

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 13 期 Vol.31 No.13 **2011**

中国生态学学会
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 13 期

2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

我国东部北亚热带植物群落季相的时空变化	陈效速, 亓孝然, 阿 杉, 等 (3559)
华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素	黄 辉, 孟 平, 张劲松, 等 (3569)
东北东部 14 个温带树种树干呼吸的种内种间变异	许 飞, 王传宽, 王兴昌 (3581)
RS 和 GIS 支持的洪河地区湿地生态健康评价	王一涵, 周德民, 孙永华 (3590)
应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构	蓝文陆, 王晓辉, 黎明民 (3601)
基于不可替代性的青海省三江源地区保护区功能区划研究	曲 艺, 王秀磊, 栾晓峰, 等 (3609)
融雪时间对大卫马先蒿生长和繁殖特性的影响	陈文年, 吴 彦, 吴 宁, 等 (3621)
巴郎山刺叶高山栎叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 对海拔高度的响应	冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (3629)
宁南半干旱与半干旱偏旱区苜蓿草地土壤水分与养分特征	任晶晶, 李 军, 王学春, 等 (3638)
南岭小坑藜蒴栲栎群落地上部分生物量分配规律	李 根, 周光益, 王 旭, 等 (3650)
放牧对五台山高山、亚高山草甸牧草品质的影响	章异平, 江 源, 刘全儒, 等 (3659)
短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响	羊留冬, 杨 燕, 王根绪, 等 (3668)
锰胁迫对垂序商陆叶片形态结构及叶绿体超微结构的影响	梁文斌, 薛生国, 沈吉红, 等 (3677)
土荆芥挥发油对蚕豆根尖细胞的化感潜力	胡琬君, 马丹炜, 王亚男, 等 (3684)
喀斯特城市杨树人工林微量元素的生物循环	王新凯, 田大伦, 闫文德, 等 (3691)
大兴安岭林区多孔菌的区系组成与种群结构	崔宝凯, 余长军 (3700)
铜绿微囊藻和斜生栅藻非稳态营养盐限制条件下的生长竞争特性	赵晓东, 潘 江, 李金页, 等 (3710)
陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性	王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 等 (3720)
基于模式生物秀丽隐杆线虫的三丁基锡生态毒性评价	王 云, 杨亚楠, 简风雷, 等 (3728)
大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响	肖能文, 谢德燕, 王学霞, 等 (3736)
若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响	吴鹏飞, 杨大星 (3745)
洞庭湖湿地土壤环境及其对退田还湖方式的响应	刘 娜, 王克林, 谢永宏, 等 (3758)
渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟	张社红, 李 军, 王学春, 等 (3767)
黄土丘陵区不同土地利用下土壤释放 N_2O 潜力的影响因素	祁金花, 黄懿梅, 张 宏, 等 (3778)
东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较	宋广树, 孙忠富, 孙 蕾, 等 (3788)
硫对成熟期烤烟叶绿素荧光参数的影响	朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 等 (3796)
高温强光对温州蜜柑叶绿素荧光、D1 蛋白和 Deg1 蛋白酶的影响及 SA 效应	邱翠花, 计玮玮, 郭延平 (3802)
覆膜对土壤-莴苣体系氮素分布和植物吸收的影响	李丽丽, 李非里, 刘秋亚, 等 (3811)
基于空间分带的崇明东滩水鸟适宜生境的时空动态分析	范学忠, 张利权, 袁 琳, 等 (3820)
驯鹿对苔藓植物的选择食用及其生境的物种多样性	冯 超, 白学良 (3830)
北京城市绿地调蓄雨水径流功能及其价值评估	张 彪, 谢高地, 薛 康, 等 (3839)
专论与综述	
冻土甲烷循环微生物群落及其对全球变化的响应	倪永清, 史学伟, 郑晓吉, 等 (3846)
哺乳动物毛被传热性能及其影响因素	郑 雷, 张 伟, 华 彦 (3856)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07	



封面图说: 滇金丝猴是我国特有的世界珍稀动物之一, 属国家一级重点保护物种。仅生活在滇藏交界处的高寒云冷杉林中, 是我国川、滇、黔三种金丝猴中唯一具有和人类一样美丽红唇的金丝猴。手中的松萝是它最喜爱的食物之一。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

黄辉, 孟平, 张劲松, 高峻, 贾长荣. 华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素. 生态学报, 2011, 31(13): 3569-3580.

Huang H, Meng P, Zhang J S, Gao J, Jia C R. Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(13): 3569-3580.

华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素

黄 辉¹, 孟 平^{1,*}, 张劲松¹, 高 峻¹, 贾长荣²

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;

2. 河南省济源市国有大沟河林场, 济源 454650)

摘要: 基于 2007—2008 年涡度相关观测资料, 分析了华北低丘山地近 30 年生栓皮栎-刺槐-侧柏人工林生态系统蒸散的变化特征及其环境影响要素。结果表明, 2007—2008 年实验区气候较常年偏暖、偏旱。ET 表现出单峰季节变化特征, 秋冬季节较低, 春夏季节(4—9 月)蒸散旺盛。全年最高值出现在每年 5 月份, 日峰值出现于 13:00 左右。2007—2008 年平均蒸散量为 546.1 mm, 降水量为 354.1 mm, 夏季(7—8 月)和冬季(12—1 月)的日蒸散量分别为 2.19 mm/d 和 0.44 mm/d。温度是驱动 ET 季节变化的主要环境因子, 饱和差也是影响蒸散季节变化的重要环境要素。土壤含水量对 ET 季节变化的影响并不显著, 有近 1/3 日数的土壤含水量为 0.16—0.18 m³/m³, 期间日蒸散量平均值为 1.0 mm/d。年蒸散量均高于降水量, 蒸散量高于降水量的部分来自深层土壤水分的供给。

关键词: 蒸散; 人工林; 涡度相关; 温度; 饱和差; 光合有效辐射

Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China

HUANG Hui¹, MENG Ping^{1,*}, ZHANG Jinsong¹, GAO Jun¹, JIA Changrong²

1 Research Institute of Forestry, CAF; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China

2 Dagouhe Forest Farm of Jiyuan, Henan 454650, China

Abstract: Evapotranspiration (ET) is an important component of ecosystem water and energy balances. Improved understanding of the water and energy fluxes between vegetation and atmosphere is therefore important for prediction of the impact of climate change on terrestrial ecosystem. Plantation plays an important role in regional water cycle and budgets. China has the largest plantation area in the world. It is necessary to study the response of plantation ET to environmental factors in China. In this study, water vapor flux was measured continuously through the eddy covariance technique in a nearly 30-year old aged mixed plantation (Xiaolangdi site; 35°01'N, 112°28'E, 410 m) in the hilly zone of the North China in 2007 and 2008. Meteorological measurements were carried out synchronously. The major tree species are *Quercus variabilis*, *Robinia pseudoacacia* and *Platycladus orientalis*. The diurnal and seasonal variations of ET and the environmental impacts on ET were analyzed. The results showed that it was warmer and drier in 2007 and 2008, compared with the long-term averaged values. ET showed a single peak seasonal variation, which was low in fall and winter and relatively high in spring and summer. The yearly maximum ET appeared in May in both years, and the diurnal peak values occurred at about 13 pm. The averaged annual ET and precipitation were 546.1 mm and 354.1 mm, respectively. The daily average ET in summer (July—August) and winter (December—January) were 2.19 mm/d and 0.44 mm/d, respectively. Year with more rainfall (2007) was also with relatively high ET. ET of the growing season in 2007 was higher than that in 2008, which led

基金项目: 中国林业科学研究院林业研究所所长基金项目(RIF2008-04); “十二五”科技支撑计划课题(2011BAD38B06); 公益性行业(气象)科研专项基金(GYHY(QX)2007-6-46-4)

收稿日期: 2010-08-25; 修订日期: 2011-03-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mengping@caf.ac.cn.

to the higher annual ET in 2007. Temperature (T) was the main environmental factor driving the diurnal and seasonal dynamics of ET . Water vapor pressure deficit (D) also had significant impacts on the diurnal and seasonal variations of ET . The relationship between photosynthetic active radiation (Q_p) and ET was significant at the daily scale but not at the monthly scale. There was no significant impact of soil water content (W) on ET . The averaged daily W was among the range of 0.16—0.18 m^3/m^3 for nearly 1/3 days of the two years, during which the averaged daily ET was 1.0 mm/d. Annual ET was higher than annual precipitation in both years. Annual precipitation accounted for 90.0%, 62.9% of annual ET in 2007 and 2008, respectively. Soil moisture from deep soil layer was likely to contribute the difference between ET and precipitation. Annual ET of the plantation ecosystem in Xiaolangdi site (broad-leaved plantation) was lower than that of some conifer plantation with similar latitude and that of some tropical or subtropical forests, and was higher than that of some boreal forests. Two year data were used in this study, which led to the difficulty in discussing the mechanism driving the interannual variation of ET . Impact of other factors reflecting the vegetation growth, such as leaf area index (LAI), will be analyzed in the future. And the response of ET to environmental factors under drought stress will be discussed.

