兴安落叶松 2 Larch 2	-0.58 **	-0.73 **
	白桦 1 Birch 1	0.66 **	0.26 **
	白桦 2 Birch 2	0.94 **	0.55 **
	水曲柳 1 Ash 1	0.21	-0.03
2007-06	水曲柳 2 Ash 2	0.04	-0.83 **
	兴安落叶松 1 Larch 1	-0.62 **	-0.83 **
	兴安落叶松 2 Larch 2	0.04	-0.83 **
	白桦 1 Birch 1	0.12	0.6 **
	白桦 2 Birch 2	0.35 *	-0.82 **

** 双侧检验相关性水平 $P<0.01$; * 双侧检验相关性水平 $P<0.05$

表2 液流上升和液流下降期间树干 CO₂ 释放通量和液流速度的回归方程Table 2 Fitting of the stem CO₂ efflux and sap flow density during sap flow raising and declining

时间 Time	树种 Species	回归方程 linear regression equation	R^2	最大温差/℃ Maximum temperature difference	上、下午回归方程比较 Comparison of linear regression equations
2007-06	水曲柳 1 Ash 1	$y = 0.2239x + 3.854$	0.68	0.79	$P < 0.001$
		$y = -0.1796x + 5.6527$	0.85	1.25	
	水曲柳 2 Ash 2	$y = -0.1013x + 5.0666$	0.76	1.04	$P = 0.043$
		$y = -0.1581x + 5.4523$	0.72	1.12	
	白桦 1 Birch 1	$y = 0.0435x + 1.541$	0.24	1.10	$P < 0.001$
		$y = -0.1849x + 3.2693$	0.91	1.88	
	白桦 2 Birch 2	$y = 0.0357x + 2.9023$	0.77	3.02	$P = 0.074$
		$y = 0.0106x + 3.3483$	0.76	0.76	
	落叶松 1 Larch 1	$y = -0.0666x + 4.4146$	0.83	0.86	$P = 0.214$
		$y = -0.0321x + 3.5857$	0.45	0.87	
	落叶松 2 Larch 2	$y = -0.0148x + 2.8513$	0.47	1.06	$P = 0.615$
		$y = -0.0124x + 2.8893$	0.73	0.46	
2005-09	水曲柳 Ash	$y = 0.2399x + 1.4755$	0.72	5.90	$P < 0.001$
	白桦 Birch	$y = 0.1192x + 3.039$	0.83	1.30	$P < 0.001$
		$y = -0.0061x + 1.2133$	0.05	2.30	
	落叶松	$y = 0.0085x + 1.0249$	0.38	3.00	$P = 0.45$
		$y = 0.0098x + 1.2527$	0.46	3.85	
2006-09	水曲柳 1 Ash 1	$y = 0.015x + 1.5509$	0.83	2.25	$P < 0.001$
		$y = 0.0295x + 1.8158$	0.75	5.25	
	水曲柳 2 Ash 2	$y = -0.0345x + 3.142$	0.43	1.00	$P = 0.705$
		$y = 0.0191x + 1.6325$	0.63	4.60	
	白桦 1 Birch 1	$y = 0.0212x + 2.2076$	0.77	3.50	$P < 0.001$
		$y = 0.026x + 0.514$	0.75	7.35	
	白桦 2 Birch 2	$y = 0.0011x + 1.2907$	0.07	2.70	$P < 0.001$
		$y = 0.0386x + 0.4304$	0.76	6.55	
	落叶松 1 Larch 1	$y = 0.0086x + 1.4329$	0.59	2.45	$P = 0.675$
		$y = -0.0084x + 0.7661$	0.43	2.35	
	落叶松 2 Larch 2	$y = -0.0085x + 1.2233$	0.50	5.70	$P < 0.001$
		$y = -0.0036x + 0.702$	0.22	9.90	
		$y = -0.0183x + 0.9688$	0.58	4.90	

3.2.2 月份间树干表面 CO₂ 释放通量和液流速度的差异

通过方差分析可见,3 树种 6 月和 9 月树干表面 CO₂ 释放通量、液流速度和树干温度均差异显著。总体上,6 月份 CO₂ 释放通量和树干温度高于 9 月份,6 月份液流速度则低于 9 月份。6 月份水曲柳树干的 CO₂ 释放通量比 9 月份高 108.92%,兴安落叶松 6 月比 9 月高 201.93%,白桦 6 月比 9 月高 148.05% (图 4)。

