

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

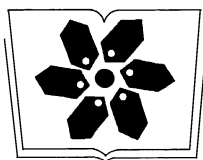
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 24 期 Vol.32 No.24 **2012**

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 32 卷 第 24 期

2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

从文献计量角度分析中国生物多样性研究现状.....	刘爱原,郭玉清,李世颖,等 (7635)
CO ₂ 浓度升高和模拟氮沉降对青川箭竹叶营养质量的影响.....	周先容,汪建华,张 红,等 (7644)
陕西中部黄土高原地区空气花粉组成及其与气候因子的关系——以洛川县下黑木沟村为例.....	吕素青,李月从,许清海,等 (7654)
长三角地区 1995—2007 年生态资产时空变化.....	徐昔保,陈 爽,杨桂山 (7667)
基于智能体模型的青岛市林地生态格局评价与优化.....	傅 强,毛 锋,王天青,等 (7676)
青藏高原高寒草地生态系统服务功能的互作机制.....	刘兴元,龙瑞军,尚占环 (7688)
北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估.....	张 彪,高吉喜,谢高地,等 (7698)
武汉市造纸行业资源代谢分析.....	施晓清,李笑诺,赵吝加,等 (7706)
丽江市家庭能耗碳排放特征及影响因素.....	王丹寅,唐明方,任 引,等 (7716)
基于分布式水文模型和福利成本法的生态补偿空间选择研究.....	宋晓谕,刘玉卿,邓晓红,等 (7722)
设施塑料大棚风洞试验及风压分布规律.....	杨再强,张 波,薛晓萍,等 (7730)
湖南珍稀濒危植物——珙桐种群数量动态.....	刘海洋,金晓玲,沈守云,等 (7738)
云南岩陀及其近缘种质资源群体表型多样性.....	李萍萍,孟衡玲,陈军文,等 (7747)
沙埋和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发、出苗和幼苗生长的影响.....	杨慧玲,梁振雷,朱选伟,等 (7757)
栗山天牛天敌花绒寄甲在栎林中的种群保持机制.....	杨忠岐,唐艳龙,姜 静,等 (7764)
基于相邻木排列关系的混交度研究.....	娄明华,汤孟平,仇建习,等 (7774)
三种回归分析方法在 Hyperion 影像 LAI 反演中的比较.....	孙 华,鞠洪波,张怀清,等 (7781)
红松和蒙古栎种子萌发及幼苗生长对升温与降水综合作用的响应.....	赵 娟,宋 媛,孙 涛,等 (7791)
新疆杨边材贮存水分对单株液流通量的影响.....	党宏忠,李 卫,张友焱,等 (7801)
火干扰对小兴安岭毛赤杨沼泽温室气体排放动态影响及其影响因素.....	顾 韩,牟长城,张博文 (7808)
不同潮汐和盐度下红树植物幼苗秋茄的化学计量特征.....	刘滨尔,廖宝文,方展强 (7818)
腾格里沙漠东南缘沙质草地灌丛化对地表径流及氮流失的影响.....	李小军,高永平 (7828)
西双版纳人工雨林群落结构及其林下降雨侵蚀力特征.....	邓 云,唐炎林,曹 敏,等 (7836)
西南高山地区净生态系统生产力时空动态.....	庞 瑞,顾峰雪,张远东,等 (7844)
南北样带温带区栎属树种种子化学组成与气候因子的关系.....	李东胜,史作民,刘世荣,等 (7857)
模拟酸雨对龙眼叶片 PS II 反应中心和自由基代谢的影响.....	李永裕,潘腾飞,余 东,等 (7866)
沈阳市城郊表层土壤有机污染评价.....	崔 健,都基众,马宏伟,等 (7874)
降雨对旱作春玉米农田土壤呼吸动态的影响.....	高 翔,郝卫平,顾峰雪,等 (7883)
冬季作物种植对双季稻根系酶活性及形态指标的影响.....	于天一,逢焕成,任天志,等 (7894)
施氮量对小麦/玉米带田土壤水分及硝态氮的影响.....	杨蕊菊,柴守玺,马忠明 (7905)
微山湖鸟类多样性特征及其影响因素.....	吕昭智,潘卫林,张 鑫,等 (7913)
新疆北部棉区作物景观多样性对棉铃虫种群的影响.....	吕昭智,潘卫林,张 鑫,等 (7925)
杭州西湖北里湖沉积物氮磷内源静态释放的季节变化及通量估算.....	刘静静,董春颖,宋英琦,等 (7932)
基于实码遗传算法的湖泊水质模型参数优化.....	郭 静,陈求稳,张晓晴,等 (7940)
气候环境因子和捕捞压力对南海北部带鱼渔获量变动的影响.....	王跃中,孙典荣,陈作志,等 (7948)
象山港南沙岛不同养殖类型沉积物酸可挥发性硫化物的时空分布.....	颜婷茹,焦海峰,毛玉泽,等 (7958)
专论与综述	
提高植物抗寒性的机理研究进展.....	徐呈祥 (7966)
植被对多年冻土的影响研究进展.....	常晓丽,金会军,王永平,等 (7981)
凋落物分解主场效应及其土壤生物驱动.....	查同刚,张志强,孙 阁,等 (7991)
街尘与城市降雨径流污染的关系综述.....	赵洪涛,李叙勇,尹澄清 (8001)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 374 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 40 * 2012-12	