Key Words: evapotranspiration; plantation; eddy covariance; temperature; water vapor deficit; photosynthetically active radiation

蒸散(ET)是生态系统水分平衡和能量平衡的重要组分,也是影响区域气候和全球水循环的一个重要因素^[1],了解其控制机制有助于认识生态系统与气候的相互作用关系,以及预测气候变化对生态系统生产力的影响^[2]。人工林是我国森林生态系统的重要组成部分。第七次全国森林资源清查结果显示^[3],目前我国森林覆盖率为 20.36%,人工林保存面积居世界首位,为 0.62 亿 hm^2 ,蓄积 19.61 亿 m^3 。全国森林总面积的 31.8% 为人工林,这意味着中国人工林对区域水分循环及平衡发挥着重要作用。因此,有必要深入认识我国人工林生态系统蒸散及其对气候变化的响应。

植被蒸散受多种因素制约,植被的生长状况^[4]、大气^[5-8]和地表^[9]等物理环境条件都能对植被的蒸散产生影响。目前,我国已经运用蒸渗仪、波文比法、涡度相关方法等手段对植被蒸散进行了测算,如对农田^[10-12]、草地^[13-14]、湿地^[15]和森林^[4,16-17]的蒸散已进行了大量研究。涡度相关技术被证明是长期连续地对植被和大气间物质和能量交换实施监测的有效工具^[18-19],在国外已被广泛应用于森林蒸散的研究^[20],在我国该技术多用于 CO_2 通量研究,利用该技术针对森林蒸散尤其是暖温带低丘山地人工林的研究相对不多。以往研究结果显示,环境要素对蒸散有明显的影响作用,但因站点而异。黄河小浪底森林生态系统定位研究站位于暖温带季风气候区,是林业工程的重点区域,实验区内人工林为我国华北丘陵山区造林典型树种,树龄均在 25a 以上。本文利用该站 2007—2008 年涡度相关观测资料,分析实验区内人工林蒸散的季节和年际动态,讨论其环境影响要素,以期开展森林蒸散模拟研究提供理论依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 实验区概况

本研究所选地点为国家林业局黄河小浪底森林生态系统定位研究站(35°01'N、112°28'E,410 m;以下简称小浪底站)。定位站位于河南省济源市,地处黄河中游,紧连太行山。属暖温带亚湿润季风气候,生长季(4—9月)盛行风向为偏东风,年平均气温为 12.4—14.3℃,全年平均日照时数为 2367.7 h,多年平均降水量为 641.7 mm。受季风气候的影响,降水季节性分配不均,6—9月平均降水量为 438.0 mm,占全年的 68.3%。研究区主要树种为栓皮栎(*Quercus variabilis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)等,林龄分别为 32、30、28 a,平均冠层高度约为 11 m。土壤种类主要为棕壤和石灰岩风化母质淋溶性褐土。

通量观测塔位于站区中心偏西方向的栓皮栎、侧柏、刺槐团状混交样地内等。塔高 36.0 m,塔周围 1.8 hm^2 范围平均坡度约为 12°,林木覆盖率约为 96.0%,栓皮栎、侧柏、刺槐所占比例分别约为 80%、8% 和 12%。

1.2 观测方法

涡度相关系统安装在观测塔的东北方向,安装高度为 31.0 m,主要由 CSAT3 三维超声风温计(Campbell Sci. Inc., USA)和 LI-7500 开路式红外 CO₂/H₂O 分析仪(Li-Cor Inc., USA)等组成,可测定冠层上方的三维风速、温度、湿度和 CO₂ 浓度。原始数据采样频率为 10 Hz,由 CR5000 数据采集器(Campbell Sci. Inc., USA)记录和保存。

微气象梯度观测系统包括 7 层 AR-100 风速计(Vector Instruments, UK)和 7 层 HMP-45C 型温湿度传感器(Vaisala, Finland)(安装高度分别为 7、10、11、13、17、24、31 m)。此外,在 27 m 高度处,安装了 CNR-1 型净辐射表和 CM11 型总辐射表(Kipp and Zonen)、Li-190SB 型点状光量子表(Li-Cor Inc., USA)、气压计(Model 52203)和雨量计(Model 52203, RM Young, Inc)等。同时测定 20 cm 土壤湿度(ECH2O, Decagon Devices Inc., USA),土壤热通量由设置在土表下 5 cm 的 2 块 HFP010SC 型土壤热流板测定。上述仪器均与 CR23x 型数据采集器(Campbell Sci., USA)相连,每 30 min 输出 1 组平均值。

1.3 数据处理

本研究基于 2007—2008 年 XLD 通量观测数据进行,对通量数据的处理流程为:(i)对半小时观测数据进行 3 次坐标旋转^[21];(ii)根据 Webb 方程对旋转后数据进行水热密度校正^[22];(iii)剔除同期有降水的潜热通量数据;(iv)设定潜热通量数据阈值为 $[-200, 700]$ (W/m²),以剔除明显的异常值;(v)将数据进行连续 5 点的 3 倍方差筛选,并剔除摩擦风速低于 0.2 m/s 的夜间水热通量数据,筛选后的有效数据量见表 1;(vi)利用平均日变化法(MDV)对潜热通量、常规气象的缺失数据进行插补^[23],时间窗口为 7 d。

1.4 涡度相关系统的能量闭合评价

能量平衡闭合是指涡度相关仪器直接观测的潜热(LE)和显热湍流通量(H)与净辐射通量(R_n)、土壤热通量(G)、冠层热储量(S)三者之和的有效能量之间的平衡。能量平衡闭合程度作为评价涡度相关数据可靠性的方法已被广泛采用^[24-25],许多通量观测站点都把能量平衡闭合状况分析作为一种标准的程序用于通量数据的质量评价^[26-27]。

本文通过分析能量平衡比率(energy balance ratio, EBR)及 OLS(Ordinary Least Squares)回归斜率来评价其能量平衡闭合状况^[28]。 EBR 是指由涡度相关仪器直接观测的潜热和显热湍流通量与有效能量(R_n , G , S 三者之和)的比值,公式表达为:

$$EBR = \frac{LE + H}{R_n - G - S} \quad (1)$$

OLS 线性回归参数见表 1。可以看出,两年的能量闭合度在 64%—70% 之间,平均不闭合度在 33% 左右,截距平均值为 8.4 W/m², EBR 平均值为 0.72。小浪底站存在能量不闭合现象,即涡度相关测量的湍流通量系统地低于有效能量。

表 1 小浪底站涡度相关系统能量闭合度及相关参数

Table 1 OLS coefficients for energy balance closure at Xiaolangdi site

年份 Year	样本数 n	S_1 / S_2	截距 Intercept	R_{122} / R_{22}	EBR
2007	6617	0.64/0.65	6.7	0.74/0.74	0.68
2008	7593	0.70/0.73	10.1	0.74/0.73	0.76

