ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报
Acta Ecologica Sinica

第32卷 第8期 Vol.32 No.8 2012

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

（SHENGTAI XUEBAO）

第 32 卷 第 8 期　　2012 年 4 月　（半月刊）

目　　次

东北地区 5 种阔叶树苗木对火烧的生理响应…… 王　荣,胡海清（2303）
梭梭木虱发生规律及其影响因子…… 李粉莲,吴雪海,王佩玲,等（2311）
基于遥感降尺度估算中国森林生物量的空间分布…… 刘双娜,周　涛,舒　阳,等（2320）
流域景观格局与河流水质的多变量相关分析…… 赵　鹏,夏北成,秦建桥,等（2331）
内蒙古达赉湖地区赤狐生境选择及生境景观特征分析…… 张洪海,李成涛,窦华山,等（2342）
雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价…… 徐梦珍,王兆印,潘保柱,等（2351）
用组合模型综合比较的方法分析气候变化对朱鹮潜在生境的影响…… 翟天庆,李欣海（2361）
2010 年牧区 2 代草地螟成虫迁飞的虫源分析 …… 张　丽,张云慧,曾　娟,等（2371）
基于细胞色素 *b* 基因的中国岩羊不同地理种群遗传差异分析…… 李楠楠,刘振生,王正寰,等（2381）
喀斯特峰丛洼地不同退耕还林还草模式的土壤微生物特性…… 鹿士杨,彭晚霞,宋同清,等（2390）
永定河沿河沙地杨树人工林生态系统呼吸特征…… 方显瑞,张志强,查同刚,等（2400）
基于湿地植物光谱的水体总氮估测…… 刘　克,赵文吉,郭逍宇,等（2410）
背瘤丽蚌 F 型线粒体基因组全序列分析 …… 陈　玲,汪桂玲,李家乐（2420）
流域“源-汇”景观格局变化及其对磷污染负荷的影响——以天津于桥水库流域为例 ……
…… 李崇巍,胡　婕,王　飒,等（2430）
线虫群落对抚顺煤矸石山周边土壤可溶性盐污染的响应…… 张伟东,吕　莹,肖　莹,等（2439）
地上竞争对林下红松生物量分配的影响…… 汪金松,范秀华,范　娟,等（2447）
湿地松和马尾松人工林土壤甲烷代谢微生物群落的结构特征…… 王　芸,郑　华,陈法霖,等（2458）
马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}C$ 值对气象因子的响应 …… 卢钰茜,王振兴,郑怀舟,等（2466）
沙坡头人工植被演替过程的土壤呼吸特征…… 高艳红,刘立超,贾荣亮,等（2474）
豫西刺槐能源林的热值动态…… 谭晓红,刘诗琦,马履一,等（2483）
铁皮石斛种子的室内共生萌发 …… 吴慧凤,宋希强,刘红霞（2491）
红光与远红光比值对温室切花菊形态指标、叶面积及干物质分配的影响 ……
…… 杨再强,张继波,李永秀,等（2498）
扑草净对远志幼苗根系活力及氧化胁迫的影响…… 温银元,郭平毅,尹美强,等（2506）
地表臭氧浓度增加和 UV-B 辐射增强及其复合处理对大豆光合特性的影响 ……
…… 郑有飞,徐卫民,吴荣军,等（2515）
AMF 对喀斯特土壤枯落物分解和对宿主植物的养分传递 …… 何跃军,钟章成,董　鸣（2525）
传统豆酱发酵过程中细菌多样性动态…… 葛菁萍,柴洋洋,陈　丽,等（2532）
定位施肥对紫色菜园土磷素状况的影响…… 孙倩倩,王正银,赵　欢,等（2539）
基于生态需水保障的农业生态补偿标准…… 庞爱萍,孙　涛（2550）
保障粮食安全造成的生态价值损失评估模型及应用…… 芦蔚叶,姜志德,张应龙,等（2561）
专论与综述
疏浚泥用于滨海湿地生态工程现状及在我国应用潜力…… 黄华梅,高　杨,王银霞,等（2571）
问题讨论
厌氧氨氧化菌群体感应系统研究…… 丁　爽,郑　平,张　萌,等（2581）
基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价…… 帅　红,李景保,夏北成,等（2588）
研究简报
黄土高原不同树种枯落叶混合分解效应…… 刘增文,杜良贞,张晓曦,等（2596）
不同经营类型毛竹林土壤活性有机碳的差异…… 马少杰,李正才,王　斌,等（2603）
干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响 …… 欧立军,陈　波,邹学校（2612）
硅和干旱胁迫对水稻叶片光合特性和矿质养分吸收的影响 …… 陈　伟,蔡昆争,陈基宁（2620）

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ￥70.00 * 1510 * 36 * 2012-04

封面图说:红树林粗大的气生根——红树林是热带、亚热带海湾及河口泥滩上特有的常绿灌木或乔木群落。由于海水环境条件特殊,红树林植物具有一系列特殊的生态和生理特征。其中之一就是气根,红树从根部长出许多指状的气生根露出海滩地面,以便在退潮时甚至潮水淹没时用以通气,故称呼吸根。在中国,红树林主要分布在海南、广西、广东和福建省沿海,它一般分布于高潮线与低潮线之间的潮间带,往往潮差越大、红树的呼吸根就长得越高越粗大。

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

DOI: 10.5846/stxb201103070273
方显瑞,张志强,查同刚,谭炯锐,王小平,陈俊崎,陈吉泉,孙阁. 永定河沿河沙地杨树人工林生态系统呼吸特征. 生态学报,2012,32(8):2400-2409.
Fang X R, Zhang Z Q, Zha T G, Tan J R, Wang X P, Chen J Q, Chen J Q, Sun G. Ecosystem and soil respiration of a poplar plantation on a sandy floodplain in Northern China. Acta Ecologica Sinica,2012,32(8):2400-2409.

永定河沿河沙地杨树人工林生态系统呼吸特征

方显瑞[1],张志强[1,*],查同刚[1],谭炯锐[1],王小平[2],陈俊崎[2],陈吉泉[3],孙 阁[4]
(1. 北京林业大学水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083;2. 北京市林业碳汇工作办公室, 北京 100085;
3. Landscape Ecology & Ecosystem Science, University of Toledo, Toledo, OH 43606-3390, U. S. A;
4. Southern Global Change Program, USDA FS, 920 Main Campus, Raleigh, NC27606, U. S. A)

摘要:杨树是世界上广泛采用的人工造林树种之一,也是中国人工林面积最大的树种。研究杨树人工林生态系统呼吸(*Re*)及其分量土壤呼吸(*Rs*)的时间动态格局以及强度特征,分析两者对环境因子的响应是提高人工林生态系统净生产力和促进固碳减排等人工林经营管理中考虑的首要问题。采用开路式涡度相关系统、Licor-8150 土壤呼吸测定系统以及小气候测定系统连续测定了位于北京大兴区永定河沿河沙地杨树人工林的生态系统呼吸、土壤呼吸和小气候特征。研究结果表明:(1)2007—2009 年该生态系统的 *Re* 年总量分别为 946.68、863.58、817.30gCm^{-2}a^{-1},其中 *Rs* 年总量分别为 642.11、629.29、609.05gCm^{-2}a^{-1}, *Rs* 年总量约占 *Re* 年总量的 70%;(2)*Re* 和 *Rs* 月总量一般在 7 或者 8 月份达到最大值,*Rs* 的变化趋势与土壤 5cm 温度(*Ts*5)相一致;(3)*Ts*5 是 *Re* 和 *Rs* 两者的显著影响因子,但 *Re* 与空气相对湿度(*RH*)的相关性最显著。此外,*Rs* 更容易受到 *Ts*5 和 0—20cm 土壤平均体积含水量(*vwc*)两者耦合效应的限制。

关键词:杨树人工林;生态系统呼吸;土壤呼吸;生长季涡度相关法

Ecosystem and soil respiration of a poplar plantation on a sandy floodplain in Northern China