封面图说: 永兴岛海滩植被——永兴岛是中国西沙群岛的主岛,也是西沙群岛及南海诸岛中最大的岛屿。国务院 2012 年 6 月批准设立的地级三沙市,管辖西沙群岛、中沙群岛、南沙群岛的岛礁及其海域,三沙市人民政府就驻西沙永兴岛。永兴岛岛上自然植被密布,野生植物有 148 种,占西沙野生植物总数的 89%,主要树种有草海桐(羊角树)、麻枫桐、野枇杷、海棠树和椰树等。其中草海桐也称为羊角树,是多年生常绿亚灌木植物,它们总是喜欢倚在珊瑚礁岸或是与其他滨海植物聚生于海岸沙滩,为典型的滨海植物。

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

DOI: 10.5846/stxb201202100173

党宏忠, 李卫, 张友焱, 莫保儒. 新疆杨边材贮存水分对单株液流通量的影响. 生态学报, 2012, 32(24): 7801-7807.

Dang H Z, Li W, Zhang Y Y, Mo B R. Impacts of water stored in sapwood *Populus bolleana* on its sap flux. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(24): 7801-7807.

新疆杨边材贮存水分对单株液流通量的影响

党宏忠^{1,*}, 李 卫¹, 张友焱¹, 莫保儒²

(1. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091; 2. 甘肃省林业科学研究院, 兰州 730000)

摘要: 树木体内贮存水分量的大小及其参与液流循环的程度被认为是树木抵御干旱胁迫的重要机制之一。以我国北方广泛适生的新疆杨为研究对象, 利用热扩散技术(TDP)分别监测了树冠基部、树杆基部处液流通量, 并结合同步气象观测, 分析了树杆不同高度处液流通量与大气蒸发潜力(ET_0)间的关系, 发现: 冠基部的液流通量(Q_u)是估算新疆杨单株液流通量可靠的指标, 试验期间(6—9月)典型晴天日 Q_u 日平均值为 (7.61 ± 0.65) L/d, 比云天、阴天分别高 0.41 和 2.71 L/d。新疆杨杆基部液流通量(Q_d)在不同季节变化较大, 在前 3 个月的典型晴天日, Q_d 小于 Q_u , 树木处于失水过程, 但在 8 月下旬连续多日降雨后迅速增加而反超, 新疆杨能通过这种方式缓解季节间的水分亏缺, 维持水分的总体平衡。在 8 月下旬连续多日降雨、土壤水分得到有效改善后, Q_d 占全天液流总量的比例由先前的 31.98%—35.36% 下降到 6.72%—7.99%, 夜间液流成为补偿与缓解日间水分亏缺的重要方式。在整个生长季内, 新疆杨体内经历了水分补充(6月)—失水(7、8月份)—再补充(9月)的过程。 ET_0 是评价液流环境驱动效应可靠的综合变量, 建立基于 Logistic 方程的模型可通过 ET_0 较好的估算 Q_u , 估算新疆杨 Q_u 的上限约为 7.82 L/d。分析显示当 ET_0 超过 5mm/d 时, Q_u 、 Q_d 均不再随 ET_0 的增加而增加或有下降, 显示了树木主动保护、抵御干旱的策略。8 月下旬连续降雨使得新疆杨蒸腾量占大气蒸发潜力的比例(T/ET_0)由先前的 0.32 增加到之后的 0.47, 可以看出土壤水分改善对液流量的贡献较大。

