

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第16期 Vol.31 No.16 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 (SHENTAI XUEBAO)

第31卷 第16期 2011年8月 (半月刊)

目 次

人工和天然湿地芦苇根际土壤细菌群落结构多样性的比较	汪仲琼,王为东,祝贵兵,等 (4489)
不同土壤水分下山杏光合作用光响应过程及其模拟	郎 莹,张光灿,张征坤,等 (4499)
不同颜色遮阳网遮光对丘陵茶园夏秋茶和春茶产量及主要生化成分的影响	秦志敏,付晓青,肖润林,等 (4509)
辐射迫对烟草叶激素水平、光合特性、荧光特性的影响	吴 坤,吴中红,邹付菊,等 (4517)
条浒苔和缘管浒苔对辐射迫的生理响应比较	蒋和平,郑青松,朱 明,等 (4525)
盐胁迫对拟南芥和盐芥莲座叶芥子油苷含量的影响	庞秋颖,陈思学,于 涛,等 (4534)
长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响	高菊生,曹卫东,李冬初,等 (4542)
基于水量平衡下灌区农田系统中氮素迁移及平衡的分析	杜 军,杨培岭,李云开,等 (4549)
苏北海滨湿地互花米草种子特征及实生苗生长	徐伟伟,王国祥,刘金娥,等 (4560)
基于AnnAGNPS模型的三峡库区秭归县非点源污染输出评价	田耀武,黄志霖,肖文发 (4568)
镉污染对不同生境拟水狼蛛氧化酶和金属硫蛋白应激的影响	张征田,庞振凌,夏 敏,等 (4579)
印度洋南赤道流区水体叶绿素a的分布及粒级结构	周亚东,王春生,王小谷,等 (4586)
长江口滩涂围垦后水鸟群落结构的变化——以南汇东滩为例	张 斌,袁 晓,裴恩乐,等 (4599)
应用鱼类完整性指数(FAII)评价长江口沿岸碎波带健康状况	毛成贵,钟俊生,蒋日进,等 (4609)
基于渔业调查的南极半岛北部水域南极磷虾种群年龄结构分析	朱国平,吴 强,冯春雷,等 (4620)
水稻模型ORYZA2000在湖南双季稻区的验证与适应性评价	莫志鸿,冯利平,邹海平,等 (4628)
旱地农田不同耕作系统的能量/碳平衡	王小彬,王 燕,代 快,等 (4638)
宁夏黄灌区稻田冬春休闲期硝态氮淋失量	王永生,杨世琦 (4653)
太湖沉积物有机碳与氮的来源	倪兆奎,李跃进,王圣瑞,等 (4661)
日偏食对乌鲁木齐空气可培养细菌群落的影响	马 晶,孙 建,张 涛,等 (4671)
灰飞虱与褐飞虱种内和种间密度效应比较	吕 进,曹婷婷,王丽萍,等 (4680)
圈养马来熊行为节律和时间分配的季节变化	兰存子,刘振生,王爱善,等 (4689)
塔里木荒漠河岸林干扰状况与林隙特征	韩 路,王海珍,陈加利,等 (4699)
珍稀植物伯乐树一年生更新幼苗的死亡原因和保育策略	乔 琦,秦新生,邢福武,等 (4709)
垃圾堆肥复合菌剂对干旱胁迫下草坪植物生理生态特性的影响	多立安,王晶晶,赵树兰 (4717)
CLM3.0-DGVM中植物叶面积指数与气候因子的时空关系	邵 璞,曾晓东 (4725)
基于生态效率的辽宁省循环经济分析	韩瑞玲,佟连军,宋亚楠 (4732)
专论与综述	
土壤食物网中的真菌/细菌比率及测定方法	曹志平,李德鹏,韩雪梅 (4741)
生态社区评价指标体系研究进展	周传斌,戴 欣,王如松,等 (4749)
问题讨论	
不同胁迫条件下化感与非化感水稻PAL多基因家族的差异表达	方长旬,王清水,余 彦,等 (4760)
研究简报	
钦州湾大型底栖动物生态学研究	王 迪,陈丕茂,马 媛 (4768)
人工恢复黄河三角洲湿地土壤碳氮含量变化特征	董凯凯,王 惠,杨丽原,等 (4778)
基于地统计学丰林自然保护区森林生物量估测及空间格局分析	刘晓梅,布仁仓,邓华卫,等 (4783)
晋西黄土区辽东栎、山杨树干液流比较研究	隋旭红,张建军,文万荣 (4791)
小兴安岭典型苔草和灌木沼泽N ₂ O排放及影响因子	石兰英,牟长城,田新民,等 (4799)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-08



封面图说: 在长白山麓低海拔地区的晚秋季节,成片的白桦林用无数根白色的树干、树枝烘托着林冠上跳动的金黄色叶片,共生的柞木树冠用更浓重的颜色显示了它的存在,整个山梁层林尽染,秋意浓浓。

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

隋旭红, 张建军, 文万荣. 晋西黄土区辽东栎、山杨树干液流比较研究. 生态学报, 2011, 31(16): 4791-4798.
Sui X H, Zhang J, Wen W R. Study on sap flow in forest of *Quercus liaotungensis* and *Populus davidiana* by using the TDP method. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(16): 4791-4798.

晋西黄土区辽东栎、山杨树干液流比较研究

隋旭红¹, 张建军^{1,2,*}, 文万荣³

(1. 北京林业大学水土保持学院; 2. 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;
3. 山西吉县国营红旗林场, 山西 吉县 042200)