FANG Xianrui[1], ZHANG Zhiqiang[1,*], ZHA Tonggang[1], TAN Jiongrui[1], WANG Xiaoping[2], CHEN Junqi[2], CHEN Jiquan[3], SUN Ge[4]

1 *Key laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education//Water and Soil Conservation College, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*

2 *Beijing Forestry Carbon Sequestration Office, Beijing* 100085, *China*

3 *Landscape Ecology & Ecosystem Science, University of Toledo, Toledo, OH* 43606-3390, *U. S. A*

4 *Southern Global Change Program, USDA FS*, 920 *Main Campus, Raleigh, NC* 27606, *U. S. A*

Abstract: Poplar is one of the most widely planted tree species through China's ambitious reforestation effort especially in the northern China since the 1970s. Among various pressing issues related to this plantation, the magnitude and dynamics as well as the biophysical regulation of carbon loss through respiration are critical information needed in the context of wood productivity and carbon sequestration. Ecosystem respiration(*Re*), soil respiration(*Rs*), and meteorological conditions of a *Populus* × *euramericana cv.* "74/76" plantation located on the floodplain of the Yongding River in Daxing District of Beijing, were measured through an eddy-covariance system, a four-channel soil respiration measurement system(Li-8150, Li-Cor, NE), and a microclimate measurement system from 2007 through 2009. The variation of *Re* and *Rs* in the different

基金项目:国家林业行业科研专项(201204102);北京市教育委员会共建项目;北京市林业碳汇工作办公室观测运行基金;教育部重点项目(105027);高等学校博士专项科研基金(20040022013);中美碳联盟 USCCC 国际合作项目资助

收稿日期:2011-03-07; **修订日期**:2012-01-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhqzhang@bjfu.edu.cn

time scales and their responses to environmental factors including soil temperature and soil water content were analyzed and discussed in this paper.

Energy balance closure was evaluated by statistical regression between turbulent energy fluxes of sensible (*Hs*) and latent heat (*LE*) against the difference etween available energy of net radiation (*Rn*) and the soil heat flux (*G*), which excluded the heat storage from the ground to the height of measurement. The ratio of turbulent energy fluxes to available energy was 0.78, with an average intercept of 18.95 $Wm^{-2}s^{-1}$ at half-hourly scale in all three years indicating that the flux data were reliable in general.

The total annual *Re* was 946.68, 863.58, and 817.30$gCm^{-2}a^{-1}$ for 2007, 2008, and 2009, respectively; and the total annual *Rs* was 642.11, 629.29, and 609.05$gCm^{-2}a^{-1}$. *Rs* was the dominant component of *Re*, accounting for about 70% of *Re* on an annual basis. The annual *Rs*can be used to estimate the annual *Re* in the future studies.

The monthly *Re* and *Rs* reached the maximum in July or August, and *Rs* showed a similar seasonal variation in all three years. The similar temporal variation was observed for the monthly *Rs* and the averaged soil temperature at 5cm depth (*Ts*5) from 2007 to 2009.

The maximum daily *Rs* and *Re* were 5.285 and 7.781 $gCm^{-2}d^{-1}$, compared with the minimum value of 0.330 and 0.504 $gCm^{-2}d^{-1}$for 2007,2008, and 2009, respectively. *Re* and *Rs* were significantly correlated with *Ts*5, however, we found that *Re* was mostcontrolled by air relative humidity (*RH*) among all the climate and soil moisture conditions. In addition, *Rs* was more determined than *Re* by the coupling factor of volumetric soil water content (*vwc*) and *Ts* 5.

Key Words: poplar plantation;ecosystem respiration;soil respiration;eddy-covariance method

森林作为陆地生态系统重要的碳库之一[1],在减缓和适应气候变化中发挥着重要的作用[2]。而在全球气候变暖日益严重的整体趋势下,森林生态系统 CO_2 通量已经成为全球气候变化研究中的焦点之一[3]。第七次全国森林资源清查结果显示,中国人工林保存面积为 6168.84 万 hm^2,占全国森林总面积的 31.8%,居世界首位[4]。因此,对我国人工林生态系统碳循环的长期监测和精确估算,是评价我国森林乃至陆地生态系统碳汇功能及其对全球气候变化影响的基础[5-6]。

森林生态系统的碳累积主要取决于生态系统净生产力(NEP),即生态系统总生产力(GEP)和生态系统呼吸(*Re*)的差值,此两者谁是影响生态系统物质和能量平衡的最主要因素受到学术界的广泛关注[7-9]。Noormets,Valentini 和 Pilegaard 等发现 *Re* 比 GEP 更能够代表碳汇通量观测点的差异性[9-11]。因此,*Re* 的动态格局及其对环境因子的响应越来越受到学者们的重视。在大量的研究中,Bubier 等[12]发现在干旱的生长季,地下水位是影响 *Re* 的主要因子,而在雨水充足的生长季,温度是影响 *Re* 的最主要因子。Noormets 等[13]利用经验模型分析了美国 14 个森林生态系统呼吸对土壤温度和土壤水分的响应,发现土壤温度是影响生态系统呼吸的主要因子。王春林等[14]发现鼎湖山针阔叶混交林的 *Re* 受土壤温度、湿度和冠层温度和相对湿度的共同影响,土壤温度是主要影响因子。郑泽梅等[15]研究发现长白山温带混交林的林冠下层夜间 CO_2 通量与 *Ts*5 显著相关。韩帅等[16]发现长江中游河流湿地杨树人工林生态系统的 *Re* 具有明显的季节变化,空气温度为驱动 *Re* 的最主要因子。

土壤呼吸(*Rs*)作为生态系统呼吸的主要组成部分,它的碳循环过程一直是生态学界研究的焦点。森林土壤碳储量占全球土壤碳库的 73%[17],而土壤碳通量是土壤碳库输出的主要途径以及全球碳循环的主要方式,土壤碳通量的储存或者释放不但能够影响森林生态系统的碳贮存能力[18],而且能够显著影响大气中温室气体的浓度[19-20],进而影响全球气候的变化。Reichstein,Valentini 等[21-23]发现温度和水分共同限制着土壤呼吸。谭炯锐等[24]发现 *Ts*5 是影响杨树人工林土壤呼吸速率的主要因素,土壤呼吸在不同的土壤含水量区间对土壤温度的响应有所差异。

很多学者分别研究了生态系统呼吸或者土壤呼吸的动态格局及其对环境因子的响应,但是对于两者之间

的差异,均没有进行过多的研究。本文通过分析 2007—2009 年杨树人工林生态系统呼吸和土壤呼吸分别在年、月、日上的动态格局,探求两者在不同时间尺度上的变化规律及其对环境气象因子响应的差异。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

本研究区位于北京大兴区大兴林场,北纬 39°31′50″、东经 116°15′07″,平均海拔 30 m,坡度<5°,地势平坦,为海河水系永定河洪积——冲积平原。该区属暖温带亚湿润气候区,多年年平均气温为 11.6℃,极端最低气温-27.4℃,极端最高气温 40.6℃。多年年平均无霜期 209d;年平均日照总时数 2772h,日平均太阳辐射量为 6.7MJ$m^{-2}d^{-1}$,平均风速 2.60m/s,风向变化显著。1990—2009 年的年平均降雨量为 556mm,最少年降雨量为 262mm,最多年降雨量为 1058mm,其中 7、8、9 月份降水占全年降水总量的 60%—70%。该区土质为沙壤土,平均厚度为 2.0m,通透性好,保肥蓄水能力差。2003—2009 年的平均地下水位为 16.7m,地下水位低。

试验地为 1998、2001 和 2003 年分别营造的杨树人工林(欧美 107(*Populus*× *euramericana* cv.“74/76”))。林分结构单一,下垫面均匀整齐,平均栽植密度为 3 m×2 m。林下植被绝大多数为当年生草本植物,其中主要植被为黄花蒿(*Artemisia annua* L.)和尖头叶藜(*Chenopodium acuminatum*)以及紫苜蓿(*Medicago sativa*)等。