S_1 为 OLS 回归斜率, S_2 为强制通过原点线性回归的斜率

2 结果与讨论

2.1 研究年份的气候、土壤状况

小浪底实验区具有典型的暖温带亚湿润季风气候特征,水热资源较为丰富、雨热同季。图 1 表示 2007—2008 年该站环境因子(气温、饱和水汽压差、降水量、土壤含水量及辐射)的季节变化。2007—2008 年小浪底的辐射资源与往年比差异并不明显,气候较常年偏暖、偏旱,年平均气温为 14.8—15.5℃,年降水量为

333.0—505.8 mm。每年5月大气饱和差达到最大,而期间气温较高、土壤水分与生长季内其它月份相比相对较低(图1)。

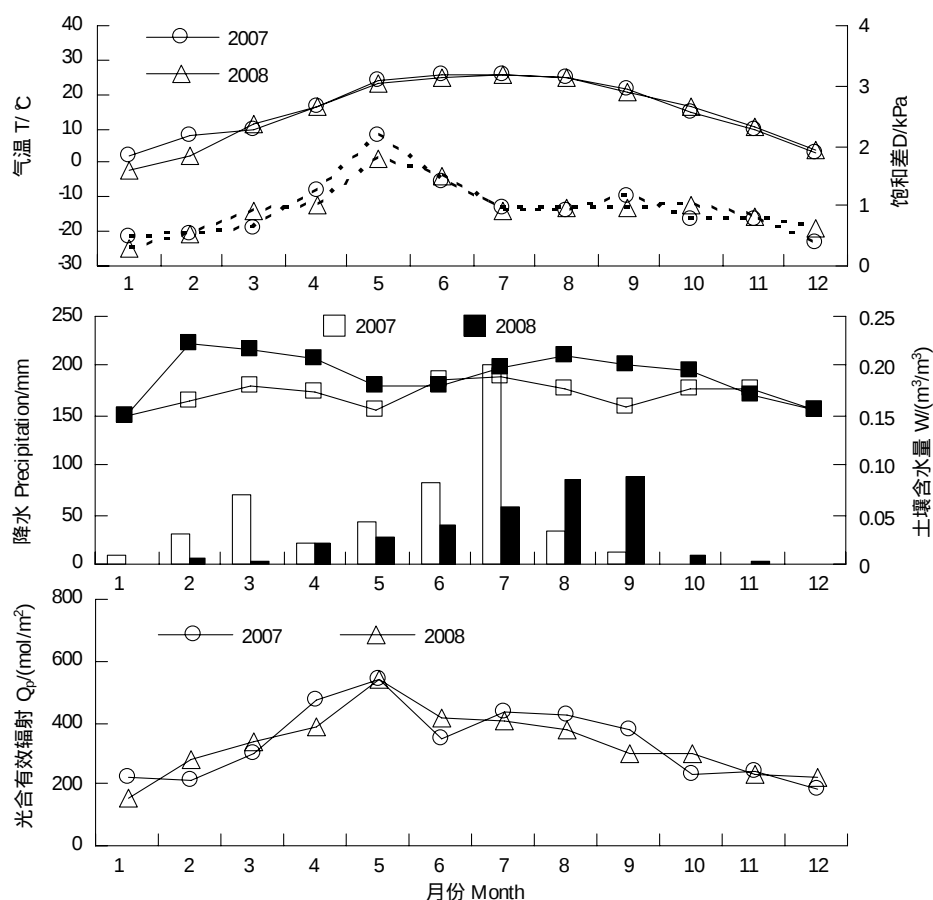


图1 2007—2008 年小浪底站环境因子的季节变化

Fig. 1 Seasonal variations of environmental factors at Xiaolangdi Station in 2007 and 2008

气温(T ,图中以实线表示)和大气饱和差(D ,图中以虚线表示);光合有效辐射、降水为日总量;气温、饱和差和土壤水分为日平均值

2.2 潜热通量的日变化

图2和图3为2007、2008年潜热通量(LE)30 min数据平均值的日变化。蒸散可用 LE 与水的汽化潜热系数(λ)的比值表示。由于小浪底站植被以阔叶树种为主,每年秋冬季节(11—2月)叶面积指数较低,土壤蒸发占 LE 很大比重,但由于该时期温度和辐射较低,因此 LE 的日变化幅度很小,这段时期 LE 的月平均日峰值在两年分别为91.7、92.8 W/m^2 。进入春夏季节(4—9月)后,随着植被生长、叶面积指数增加,气温和辐射升高, LE 开始出现明显的日变化, LE 在夜间较低,日出后迅速增加,13:00达到最大值。春夏季节为全年蒸散最旺盛时期,每年5月份潜热通量达到全年最高值,该月 LE 的月平均日峰值在两年分别为260.7、255.2 W/m^2 。3月和10月分别是冬春、夏秋交替季节,期间 LE 明显低于春夏季节,但略高于秋冬季,月平均日峰值在两年分别为94.9、129.2 W/m^2 。

2.3 生态系统蒸散的季节变化

图4给出了2007—2008年小浪底站生态系统蒸散的季节变化。可以看出, ET 每年的季节变化大致表现出单峰季节变化特征(图4),并且和气温的季节变化基本吻合(图1),从每年4月中旬 ET 随着温度升高而迅速增长,在水热资源丰富的夏季达到最大值,之后随着温度的下降而降低,在冬季较低。XLD夏季(7—8月)日蒸散量(平均值为2.19 mm/d)是冬季(12—1月)日蒸散量(平均值为0.44 mm/d)的5倍,这是由于实