摘要:于2009年生长季(4—10月),应用TDP(Thermal Dissipation Probe)热扩散探针技术,并结合同步测定的太阳辐射、大气温度、空气饱和水汽压差及大气相对湿度等气象因子,分析了晋西黄土区15年生辽东栎、山杨树干液流的昼夜变化及季节变化规律,建立了液流速率与气象因子的关系模型。结果表明:辽东栎和山杨树干液流速率昼夜变化显著,4月份和7月份峰值出现的时间不一致。4月份两个树种的峰值出现在清晨或夜间,而7月份树种树干液流速率于中午前后达到高峰。4月份两个树种夜间的树干液流速率明显大于白天,山杨的树干液流于中午前后接近于零。4月份,辽东栎和山杨树干液流速率的峰值分别为2.808 cm/h 和 1.188 cm/h,最小值为0.218 cm/h 和 0 cm/h,日平均液流速率为1.440 cm/h 和 0.516 cm/h; 7月份,辽东栎和山杨树干液流速率的峰值分别为12.276 cm/h 和 20.448 cm/h,最小值为0.144 cm/h 和 0.288 cm/h,日平均液流速率为3.656 cm/h 和 6.328 cm/h。7月份阴雨天时,辽东栎的液流速率峰值较晴天小,日平均液流速率是晴天的0.95倍,对山杨是0.75倍。4月份两树种树干液流速率的月平均值最低,只有1.106 cm/h 和 0.626 cm/h; 6月份达最高值5.112 cm/h 和 8.214 cm/h,分别是4月份的4.62倍和13.12倍。生长季(4—10月)的林分林木总蒸腾耗水量对于辽东栎林为201.14 mm,山杨林为56.43 mm,辽东栎林为山杨林的3.56倍。统计分析表明,影响树干液流速率的主要因子对辽东栎是大气温度和太阳辐射,对山杨是太阳辐射和空气饱和水汽压差。

关键词:晋西黄土区; 树干液流速率; 耗水量; 辽东栎; 山杨

Study on sap flow in forest of *Quercus liaotungensis* and *Populus davidiana* by using the TDP method

SUI Xuhong¹, ZHANG Jianjun^{1,2,*}, WEN Wanrong³

1 College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 Key Laboratory for Soil and Water Conservation & Desertification Combating of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

3 Jixian County Hongqi Forestry Farm in Shanxi Province, Shanxi Jixian 042200, China

Abstract: Stem sap flow of 15-year-old *Quercus liaotungensis* and *Populus davidiana* trees on the Loess Plateau, western Shanxi Province, was measured with a thermal dissipation probe during the growing season from April to October, 2009. Sap flow responses to meteorological factors, and diurnal and seasonal stem sap flow variations were analyzed. The objectives were to establish a sap flow rate model with meteorological factors and to provide a theoretical basis to establish a water-saving and drought-resistance model. Sap flow velocity (SFV) of both species exhibited diurnal patterns and was higher when soil water was abundant than during drought. The daily maximum SFV was in the morning or at night in April, while the stem sap flow increased sharply after sunrise and peaked around noon, and sap flow was weak or almost nonexistent from sunset to sunrise in July. The SFVs of both species at night were higher than during the day, which showed they suffered serious daytime water stress in April. The *P. davidiana* sap flow ‘noon-rest’ might be caused by high

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD38B06)

收稿日期:2010-06-17; 修订日期:2011-02-22

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

temperature or high light intensity in April. The daily SFV maximum values in April in *Q. liaotungensis* and *P. davidiana* were 2.808 and 1.188 cm/h, respectively, the minimum velocities were 0.218 and 0 cm/h, and the average values were 1.440 and 0.516 cm/h. In July, the daily maximum values of SFV in *Q. liaotungensis* and *P. davidiana* were 12.276 and 20.448 cm/h occurring between 10:00 and 16:00, the minimum values were 0.144 and 0.288 cm/h, and the average sap velocities of the two species were 3.656 and 6.328 cm/h, which showed that there existed a significant difference between the two tree species. The daily maximum and minimum SFVs in April were higher in *Q. liaotungensis*, whereas in July the daily maximum (occurring between 10:00 and 16:00) and minimum SFVs were higher in *P. davidiana*. The daily maximum SFV on sunny days was higher than on cloudy days for *Q. liaotungensis* in July; the average SFVs on cloudy days was 0.95-fold that on sunny days and 0.75-fold that of *P. davidiana*. There was shorter duration peak on cloudy days than on sunny days to *P. davidiana*. The lowest average SFVs were recorded in April (1.106 and 0.626 cm/h for *Q. liaotungensis* and *P. davidiana* respectively), whereas the highest values were recorded in June (5.112 and 8.214 cm/h; 4.62- and 13.12-fold those of April, respectively). The estimated total water consumption used for tree transpiration for *Q. liaotungensis* was much higher than that of *P. davidiana* over the whole growing season (201.14 mm and 56.43 mm, respectively; the former was 3.56-fold that of the latter). Diurnal changes in sap flow were closely related to changes in environmental variables, but the dominant environmental factors differed between the species. Air temperature and solar radiation were the main factors influencing diurnal changes in *Q. liaotungensis* SFV, whereas solar radiation and water vapor pressure deficit were the principal factors for *P. davidiana*. A statistical model to calculate SFV from micrometeorological data is provided.

Key Words: Loess Plateau in western Shanxi Province; sap flow velocity; water consumption; *Quercus liaotungensis*; *Populus davidiana*

林分蒸腾耗水规律的研究不仅是森林生态学和森林水文学关注的焦点,同时对于林业生态工程建设也具有重大意义。树木蒸腾在单株水平的测定有称重法、截干法和茎流速率法等。茎流速率的研究方法主要有化学示踪法、热平衡法、热脉冲法、TDP 热扩散探针法等^[1],不同测定方法的结果不尽相同。张小由等对胡杨树干液流的时空变异特性进行了研究,得出了不同深度和不同方位树干液流速率不同的结论^[2];孙鹏森、马履一研究了油松、刺槐及侧柏的液流变化及影响因子,得出辐射强度、风速、空气温度是影响液流的主要因子,而相对湿度与土壤温度是次要因子^[3-4];熊伟等研究了六盘山地区辽东栎和少脉椴的夏季蒸散现象,发现辽东栎树干液流密度在“相对静止期”比较稳定和微弱^[5];而李吉跃用热扩散探针法研究了北京地区的油松、栓皮栎的液流季节变化规律及环境影响因子,得出了在土壤干旱时期和水分供应充足时期两树种树干液流变化不同及适应土壤干旱机理不同的结论^[6]。许多学者针对晋西黄土区的油松、刺槐等乔木^[7-8]及黄刺玫、绣线菊、虎榛子等灌木^[9-10]的蒸腾耗水进行了研究,但利用 TDP 热扩散探针法对辽东栎、山杨的树干液流比较研究尚未见报道,为此本文选择晋西黄土区次生林的主要建群树种辽东栎、山杨,于2009年4—10月份采用 TDP 热扩散探针法测定了辽东栎、山杨的液流速率,探讨了两树种树干液流的日变化规律、季节变化特征及耗水量,以期为水资源短缺的晋西黄土区植被恢复与重建中低耗水树种的选择、合理种植密度的确定提供依据。