1.2 仪器设备与数据采集

采用开路式涡度相关系统连续测定杨树人工林生态系统与大气间的碳、水和能量交换。在杨树人工林中心位置架设一高为 25m 的观测塔,H_2O/CO_2 红外气体分析仪(Li-7500, Li-Cor, NE)、净辐射仪(Q7.1, REBS)、量子探头(Li-190SB-L, Li-Cor, NE)和三维超声风速仪(CSAT3, CS, USA)等仪器安装高度为 2007 年和 2008 年的 18m。根据林分调查结果,2008 年的年平均树高生长量为 1.8m,为了保持通量源区的一致性,在 2009 年 2 月将以上涡度相关仪器安装高度调整为 20m。气压计(CS105, CS, USA)和翻斗式自动雨量计(TE525-L, CS, USA)的安装高度分别为 21 m 和 22.5m,4 层空气温湿度传感器(HMP45C probe, CS, USA)的安装高度分别为 5、10、15m 和 20m;3 个土壤温度传感器(TCAV107, CS, USA)和 3 个土壤热通量板(HFT3, Seattle, WA)均分别置于地表以下 5、10、20cm 处;土壤水分观测仪 TDR(CS616, CS, USA)分别位于地表以下 5 和 20cm 处。10Hz 高频数据和 30min 的在线平均数据采用 CR5000 数据采集器(CS, USA)采集,30min 的常规气象数据采用 CR23X 数据采集器(CS, USA)采集。

土壤呼吸采用 4 气室测定系统(Li-8150, Li-Cor, NE)测定,4 个气室以中央控制室为中心、10m 为半径分布在东南西北 4 个方位上,其呼吸室均朝正南方向放置,测定间隔为 30min,依次测量 4 个气室的土壤呼吸速率,每个气室的采样时间为 3 min,土壤呼吸速率为 3 min 的平均值。为减少对土壤的扰动,气室安装在插入地下 3—6 cm 的土壤隔离圈上。在测量土壤呼吸速率的同时测量土壤 5、10、20cm 温度以及 10、20cm 土壤体积含水量,土壤呼吸及其相关的温度和体积含水量数据均采用 CR1000 数据采集器(CS, USA)采集。

1.3 研究方法与数据处理

1.3.1 涡度相关法

涡度相关技术是现今唯一能够直接测量陆地生态系统与大气间物质和能量交换的标准方法[25],现已成为全球通量观测网络(FLUXNET)中直接测定陆地生态系统 CO_2 和水热通量的主要方法[7]。在实际应用中,CO_2 通量(Fc)的计算公式为[25-28]:

$$F_c = \overline{w\rho_c} = \overline{w'\rho_c'} + \overline{w}\,\overline{\rho_c} \approx \overline{w'\rho_c'} \tag{1}$$

式中,ρ_c 是 CO_2 密度(mg/m^3),w 是风速的垂直分量(m/s),上划线(-)表示某时间段内的平均值,(′)是表示瞬时值与平均值的偏差即脉动值。

通量数据的处理主要包括以下 5 个步骤,(1)采用平面拟合(planar fit, PF)法[28-29]对 10Hz 的原始高频数据进行坐标旋转[30]使三维超声风速仪平行于拟合平面,以剔除仪器倾斜误差和侧风影响湍流通量矢量;(2)对半小时的通量数据进行 WPL 校正[31-33]以消除由水热传输造成的 CO_2 通量变化的密度效应影响;(3)异常数据的剔除,剔除时遵循以下标准:① 同期有降雨的数据,② 质量控制数值(AGC)>65 的数据,③ 样本数

<17000 的数据,④ 高于 6 倍标准差(6σ)的数据;(4)求取摩擦风速阈值(U^*),并且剔除摩擦风速<U^*的夜间通量数据[34];(5)选择 *Re* 与温度和水分的最优拟合方程来进行缺失数据的插补。

在利用涡度相关法研究生态系统呼吸的早期,大多数学者通过建立 *Re* 与温度的方程来对整个生长季的 *Re* 进行估算[35-36];目前则是建立 *Re* 与温度和水分的耦合模型来模拟整个生长季的 *Re*[37-38]。在通量数据插补过程中,夜间通量观测数据(Carbon Flux,*Fc*)就是生态系统呼吸,一般利用夜间生态系统呼吸与温度和水分的模拟方程来反推白天的生态系统呼吸。首先对夜间半小时尺度的 *Re* 和土壤 5、10、20cm 的温度 *Ts*5、*Ts*10、*Ts*20 等温度指标和土壤 5、20cm 的质量含水量 *m*5、*m*20 以及 *vwc* 等水分指标进行相关性分析,确定其中与 *Re* 相关性最显著的温度和水分指标分别为 *Ts*5 和土壤体积含水量(*vwc*);最后利用 2007—2009 年的夜间(夜间定义为:光合有效辐射 *PAR*<4 mmol/m^2,并且日出<时间<日落)通量观测数据 *Fc* 比较了由 Lloyd-Taylor 方程[39](2)和 R_{10} 的土壤水分二次方程[32](3)演变而来的 Law model[40](4)与由温度和水分连乘的 Q_{10} 模型[37](5)两种数据插补方法,结果表明 Law model 比 Q_{10} model 具有更小的平均相对偏差,模拟数据更接近实际观察值,因此,本研究采用由 *Ts*5 和 *vwc* 耦合连乘的 Law model 指数方程(4)来对生长季白天的生态系统呼吸进行数据插补。同时,通过比较非生长季的插补方程(2)和方程(4)的数据插补精度,确定方程(2)为插补非生长季 *Re* 数据的优化方程:

Lloyd-Taylor 方程　$$Re = R_{10}\exp^{(Ea/R(1/(Ts5+273.15)))} \quad (2)$$

R_{10} 对水分的二次方程　$$R_{10} = a_0 + a_1 \times vwc + a_2 \times vwc^2 \quad (3)$$

Law 模型　$$Re = (a_0 + a_1 \times vwc + a_2 \times vwc^2)\exp^{(Ea/R(1/(Ts5+273.15)))} \quad (4)$$

Q_{10} 模型　$$Re = (a_0 + a_1 \times vwc + a_2 \times vwc^2)\exp^{((Ts5-10)\times\log_{10}Q_{10}/10)} \quad (5)$$

式中,R_{10} 是土壤温度为 10℃的生态系统呼吸,*Ea* 是活化能(kJ/ mol),*R* 是气体常数(8.3143kJ mol^{-1} K^{-1}),*Ts*5 为土壤 5cm 温度;*vwc* 是 0—20cm 土壤平均体积含水量,Q_{10} 是土壤温度每升高 10℃,土壤呼吸的变化率。

采用能量平衡比率法(*EBR*)评价涡度相关法的数据质量。*EBR* 就是指在一定观测期间内的由涡度相关仪器直接观测的湍流能量(*Hs*+*LE*)与可供能量(*Rn*−*G*)的比值(因为其它能量源汇 *Q* 通常很小接近于 0,所以在实际计算中被忽略)[41],即:

$$EBR = \sum(Hs + LE) / \sum(R_n - G) \quad (6)$$

式中,*Hs* 为显热通量(W m^{-2} s^{-1}),*LE* 为潜热通量(W m^{-2} s^{-1}),*G* 为土壤热通量(W m^{-2} s^{-1}),*Rn* 为净辐射(W m^{-2} s^{-1})。

1.3.2　动态箱式法

土壤呼吸采用动态箱式法测定,主要利用采样室 CO_2 增加的速度来估算室外自由大气 CO_2 的传播。土壤呼吸即为土壤 CO_2 通量,计算公式为:

$$Rs = d_c/d_t \times (V/A) \times M_v \quad (7)$$

式中,d_c/d_t 是土壤排放的二氧化碳变化率(μmol/m^2),*V* 是气室体积(m^3);*A* 是土壤暴露面积(m^2),*Mv* 是由气压与温度决定的量。