关键词: 新疆杨(*Populus bolleana*); 液流; 大气蒸发潜力(ET_0); 热扩散技术

Impacts of water stored in sapwood *Populus bolleana* on its sap flux

DANG Hongzhong^{1,*}, LI Wei¹, ZHANG Youyan¹, MO Baoru²

1 Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Gansu Academy of Forestry, Lanzhou 730000, China

Abstract: Water amount stored in sapwood and its participation in sap flow cycle are considered to be one of the important mechanisms for trees' drought resistance. Based on monitoring the sap flux of *Populus bolleana* at crown base and stem base with thermal dissipation probe technique (TDP), combined with synchronous meteorological observation, this paper analyzed the relationship between sap flow fluxes and atmospheric evaporation potential (ET_0) at two positions. Results showed that sap flow flux at crown base (Q_u) was a reliable indicator for estimating sap flux of *P. bolleana* individuals. The average daily Q_u in typical sunny days from June to September was (7.61 ± 0.65) L/d, which was higher than those in cloudy and overcast days by 0.41 and 2.71 L/d respectively. The sap flow flux in stem base (Q_d), varied greatly in different seasons, was lower than Q_u during the sunny days from June to August but reversed rapidly in late August following continuous rainfall, by which *P. bolleana* maintained water-balance and solved water deficit partly. After continued rainfall in late August, soil moisture improved effectively, so the percentage of nocturnal sap flux to total daily Q_d reduced from 31.98—35.36% to 6.72%—7.99%, by which water deficit could be compensated effectively. *P. bolleana* have experienced water supplement (in June), loss (in July and August) and re-supplement (in September) processes during

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31070628)

收稿日期: 2012-02-10; 修订日期: 2012-07-30

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

the whole growing season. ET_0 was a reliable integrated variable for evaluating sap flow environment-driving effects which could be modeled well with Q_u by Logistic equation, the modeled results showed that the maximum of Q_u was 7.82 L/d. When ET_0 is more than 5 mm/d, Q_u and Q_d no longer increased, which is a kind of positive drought resisting strategy of *Populus bolleana*. The continuous rainfall in late August caused the ratio of transpiration to ET_0 (T/ET_0) increased from 0.32 to 0.47, obviously, the improvement of soil moisture affected sap flux of *P. bolleana* significantly.

Key Words: *Populus bolleana*; sap flow; potential evapotranspiration (ET_0); thermal dissipation probe technique (TDP)

利用热技术来监测树杆液流通量已经成为揭示树木水分利用机制、估算单株、林分蒸腾耗水量的重要手段之一^[1-2]。研究发现树杆贮存水分对树木日蒸腾耗水量的贡献从不足 20%^[3-5]到多达 30%—50%^[6-7],因此,树杆贮存水分可能是树木应对干旱、优化水分利用重要的缓冲器。但目前的研究主要是对贡献量的总体的认识,对于树杆贮存水分如何参与液流循环的过程,以及该过程如何受生物、环境因子的驱动,尚没有统一的认识。研究还发现,在环境因子中气象因子(太阳辐射、大气水汽压亏缺等)对液流通量的影响远比土壤水分灵敏^[8-9],因此大气蒸发潜力(ET_0)常被看作为表达大气蒸发需求、分析液流过程驱动机制的可靠的综合变量^[5]。