1 研究区概况

研究区位于山西吉县蔡家川流域,地理坐标为 110°39'45"—110°47'45"E, 36°14'27"—36°18'23"N, 属于典型的晋西黄土残塬沟壑区。该流域大体为由西向东走向,长约 14 km, 海拔 900—1513 m, 年均气温 10℃, 土壤为褐土, 黄土母质, 属暖温带大陆性气候, 多年平均降水量 575.9 mm, 降水量年际变化较大, 且季节分配不均匀, 旱季 4—6 月降水量占全年总降水量的 26.9%, 雨季 7—10 月占 64.2%。蒸发量达 1723.9 mm(用大型蒸发皿 E-601 观测)。流域中上游植被类型主要为白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)等组成的天然次生林, 中游为刺槐(*Robinia Pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、

侧柏(*Platycladus orientalis*)以及各种果树组成的人工林,流域内的主要灌木有连翘(*Forsythia suspensa*)、忍冬(*Lonicera japonica*)、山楂叶悬钩子(*Rubus crataegifolius*)、红瑞木(*Swida alba*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、绣线菊(*Spiraea trilobata*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、丁香(*Syringa julianae*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)等。

2 研究对象与方法

在对蔡家川流域内的次生林生长状况进行调查的基础上,选择10 m×10 m的标准地作为观测试验区。在试验区内通过每木调查,选择树干圆满、不偏心、不偏冠且胸径上下50 cm处无结疤的辽东栎和山杨各3株标准木作为观测样本,按照Dynamax说明书^[11-12]安装TDP热扩散探针后,于2009年4—10月份每隔10 min测定1次,30 min内对测定数据进行平均并存储。树干液流的计算采用Granier得出的计算公式^[13-14],各观测样本的基本情况见表1。本研究采用的TDP热扩散探针是利用热扩散原理,通过测定插入树干边材的热探针与参比探针的温度差计算茎流速率^[15-16]。气象因子观测采用自动气象站和数据采集器与树干液流同步观测。数据处理采用Excel和Spass软件完成。

表1 观测地基本情况

Table 1 Basic situation of the observed sites

树种 Species	树龄/ a Age	坡度/ ° Slope	坡向/ N° Aspect	郁闭度/% Canopy density	树高/m Height	胸径/cm Diameter	枝下高/m Under crown height	林分密度/ (株/hm ²) Population	草本覆 盖度/% Grass coverage	断面积/ (m ² /hm) Basal area	蓄积量/ (m ³ /hm) Storage capacity
辽东栎 <i>Q. liaotungensis</i>	15	35	40	40	7.1	6.7	4.3	1655	90	5.8	70.5
山杨 <i>P. davidiana</i>	15	35	40	35	8.6	7.2	4.6	300	90	5.1	63.0

表中数据是样方调查数据的均值,样方大小为10 m×10 m

3 结果与分析

3.1 4月份辽东栎、山杨树干液流速率的日变化

在4月份,降雨量仅10.7 mm,为全年干旱季节,此时2树种植株上的芽从芽苞中发出卷曲着的或按叶脉褶叠着的小叶,少数小叶完全平展,两树种叶片发育程度大体相似。

图1为4月14—16日晴天时辽东栎与山杨树干液流的连日变化曲线。由图可见,辽东栎和山杨树干液流速率变化趋势基本相同,清晨7:00—8:00左右达到峰值,然后逐渐下降,于12:00左右降到峰谷,午后(13:00以后)树干液流又复而上升,直至翌日8:00左右再达峰值。两树种液流速率变化曲线均为单峰或“准”单峰型,辽东栎的液流速率明显大于山杨。中午前后山杨树干液流接近于零主要是由于树体为了保存

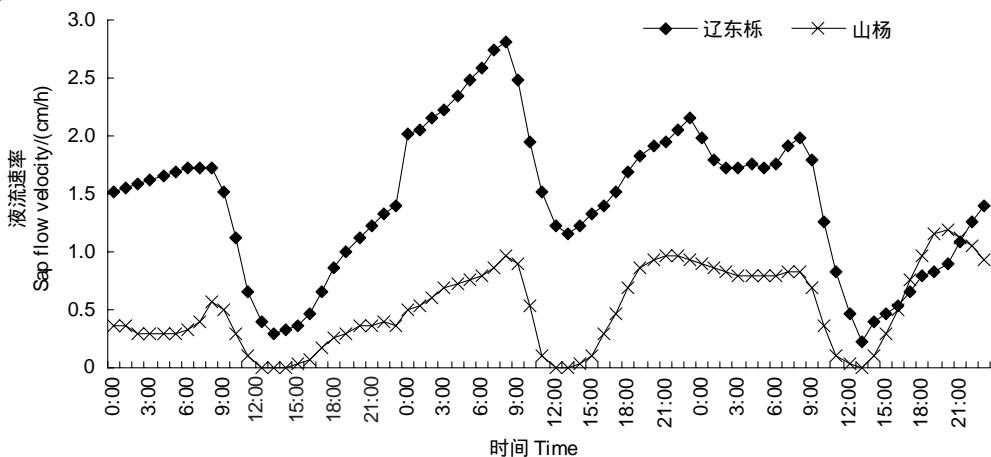


图1 4月14—16日辽东栎、山杨树干液流速率连日变化

Fig. 1 Diurnal fluctuation of sap flow velocity of *Quercus wutaishanica* and *Populus davidiana* in April 14th to 16th

体内的水分,短暂关闭或减小叶片气孔开合程度,降低植物体内水分蒸腾所致。

两树种夜间的树干液流速率明显大于白天说明树体受到了严重的水分胁迫,白天由于蒸腾失水强烈,在树体和土壤之间形成了较大水势差,但可能由于土壤导水率太低而产生空穴栓塞使得水分无法送到树冠上部,导致白天树干液流速率较低,夜间由于气孔关闭失水较少,树体和土壤之间的水势差变小,加上根压的作用有利于消除空穴栓塞促进水分输导,从而弥补树冠白天的水分消耗^[1]。该研究与周孝明对塔里木河下游胡杨的研究结果一致^[17]。

由表2可知,辽东栎的日平均液流速率是山杨的1.79—4.57倍,明显的反映了两树种液流速率的差异。4月份液流峰值的高低主要受土壤含水量的制约,而辽东栎和山杨液流于清晨或傍晚达峰值主要是在土壤水分不足的条件下此阶段太阳辐射较弱,气温较低而大气相对湿度较大所致。