土壤呼吸速率数据的剔除标准为:(1)<0 的数据;(2)大于 6 倍标准差(6σ)的数据。在数据插补中,分别对 4 个气室进行 *Rs* 与 *Ts*5 的指数方程[42]拟合以及利用拟合方程和对应 *Ts*5 进行缺失 *Rs* 数据的插补。

分析数据时间段为 2007 年 1 月 1 日至 2009 年 12 月 31 日,*Rs* 数据插补中使用的 *Ts*5 为每个对应气室的土壤 5cm 温度,*Re* 数据插补以及日尺度上分析使用的 *Ts*5 和 *vwc* 数据分别为 5 个土壤 5cm 温度和 0—20cm 土壤体积含水量的平均值。在碳通量的研究中,当 *NEE*<0 时为碳吸收期(carbon uptake period, *CUP*)。2007—2009 年,该生态系统均在第 90 天左右进入 *CUP*,在第 305 天左右结束 *CUP*;为方便分析,大致将每年的 4 月 1 日到 10 月 31 日确定为生长季。

2　结果与分析

2.1 生态系统能量闭状况

2007—2009 年该人工林生态系统在半小时尺度上的(即包括夜间通量数据)能量闭合度为 0.775(图 1)。而在剔除夜间通量数据的情况下,很多森林生态系统的能量闭合程度一般在 0.7—0.9 之间[43-44]。可见,本杨树人工林生态系统的实际能量闭合程度较高,涡度相关技术的观测数据可靠。

2.2 生态系统和土壤呼吸的年际变化

2007—2009 年该生态系统 *Re* 年总量分别为 946.68、863.58gCm^{-2}a^{-1} 和 817.30gCm^{-2}a^{-1},其中生长季总量分别为 626.78、646.23gCm^{-2}a^{-1} 和 631.18gCm^{-2}a^{-1};由于生态系统在 2008 和 2009 年分别受到病虫害和干旱胁迫的影响,这俩年的 *Re* 年总量比 2007 年小。3a 中土壤呼吸(*Rs*)年总量分别为 642.11、629.29gCm^{-2}a^{-1} 和 608.35gCm^{-2}a^{-1},其中生长季总量分别为 519.29、502.78gCm^{-2}a^{-1} 和 495.69gCm^{-2}a^{-1}(图 2)。2007—2009 年,*Rs* 生长季总量跟 *Rs* 年总量的比值分别为 80.9%、79.9% 和 81.4%,其变化很小,采用 *Rs* 生长季总量来估算 *Rs* 年总量非常可靠。*Rs* 年总量与 *Re* 年总量的比值在这 3a 中分别为 67.83%、72.87% 和 74.52%。而 *Rs* 生长季总量与 *Re* 生长季总量的比值分别为 82.85%、77.80% 和 78.53%。这说明在年总量上,*Rs* 约为 *Re* 的 70%,而在生长季总量上,*Rs* 为 *Re* 的 80% 左右。

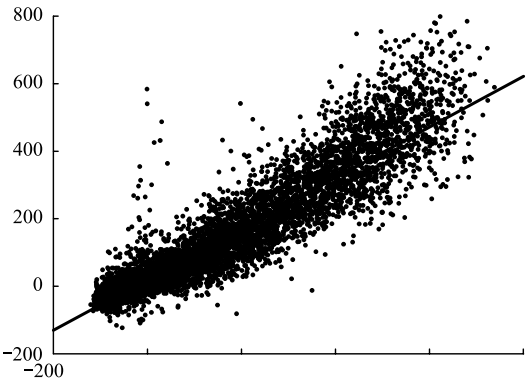

图 1 2007—2009 年杨树人工林生态系统能量平衡闭合

Fig. 1 Energy balance closure of the poplar plantation ecosystem at half-hourly scale from 2007 to 2009

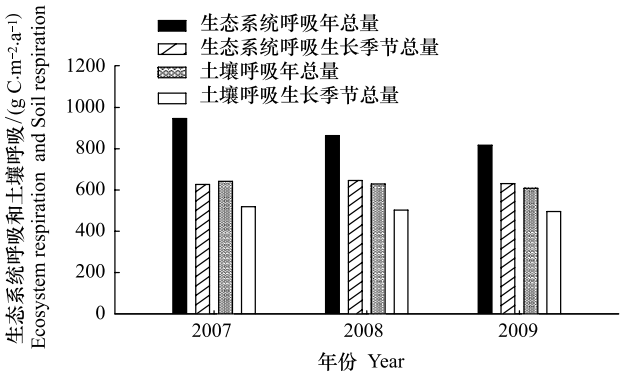

图 2 2007—2009 年生态系统呼吸和土壤呼吸的年总量和生长季总量

Fig. 2 Annual and growing seasonal ecosystem and soil respiration for 2007, 2008, and 2009

2.3 生态系统呼吸和土壤呼吸的月总量变化

图 3 是 2007—2009 年 *Re* 和 *Rs* 的月总量变化。3a 中 *Re* 月总量最小值出现在 2009 年 2 月份,最大值出现在 2008 年 8 月份(图 3);*Re* 月总量在 2007 和 2008 年中均在 8 月份达到最大值(2009 年因严重干旱胁迫在 7 月份达到最大值)。*Rs* 月总量在 3a 中均呈整体上的单峰曲线(图 3),表现为从 1 月份开始上升,在 7 或者 8 月份达到最大值,此后下降至 12 月份,其中最小值出现在 2 或者 12 月份;这与 *Ts*5 月均值的变化趋势相一致(图 3)。

2.4 生态系统呼吸和土壤呼吸日总量的季节动态

图 4 是 *Re* 和 *Rs* 日总量在 2007,2008 和 2009 年的季节动态变化。从图 4 中可以看出,3a 中 *Rs* 日总量最大值和最小值分别为 5.285 和 0.330gCm^{-2}d^{-1};而 *Re* 日总量最大值和最小值分别为 7.781 和 0.504gCm^{-2}d^{-1}。

在变化趋势上,*Re* 日总量和 *Rs* 日总量的动态变化相一致,即 90 d 左右开始上升,在 240 d 左右达到高峰值,305 d 左右开始下降。2007 年,*Re* 日总量在非生长季明显大于 *Rs* 日总量,而在生长季中两者差别不大。*Re* 日总量在 2008 年的 244 d 时有一个急剧下降,这主要是因为生态系统 225 d 时受到病虫害(美国白娥)的影响,新陈代谢受到抑制(叶面积指数从 236 d 的 3.15m^2/m^2 下降到 264 d 的 2.52m^2/m^2)。*Re* 日总量在 2009 年的生长季波动较前两年小,这是由于生态系统在 2009 年的生长季中后期受到严重干旱胁迫影响而导