新疆杨(*Populus bolleana*)属于窄冠型树种,分枝角度小,胁地少,是我国北方普遍栽种的优良的防护树种^[8],本研究通过在新疆杨单株的两个典型高度处(冠基部、树杆基部)分别安装热扩散探针,利用 Granier TDP 技术^[11-12]连续监测整个生长季内的液流密度,计算液流通量来确定边材贮存水分对液流通量的贡献,并结合对同步气象因子的观测,分析冠基部、树杆基部液流通量与 ET_0 间的关系,从而明确新疆杨边材贮存水分参与液流传输的过程、方式及其变化,这将对更客观地了解新疆杨的水分利用特征、进一步认识树木应对干旱的策略具有重要意义。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

试验地位于黄土丘陵沟壑第 V 副区的甘肃省定西市石家岔流域,地理位置 N35°43', E104°39', 属中温带半干旱区,平均海拔 2218m, 多年平均降水量 427mm, 年内分配极不均匀,主要集中在 7、8、9 三个月。多年平均气温 7℃, 年均 $\geq 5^\circ\text{C}$ 活动积温 2933.5℃, 年均 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温 2239.1℃, 年日照时数 2409 h, 无霜期为 141 d。土壤类型为黄绵土, 流域内土地利用类型以梯田、林地、荒山草地为主, 灌木以柠条为主, 乔木以新疆杨、山杏为主, 适应性强, 长势良好。

1.2 研究方法

1.2.1 材料选择

对新疆杨水土保持人工林(农田地边同一年单行栽植, 株距 3m)选择 30 株进行每木检尺, 调查胸径(围尺)、树高(标尺)、冠高(标尺)。调查结果显示林分平均胸径为 (13.40 ± 0.2) cm, 平均树高 (6.16 ± 0.40) m, 冠高 (1.98 ± 0.40) m。由于立地条件基本一致, 胸径生长量差异较小, 加上 TDP 探针线长的限制, 本研究中选择树杆通直、生长旺盛的一株为试验材料来连续测定其不同高度处液流通量的变化。样株胸径、树高分别为 13.32cm 和 6.10m, 在冠基部与杆基部选定位置做好标记, 量取所在位置的高度、直径(表 1)。调查结束后用生长锥分别钻取相应位置处南北、东西向的木芯, 用千分尺分别测量皮、韧皮部, 边材、心材宽度并计算边材面积。

1.2.2 TDP 安装与测定

采用 Granier 原理设计的 TDP-20mm 热电藕探针, 探针直径 1.2mm, 加热电阻 55Ω, 加热电压为 2.0V。分别在冠基部与杆基部的树杆位置安装 TDP-20mm 探针。安装时间为 2011 年 4 月 27 日, 安装、隔热、防水等步骤见文献^[13], 调试运行正常后, 记录 6—9 月完整的数据。采用 220V 交流转接 12V 铅酸蓄电池连续供电, 数

据采集、记录间隔时间分别为 30s 和 5min(英国 SQ2020 数采器)。液流通量(Q , L/h)的计算采用 Granier 公式, $\Delta T_{\max}$ 计算时间步长为 7d^[12-14]。

表 1 新疆杨样株基本情况

Table 1 Schedule of description of *Populus bolleana* sample trees

探针位置 Probe position	探针型号 Probe type	探针距地高度 Height /m	树杆直径 Diameter/cm	边材面积 Sapwood area/cm ²
冠基部 Crown base	TDP-20mm	4.16	8.91	42.37
杆基部 Stem base	TDP-20mm	0.43	14.64	134.49

1.2.3 环境要素的测定与记录

选择距林分约 50m 的空旷地安装 RR-9150 型五要素自动小型气象站,环境要素测定的类目及传感器类型主要包括:太阳净辐射(AV-71NR 传感器, W/m²),大气温、湿度(AV-10TH, T_a , °C; RH , %),风速(AV-30WS, m/s),雨量(AV-3665, mm),各传感器安装高度为 2m,数据采集、记录间隔时间同 TDP。

1.2.4 ET_0 计算

ET_0 根据 FAO Penman-Monteith 方法计算(式(1)),在以天为步长计算 ET_0 时,参数的选择 $C_n=900$, $C_d=0.34$;在以小时步长的计算中, $C_n=37$, C_d 的取值在白天(6:00—20:00)为 0.24,晚间(21:00—5:00)为 0.96。土壤热通量 G 的计算按照以小时为时间尺度计算时的精度要求,以固定系数乘以净辐射计算而得,该系数在白天、晚间分别取 0.5 和 0.1^[15-16]:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d \times U_2)} \quad (1)$$