表2 4月份辽东栎、山杨边材液流速率变化动态

Table 2 Diurnal sap flow velocity of *Quercus wutaishanica* and *Populus davidiana* in April

日期 Date	辽东栎 <i>Q. wutaishanica</i>			山杨 <i>P. davidiana</i>			日平均速率比值 (辽东栎/山杨) Average rate ratio
	峰值到达时间 Peak time	峰值/(cm/h) Peak	日平均速率 (cm/h) Average velocity	峰值到达时间 Peak time	峰值/(cm/h) Peak	日平均速率 (cm/h) Average velocity	
4月14日	7:00	1.728	1.152	8:00	0.576	0.252	4.32
4月15日	8:00	2.808	1.944	8:00	0.972	0.612	3.28
4月16日	8:00	1.980	1.224	20:00	1.188	0.684	1.76

3.2 7月份辽东栎、山杨树干液流速率的变化

7月份的降雨量为118.1mm,土壤水分充足,为全年湿润季节,因此选择11—17日的树干液流加以对比研究,其中11—13日为晴天,14—17日为阴雨天。

3.2.1 7月份辽东栎和山杨树干液流速率在晴天的变化特征

图2为7月份辽东栎和山杨树干液流在晴天时的连日变化曲线。由图可见,辽东栎和山杨树干液流表现出明显的昼夜变化规律,均于7:00—8:00开始上升,在10:00—12:00达到峰值后逐渐下降,于22:00左右降到谷底。树干液流速率维持较高值的时间对辽东栎为10:00—14:00,而山杨提前或晚1—2h。辽东栎峰值持续时间较短,呈窄峰曲线,而山杨峰值持续时间较长,表现为“宽峰”曲线。山杨液流速率明显高于辽东栎。

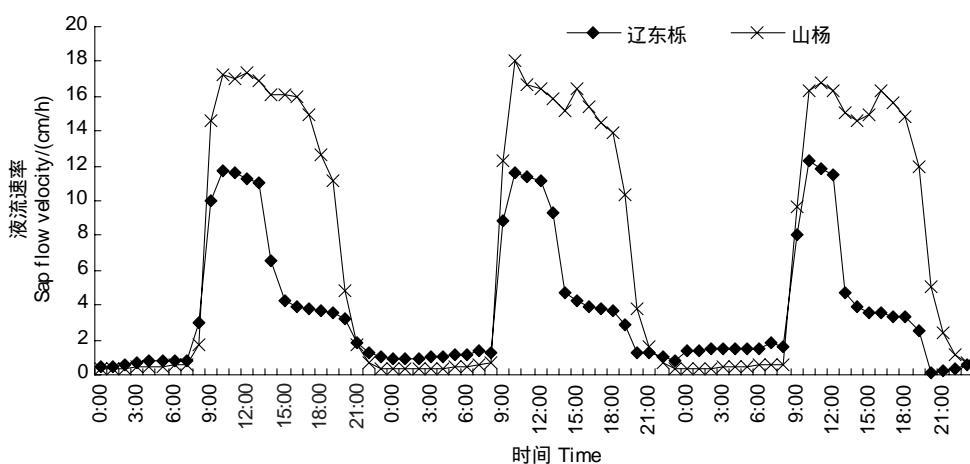


图2 辽东栎、山杨晴天时树干液流连日变化

Fig. 2 Diurnal fluctuation of sap flow velocity of *Quercus wutaishanica* and *Populus davidiana* in sunny days

两树种白天的树干液流速率较大是由于白天树木蒸腾量大,大量水分通过根系以被动方式吸收入体内,夜

间树干内存在微弱流量主要是由根压引起的,水分以主动方式进入树体补充白天蒸腾失水^[17]。辽东栎夜间树干液流速率大于山杨,说明前者在夜间具有更强的水分传输和补充树体内贮水的能力。

3.2.2 7月份辽东栎和山杨树干液流速率在阴雨天的日变化

图3为7月份辽东栎和山杨树干液流在阴雨天的日变化曲线,其中14和17日为阴天,15和16日为雨天。从图可看出,阴雨天时两树种液流的启动时间均在8:00—10:00,停止时间在19:00—21:00,峰值出现在白天,晚上液流速率较小。与阴天相比,辽东栎在雨天的波峰尖而窄,日平均速率较低,山杨变化不明显。阴天时辽东栎峰值到达时间较山杨迟2—4h。由表3可知,山杨的日平均液流速率是辽东栎的1.18—2.45倍,说明了山杨在阴雨天表现出了高耗水性。两树种在阴天时午间的液流值并未持续上升,这可能与气孔的午间关闭有关,此结论与韩海荣对山西太岳山辽东栎树干液流研究结论相似^[18]。

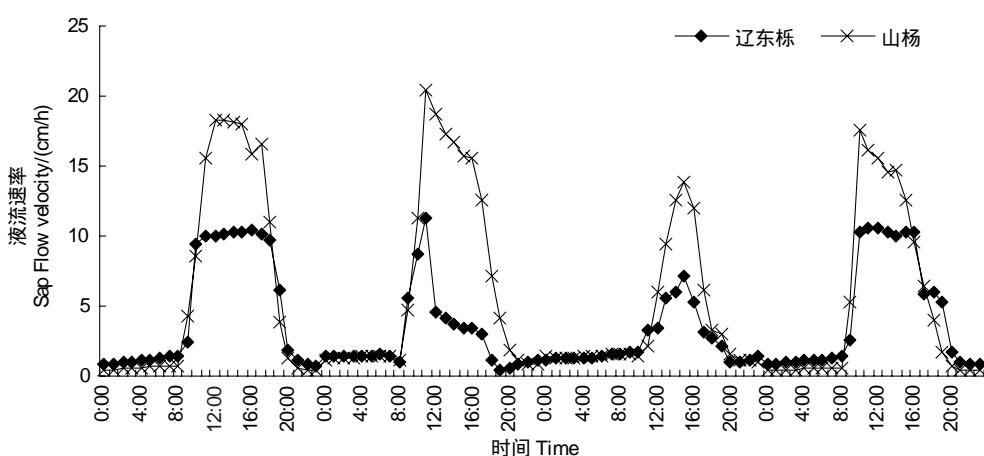


图3 辽东栎、山杨阴雨天时树干液流连日变化

Fig. 3 Diurnal fluctuation of sap flow velocity of *Quercus wutaishanica* and *Populus davidiana* in cloudy days