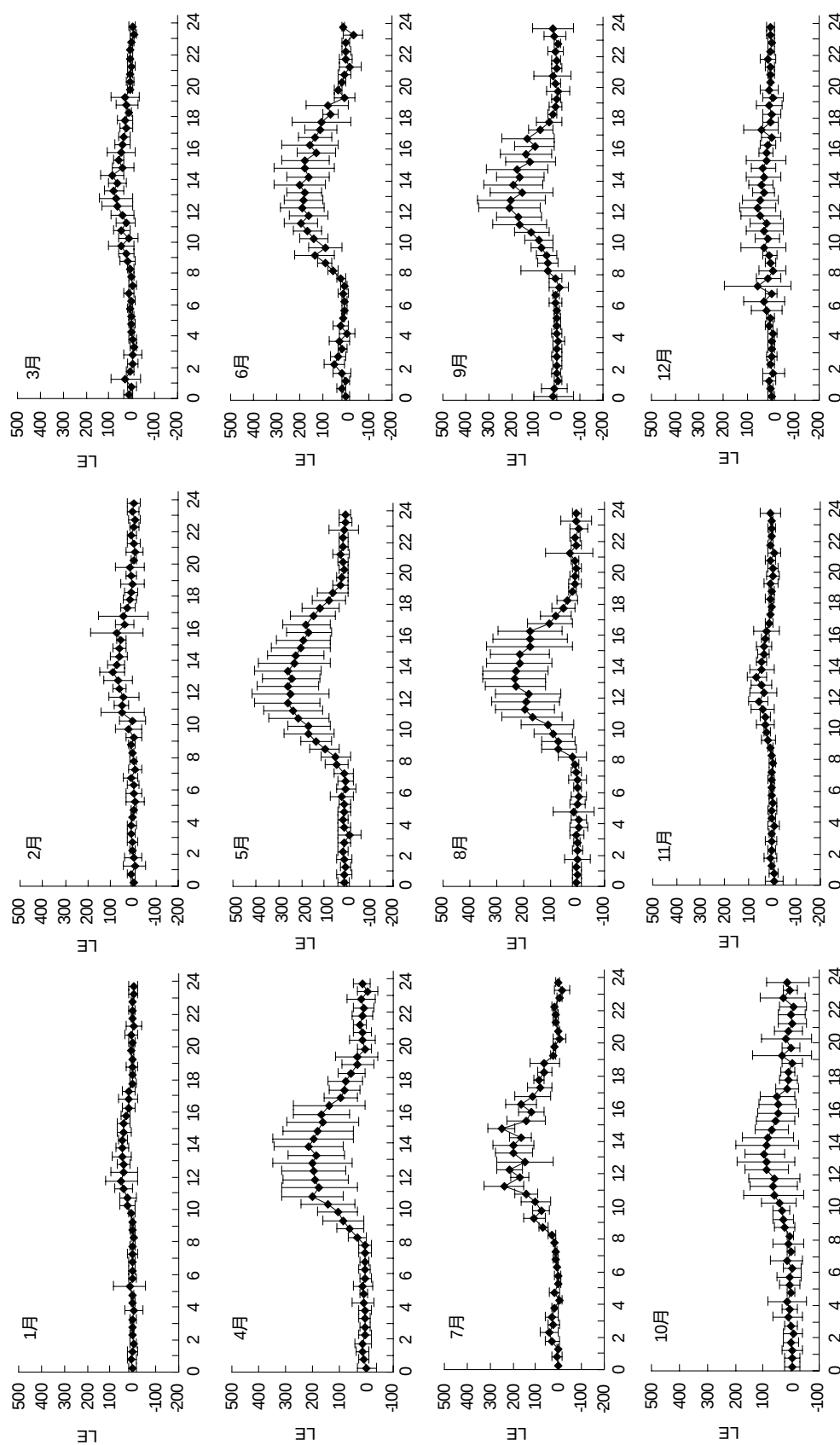


图 2 2007年潜热通量30 min数据月平均值的日变化
Fig. 2 Diurnal variation of monthly averaged half-hourly latent heat flux (LE) in 2007

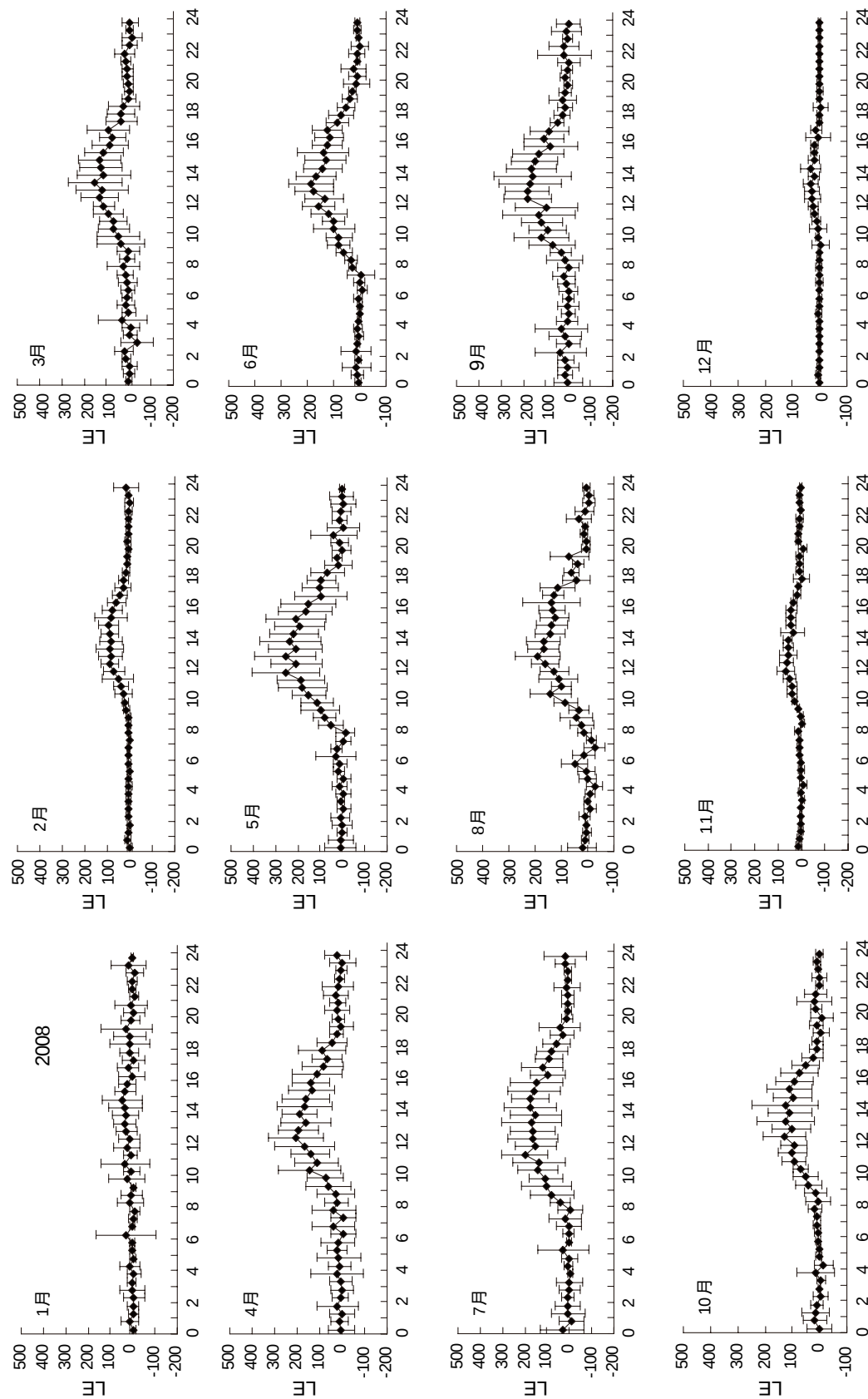


图 3 2008年潜热通量30 min数据月平均值的日变化
Fig. 3 Diurnal variation of monthly averaged half-hourly latent heat flux (LE) in 2008

验地主要是由阔叶树组成的人工林,冬季由于落叶的缘故,蒸散量明显低于其它季节。

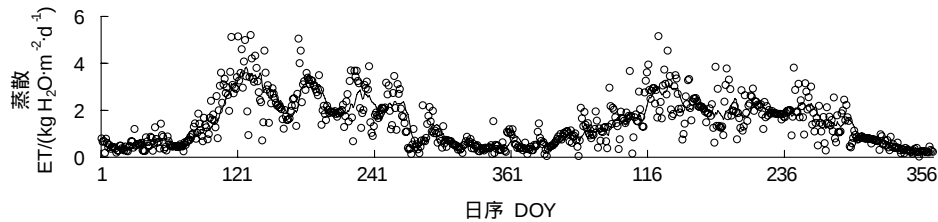


图4 2007—2008年生态系统蒸散(ET)的季节变化(图中所示线条为10日滑动平均值)

Fig. 4 Seasonal variation of ecosystem evapotranspiration (ET) at Xiaolangdi station in 2007 and 2008; Lines are 10-days gliding average values

图5表示生态系统累积蒸散(A_{ET})和月蒸散量的季节变化。由图5可见,2007年年蒸散量高于2008年,5月前,2008年 A_{ET} 略高于2007年,5月后2007年 A_{ET} 迅速增加,逐渐高于2008年。2007年 A_{ET} 高于2008年同期主要集中在4—9月期间,即植被的主要生长季(图5),这表明,2007年蒸散量高于2008年主要是由于生长季蒸散耗水较多的缘故。

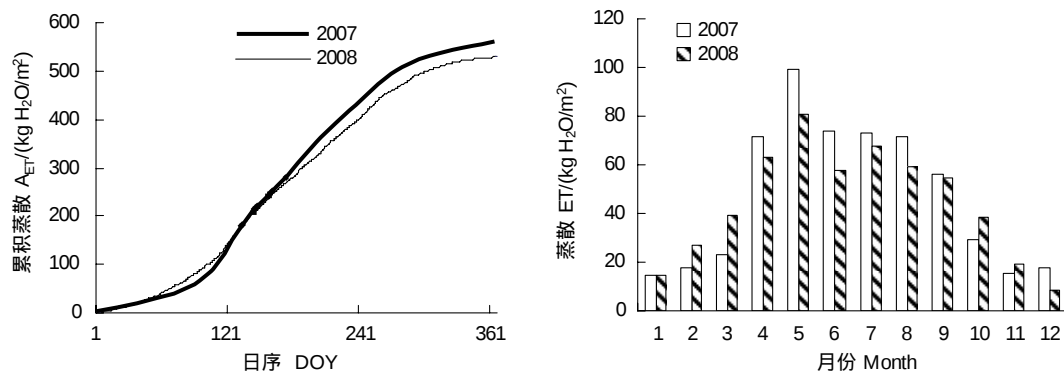


图5 2007—2008年生态系统累积蒸散及月蒸散的季节变化

Fig. 5 Seasonal variation of accumulative ecosystem evapotranspiration and monthly evapotranspiration at Xiaolangdi in 2007 and 2008