3 树种 6 月与 9 月树干温度和液流速度差异均显著 (图 4),所以采用协方差分析方法,确定影响树干表面 CO₂ 释放通量的关键因子,月份作为固定因素自变量,树干温度和液流速度分别作为协变量。以树干温度作为协变量时,是去除树干温度月份间差异对树干表面 CO₂ 释放通量的影响,以液流速度作为协变量时,是去除液流速度月份间差异对树干表面 CO₂ 释放通量的影响。经计算,树干温度、液流速度与月份的交互作用均不显著,满足协方差分析的要求^[25]。结果表明,树干温度作为协变量时,水曲柳树干表面 CO₂ 释放通量月份间的差异显著 ($P < 0.001$);液流速度作为协自变量时,水曲柳树干表面 CO₂ 释放通量月份间的差异不显著 ($P = 0.151$),说明水曲柳树干表面 CO₂ 释放通量月份间差异主要由液流速度的差异而引起的。以树干温度作为协

自变量,兴安落叶松和白桦树干表面 CO₂ 释放通量月份间的差异不显著(兴安落叶松 $P=0.167$;白桦 $P=0.363$),以液流速度作为协自变量,兴安落叶松和白桦树干表面 CO₂ 释放通量月份间的差异也不显著(兴安落叶松 $P=0.168$;白桦 $P=0.056$),说明兴安落叶松和白桦月份间树干表面 CO₂ 释放通量的差异主要是由树干温度与液流速度共同作用引起的。

4 讨论

本研究表明,总体上 3 树种树干 CO₂ 释放通量和液流速度在昼夜变化和季节变化上有一定规律,但 24h 周期内树干表面 CO₂ 释放通量和液流速度的动态变化式样及二者的关系比较复杂,既有同一树种内月份间和个体间的差异,也有不同树种间的区别。树干呼吸报道中,树干呼吸日变化既有单峰曲线也有双峰曲线^[12,26-30]。在本研究中,3 个树种的树干表面 CO₂ 释放通量昼夜动态均呈明显的单峰型曲线,但是峰值出现的时间有所区别,在 6 月份峰值在夜间出现,温度变化趋势相反,这与 Marry Anne 等的研究结果一致^[6-7],其原因可能是由于白天从呼吸细胞中逸出的大量 CO₂ 并没有逃逸到大气中,而是扩散到木质部液流中,并被向上运输,而使测定的输出通量小于实际组织呼吸放出的 CO₂,夜间树干内部的液流处于静止状态,所以树干呼吸产生的 CO₂ 全部释放到大气中,导致树干表面 CO₂ 释放通量夜间高于白天^[7]。9 月份树干表面 CO₂ 释放通量峰值在午间出现,与温度变化趋势基本一致,其原因可能是 9 月份树干昼夜温差较大(表 1),温度对树干呼吸的影响显著,所以树干表面 CO₂ 释放通量与温度变化的趋势一致,而 6 月份树干温度昼夜温差小,所以树干呼吸随昼夜温度变化不明显,液流是影响树干表面 CO₂ 释放通量的主要因子。

相关分析表明(表 1),液流速度对树干表面 CO₂ 释放通量影响显著,但是在 24h 周期内,在液流速度上升期和液流速度下降期,液流速度相同时树干表面 CO₂ 释放通量的相差很大,说明上升期和下降期的液流速度对树干表面 CO₂ 释放通量的影响不同(表 2),其原因可能由于上、下午之间温度不同,导致树干内部 CO₂ 溶解度不同,进而使上、下午液流中 CO₂ 浓度不同^[21]。

本研究中 3 树种树干表面 CO₂ 释放通量有着明显的季节性规律,即 6 月份的 CO₂ 释放通量明显高于 9 月份。协方差分析表明这种差别可能主要是由于树干温度和液流速度综合作用的结果。3 树种树干温度 6 月高于 9 月,温度升高提高了树干呼吸速率,而 6 月份的液流速度则远低于 9 月份,这使被液流带走的呼吸组织产生的 CO₂ 的量相对减少,从而在一定程度上也增加了向树干表面的释放。McGuire 等直接测定北美水青冈(*Fagus grandifolia*)、胶皮枫香树(*Liquidambar styraciflua*)和一球悬铃木(*Platanus occidentalis*)木质部液流中的 CO₂ 浓度,发现白天呼吸产生的 CO₂ 中有 13%—71% 被液流带走,且树干内部 CO₂ 运输与树干液流速度呈正比^[29]。树木在生长季的不同时期由于其叶片的生长状态不同,蒸腾速率有显著差异,导致液流速度发生变化。9 月份液流速度高于 6 月,导致树干内部 CO₂ 运输的变化,即液流速度越快,由液流向上带走的 CO₂ 越多,因而释放到树干表面的 CO₂ 就相对减少。由此可见,虽然生长季初期和末期树干温度的变化影响组织呼吸的大小,进而会影响树干 CO₂ 释放通量,但是液流速度也是影响树干呼吸产生 CO₂ 向外界释放的重要因子。