表3 辽东栎、山杨边材液流速率变化动态

Table 3 Diurnal sap flow velocity of *Quercus wutaishanica* and *Populus davidiana*

日期 Date	辽东栎 <i>Q. wutaishanica</i>				山杨 <i>P. davidiana</i>				平均速率比 值(山/辽) Average rate ratio(<i>Q./P.</i>)
	启动时间 Start time	峰值到 达时间 Peak time	峰值 /(cm/h) Peak	日平均速率 /(cm/h) Average velocity	启动时间 Start time	峰值到达时间 Peak time	峰值 /(cm/h) Peak	日平均速率 /(cm/h) Average velocity	
07-11	7:00	10:00	11.772	4.032	7:00	12:00	17.316	7.632	1.89
07-12	8:00	10:00	11.628	3.744	8:00	10:00	18.036	7.308	1.95
07-13	8:00	10:00	12.276	3.492	8:00	11:00	16.812	7.218	2.10
07-14	8:00	16:00	10.368	4.716	8:00	12:00	18.252	6.516	1.34
07-15	8:00	10:00	11.304	2.736	8:00	11:00	20.448	6.696	2.46
07-16	10:00	15:00	7.092	2.448	10:00	15:00	13.896	3.708	1.51
07-17	8:00	12:00	10.548	4.428	8:00	10:00	17.640	5.220	1.18

3.2.3 7月份辽东栎和山杨液流速率在不同天气下的比较分析

阴雨天时,辽东栎液流速率峰值到达时间较晴天迟2—6h,山杨迟1—3h,这与阴雨天较低的太阳辐射和较大的空气湿度降低了叶片气孔内外的蒸汽压梯度从而抑制液流的上升有关;两树种液流停止时间较晴天早3—4h。辽东栎阴雨天时的液流速率峰值较晴天小,日平均液流速率是晴天的0.95倍;山杨的波峰较晴天窄,日平均液流速率是晴天的0.75倍,此现象说明了雨季时期阴雨天气对辽东栎和山杨液流速率均有不同程度的减弱作用,减弱程度不同与植物的不同生态学特性有关。

3.3 典型月份树干液流的比较

在树叶刚萌芽的4月份,辽东栎和山杨树干液流峰值出现在夜间或清晨,分别为 2.808 cm/h 和 1.188 cm/h ,日平均液流速率分别为 1.440 cm/h 和 0.516 cm/h 。7月份,两树种树干液流于8:00左右启动,10:00—16:00达到峰值 12.276 cm/h 和 20.448 cm/h ,分别是4月份的4.37和17.21倍;日平均液流速率分别为 3.656 cm/h 和 6.328 cm/h ,是4月份的2.54和12.26倍。可见在不同月份液流速率差异显著。

3.4 辽东栎、山杨树干液流速率的季节性变化

树木边材液流速率的季节变化受气象、土壤等环境因子以及树木自身生长发育状况、生理特性等方面的影响,并呈现出明显的季节变化规律。表4为4—10月份辽东栎和山杨的树干液流月平均流速值。由表4可知,辽东栎6月份的日间平均液流速率与夜间平均液流速率的比值最大,为7.40,4月份比值最小,为0.53;而山杨于7月份达最大比值25.03,4月份达最小比值0.56。

表4 不同时期的树干液流月平均流速值

Table 4 The monthly average of stem sap velocity in different month (cm/h)

月份 Month	辽东栎 <i>Q. wutaishanica</i>				山杨 <i>P. davidiana</i>			
	Vs(日) Vs(Day)	Vs(夜) Vs(Night)	Vs	Vs(日)/Vs(夜) Vs(Day/Night)	Vs(日) Vs(Day)	Vs(夜) Vs(Night)	Vs	Vs(日)/Vs(夜) Vs(Day/Night)
4	0.763	1.448	1.106	0.53	0.448	0.803	0.626	0.56
5	5.957	2.437	4.197	2.44	7.323	3.734	5.529	1.96
6	9.007	1.218	5.112	7.40	15.796	0.631	8.214	25.03
7	7.137	1.434	4.285	4.98	13.877	0.946	7.412	14.67
8	5.374	1.147	3.261	4.69	11.803	1.824	6.814	6.47
9	4.362	1.008	2.685	4.32	10.097	0.499	5.298	20.23
10	3.651	1.311	2.481	2.79	3.609	3.053	3.331	1.18

Vs、Vs(日)、Vs(夜) 分别表示当月树干液流速率的平均值、日间平均液流速率和夜间平均液流速率

图4为辽东栎和山杨在不同时期的月平均液流速率变化曲线。由图可看出,2009年辽东栎和山杨月平均树干液流速率均于4月份达最小值,分别为 1.106 cm/h 和 0.626 cm/h ;6月份达最大值,分别为 5.112 cm/h 和 8.214 cm/h ,分别是4月份的4.62倍和13.12倍。除4月份外,山杨在其它月份的月平均树干液流速率均大于辽东栎。

3.5 林分的树木蒸腾耗水量估算

由于树木的液流量99.8%以上是用于蒸腾耗水^[19],所以可用液流量直接反映树木的蒸腾耗水能力,同时液流量是基于单位边材面积计算所得,作为一个耗水指标,具有较强的可比性。根据熊伟对辽东栎^[5]及孙龙对山杨^[20]胸径与边材面积关系的研究以及研究区的林分密度(表1)扩展至林分水平,最终估算出次生林

中辽东栎4—10月份的蒸腾耗水量分别为 9.46 、 37.09 、 43.72 、 37.87 、 28.82 、 22.96 、 21.22 mm ,山杨分别为 0.94 、 8.57 、 12.32 、 11.11 、 10.56 、 7.94 、 4.99 mm ,整个生长季总蒸腾耗水量辽东栎林为 201.14 mm ,山杨林为 56.43 mm ,辽东栎林为山杨林的3.56倍。

3.6 气象因子对树木边材液流速率的影响

气象因子对树干液流的影响是瞬时的、变动的,树木耗水作为一个开放的系统,外界气象因子的波动会在树体内部的液流上反应出来。建立气象因子与树干液流的数量关系,不但能揭示气象因子对植物水分生理变