1.3 数据分析

采用 OriginPro 8.5 程序中的线性与非线性拟合方法建立各指标变量间的回归关系及统计分析。

2 结果与分析

2.1 典型晴天日新疆杨单株液流通量的日变化格局

典型晴天日新疆杨单株液流通量的日变化基本上与太阳辐射、大气蒸发潜力呈一致的格局(图 1),其中冠基部液流通量(Q_u , L/d)在各季节较稳定,6—9 月日平均值在(7.61±0.65) L/d,而杆基部液流通量(Q_d , L/d)变化较大,其日平均值为(7.73±1.76) L/d。其中 6—8 月三月份, Q_u 日平均值基本上高于 Q_d ,其差值分别为 0.68、2.24、0.02 L/d,其中以 7 月份差值最大,但到了 9 月份, Q_d 日均值却比 Q_u 高 1.17 L/d,不同部位液流通量日均值的这种差异表明新疆杨可能并不一定谋求每日取得体内水分的“绝对”平衡,新疆杨这种忍耐日内水分“不平衡”的能力可能是反映其抵御干旱能力的一种很好的指标。

从图 1 还可以看出,在 8 月 21 日之后的典型晴天日, Q_d 从先前较显著的低于 Q_u (其中 8 月 1—20 日平均低 1.42 L/d)转变为明显的超越(8 月 21—31 日间日平均高 1.07 L/d),而同步观测发现恰逢此日前连续有 7d 计 13mm 的降水,这说明在 8 月 21 日前土壤水分亏缺的状况下,新疆杨总是通过利用体内贮存水分保证冠层蒸腾的需求,而在此后当土壤水分状况得到明显改善时,杆基部液流通量明显增加,从而快速弥补体内水分贮存的平衡。事实上,9 月份的 8 日、12 日、23 日、29 日 4d 中 Q_d 均较明显地超过了 Q_u ,而各日前均有连续多日的降雨(分别为 7.7、1.0、14.4、1.7mm)相对应,证实降雨(从而引起土壤水分状况的改善)是新疆杨平衡体内水分贮存状况的主要驱动力。

统计还表明,在 8 月 21 日前,杆基部在夜间的液流活动明显高于冠基部,前者在 6、7、8 月份(8 月 21 日前)分别占全天液流量的 35.36%、33.36% 和 31.98%,而在 8 月份(8 月 21 日后)、9 月份下降到 6.72% 和 7.99%,调查期间冠基部夜间液流占全天液流量的比例基本维持在 4.67%—6.54% 间,这也从另一角度说明在土壤水分对树木蒸腾抑制的时期内(8 月 21 日前),由于旺盛的冠层蒸腾而树木不得不利用体内贮存水分