致人工林生态系统的新陈代谢受到抑制。

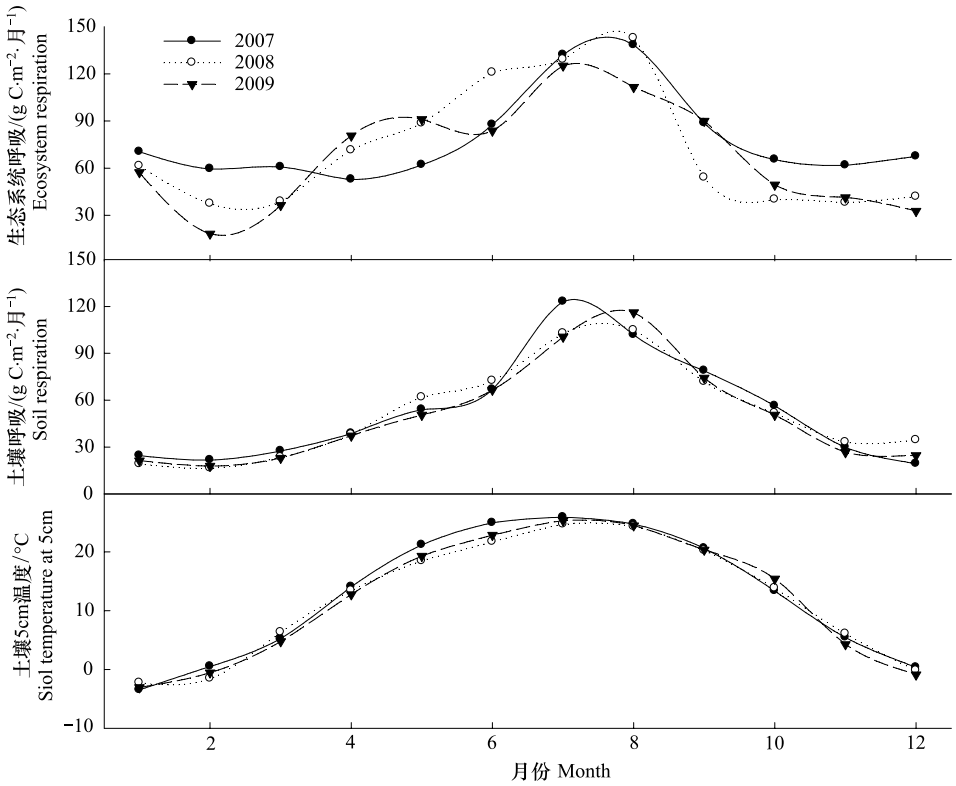

图 3　2007—2009 年生态系统呼吸、土壤呼吸的月总量和土壤 5cm 温度 *Ts*5 的月均值变化

Fig. 3　Changes of monthly ecosystem respiration, soil respiration and monthly mean *Ts*5 from 2007 to 2009

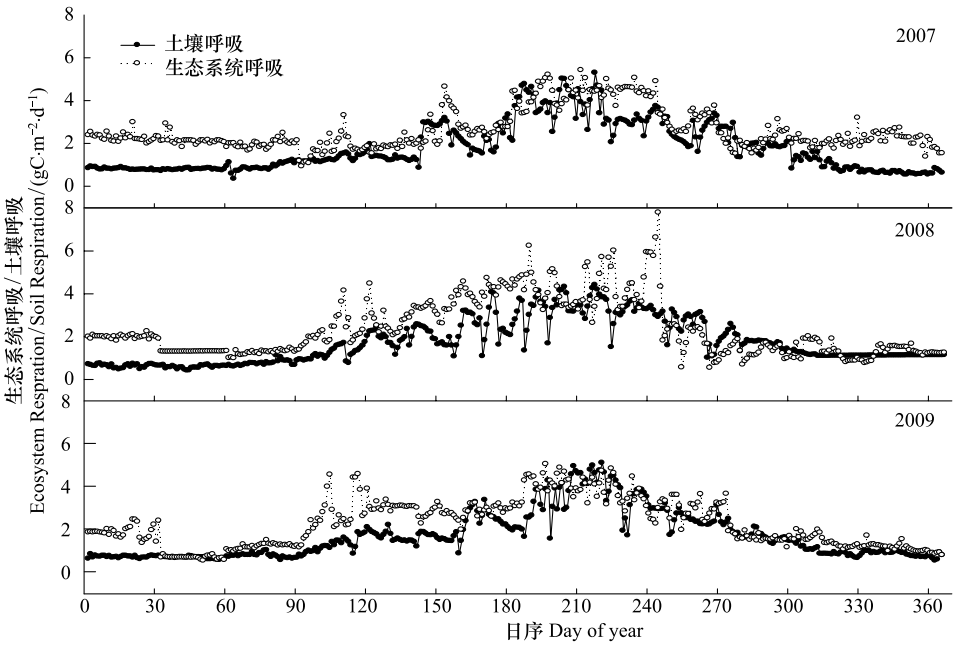

图 4　2007、2008 和 2009 年生态系统呼吸和土壤呼吸日总量的动态变化

Fig. 4　Seasonal variation of daily ecosystem respiration and soil respiration in 2007, 2008 and 2009

2.5　生态系统呼吸对环境因子的响应

2.5.1　生态系统呼吸与环境因子的相关性分析

2007—2009 年半小时的夜间通量(*Fc*)与环境因子相关性分析表明,*Re* 在 2007 和 2008 年均与 *Ts*5、*Ts*20、

空气温度(*Ta*)和空气相对湿度(*RH*)四者显著相关,其中 *Re* 与 *RH* 的显著性最高(表 1);而在 2009 年,*Re* 与各环境因子均不显著相关,但与 *RH* 的相关系数最高。综合分析可得,*Re* 在 2007—2009 年的最主要影响因子为 *RH*。而根据谭炯锐 2009 年对北京大兴杨树人工林土壤呼吸的研究结果[24],2007—2008 年 *Rs* 在半小时尺度上与 *Ts*5 的相关性最显著(R^2=0.837),*Ts*5 为土壤呼吸的最主要影响因子。

表 1 夜间碳通量与环境因子在半小时尺度上的相关性分析

Table 1 Correlation analysis between nighttime carbon flux and environmental factors at half-hourly scale

		土壤 5cm 温度 *Ts*5 /℃	土壤 20cm 温度 *Ts*10 /℃	空气温度 *Ta* /℃	空气相对湿度 *RH* /℃	饱和大气压差 *Vpd*/kPa	0—20cm 土壤体积含水量 *vwc* (/m³/m³)
2007	Pearson 相关性	0.068 **	0.068 **	0.062 **	0.111 **	-0.027 **	-0.003
	显著性(双侧)	0	0	0	0	0.042	0.817
	N	5623	5623	5623	5623	5623	5623
2008	Pearson 相关性	0.166 **	0.166 **	0.157 **	0.182 **	-0.033	0.133 **
	显著性(双侧)	0	0	0	0	0	0
	N	6213	6213	6213	6213	6213	6213
2009	Pearson 相关性	0.001	0.003	-0.011	0.021	-0.041	-0.01
	显著性(双侧)	0	0	0	0	0	0
	N	5817	5817	5817	5817	5817	5817

2.5.2 生长季生态系统呼吸和土壤呼吸对 *Ts*5 和 *vwc* 两者耦合效应的响应

从图 5a 中可以看出,*Rs* 较高值(Rs>4 gCm^{-2}d^{-1})主要集中在 *Ts*5 处于[25,32],且 *vwc* 处于[4,13]时;*Rs* 较低值(Rs<2 gCm^{-2}d^{-1})主要集中在 *Ts*5 处于[10,20],且 *vwc* 处于[14,18]和[0,8]时。

Re 较高值(Re>5 gCm^{-2}d^{-1})和较低值(Re<2 gCm^{-2}d^{-1})的分布较为分散(图 5)。*Re* 较高值在 *Ts*5 处于[10,33]和 *vwc* 处于[4,18]之间都出现过,*Re* 较低值的分布则没有明显的规律。

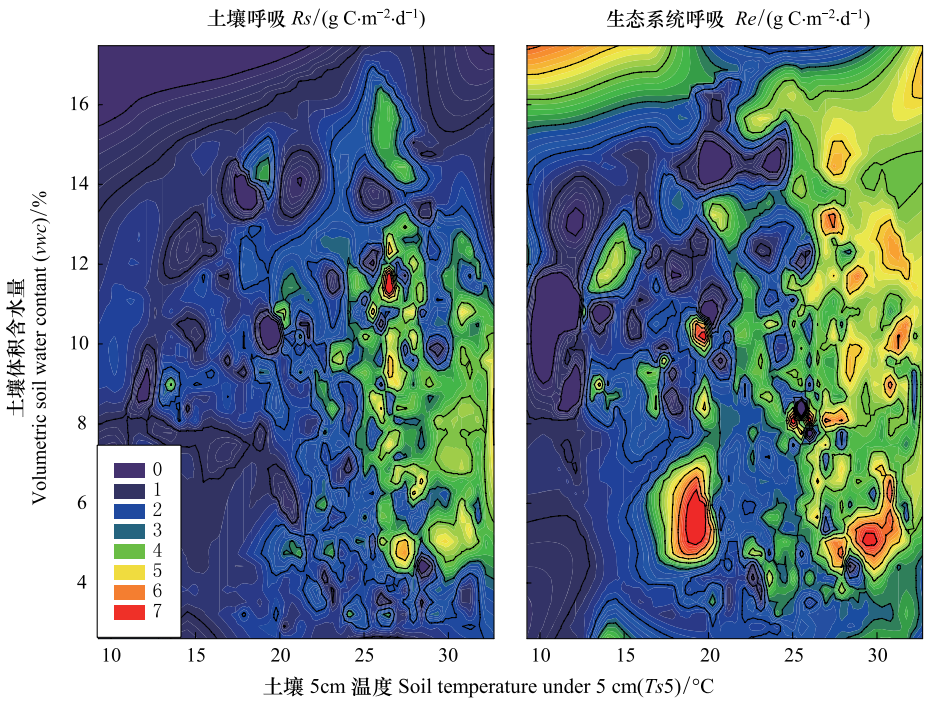

图 5 土壤呼吸和生态系统呼吸对 *Ts*5 和 *vwc* 两者耦合效应的响应

Fig. 5 Soil and ecosystem respiration responses to the coupling effect of *Ts*5 and *vwc*