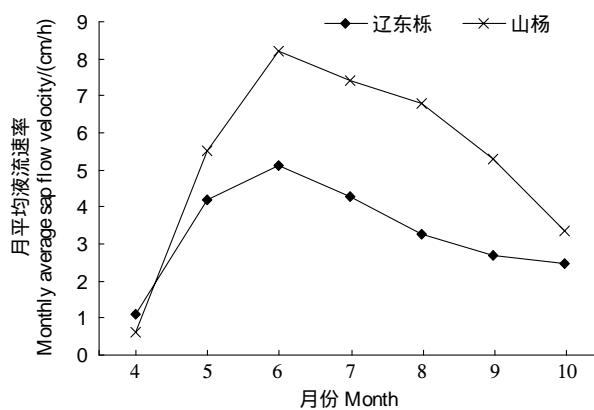


图4 辽东栎和山杨在不同时期的月平均液流速率变化

Fig. 4 The monthly average sap flow velocity of *Quercus wutaishanica* and *Populus davidiana* in different periods

化的影响,而且可以通过建立气象因子与树干液流的关系模型,运用环境指标法来预测植物的蒸腾量^[13]。为此本文对液流速率与太阳辐射(x_1)、大气温度(x_2)、空气饱和水汽压差(x_3)、大气相对湿度(x_4)进行Pearson相关分析,在0.01的显著性水平上,辽东栎液流速率与它们的相关系数分别为:0.683、0.724、0.513、-0.316;山杨树干液流速率与气象因子的相关系数分别为:0.817、0.457、0.621、-0.232。按相关系数的高低,气象因子对辽东栎液流速率的影响强度依次为:大气温度>太阳辐射>空气饱和水汽压差>大气相对湿度;对山杨依次为:太阳辐射>空气饱和水汽压差>大气温度>大气相对湿度。

在相关分析的基础上,运用SPSS统计软件,采用逐步回归的方法,分别以1%和10%的可靠性作为入选和剔除临界值,得到辽东栎和山杨树干边材液流速率与气象因子的多元线性回归模型:

$$Y_1 = -1.101 + 2.131 \times 10^{-3}x_2 + 1.033 \times 10^{-5}x_1 \quad (R^2 = 0.826) \quad (1)$$

$$Y_2 = -0.003 + 1.987 \times 10^{-2}x_1 - 2.325 \times 10^{-3}x_3 \quad (R^2 = 0.901) \quad (2)$$

式中, Y_1 和 Y_2 分别为辽东栎和山杨的树干液流速率。方程(1)中被剔除的因子是空气饱和水汽压差和大气相对湿度,方程(2)中被剔除的因子为大气温度和大气相对湿度。因此影响树干液流速率的主要因子对辽东栎是大气温度和太阳辐射,对山杨是太阳辐射和空气饱和水汽压差。

4 结果与讨论

1)山杨和辽东栎树干液流速率的日变化曲线为单峰或“准”单峰型,日变化规律相似。4月份,两树种均于清晨7:00—8:00左右达到峰值后下降,于13:00左右又复而上升,直至次日8:00再达峰值;7月份,树干液流于7:00—8:00启动,于10:00—12:00达到峰值后下降于22:00左右达到最小值。

2)4月份,辽东栎和山杨树干液流速率的峰值分别为2.808 cm/h和1.188 cm/h,日平均液流速率分别为1.440 cm/h和0.516 cm/h。7月份液流峰值为12.276 cm/h和20.448 cm/h,分别是4月份的4.37和17.21倍;日平均液流速率分别为3.656 cm/h和6.328 cm/h,是4月份的2.54和12.26倍。可见不同月份液流速率差异显著。

3)辽东栎和山杨月平均树干液流速率均于4月份达最小值1.106 cm/h和0.626 cm/h,6月份达最大值5.112 cm/h和8.214 cm/h,分别是4月份的4.62倍和13.12倍。

4)生长季的林木总蒸腾耗水量对辽东栎林为201.14 mm,对山杨林为56.43 mm,辽东栎林为山杨林的3.56倍。大气温度和太阳辐射是影响辽东栎树干液流的主要因子,影响山杨液流的主要因子是太阳辐射和空气饱和水汽压差。

5)辽东栎、山杨在不同时期的月平均液流速率变化趋势不同。4月份树木刚刚从休眠状态恢复,气温较低,降水量较少,因此液流速率较低,而进入5月份以来,气温有所回升,土温也在上升,树种也开始进入生长季节,需要吸收水分来完成体内的各种新陈代谢,表现在液流速率上也有了较大幅度的提高。随后树木处于旺盛的生长时期,气候条件适宜及降水的增加使植物生长迅速,蒸腾加强,但在气温高、降水少的月份也可能限制蒸腾作用的进行,进入到10月份,随着光照强度的减弱和温度的降低,树体代谢减慢,蒸腾速率也随之降低。

6)本研究通过选择典型天气就晋西黄土区辽东栎和山杨在旱季和雨季的液流进行了比较分析,但液流速率的影响因素很多,影响机制复杂,除环境因子之外,树木本身的生物学结构决定液流的潜在能力,例如:树木木质部的木质与液质比、边材比率、木质部的导水率、气孔导度等都会影响到液流。只有准确了解树木的生物学结构和环境因子对树干液流的影响机制,才能彻底了解树干液流运移规律,才能对树木之间的蒸腾耗水量进行比较。由于实验条件和设备的限制,本实验缺少对土壤水分及其它影响因子的观测。

References:

- [1] Kramer P J, Boyer J S. Water Relations of Plants and Soils. London: Academic Press Inc, 1995: 1-15,224, 242-243.
- [2] Zang X Y, Gong J D, Zhou M X, Si J H. Spatial and temporal characteristics of stem sap flow of populus euphratica. Journal of Desert Research, 2004, 24(4): 489-492.