然而,在考虑水分、温度对树干呼吸影响的同时,对树木的生长状态、生长速率、树冠冠幅等也应该予以考虑^[12]。已有一些基于以树干表面 CO₂ 释放通量作为树干呼吸的研究结果认为,树干表面 CO₂ 释放通量的季

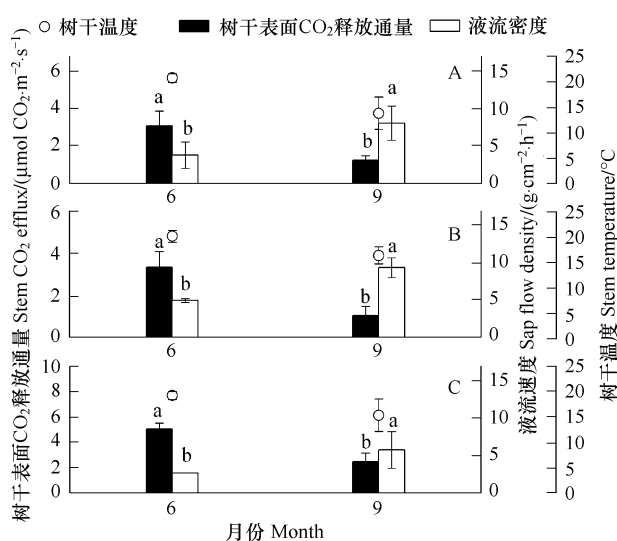


图 4 兴安落叶松、水曲柳、白桦 6 月 9 月液流速度、树干表面 CO₂ 释放通量比较

Fig. 4 Comparison of the stem CO₂ efflux and sap flow density of birch, larch and ash in June and in September

A: 白桦, B: 兴安落叶松, C: 水曲柳; 图中各列不同字母表示差异显著 ($\alpha=0.05$)

节变化与气温和木质部的生长相关^[18,27,31-32],有学者证明:树干生长速率和树干氮含量可解释树干呼吸季节动态的 75% (树干生长速率和树干氮含量分别解释树干呼吸季节动态的 51% 和 24%)^[17],树干呼吸的季节动态也与树木木质部形成层季节性生理活动能力的变化有密切关系。所以,本研究中 3 种树木树干 CO₂ 释放通量的季节性变化除了与温度和液流速度有关外,可能也与上述生长方面的因素有关,有待进一步研究。

本研究表明,木材解剖特性可能对树干表面 CO₂ 释放通量有很大影响。白桦、兴安落叶松和水曲柳分别为散孔材、无孔材和环孔材,这 3 种树木树干 CO₂ 释放通量差异显著,且液流速度也各有差异。所以木材解剖结构对树干呼吸,树干表面 CO₂ 释放通量和液流速度及呼吸产生的 CO₂ 在液流中运输的影响还有待于进一步的研究。

5 结论

温度是影响树干呼吸速率的关键因子,但树干呼吸产生的 CO₂ 向大气的释放也同时受树干液流速度的影响。24h 周期内白桦、兴安落叶松和水曲柳树干 CO₂ 释放通量与液流速度密切相关,但在液流的上升期和下降期液流对树干表面 CO₂ 释放通量的影响不同,这主要是由于温度和液流的共同作用的结果。温度与液流对春、秋季节 3 树种树干表面 CO₂ 释放通量的影响有所不同,水曲柳春、秋季节树干表面 CO₂ 释放通量的差异受液流速度的影响较大,而白桦和兴安落叶松是由树干温度和液流速度共同作用的结果。

References:

- [1] Waring R H, Schlesinger W H. Forest Ecosystems: Concepts and Management. New York: Academic Press, 1985: 340-340.
- [2] Lavigne M B, Ryan M G. Growth and maintenance respiration rates of aspen, black spruce and jack pine stems at northern and southern BOREAS sites. Tree Physiology, 1997, 17(8/9): 543-551.
- [3] Damesin C, Ceschia E, Le Goff N, Ottorini J M, Dufrêne E. Stem and branch respiration of beech: from tree measurements to estimations at the stand level. New Phytologist, 2002, 153(1): 159-172.
- [4] Lloyd J, Taylor J A. On the temperature dependence of soil respiration. Functional Ecology, 1994, 8(3): 315-323.
- [5] Xu M, Debiase T A, Qi Y. A simple technique to measure stem respiration using a horizontally oriented soil chamber. Canadian Journal of Forest Research, 2000, 30(10): 1555-1560.
- [6] McGuire M A, Teskey R O. Microelectrode technique for in situ measurement of carbon dioxide concentrations in xylem sap of trees. Tree Physiology, 2002, 22(11): 807-811.
- [7] Teskey R O, McGuire M A. Carbon dioxide transport in xylem causes errors in estimation of rates of respiration in stems and branches of trees. Plant, Cell and Environment, 2002, 25(11): 1571-1577.
- [8] Amthor J S. Respiration and Crop Productivity. New York: Springer-Verlag, 1989.
- [9] Lavigne M B, Franklin S E, Hunt R E. Estimating stem maintenance respiration rates of dissimilar balsam fir stands. Tree Physiology, 1996, 16(8): 687-695.
- [10] Maier C A, Zarnoch S J, Dougherty P M. Effects of temperature and tissue nitrogen on dormant season stem and branch maintenance respiration in a young loblolly pine (*Pinus taeda*) plantation. Tree Physiology, 1998, 18(1): 11-20.
- [11] Jiang L F, Shi F C, Zu Y G, Wang W J, KOIKE T. Study on stem respiration of larch *gmelinii* of different ages and its relationship to environmental factors. Bulletin of Botanical Research, 2003, 23(3): 296-301.
- [12] Wang W J, Yang F J, Zu Y G, Wang H M, Takagi K, Sasa K, Koike T. Stem respiration of a Larch (*Larix gmelini*) plantation in northeast China. Acta Botanica Sinica, 2003, 45(12): 1387-1397.
- [13] Negis K. Diurnal fluctuations of the stem bark respiration in relationship to the wood temperature in standing young *Pinus densiflora*, *Chamaecyparis obtusa* and *Quercus myrsinaefolia* trees. Journal of the Japanese Forestry Society, 1982, 64(8): 315-319.
- [14] Lavigne M B. Differences in stem respiration responses to temperature between balsam fir trees in thinned and unthinned stands. Tree Physiology, 1987, 3(3): 225-233.
- [15] Negis K. Bark respiration rate in stem segments detached from young *Pinus densiflora* trees in relation to velocity of artificial sap flow. Journal of the Japanese Forest Society, 1979, 61: 88-93.
- [16] Martin T A, Teskey R O, Dougherty P M. Movement of respiratory CO₂ in stems of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings. Tree Physiology, 1994, 14(5): 481-495.
- [17] Maier C A. Stem growth and respiration in loblolly pine plantations differing in soil resource availability. Tree Physiology, 2001, 21(16):

1183-1193.