从耦合效应来看,在日尺度上,*Rs* 比 *Re* 更容易受 *Ts*5 的影响;这与 Zha 在 2007 年发现欧洲赤松林生态系统土壤呼吸比叶呼吸和树干呼吸更容易受到温度影响的结论相一致[45]。同样从整个图 5 中可以得出,*vwc* 更能够影响 *Rs*;*Rs* 对 *Ts*5 和 *vwc* 两者的耦合效应的响应较明显,而 *Re* 对 *Ts*5 和 *vwc* 两者的耦合效应的响应则要复杂的多。

3　结论

2007—2009 年,杨树人工林生态系统的 *Re* 年总量分别为 946.68、863.58、817.30gCm^{-2}a^{-1},较一般温度森林生态系统低[16-46];*Rs* 年总量在 3a 中分别为 642.11、629.29 gCm^{-2}a^{-1} 和 609.05 gCm^{-2}a^{-1},约为 *Re* 年总量的 70%,是生态系统呼吸的主要组分[45-47]。*Rs* 生长季总量与 *Rs* 年总量的比值年际变化很小,约为 80% 左右,采用 *Rs* 生长季总量来估算 *Rs* 年总量非常可靠。3a 中 *Re* 日总量最大值和最小值分别为 7.781gCm^{-2}d^{-1} 和 0.504gCm^{-2}d^{-1},*Rs* 日总量最大值和最小值分别为 5.285 和 0.330gCm^{-2}d^{-1}。从月尺度上看,*Re* 月总量和 *Rs* 月总量一般在 7 或者 8 月份达到最大值,两者在变化趋势上与 *Ts*5 等温度相一致。从环境影响因子来看,*Re* 和 *Rs* 都受 *Ts*5 的显著影响,但是 *Re* 的最主要影响因子为 *RH*, 而 *Rs* 的最主要因子为 *Ts*5;从耦合效应上来说,*Rs* 更容易受到 *Ts*5 和 *vwc* 耦合效应的限制。

References:

[1] Feng Z W, Wang X K, Wu G. The ProductivityandBiomass of Forest Ecosystemsin China. Beijing: Science Press, 1999.

[2] FAO. Global Forest Resources Assessment, 2010-Main Report. FAO Forestry Paper 163. Rome, Italy. 2010. (Also available at www.fao.org/forestry/fra/fra2010/en/).

[3] IGBP Terrestrial Carbon Working Group. The terrestrial carbon cycle: implications fortheKyoto protocol. Science, 1998, 280(5368): 1393-1394.

[4] Forest Resources Management Department of State Forestry Administration. China's forest resources status and dynamic change-based on analysis of the seventh national forest resourceinventory results. Forestry Economics, 2010, (2):66-72.

[5] Yu G R, Fu Y L, Sun X M, Wen X F, Zheng L M. Recent progress and future directions of China FLUX. Science in China Ser D. Earth Sciences, 2006, 49(Supp II): 1-23.

[6] Yu G R, Zhang L M, Sun X M, Fu Y L, Li Z Q. Advances in carbon flux observation and research in Asia. Science in China Ser D. Earth Sciences, 2005, 48(Supp I): 1-16.

[7] Janssens I A, Lankreijer H, Matteucci G, Kowalski A S, Buchmann N, Epro D, Pilegaard K, Kutsch W, Longdoz B, Grünwald T, Montagnani L, Dore S, Rebmann C, Moors E J, Grelle A, Rannik Ü, Morgenstern K, Oltchev S, Clement R, Guðmundsson J, Minerbi S, Berbigier P, Ibrom A, Moncrieff J, Aubinet M, Bernhofer C, Jensen NO, Vesala T, Granier A, Schulze ED, Lindroth A, Dolman AJ, Jarvis PG, Ceulemans R, Valentini R. Productivity overshadows temperature in determining soil and ecosystem respiration across European forests. Global Change Biology, 2001, 7(3): 269-278.

[8] Saleska S R, Miller S D, Matross D M, Goulden M L, Wofsy S C, da Rocha H R, de Camargo P B, Crill P, Daube B C, de FreitasH C, Hutyra L, Keller M, Kirchhoff V, Menton M, Munger J W, Pyle E H, Rice A H, Silva H. Carbon in Amazon forests: unexpected seasonal fluxes and disturbance-induced losses. Science, 2003,302(5650): 1554-1557.

[9] Valentini R, Matteucci G, Dolman A J, Schulze E D, Rebmann C, Moors EJ, Granier A, GrossP, Jensen N O, Pilegaard K, Lindroth A, Grelle A, Bernhofer C, Grünwald T, Aubinet M, Ceulemans R, Kowalski A S, Vesala T, Rannik Ü, BerbigierP, Loustau D, Guðmundsson J, ThorgeirssonH, IbromA,Morgenstern K, Clement R, Moncrieff J, Montagnani L, Minerbi S, Jarvis PG. Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests. Nature,2000, 404(6780): 861-865.

[10] Noormets A, Chen J Q, Crow T R. Age-dependent changes in ecosystem carbon fluxes in managed forests in northern Wisconsin, USA. Ecosystems,2007, 10(2): 187-203.

[11] Pilegaard K, Hummelshøj P, Jensen N O, Chen Z. Two years of continuous CO_2 eddy- flux measurements over a Danish beech forest. Agricultural and Forest Meteorology, 2001, 107(1): 29-41.

[12] Bubier J L, Bhatia G, Moore T R, Roulet N T, Lafleur P M. Spatial and temporal variability in growing-season net ecosystem carbon dioxide exchange at a large peatland in Ontario, Canada. Ecosystems, 2003, 6(4): 353-367.

[13] Noormets A, Desai AR, Cook B D, Euskirchen E S, Ricciuto D M, Davis K J, Bolstad PV, Schmid H P, Vogel C V, Carey EV, Su H B, Chen J Q. Moisture sensitivity of ecosystem respiration: comparison of 14 forest ecosystems in the Upper Great Lakes Region, USA. Agricultural and Forest Meteorology, 2008, 148(2): 216-230.

[14] Wang C L, Zhou G Y, Tang X L, Wang X, Zhou C Y, Yu G R, Tang L S, Meng Z. Ecosystem respiration and its controlling factors in a coniferous and broad-leaved mixed forest in Dinghushan, China. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(7): 2659-2668.

[15] Zheng Z M, Yu G R, Sun X M, Cao G M, Wang Y S, Du M Y, Li J, Li Y N. Comparison of eddy covariance and static chamber/gas chromatogram methods in measuring ecosystem respiration. Chinese Journal of Applied Ecology,2008,19(2): 290-298.

[16] Han S, Huang L L, Wang Z Y, Wei Y, Zhang X D. Ecosystem respiration and its controlling factors in the riparian wetland of Yangtze River. Acta Ecologica Sinica, 2009,29(7):3621-3628.