2.4 环境因子在日尺度、月尺度上对蒸散的影响

图6为日累积蒸散量及月累积蒸散量对气象因子(气温、辐射、大气饱和差)的响应,回归方程的相关性均达到极显著性水平。在日尺度和月尺度上,生态系统蒸散均与气象因子存在正相关关系。从图6还可以看出,2007年日累积及月累积蒸散量随环境因子的变化斜率均高于2008年,这表明,2007年XLD生态系统蒸散对于环境因子更为敏感。由图4可以看出,每年5月份ET达到最大,而辐射、饱和差在该月份达到全年最高值(图1),该月份土壤含水量为生长季内(4—9月)最低(在两年的月均值分别为 0.16 、 $0.18 \text{ m}^3/\text{m}^3$);进入6月后,随着饱和差和辐射的降低,ET也出现了明显的回落(图4)。

图7表示蒸散量在不同土壤含水量取值范围内的平均值及其频率分布。可以看出,土壤含水量比较高的时候蒸散量也较高。土壤水分在不同取值范围内的分布频率呈现偏态分布,两年中小浪底站有32.7%的时间土壤含水量在 0.16 — $0.18 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 之间,期间的日蒸散量平均值为 1.0 mm ,土壤含水量为 0.18 — 0.20 、 0.14 — $0.16 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 之间的时间分别占全年总日数的24.1%和24.7%。当土壤水分低于 $0.22 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 时,月蒸散量随着土壤含水量升高而增加,当土壤含水量高于 0.22 以后,月蒸散量开始降低。土壤水分在不同取值范围内的分布频率呈现正态分布,33.3%的月份土壤含水量在 0.18 — $0.20 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 之间,期间的月蒸散量变化范围为 15.2 — $80.5 \text{ kg H}_2\text{O}$,平均值为 $53.1 \text{ kg H}_2\text{O}$ 。

对蒸散与环境因子的关系采用逐步回归分析发现(表2),在日尺度及月尺度上,温度都是影响蒸散的主要环境因子,土壤水分对蒸散的影响并不显著,饱和差也是影响蒸散的重要环境要素,辐射对蒸散的影响随着

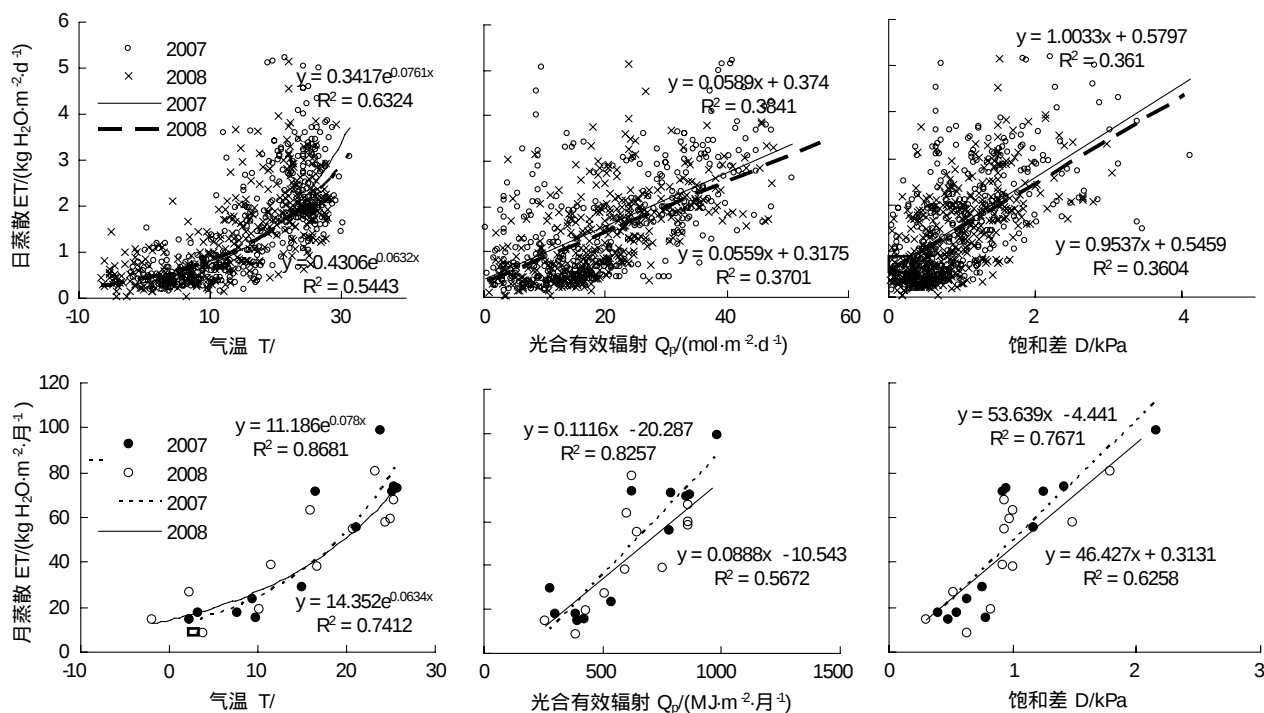


图6 气象因子对 ET 的影响

Fig. 6 Response of diurnal and monthly ET to meteorological factors

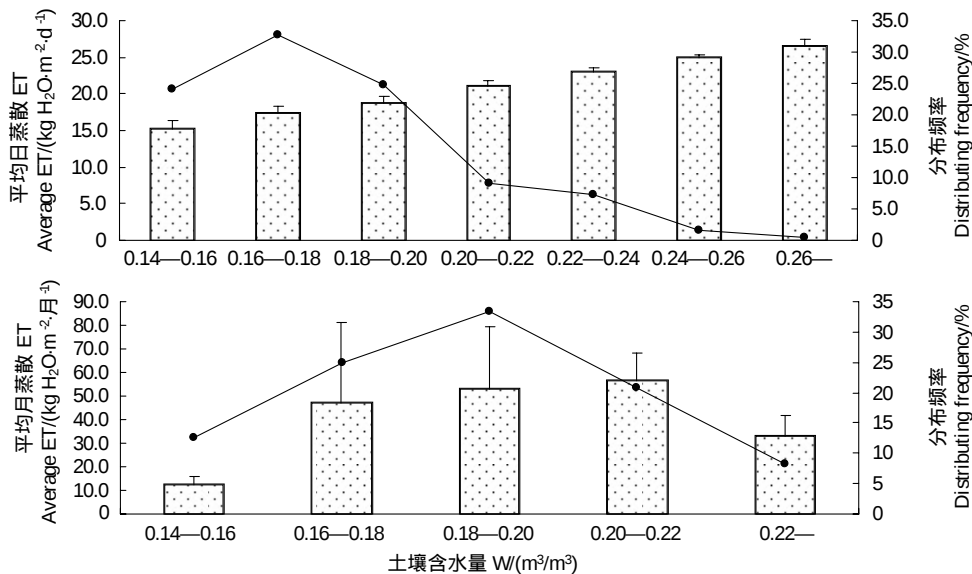


图7 日累积及月累积蒸散量在不同土壤含水量取值范围的平均值及频率分布

Fig. 7 Average values and distributing frequency of diurnal and monthly ET over different value ranges of soil water content. The bars and dots denote average ET and distributing frequency respectively