- [3] Sun P S, Ma L Y, Wang X P, Zhai M P. Temporal and spacial variation of sap flow of Chinese pine. *Journal of Beijing Forestry University*, 2000, 22(5) : 1-6.
- [4] Ma L Y, Wang H T, Lin P. Comparison of water consumption of some afforestation species in Beijing area. *Journal of Beijing Forestry University*, 2003, 25(2) : 1-7.
- [5] Xiong W, Wang Y H, Yu P T, Shi Z J, Shen Z X, Guo M C. Evapotranspiration of natural *Quercus liaotungensis* and *Tilia paucicostata* secondary stands in Liupan Mountains of Ningxia. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(9) : 1628-1632.
- [6] Nie L S, Li J Y, Zhai H B. Study of the rate of stem sap flow in *Pinus tabulaeformis* and *Quercus variabilis* by using the TDP method. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8) : 1934-1940.
- [7] Hou Z Y, He K N, Zhang X Q. Study on water requirement of black locust forest in semi-arid region on Loess Plateau of Northwest Shanxi. *Journal of Soil Water Conservation*, 2003, 17(4) : 180-183.
- [8] Wang B T, Yang X S. Study on befitting soil moisture of Chinese Pine and Chinese Arborvitae. *Journal of Soil Water Conservation*, 2002, 16(1) : 80-83.
- [9] Yang J H, Li H Y, Li H P, Yang D Y, Li P. Study on root distribution and impact on Holding Soil of Four Kinds of Shrubbery. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(3) : 48-51.
- [10] Wang H Z, Liang Z S, Han R L, Han L. Changes of water consumption regularity of native tree species in Loess Plateau under different soil water contents. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2005, 33(6) : 57-63.
- [11] Sun H Z, Zhou X F, Zhao H X. A researches on stem sap flow dynamics of *Betula platyphylla*. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9) : 1387-1391.
- [12] Liu D L. Spatial variation of sap flow of *Pinus tabulaeformis*. *Journal of Northeast Forestry University*, 2008, 36(5) : 15-18.
- [13] Ma L Y, Wang H T. Spatial and chronic fluctuation of sapwood flow and its relevant variables of *Pinus tabulaeformis*. *Journal of Beijing Forest University*, 2002, 24(3) : 23-27.
- [14] Rust S. Comparison of three methods for determining the conductive xylem area of Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Forestry*, 1999, 72(2) : 103-108.
- [15] Nie L S, Li J Y. Research on the rate of stem sap flow in *Pinus tabulaeformis* by using TDP method. *Journal of Beijing Forest University*, 2004, 26(6) : 49-56.
- [16] Wang H T, Ma L Y. Measurement of whole tree's water consumotion with thermal dissipation sap flow probe (TDP). *Acta Phytoecologica Sinica*, 2002, 26(6) : 661-667.
- [17] Zhou X M, Chen Y N, Li W H, He B, Hao X M. Study of sap flow in stem of *Populus Euphratica* in lower reaches of Tarim River. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(4) : 673 - 678.
- [18] Cao W Q, Han H R, Ma Q Y, Kang F F, Lin C. Sap flow flux of *Quercus liaotungensis* in summer in deciduous broad-leaf forest of Taiyue Mountain in Shanxi Province. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(2) : 174-177.
- [19] Wang S S, Gao R F, Wu G M. *Acta Phytophysiologica*. 2nd edition. Beijing: China Forestry Press, 1991:192.
- [20] Sun L. Sap flow flux of main forest types in Eastern Region of Northeastern China. Harbin: Northeast Forestry University, 2006.

参考文献:

- [2] 张小由, 龚家栋, 周茂先, 司建华. 胡杨树干液流的时空变异性研究. *中国沙漠*, 2004, 24 (4) : 489-492.
- [3] 孙鹏森, 马履一, 王小平, 翟明普. 油松树干液流的时空变异性研究. *北京林业大学学报*, 2000, 22(5) : 1-6.
- [4] 马履一, 王华田, 林平. 北京地区几个造林树种耗水性比较研究. *北京林业大学学报*, 2003, 25(2) : 1-7.
- [5] 熊伟, 王彦辉, 于澎涛, 时忠杰, 沈振西, 郭明春. 六盘山辽东栎、少脉椴天然次生林夏季蒸散研究. *应用生态学报*, 2005, 16(9) : 1628-1632.
- [6] 聂立水, 李吉跃, 翟洪波. 油松、栓皮栎树干液流速率比较. *生态学报*, 2005, 25(8) : 1934-1940.
- [7] 侯振宇, 贺康宁, 张小全. 晋西黄土高原半干旱区刺槐林分需水量的研究. *水土保持学报*, 2003, 17(4) : 180-183.
- [8] 王百田, 杨雪松. 黄土半干旱地区油松与侧柏林分适宜土壤含水量研究. *水土保持学报*, 2002, 16(1) : 80-83.
- [9] 杨吉华, 李红云, 李焕平, 杨德运, 李萍. 4种灌木林地根系分布特征及其固持土壤效应的研究. *水土保持学报*, 2007, 21(3) : 48-51.
- [10] 王海珍, 梁宗锁, 韩蕊莲, 韩路. 不同土壤水分条件下黄土高原乡土树种耗水规律研究. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2005, 33(6) : 57-63.
- [11] 孙慧珍, 周晓峰, 赵惠勋. 白桦树干液流的动态研究. *生态学报*, 2002, 22(9) : 1387-1391.
- [12] 刘德良. 油松树干边材液流空间变化规律. *东北林业大学学报*, 2008, 36(5) : 15-18.
- [13] 马履一, 王华田. 油松边材液流时空变化及其影响因子研究. *北京林业大学学报*, 2002, 24(3) : 23-27.
- [15] 聂立水, 李吉跃. 应用 TDP 技术研究油松树干液流流速. *北京林业大学学报*, 2004, 26(6) : 49-56.
- [16] 王华田, 马履一. 利用热扩式边材液流探针(TDP)测定树木整株蒸腾耗水量的研究. *植物生态学报*, 2002, 26(6) : 661-667.
- [17] 周孝明, 陈亚宁, 李卫红, 何斌, 郝兴明. 塔里木河下游胡杨树干液流特征研究. *中国沙漠*, 2008, 28(4) : 673-678.
- [18] 曹文强, 韩海荣, 马钦彦, 康峰峰, 蔺琛. 山西太岳山辽东栎子夏季树干液流通量研究. *林业科学*, 2004, 40(2) : 174-177.
- [19] 王沙生, 高荣孚, 吴贵明. 植物生理学. 第2版. 北京: 中国林业出版社, 1991:192.
- [20] 孙龙. 东北东部山区主要林型树木边材液流通量研究. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31 ,No. 16 August, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