[17] Post W M,Emanuel W R,Zinke P J, Stangenberger A G. Soil carbon pools and world life zones. Nature, 1982, 298(5870): 156-159.

[18] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, Houghton R A, Trexler M C, Wisniewski J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science, 1994, 263(5144): 185-190.

[19] Schlesinger W H, Andrews J A. Soil respiration and the global carbon cycle. Biogeochemistry, 2000, 48(1): 7-20.

[20] Burton A J, Pregitzer K S. Field measurements of root respiration indicate little to no seasonal temperature acclimation for sugar maple and red pine. Tree Physiology, 2003, 23(4): 273-280.

[21] Joffre R. Ourciva l J M,Rambal S, Rocheteau A. The key-role of topsoil moisture on CO_2 efflux from a Mediterranean Quercus ilex forest. Annals of Forest Science, 2003, 60(6):519-526.

[22] Reichstein M, Tenhunen J D, Roupsard O, Ourcival J M, Rambal S, Miglietta F, Peressotti A, Pecchiari M, Tirone G, Valentini R. Severe drought effects on ecosystem CO_2 and H_2O fluxes at three Mediterranean evergreen sites: revision of current hypotheses?. Global Change Biology, 2002, 8(10): 999-1017.

[23] Valentini R, deAngelis P, Matteucci G, Monaco R, Dore S, Scarascia Mucnozza GE. Seasonal net carbon dioxide exchange of a beech forest with the atmosphere. Global Change Biology, 1996, 2(3): 199-207.

[24] Tan J R, Zha T G, Zhang Z Q, Sun G, Dai W, Fang X R, Xu F. Effects of soil temperature and moisture on soil respiration in a poplar plantation in Daxing district, Beijing. Ecology and Enviromental Sciences, 2009, 18(5): 2308-2315.

[25] Lee X H, Massman W, Law B. Handbook of Micrometeorology. Netherlands:Kuwer Academic Publishers, 2004.

[26] Baker J M, Norman J M, Bland W L. Field scale application of flux measurement by conditional sampling. Agricultural and Forest Meteorology, 1992, 62(1/2): 31-52.

[27] Baldocchi DD, Falge E, Gu L H, Olson R, Hollinger D, Running S, Anthoni P, Bernhofer C, Davis K, Evans R, Fuentes J, Goldstein A, Katul G, Law B, Lee X H, Malhi Y, Meyers T P, Munger W, Oechel W, Tha Paw U K, Pilegaard K, Schmid HP, Valentini R, Verma S, Vesala T, Wilson K, Wofsy S C. FLUXNET: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor, and energy flux densities. Bulletin of the American Meteorological Society, 2001, 82(11): 2415-2434.

[28] Tha Paw U K, Baldocchi D D, Meyers T P, Wilson K B. Correction of eddy covariance measurements incorporating both advertive effects and density fluxes. Boundary Layer Meteorlogy, 2000, 97(3): 487-511.

[29] Wilczark J M, Oncley S P, Stage S A. Sonic anemometertilt correction algorithms. Boundary Layer Meteorology, 2001,99(1): 127-150.

[30] Finnigan J J, Clement R, Malhi Y, Leuning R, Cleugh H A. A re-evaluation of long-term flux measurement techniques-Part 1: Averaging and coordinate rotation. Boundary Layer Meteorology, 2003, 107(1): 1-48.

[31] Webb E K, pearman G I, Leuning R. Correctionof flux measurements for density effects dueto heat and water vapour transfer. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1980, 106(447): 85-100.

[32] Massman W J, Lee X H. Eddy covariance flux corrections and uncertainties in long-term studies of carbon and energy exchanges. Agricultural and Forest Meteorology, 2002, 113(1/4): 121-144.

[33] Leuning R, King K M. Comparison of eddy-covariance measurements of CO_2 fluxes by open- and closed-path CO_2 analysers. Boundary Layer Meteorology, 1992, 59(3): 297-311.

[34] Papale D, Reichstein M, Aubinet M, Canfora E, Bernhofer C, Kutsch W, Longdoz B, Rambal S, Valentini R, Vesala T, Yakir D. Towards a standardized processing of Net Ecosystem Exchange measured with eddy covariance technique: algorithms and uncertainty estimation. Biogeosciences, 2006, 3(4): 571-583.

[35] Goulden M J, Daube B C, Fan S M, Sutton D J, Bazzaz A, Munger J W, Wofsy S C. Physiological responses of a black spruce forest to weather. Journal of Geophysical Research, 1997, 102 (D24): 28987-28996.

[36] Fang C, Moncrieff J B. The dependence of soil CO_2 efflux on temperature. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33(2):155-165.

[37] Reichstein M, Tenhunen J D, Roupsard O, Ourcival J M, Rambal S, Dore S, Valentini R. Ecosystem respiration in two Mediterranean evergreen Holm Oak forests: drought effects and decomposition dynamics. Functional Ecology, 2002b, 16(1): 27-39.

[38] Reichstein M, Tenhunen J D, Roupsard O, Ourcival J M, Rambal S, Miglietta F, Peressotti A, Pecchiari M, Tirone G, Valentini R. Inverse modeling of seasonal drought effects on canopy CO_2/H_2O exchange in three Mediterranean ecosystems. Journal of Geophysical Research, 2003,

108(D23): 1-16.

[39] Lloyd J, Taylor JA. On the temperature dependence of soil respiration. Functional Ecology, 1994, 8 (3): 315-323.

[40] Law BE, Falge E, Gu L, Baldocchi DD, Bakwin P, Berbigier P, Davis K, Dolman AJ, Falk M, Fuentes JD, Goldstein A, Granier A, GrelleA, Hollinger D, Janssens IA, Jarvis P, JensenNO, Katul G, MalhiY, Matteucci G, Meyers T, Monson R, Munger W, Oechel W, Olson R, Pilegaard K, Tha Paw UK, Thorgeirsson H, Valentini R, Verma S, Vesala T, Wilson K, Wofsy S. Environmental controls over carbon dioxide and water vapor exchange of terrestrial vegetation. Agricultural and Forest Meteorology, 2002(1/4), 113: 97-120.

[41] Twine T E, Kustas WP, Norman JM. Cook D R, Houser P R, Meyers T P, Prueger J H, Starks P J, Wesley M L. Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland. Agricultural and Forest Meteorology, 2000, 103(3): 279-300.

[42] Luo Y Q, Wan S Q, Hui DF, Wallace L L. Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie. Nature, 2001, 413(6856): 622-625.

[43] Aubinet M, Grelle A, Ibrom A, Rannik Ü, Moncrieff J, Foken T, Kowalski A S, Martin PH, Berbigier P, Bernhofer C, Clement R, Elbers J, Granier A, Grünwald T, Morgenstern K, Pilegaard K, Rebmann C, Snijders W, Valentini R, Vesala T. Estimates of the annual net carbon and water exchange of forests: the EUROFLUX methodology. Advances in Ecological Research, 2000, 30: 113-175.

[44] Barr AG, Morgenstern K, Black T A, McCaughey J H, Nesic Z. Surface energy balance closure by the eddy-covariance method above three boreal forest stands and implications for the measurement of the CO_2 flux. Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 140(1/4): 322-337.

[45] Zha TS, Xing ZS, Wang KY, Kellomäki S, Barr A G. Total and component carbon fluxes of a Scots pine ecosystem from chamber measurements and eddy covariance. Annals of Botany, 2007, 99(2): 345-353.

[46] Tang J W, Bolstad P V, Desai A R, Matin J G, Cook B D, Davis K J, Carey E V. Ecosystem respiration and its components in an old-growth forest in the Great Lakes region of the United States. Agricultural and Forest Meteorology, 2008, 148(2): 171-185.

[47] Unger S, Máguas C, Pereira J S, Aires L M, David T S, Werner C. Disentangling drought-induced variation in ecosystem and soil respiration using stable carbon isotopes. Oecologia, 2010, 163(4): 1043-1057.