图中柱状图标表示平均蒸散量,点表示分布频率

时间尺度的扩大,对月蒸散量的影响并不显著。

2.5 蒸散和环境因子在年尺度上的变化

表3给出了2007—2008年XLD的蒸散及环境因子的变化。2a间,水分耗散(蒸散量)均高于水分收入(年降水量),年降水量分别占同期蒸散量的90.0%、62.9%,这表明,该地区降水量低于涡度相关测得的蒸散

量。2007 年蒸散量比 2008 年高 6.2%, 年降水量比 2008 年高 51.9%, 而土壤体积含水量(0—20 cm) 比 2008 年低 10.9%。由于实验区内并无灌溉, 蒸散高于降水量的原因可能是来源于土壤深层水分的供给, 由于缺乏深层土壤水分的观测资料, 仅能从 0—20 cm 土壤含水量观测结果来推测, 降水充沛的 2007 年土壤水分却偏低, 是由于深层土壤水分供给了部分土壤水分蒸发。此外, 2007 年生长季的 7 月份出现了 2 次暴雨过程(24 h 降水量超过 50 mm), 部分降水量形成降雨径流, 没有用于补给土壤水分, 因此 2007 年土壤含水量偏低, 并且蒸散的年间差异没有降水量年间差异显著。

表 2 蒸散量与环境因子关系的逐步回归分析参数
Table 2 Coefficients of stepwise regression analysis for the relationship between ET and environmental factors

时间尺度 Time scale	变量 Variables	R ²	P
日尺度 Daily time scale	T	0.50	<0.01
	T, Q _p	0.57	<0.01
	T, Q _p , D	0.58	<0.01
月尺度 Monthly time scale	T	0.77	<0.01
	T, D	0.85	<0.01

表 3 XLD2007—2008 年蒸散及环境因子的变化
Table 3 Variation of ET and environmental factors at XLD in 2007 and 2008

年份 Year	蒸散量 ET/mm		降水量 Precipitation/mm		气温 T/℃		饱和差 D/kPa		光合有效辐射 Q _p /(mol/m ²)		土壤含水量 W/(m ³ /m ³)	
	ET _a	ET _b	pptn _a	pptn _b	T _a	T _b	D _a	D _b	Q _{p, a}	Q _{p, b}	W _a	W _b
2007	562.2	444.6	505.8	393.3	15.5	23.0	0.96	1.31	7221	4897	0.17	0.17
2008	529.6	381.3	333.0	315	14.8	22.5	0.94	1.19	7391	4456	0.19	0.20

下标“a”表示全年取值, “b”表示 4—9 月期间的取值

由图 6 和表 2 可以得到, 生态系统蒸散与温度和饱和差存在明显的正相关关系。由表 3 可以看出, 2007 年蒸散量比 2008 年偏高 6.6%, 其中非生长季 ET 比 2008 年偏低 20.7%, 但生长季 ET 比 2008 年高 16.6%, 而该年生长季内温度及饱和差也高于 2008 年。

降水是制约大部分植被蒸散的环境因子, 通常降水量比较大的年份蒸散量也比较高^[8,29]。本文结果显示, 2007 年降水较 2008 年略充沛, 而蒸散也高于 2008 年(表 3)。夏季(7—8 月)的日蒸散量平均值分别为 2.34、2.05 mm/d, 这个结果略低于以往研究对相近纬度温带森林的报道(2.9—3.5 mm/d)^[9,30], 这可能是由于本研究站点人工林的林龄相对较小。通常, 由于成熟林叶面积更大^[31], 其蒸散要高于林龄相对较小的森林^[32]。

表 4 给出了一些其它森林生态系统的年蒸散量。由表 4 可见, 相近纬度的针叶林蒸散高于落叶阔叶林, 温带森林蒸散量高于北部森林、低于热带和亚热带森林。本文中小浪底站人工林的平均年蒸散量为 546.1 mm, 这接近于相近纬度的橡树岭(Oak Ridge)站点观测结果^[33], 而明显低于相近纬度桐生水文试验站(Kiryu Experimental Watershed)站点的观测结果^[34]。由于针叶林在非生长季也有蒸散, 相同地形和气候条件下的针

表 4 其它森林生态系统年蒸散量
Table 4 Annual ET in other forest ecosystems

站点 Sites	ET/mm	森林类型 Forest type	纬度 Latitude
Spasskaya Pad ^[37]	169—220	落叶松林 Siberian larch forest	62°15'N
Saskatchewan F89 ^[36]	253—313	针阔混交林 Mixed forest	54.254N
Mol ^[35]	616	人工针叶林 Scots pine plantation	51°11'N,
Chequamegon-Nicolet National Forest ^[32]	560	针阔混交林 Temperate mixed forest	46°30'—46°45'N
Changbaishan ^[8]	355.9	针阔混交林 Temperate mixed forest	42°40'N
Oak Ridge TN ^[33]	537—611	温带阔叶林 Broad-leaved deciduous forest	35°57'N
Kiryu Experimental Watershed ^[34]	735	人工针叶林 Japanese cypress forest	34°58'N
Qianyanzhou ^[8]	748.3	人工针叶林 Conifer plantation	26°75'N
Xishuangbanna ^[8]	1369.4	热带季雨林 Tropical seasonal ainforest	26°56'N
Dinghushan ^[8]	641.2	常绿针阔混交林 Evergreen mixed forest	23°17'N
Lambir Hills National Park ^[36]	1545	热带雨林 Tropical rainforest	4°12'N

叶林年蒸散通常要高于落叶阔叶林^[32]。桐生站为人工针叶林,而小浪底站森林组分中92%为阔叶树、橡树岭站为阔叶林,因此小浪底站和橡树岭站的年蒸散量不及相近纬度的桐生站。由表4可以看出,莫尔人工针叶林^[35]年蒸散也高于相近纬度的萨斯喀彻温(Saskatchewan F89)针阔混交林^[36]。

3 结论

(1)2007—2008年小浪底站气候较常年偏暖、偏旱。*ET*表现出单峰季节变化特征,秋冬季节(11—2月)较低,春夏季节(4—9月)是蒸散最旺盛的季节,在5月达到全年最高值,日峰值出现于13:00左右。

(2)温度是影响蒸散的主要环境因子,土壤水分对蒸散的影响不显著,饱和差也是影响蒸散的重要环境要素。随着研究尺度由日尺度扩大为月尺度,辐射对月蒸散量的影响变得不显著。

(3)2007年蒸散量比2008年略高6.2%。2007—2008年蒸散量平均为546.1mm,降水量为354.1mm,夏季(7—8月)和冬季(12—1月)的日蒸散量平均值分别为2.19mm/d和0.44mm/d。壤含水量对*ET*季节变化的影响并不显著,有近1/3日数的土壤含水量为0.16—0.18m³/m³,期间日蒸散量平均值为1.0mm/d。2007年、2008年降水量分别占同期蒸散量的90.0%、62.9%,蒸散量高于降水量的部分来自深层土壤水分的供给。

本文研究了人工林生态系统蒸散的季节和年际动态及其环境控制因子,进一步的研究需要结合叶面积指数等能够反映植被生长的指标,环境胁迫下*ET*的响应机制也需要作进一步的分析。本研究只采用了2a的观测数据,难以得到蒸散年际变化的环境驱动要素分析结果。

References:

- [1] Garratt J R. Sensitivity of climate simulations to land surface and atmospheric boundary-layer treatments-a review. *Journal of Climate*, 1993, 6(3): 419-448.
- [2] Williams D G, Cable W, Hultine K, Hoedjes J C B, Yezpe E A, Simonneaux V, Er-Raki S, Boulet G, de Bruin H A R, Chehbouni A, Hartogensis O K, Timouk F. Evapotranspiration components determined by stable isotope, sap flow and eddy covariance techniques. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, 125(3/4): 241-258.
- [3] Department of Forest Resources Management, State Forestry Administration. The 7th national forest inventory and status of forest resources. *Forest Resources Management*, 2010, (1): 1-8.
- [4] Wang Y H, Xiong W, Yu P P, Shen Z X, Guo M C, Guan W, Ma C M, Ye B, Guo H. Study on the evapotranspiration of forest and vegetation in dryland. *Science of Soil and Water Conservation*, 2006, 4(4): 19-25.
- [5] Fisher R A, Williams M, de Lourdes Ruivo M, de Costa A L, Meir P. Evaluating climatic and soil water controls on evapotranspiration at two Amazonian rainforest sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148(6/7): 850-861.
- [6] Tanaka N, Kume T, Yoshifuji N, Tanaka K, Takizawa H, Shiraki K, Tantasirin C, Tangtham N, Suzuki M. A review of evapotranspiration estimates from tropical forests in Thailand and adjacent regions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148(5): 807-819.
- [7] Giambelluca T W, Martina R E, Asner G P, Huang M Y, Mudd R G, Nullet M A, DeLay J K, Foote D. Evapotranspiration and energy balance of native wet montane cloud forest in Hawai'i. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149(2): 230-243.
- [8] Zhao F H, Sheng W P, Yu G R. Plant transpiration and ecosystem water balance // Yu G R, Wang Q F, eds. *Ecophysiology of Plant Photosynthesis, Transpiration, and Water Use*. Beijing: Science Press, 2010: 351-357.
- [9] Matsumoto K, Ohta T, Nakai T, Kuwada T, Daikoku K, Iida S, Yabuki H, Kononov A V, van der Molen M K, Kodama Y, Maximov T C, Dolman A J, Hattori S. Energy consumption and evapotranspiration at several boreal and temperate forests in the Far East. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148(12): 1978-1989.
- [10] Guo R P, Mo X G. Differences of evapotranspiration on forest, grassland and farm land. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(8): 1751-1757.
- [11] Yan T W, Xing Z K, You W Z, Zhao G, Wei W J, Zhang H D. Energy balance and evapotranspiration in larch forest in Bingla mountain of Liaoning province. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2009, 40(4): 449-452.
- [12] Liu Y, Wang Y, Yang X G. Trends in reference crop evapotranspiration and possible climatic factors in the North China Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(4): 923-932.
- [13] Wang J, Baoyin T G T. Evapotranspiration of *Leymus chinensis* steppe community at its different deteriorated phases. *Chinese Journal of Ecology*,

- 2007, 26(8): 1148-1152.
- [14] Qi P T, Gu S, Tang Y H, Du M Y, Wu L B, Zhao L. Comparison of three methods for measurement of evapotranspiration in an alpine meadow. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1): 202-211.
- [15] Xi G, Liu S M, Jia L. Estimation of regional evapotranspiration and ecological water requirement of vegetation by remote sensing in the Yellow River Delta wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5356-5369.
- [16] Wu J B, Guan D X, Zhang M, Han S J, Jin C J. Comparison of Eddy Covariance and BREB methods in determining forest evapotranspiration — Case study on broad-leaved Korean pine forest in Changbai Mountain. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(10): 1245-1249.
- [17] Shi T T, Guan D X, Wu J B, Zhang M, Wang A Z, Jin C J, Han S J. Measurement of evapotranspiration above broadleaved-Korean pine forests in the Changbaishan Mountains with eddy covariance technique. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28(6): 1-8.
- [18] Foken T, Wichura B. Tools for quality assessment of surface-based flux measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1996, 78(1/2): 83-105.
- [19] Baldocchi D, Falge E, Gu L, Olson R, Hollinger D, Running S, Anthoni P, Bernhofer C, Davis K J, Evans R, Fuentes J, Goldstein A, Katul G, Law B E, Lee Z, Malhi Y, Meyers T, Munger W J, Oechel W, Paw U K T, Pilegaard K, Schmid H P, Valentini R, Verma S, Vesala T, Wilson K B, Wofsy S. 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.
- [20] Wilson K B, Hanson P J, Mulholland P J, Baldocchi D D, Wullschlegel S D. A comparison of methods for determining forest evapotranspiration and its components: sap-flow, soil water budget, eddy covariance and catchment water balance. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 106(2): 153-168.
- [21] Wilczak J M, Oncley S P, Stage S A. Sonic anemometer tilt correction algorithms. *Boundary-Layer Meteorology*, 2001, 99(1): 127-150.
- [22] Webb E K, Peerman G I, Leuning R. Correction of flux measurement for density effects due to heat and water vapour transfer. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1980, 106(447): 85-100.
- [23] Falge E, Baldocchi D, Olson R, Anthoni P, Aubinet M, Bernhofer C, Burba G, Ceulemans R, Clement R, Dolman H, Grainer A, Grunwald T, Hollinger D, Jensen N O, Katul G, Keronen P, Kowalski A, Lai C T, Law B E, Meyers T, Moncrieff J, Moors E, Munger J M, Pilegaard K, Rannik U, Rebmann C, Suyker A E, Tenhunen J, Tu K, Verma S, Vesala T, Wilson K, Wofsy S. Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 107(1): 43-69.
- [24] Mahrt L. Flux sampling errors for aircraft and towers. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1998, 15(2): 416-429.
- [25] Verma S B, Baldocchi D D, Anderson D E, Matt D R, Clement R J. Eddy fluxes of CO₂, water vapour, and sensible heat over a deciduous forest. *Boundary-Layer Meteorology*, 1986, 36(1/2): 71-91.
- [26] Wilson K B, Hanson P J, Baldocchi D D. Factors controlling evaporation and energy balance partitioning beneath a deciduous forest over an annual cycle. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 102(2/3): 83-103.
- [27] Schmid H P, Grimmer C S B, Cropley F, Offerle B, Su H B. Measurements of CO₂ and energy fluxes over a mixed hardwood forest in the mid-western United States. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 103(4): 357-374.
- [28] Wilson K, Goldstein A, Falge E, Aubinet M, Baldocchi D, Berbigier P, Bernhofer C, Ceulemans R, Dolman H, Field C, Grelle A, Ibrom A, Law B E, Kowalski A, Meyers T, Moncrieff J, Monson R, Oechel W, Tenhunen J, Valentini R, Verma S. Energy balance closure at FLUXNET sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2002, 113(1/4): 223-243.
- [29] Zhou H P, Yang Z P, Li H M, Guan C L. Effect of straw return to field and fertilization in autumn on dryland corn growth and on water and fertilizer efficiency. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(7): 1231-1235.
- [30] Restrepo N C, Arain M A. Energy and water exchanges from a temperate pine plantation forest. *Hydrological Processes*, 2005, 19(1): 27-49.
- [31] Chen J Q, Falk M, Euskirchen E, U K T P, Suchanek T H, Ustin S L, Bond B J, Brosofske K D, Phillips N, Bi R C. Biophysical controls of carbon flows in three successional Douglas-fir stands based on eddy-covariance measurements. *Tree Physiology*, 2002, 22(2/3): 169-177.
- [32] Sun G, Noormets A, Chen J, McNulty S G. Evapotranspiration estimates from eddy covariance towers and hydrologic modeling in managed forests in Northern Wisconsin, USA. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148(2): 257-267.
- [33] Wilson K B, Baldocchi D D. Seasonal and interannual variability of energy fluxes over a broadleaved temperate deciduous forest in North America. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 100(1): 1-18.
- [34] Kosugi Y, Takanashi S, Tanaka H, Ohkubo S, Tani M, Yano M, Katayama T. Evapotranspiration over a Japanese cypress forest. I. Eddy covariance fluxes and surface conductance characteristics for 3 years. *Journal of Hydrology*, 2007, 337(3/4): 269-283.
- [35] Vincke C, Thiry Y. Water table is a relevant source for water uptake by a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand: evidences from continuous evapotranspiration and water table monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148(10): 1419-1432.
- [36] Mkhabela M S, Amiro B D, Barr A G, Black T A, Hawthorne I, Kidston J, McCaughey J H, Orchansky A L, Nesic A, Sass A, Shashkov A, Zha

- T. Comparison of carbon dynamics and water use efficiency following fire and harvesting in Canadian boreal forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149(5): 783-794.
- [37] Ohta T, Maximov T C, Dolman A J, Nakai T, van der Molen M K, Kononov A V, Maximov A P, Hiyama T, Iijima Y, Moors E J, Tanaka H, Toba T, Yabuki H. Interannual variation of water balance and summer evapotranspiration in an eastern Siberian larch forest over a 7-year period (1998–2006). *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148(12): 1941-1953.
- [38] Kumagai T, Saitoh T M, Sato Y, Takahashi H, Manfroi O J, Morooka T, Kuraji K, Suzuki M, Yasunari T, Komatsu H. Annual water balance and seasonality of evapotranspiration in a Bornean tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005, 128(1/2): 81-92.