- A comparative study on the diversity of rhizospheric bacteria community structure in constructed wetland and natural wetland with reed domination WANG Zhongqiong, WANG Weidong, ZHU Guibing, et al (4489)
- Light response of photosynthesis and its simulation in leaves of *Prunus sibirica* L. under different soil water conditions LANG Ying, ZHANG Guangcan, ZHANG Zhengkun, et al (4499)
- Effects of colour shading on the yield and main biochemical components of summer-autumn tea and spring tea in a hilly tea field QIN Zhimin, FU Xiaoqing, XIAO Runlin, et al (4509)
- Effects of cadmium on the contents of phytohormones, photosynthetic performance and fluorescent characteristics in tobacco leaves WU Kun, WU Zhonghong, TAI Fujie, et al (4517)
- Comparative physiological responses of cadmium stress on *Enteromorpha clathrata* and *Enteromorpha linza* JIANG Heping, ZHENG Qingsong, ZHU Ming, et al (4525)
- Effects of salt stress on glucosinolate contents in *Arabidopsis thaliana* and *Thellungiella halophila* rosette leaves PANG Qiuying, CHEN Sixue, YU Tao, et al (4534)
- Effects of long-term double-rice and green manure rotation on rice yield and soil organic matter in paddy field GAO Jusheng, CAO Weidong, LI Dongchu, et al (4542)
- Nitrogen balance in the farmland system based on water balance in Hetao irrigation district, Inner Mongolia DU Jun, YANG Peiling, LI Yunkai, et al (4549)
- Seed characteristics and seedling growth of *Spartina alterniflora* on coastal wetland of North Jiangsu XU Weiwei, WANG Guoxiang, LIU Jin'e, et al (4560)
- Assessment of non-point source pollution export from Zigui county in the Three Gorges Reservoir area using the AnnAGNPS model TIAN Yaowu, HUANG Zhilin, XIAO Wenfa (4568)
- Effects of Cadmium pollution on oxidative stress and metallothionein content in *Pirata subpiraticus* (Araneae: Lycosidae) in different habitats ZHANG Zhengtian, PANG Zhenling, XIA Min, et al (4579)
- The distribution of size-fractionated chlorophyll a in the Indian Ocean South Equatorial Current ZHOU Yadong, WANG Chunsheng, WANG Xiaogu, et al (4586)
- Change of waterbird community structure after the intertidal mudflat reclamation in the Yangtze River Mouth: a case study of NanHui Dongtan area ZHANG Bin, YUAN Xiao, PEI Enle, et al (4599)
- Application of fish assemblage integrity index(FAII) in the environment quality assessment of surf zone of Yangtze River estuary MAO Chengze, ZHONG Junsheng, JIANG Rijin, et al (4609)
- Population age structure of Antarctic krill *Euphausia superba* off the northern Antarctic Peninsula based on fishery survey ZHU Guoping, WU Qiang, FENG Chunlei, et al (4620)
- Validation and adaptability evaluation of rice growth model ORYZA2000 in double cropping rice area of Hunan Province MO Zhihong, FENG Liping, ZOU Haiping, et al (4628)
- Coupled energy and carbon balance analysis under dryland tillage systems WANG Xiaobin, WANG Yan, DAI Kuai, et al (4638)
- The nitrate-nitrogen leaching amount in paddy winter-spring fallow period WANG Yongsheng, YANG Shiqi (4653)
- The sources of organic carbon and nitrogen in sediment of Taihu Lake NI Zhaokui, LI Yuejin, WANG Shengrui, et al (4661)
- Effect of partial solar eclipse on airborne culturable bacterial community in Urumqi MA Jing, SUN Jian, ZHANG Tao, et al (4671)
- Comparative study on density related intra- and inter-specific effects in *Laodelphax striatellus* (Fallen) and *Nilaparvata lugens* (Stål) LÜ Jin, CAO Tingting, WANG Liping, et al (4680)
- Behavior rhythm and seasonal variation of time budget of sun bear (*Helarctos malayanus*) in captivity LAN Cunzi, LIU Zhenheng, WANG Aishan, et al (4689)
- Disturbance regimes and gaps characteristics of the desert riparian forest at the middle reaches of Tarim River HAN Lu, WANG Haizhen, CHEN Jiali, et al (4699)
- Death causes and conservation strategies of the annual regenerated seedlings of rare plant, *Bretschneidera sinensis* QIAO Qi, QIN Xinsheng, XING Fuwu, et al (4709)
- Effects of municipal compost extracted complex microbial communities on physio-ecological characteristics of turfgrass under drought stress DUO Lian, WANG Jingjing, ZHAO Shulan (4717)
- Spatiotemporal relationship of leaf area index simulated by CLM3.0-DGVM and climatic factors SHAO Pu, ZENG Xiaodong (4725)
- Analysis of circular economy of Liaoning Province based on eco-efficiency HAN Ruiling, TONG Lianjun, SONG Yanan (4732)
- Review and Monograph**
- The fungal to bacterial ratio in soil food webs, and its measurement CAO Zhiping, LI Depeng, HAN Xuemei (4741)
- Indicators for evaluating sustainable communities: a review ZHOU Chuanbin, DAI Xin, WANG Rusong, et al (4749)
- Discussion**
- Differential expression of *PAL* multigene family in allelopathic rice and its counterpart exposed to stressful conditions FANG Changxun, WANG Qingshui, YU Yan, et al (4760)
- Scientific Note**
- Ecology study on the benthic animals of QinZhou Bay WANG Di, CHEN Pimao, MA Yuan (4768)
- Change characteristics of soil carbon and nitrogen contents in the Yellow River Delta soil after artificial restoration DONG Kaikai, WANG Hui, YANG Liyuan, et al (4778)
- Estimation and spatial pattern analysis of forest biomass in Fenglin Nature Reserve based on Geostatistics LIU Xiaomei, BU Rencang, DENG Huawei, et al (4783)
- Study on sap flow in forest of *Quercus liaotungensis* and *Populus davidiana* by using the TDP method SUI Xuhong, ZHANG Jianjun, WEN Wanrong (4791)
- N_2O Emission and its driving factors from typical marsh and shrub swamp in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China SHI Lanying, MU Changcheng, TIAN Xinmin, et al (4799)

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

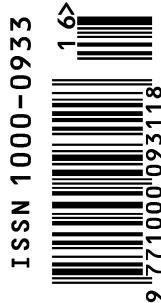
编辑部主任 孔红梅

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 16 期 (2011 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 16 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