参考文献:

[1] 冯宗炜,王效科,吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力. 北京: 科学出版社, 1999.

[4] 国家林业局森林资源管理司. 中国森林资源第七次清查结果及其分析. 林业经济, 2010, (2): 66-72.

[14] 王春林, 周国逸,唐旭利, 王旭, 周传艳, 于贵瑞, 唐力生, 孟泽. 鼎湖山针阔叶混交林生态系统呼吸及其影响因子. 生态学报, 2007, 27(7): 2659-2668.

[15] 郑泽梅,于贵瑞, 孙晓敏, 曹广民,王跃思, 杜明远, 李俊,李英年. 涡度相关法和静态箱/气相色谱法在生态系统呼吸观测中的比较. 应用生态学报, 2008, 19(2): 290-298.

[16] 韩帅, 黄玲玲,王昭艳, 魏远, 张旭东. 长江安庆段河流湿地生态系统呼吸及其影响因子. 生态学报, 2009, 29(7):3621-3628.

[24] 谭炯锐, 查同刚, 张志强, 孙阁, 戴伟, 方显瑞, 徐枫. 土壤温湿度对北京大兴杨树人工林土壤呼吸的影响. 生态环境学报, 2009, 18(5): 2308-2315.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 8 April, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Physiological responses of five deciduous broad-leaved tree seedlings in the Northeast Area of China to burning ····· WANG Rong, HU Haiqing (2303)
The occurrence regularity of psyllid in *Haloxylon* spp and its influencing factors ····· LI Fenlian, WU Xuehai, WANG Peiling, et al (2311)
The estimating of the spatial distribution of forest biomass in China based on remote sensing and downscaling techniques ····· LIU Shuangna, ZHOU Tao, SHU Yang, et al (2320)
Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality ····· ZHAO Peng, XIA Beicheng, QIN Jianqiao, et al (2331)
Red fox habitat selection and landscape feature analysis in the Dalai Lake Natural Reserve in Inner Mongolia ····· ZHANG Honghai, LI Chengtao, DOU Huashan, et al (2342)
Research on assemblage characteristics of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River Basin ····· XU Mengzhen, WANG Zhaoyin, PAN Baozhu, et al (2351)
Climate change induced potential range shift of the crested ibis based on ensemble models ····· ZHAI Tianqing, LI Xinhai (2361)
Analysis of the sources of second generation meadow moth populations that immigrated into Chinese pastoral areas in 2010 ····· ZHANG Li, ZHANG Yunhui, ZENG Juan, et al (2371)
Genetic diversity based on cytochrome *b* gene analysis of different geographic populations of blue sheep in China ····· LI Nannan, LIU Zhensheng, WANG Zhenghuan, et al (2381)
Soil microbial properties under different grain-for-green patterns in depressions between karst hills ····· LU Shiyang, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2390)
Ecosystem and soil respiration of a poplar plantation on a sandy floodplain in Northern China ····· FANG Xianrui, ZHANG Zhiqiang, ZHA Tonggang, et al (2400)
Estimating total nitrogen content in water body based on reflectance from wetland vegetation ····· LIU Ke, ZHAO Wenji, GUO Xiaoyu, et al (2410)
Analysis on complete F type of mitochondrial genome in *Lamprotula leai* ····· CHEN Ling, WANG Guiling, LI Jiale (2420)
The source-sink landscape pattern change and its effect on phosphorus pollution in Yuqiao watershed ····· LI Chongwei, HU Jie, WANG Sa, et al (2430)
Responses of soil nematode communities to soluble salt contamination around Gangue hill in Fushun ····· ZHANG Weidong, LV Ying, XIAO Ying, et al (2439)
Effect of aboveground competition on biomass partitioning of understory Korean pine (*Pinus koraiensis*) ····· WANG Jinsong, FAN Xiuhua, FAN Juan, et al (2447)
Research of methane metabolic microbial community in soils of slash pine plantation and Masson pine plantation ····· WANG Yun, ZHENG Hua, CHEN Falin, et al (2458)
$\delta^{13}C$ values of stem phloem water soluble sugars of *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata* response to meteorological factors ····· LU Yuxi, WANG Zhenxing, ZHENG Huaizhou, et al (2466)
Soil respiration patterns during restoration of vegetation in the Shapotou area, Northern China ····· GAO Yanhong, LIU Lichao, JIA Rongliang, et al (2474)
Dynamics of caloric value of *Robinia pseudoacacia* L. energy forest in the west of Henan Province ····· TAN Xiaohong, LIU Shiqi, MA Luyi, et al (2483)
Ex-situ symbiotic seed germination of *Dendrobium catenatum* ····· WU Huifeng, SONG Xiqiang, LIU Hongxia (2491)
Effects of red/far red ratio on morphological index, leaf area and dry matter partitioning of cut chrysanthemum flower ····· YANG Zaiqiang, ZHANG Jibo, LI Yongxiu, et al (2498)
Effect of prometryne on root activity and oxidative stress of *Polygala tenuifolia* Willd. seedling roots ····· WEN Yinyuan, GUO Pingyi, YIN Meiqiang, et al (2506)
Combined effects of elevated O_3 concentration and UV-B radiation on photosynthetic characteristics of soybean ····· ZHENG Youfei, XU Weimin, WU Rongjun, et al (2515)
Nutrients transfer for host plant and litter decompositon by AMF in Karst soil ····· HE Yuejun, ZHONG Zhangcheng, DONG Ming (2525)
The dynamics of bacteria community diversity during the fermentation process of traditional soybean paste ····· GE Jingping, CHAI Yangyang, CHEN Li, et al (2532)
Effect of site-specific fertilization on soil phosphorus in purple garden soil ····· SUN Qianqian, WANG Zhengyin, ZHAO Huan, et al (2539)
A method of determining standards for ecological compensation in agricultural areas, giving priority to environmental flows in water allocation ····· PANG Aiping, SUN Tao (2550)
The loss of ecosystem services value caused by food security assessment model and it's application ····· LU Weiye, JIANG Zhide, ZHANG Yinglong, et al (2561)

Review and Monograph

Review of the current situation of coastal ecological engineering using dredged marine sediments and prospects for potential application in China ····· HUANG Huamei, GAO Yang, WANG Yinxia, et al (2571)

Discussion

Quorum sensing in anaerobic ammonium oxidation bacteria ····· DING Shuang, ZHENG Ping, ZHANG Meng, et al (2581)
Health evaluation of Dongting Lake based on morphological characters ····· SHUAI Hong, LI Jingbao, XIA Beicheng, et al (2588)

Scientific Note

Effects of mix-leaf litter decomposition of different trees in the Loess Plateau ····· LIU Zengwen, DU Liangzhen, ZHANG Xiaoxi, et al (2596)
Changes in soil active organic carbon under different management types of bamboo stands ····· MA Shaojie, LI Zhengcai, WANG Bin, et al (2603)
Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper ····· OU Lijun, CHEN Bo, ZOU Xuexiao (2612)
Effects of silicon application and drought stress on photosynthetic traits and mineral nutrient absorption of rice leaves ····· CHEN Wei, CAI Kunzheng, CHEN Jining (2620)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7　国外邮发代号:M670　标准刊号:ISSN 1000-0933　CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号　**电　话**:(010)62941099;62843362

E-mail:shengtaixuebao@ rcees. ac. cn　**网　址**:www. ecologica. cn

编辑部主任　孔红梅　　**执行编辑**　刘天星　段　靖

生　态　学　报
(SHENGTAI　XUEBAO)
(半月刊　1981 年 3 月创刊)
第 32 卷　第 8 期　(2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32　No. 8　2012

编　辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www. ecologica. cn shengtaixuebao@ rcees. ac. cn	**Edited** by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www. ecologica. cn Shengtaixuebao@ rcees. ac. cn
主　编	冯宗炜	**Editor-in-chief**	FENG Zong-Wei
主　管	中国科学技术协会	**Supervised** by	China Association for Science and Technology
主　办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	**Sponsored** by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出　版	科学出版社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1R00717	**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

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