- [18] Ma Y E, Xiang W H, Lei P F. Stem respiration and its controlling factors in forest ecosystems. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(3): 403-412.
- [19] Gansert D, Burgdorf M. Effects of xylem sap flow on carbon dioxide efflux from stems of birch (*Betula pendula* Roth). *Flora*, 2005, 200(5): 444-455.
- [20] Bowman W P, Barbour M M, Turnbull M H, Tissue D T, Whitehead D, Griffin K L. Sap flow rates and sapwood density are critical factors in within- and between-tree variation in CO₂ efflux from stems of mature *Dacrydium cupressinum* trees. *New Phytologist*, 2005, 167(3): 815-828.
- [21] Teskey R O, Saveyn A, Steppe K, McGuire M A. Origin, fate and significance of CO₂ in tree stems. *New Phytologist*, 2008, 177(1): 17-32.
- [22] Zhao P, Hölscher D. The concentration and efflux of tree stem CO₂ and the role of xylem sap flow. *Frontiers of Biology in China*, 2009, 4(1): 47-54.
- [23] Zhao J F, Yan X D, Jia G S. Simulating the responses of forest net primary productivity and carbon budget to climate change in Northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, (1): 92-102.
- [24] Li S D. Application of Statistical Theory and Method. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1989: 565-565.
- [25] Zhang W T. The World's Best Statistical Tool SPSS 11 Statistical Analysis of Tutorial (Advanced). Beijing: Beijing Hope Electronic Press, 2002: 346-346.
- [26] Xiao F M, Wang S L, Du T Z, Chen L C, Yu X J. Respiration of chinese fir in plantations in Huitong, Hu'nan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2514-2519.
- [27] Wang M, Ji L Z, Li Q R, Xiao D M, Liu H L. Stem respiration of *Pinus koraiensis* in Changbai Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(01): 7-13.
- [28] Yan Y P, Sha L Q, Cao M. Diurnal Variation of stem respiration of three tropical tree species in Xishuangbanna, Southwest China. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(3): 268-276.
- [29] McGuire M A, Teskey R O. Estimating stem respiration in trees by a mass balance approach that accounts for internal and external fluxes of CO₂. *Tree Physiology*, 2004, 24(5): 571-578.
- [30] Zha T, Kellomaki S, Wang K Y, Ryyppö A, Niinistö S. Seasonal and annual stem respiration of scots pine trees under boreal conditions. *Annals of Botany*, 2004, 94(6): 889-896.
- [31] Wieser G, Bahn M. Seasonal and spatial variation of woody tissue respiration in a *Pinus cembra* tree at the alpine timberline in the central Austrian alps. *Trees-Structure and Function*, 2004, 18(5): 576-580.
- [32] Yan Y P, Sha L Q, Cao M. Stem respiration characteristics of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations in Xishuangbanna. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, (4): 1840-1848.

参考文献:

- [11] 姜丽芬, 石福臣, 祖元刚, 王文杰, 小池效良. 不同年龄兴安落叶松树干呼吸及其与环境因子关系的研究 (英文). *植物研究*, 2003, 23(3): 296-301.
- [18] 马玉娥, 项文化, 雷丕锋. 林木树干呼吸变化及其影响因素研究进展. *植物生态学报*, 2007, 31(3): 403-412.
- [23] 赵俊芳, 延晓冬, 贾根锁. 东北森林净第一性生产力与碳收支对气候变化的响应. *生态学报*, 2008, (1): 92-102.
- [24] 李世达. 应用统计理论与方法. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1989: 565-565.
- [25] 张文彤. 世界优秀统计工具 SPSS 11 统计分析教程 (高级篇). 北京: 北京希望电子出版社, 2002: 346-246.
- [26] 肖复明, 汪思龙, 杜天真, 陈龙池, 于小军. 湖南会同林区杉木人工林呼吸量测定. *生态学报*, 2005, 25(10): 2514-2519.
- [27] 王森, 姬兰柱, 李秋荣, 肖冬梅, 刘海良. 长白山地区红松树干呼吸的研究. *应用生态学报*, 2005, 16(1): 7-13.
- [28] 严玉平, 沙丽清, 曹敏. 西双版纳三种树木树干呼吸日变化特征. *山地学报*, 2006, 24(3): 268-276.
- [32] 严玉平, 沙丽清, 曹敏. 西双版纳三叶橡胶林树干呼吸特征. *生态学报*, 2009, (4): 1840-1848.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 12 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Effect assessment of the project of grain for green in the karst region in Southwestern China: a case study of Bijie Prefecture	LI Hao, CAI Yunlong, CHEN Ruishan, et al (3255)
The effect of dispersal on the population dynamics of a host-parasite system in fragmented landscape	SU Min (3265)
The effect of spatial scales on wetland functions evaluation: a case study for coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province	OU Weixin, YE Lifang, SUN Xiaoxiang, et al (3270)
Effects of simulated nitrogen deposition on nutrient balance of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) seedlings	FAN Houbao, LIAO Yingchun, LIU Wenfei, et al (3277)
The water conservation study of typical forest ecosystems in the forest transect of eastern China	HE Shuxia, LI Xuyong, MO Fei, et al (3285)
The ecological responses of <i>Pinus tabulaeformis</i> forests in Taiyue Mountains of Shanxi to artificial Harvesting	GUO Donggang, SHANGGUAN Tielang, BAI Zhongke, et al (3296)
The influence of the long-term application of organic manure and mineral fertilizer on microbial community in calcareous fluvo-aquic soil	ZHANG Huanjun, YU Hongyan, DING Weixin (3308)
Endophytic fungal diversity of five dominant plant species in the dry-hot valley of Yuanjiang, Yunnan Province, China	HE Caimei, WEI Daqiao, LI Haiyan, et al (3315)
Seedling recruitment in desert riparian forest following river flooding in the middle reaches of the Tarim River	ZHAO Zhenyong, ZHANG Ke, LU Lei, et al (3322)
Scaling up for transpiration of <i>Pinaceae schrenkiana</i> stands based on 8hm permanent plots in Tianshan Mountains	ZHANG Yutao, LIANG Fengchao, CHANG Shunli, et al (3330)
Responses of soil enzyme activities and microbial biomass N to simulated N deposition in Gurbantunggut Desert	ZHOU Xiaobing, ZHANG Yuanming, TAO Ye, et al (3340)
Effects of Pb on growth, heavy metals accumulation and chloroplast ultrastructure of <i>Iris lactea</i> var. <i>Chinensis</i>	YUAN Haiyan, GUO Zhi, HUANG Suzhen (3350)
Effects of temperature and sap flow velocity on CO ₂ efflux from stems of three tree species in spring and autumn in Northeast China	WANG Xiuwei, MAO Zijun, SUN Tao, et al (3358)
The soil seed bank of <i>Eupatorium adenophorum</i> along roadsides in the south and middle area of Yunnan, China	TANG Yingyin, SHEN Youxin (3368)
Extracting the canopy structure parameters using hemispherical photography method	PENG Huanhua, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (3376)
The CCA analysis between grasshopper and plant community in upper reaches of Heihe River	ZHAO Chengzhang, ZHOU Wei, WANG Keming, et al (3384)
Community structure characteristics of phytoplankton in argun River Drainage Area in autumn	PANG Ke, YAO Jinxian, WANG Hao, et al (3391)
Spatial and temporal variation of phytoplankton and impacting factors in Jiulongjiang Estuary of Xiamen, China	WANG Yu, LIN Mao, CHEN Xingqun, et al (3399)
Effect of bank type on fish biodiversity in the middle-lower reaches of East Tiaoqi River, China	HUANG Liangliang, LI Jianhua, ZOU Limin, et al (3415)
Study on dynamic changes of soil and water loss along highway based on RS/GIS: an example of Yujing expressway	CHEN Aixia, LI Min, SU Zhixian, et al (3424)
The urbanization effects on watershed landscape structure and their ecological risk assessment	HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (3432)
Assessment of ecological risk of coastal economic developing zone in Jinzhou Bay based on landscape pattern	GAO Bin, LI Xiaoyu, LI Zhigang, et al (3441)
Impacts of land use and cover changes on ecosystem service value in Zoige Plateau	LI Jinchang, WANG Wenli, HU Guangyin, et al (3451)
Effect of chicken manure application on Cu and Zn accumulation in soil and <i>Brassica sinensis</i> L.	ZHANG Yan, LUO Wei, CUI Xiaoyong, et al (3460)
GIS analysis of structural characteristics of pollution sources in irrigable farmland in Ningxia China	CAO Yanchun, FENG Yongzhong, YANG Yinlu, et al (3468)
Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean	LIU Yan, ZHOU Xunbo, CHEN Yuhai, et al (3478)
<i>In situ</i> study on influences of different fertilization patterns on inorganic nitrogen losses through leaching and runoff: a case of field in Nansi Lake Basin	TAN Deshui, JIANG Lihua, ZHANG Qian, et al (3488)
Effects of AM fungi on leaf photosynthetic physiological parameters and antioxidant enzyme activities under low temperature	LIU Airong, CHEN Shuangchen, LIU Yanying, et al (3497)
Effects of exogenous cysteine on growth, copper accumulation and antioxidative systems in wheat seedlings under Cu stress	PENG Xiangyong, SONG Min (3504)
Review and Monograph	
The horizon scanning technology and its application prospect in Ecology	HU Zimin, LI Jingjing, LI Wei, et al (3512)
Scientific Note	
The gas exchange characteristics of four shrubs on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (3522)
Effect of DEM data at different scales on the accuracy of forest Ecological Classification system	TANG Lina, HUANG Jucong, DAI Limin (3531)
Canopy interception of rainfall by Bamboo plantations growing in the Hill Areas of Southern Jiangsu Province	JIA Yongzheng, HU Haibo, ZHANG Jiayang (3537)
Effects of exotic species slash pine (<i>Pinus elliottii</i>) litter on the structure and function of the soil microbial community	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3543)
The carbon emission analysis of Shenzhen Metro	XIE Hongyu, WANG Xixiang, YANG Muzhuang, et al (3551)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 12 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 12 2011

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



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元