参考文献:

- [3] 国家林业局森林资源管理司. 第七次全国森林资源清查及森林资源状况. 林业资源管理, 2010, (1): 1-8.
- [4] 王彦辉, 熊伟, 于澎湃, 沈振西, 郭明春, 管伟, 马长明, 叶兵, 郭浩. 干旱缺水地区森林植被蒸散耗水研究. 中国水土保持科学, 2006, 4(4): 19-25.
- [8] 赵风华, 盛文萍, 于贵瑞. 植物的蒸腾作用与生态系统水分平衡//于贵瑞, 王秋凤. 植物光合、蒸腾与水分利用的生理生态学. 北京: 科学出版社, 2010: 351-357.
- [10] 郭瑞萍, 莫兴国. 森林、草地和农田典型植被蒸散量的差异. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1751-1757.
- [11] 颜廷武, 邢兆凯, 尤文忠, 赵刚, 魏文俊, 张慧东. 辽宁冰砬山长白落叶松林能量平衡和蒸散的研究. 沈阳农业大学学报, 2009, 40(4): 449-452.
- [12] 刘园, 王颖, 杨晓光. 华北平原参考作物蒸散量变化特征及气候影响因素. 生态学报, 2010, 30(4): 923-932.
- [13] 王静, 宝音陶格涛. 羊草草原不同退化阶段群落蒸散量比较. 生态学杂志, 2007, 26(8): 1148-1152.
- [14] 戚培同, 古松, 唐艳鸿, 杜明远, 吴力博, 赵亮. 三种方法测定高寒草甸生态系统蒸散比较. 生态学报, 2008, 28(1): 202-211.
- [15] 奚歌, 刘绍民, 贾立. 黄河三角洲湿地蒸散量与典型植被的生态需水量. 生态学报, 2008, 28(11): 5356-5369.
- [16] 吴家兵, 关德新, 张弥, 韩士杰, 金昌杰. 涡动相关法与波文比-能量平衡法测算森林蒸散的比较研究——以长白山阔叶红松林为例. 生态学杂志, 2005, 24(10): 1245-1249.
- [17] 施婷婷, 关德新, 吴家兵, 张弥, 王安志, 金昌杰, 韩士杰. 用涡动相关技术观测长白山阔叶红松林蒸散特征. 北京林业大学学报, 2006, 28(6): 1-8.
- [29] 周怀平, 杨治平, 李红梅, 关春林. 秸秆还田和秋施肥对旱地玉米生长发育及水肥效应的影响. 应用生态学报, 2004, 15(7): 1231-1235.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 13 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Spatiotemporal variation of plant community aspections in the north-subtropical zone of eastern China	CHEN Xiaoqiu, QI Xiaoran, A Shan, et al (3559)
Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China	HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3569)
Intra- and inter-specific variations in stem respiration for 14 temperate tree species in northeastern China	XU Fei, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (3581)
Assessment of the ecological health of wetlands in Honghe supported by RS and GIS techniques	WANG Yihan, ZHOU Demin, SUN Yonghua (3590)
Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures	LAN Wenlu, WANG Xiaohui, LI Mingmin (3601)
Irreplaceability-based function zoning of nature reserves in the Three Rivers Headwater Region of Qinghai Province	QU Yi, WANG Xiulei, LUAN Xiaofeng, et al (3609)
Effects of snowmelt timing on individual growth and reproduction of <i>Pedicularis davidii</i> var. <i>pentodon</i> on the eastern Tibetan Plateau	CHEN Wennian, WU Yan, WU Ning, et al (3621)
Response of foliar $\delta^{13}\text{C}$ of <i>Quercus spinosa</i> to altitudinal gradients	FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (3629)
Soil water and nutrient characteristics of alfalfa grasslands at semi-arid and semi-arid prone to drought areas in southern Ningxia	REN Jingjing, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3638)
Aboveground biomass of natural <i>Castanopsis fissa</i> community at the Xiaokeng of NanLing Mountain, Southern China	LI Gen, ZHOU Guangyi, WANG Xu, et al (3650)
Impacts of grazing on herbage quality of the alpine and subalpine meadows within Wutai Mountain	ZHANG Yiping, JIANG Yuan, LIU Quanru, et al (3659)
Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of <i>Abies fabii</i> (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain	YANG Liudong, YANG Yan, WANG Genxu, et al (3668)
Manganese stress on morphological structures of leaf and ultrastructures of chloroplast of a manganese hyperaccumulator, <i>Phytolacca americana</i>	LIANG Wenbin, XUE Shengguo, SHEN Jihong, et al (3677)
Allelopathic potential of volatile oil from <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. on root tip cells of <i>Vicia faba</i>	HU WanJun, MA Danwei, WANG Yanan, et al (3684)
Contents and cycling of microelements in Karst urban poplar plantations	WANG Xinkai, TIAN Dalun, YAN Wende, et al (3691)
Fungal flora and population structure of polypores in the Great Xingan Mountains	CUI Baokai, YU Changjun (3700)
Growth competition characteristics of <i>Microcystis aeruginosa</i> Kutz and <i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kutz under non-steady-state nutrient limitation	ZHAO Xiaodong, PAN Jiang, LI Jinye, et al (3710)
The characters of salt-tolerance at different growth stages in cotton	WANG Junjuan, WANG Delong, FAN Weili, et al (3720)
Assessment of tributyltin ecotoxicity using a model animal nematode <i>Caenorhabditis elegans</i>	WANG Yun, YANG Yanan, JIAN Fenglei, et al (3728)
Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield	XIAO Nengwen, XIE Deyan, WANG Xuexia, et al (3736)
Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau	WU Pengfei, YANG Daxing (3745)
Characteristics of the soil environment of Dongting Lake wetlands and its response to the converting farmland to lake project	LIU Na, WANG Kelin, XIE Yonghong, et al (3758)
Modeling the changes of yield and deep soil water in apple orchards in Weibei rainfed highland	ZHANG Shehong, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3767)
Potential soil N_2O emissions and its controlling factors under different land use patterns on hilly-gully loess plateau	QI Jinhua, HUANG Yimei, ZHANG Hong, et al (3778)
Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China	SONG Guangshu, SUN Zhongfu, SUN Lei, et al (3788)
Effect of sulfur on chlorophyll fluorescence of flue-cured tobacco at maturation stage	ZHU Yinghua, TU Naimei, XIAO Hanqian, et al (3796)
Effects of high temperature and strong light on chlorophyll fluorescence, the D1 protein, and Deg1 protease in Satsuma mandarin, and the protective role of salicylic acid	QIU Cuihua, JI Weiwei, GUO Yanping (3802)
Effect of plastic film mulching on the distribution and translocation of nitrogen in soil-lettuce system	LI Lili, LI Feili, LIU Qiuya, et al (3811)
An analysis on spatio-temporal dynamics of suitable habitats for waterbirds based on spatial zonation at Chongming Dongtan, Shanghai	FAN Xuezhong, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (3820)
The bryophyte consumed by reindeers and species diversity of bryophyte in reindeer habitats	FENG Chao, BAI Xueliang (3830)
Evaluation of rainwater runoff storage by urban green spaces in Beijing	ZHANG Biao, XIE Gaodi, XUE Kang, et al (3839)
Review and Monograph	
Advances in methane-cycling microbial communities of permafrost and their response to global change	NI Yongqing, SHI Xuwei, ZHENG Xiaoji, et al (3846)
Heat transfer property of mammal pelage and its influencing factors	ZHENG Lei, ZHANG Wei, HUA Yan (3856)

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 13 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 13 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