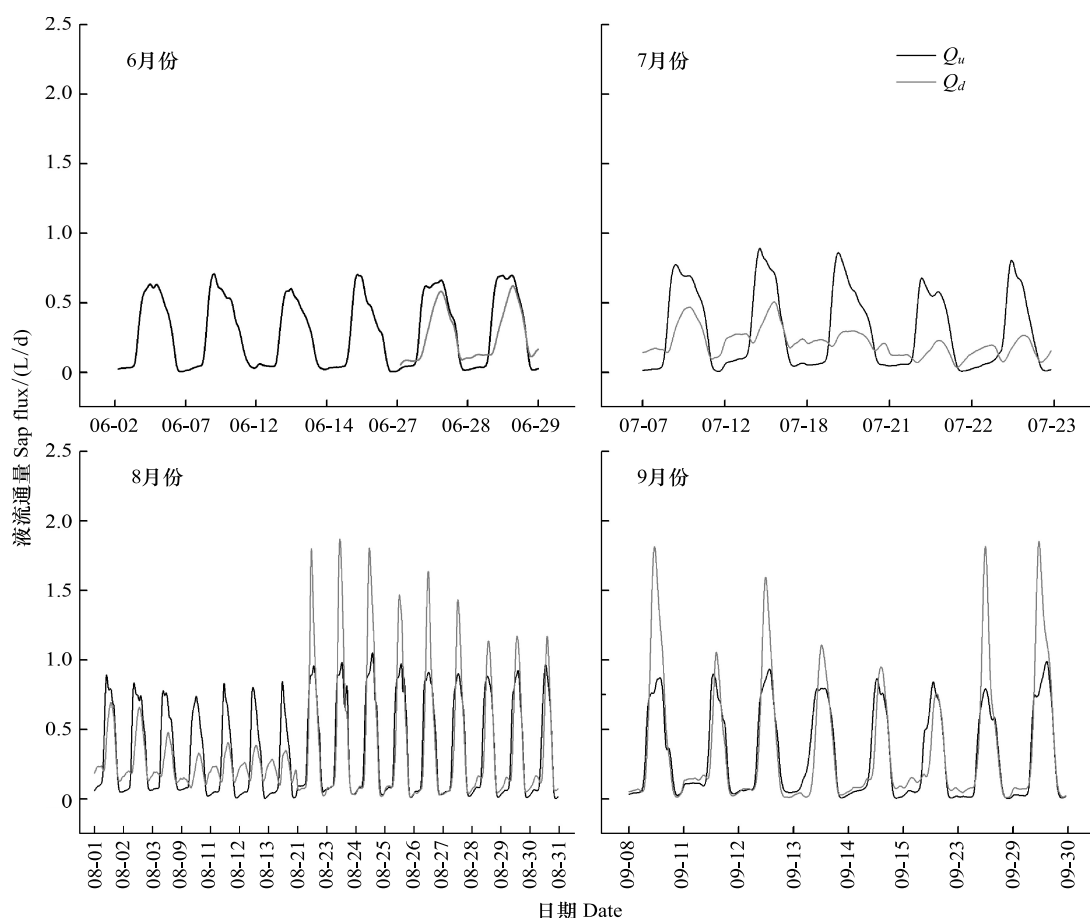


图1 树干不同高度处液流通量(冠基部 Q_u 、杆基部 Q_d) 的日变化格局比较

Fig.1 Comparison of sap flux diurnal pattern at crown base(Q_u) and stem base(Q_d)

时,树木在夜间仍通过较强的夜间液流来弥补体内水分的亏缺,尽管这种活动在很多时日仍不足以完全使体内水分达到平衡状态。在土壤水分得到有效改善(往往要通过连续降雨而并非短时的强降雨)后,杆基部夜间液流迅速下降,基本与冠基部夜间液流所占比例相当,这也证明体内水分亏缺仍然是夜间液流活动的主要驱动力。

2.2 主要生长季单株日液流量的季节变化格局

为了综合分析不同天气状况下液流通量的变化,对6—9月新疆杨单株 Q_u 、 Q_d 及 ET_0 的累积变化过程进行分析,可以看出,各月 Q_u 、 Q_d 的累积过程与 ET_0 间有同步增加的总体趋势(图2),但这种同步的趋势并没有典型晴天日的紧密,这主要与期间不同的天气状况(晴天、云天、阴天)及降水的影响有关。6月份, Q_d 累积明显高于 Q_u (日均值分别为8.33和6.23 L/d),树木体内水分得到补充,冠基部液流累积近直线上升,表现一种“独立”于体内水分变化的趋势,可能与其冠层整体相对较弱的蒸腾过程有关。7、8月份,大气蒸发趋于加强, Q_u 累积反而明显高于 Q_d (日均值7月份分别为6.87和4.66 L/d,8月份分别为6.99和5.98 L/d),树木体内水分处于“失水”过程。9月份, Q_u 累积又回到了略低于 Q_d 的状态(日均值分别为6.19和7.63 L/d),不过由于该月连续几场降雨的原因,液流累积过程曲线均与 ET_0 的变化较近似。

2.3 大气蒸发对单株日液流通量的驱动

为了进一步分析大气蒸发需求对新疆杨液流活动的驱动,根据对太阳辐射的日变化过程分析,把每日的天气状况划分为典型晴天、有云天和阴天三类,分析不同天气状况下液流通量与 ET_0 间的关系,结果表明:在各种天气状况下, Q_u 对 ET_0 变化的响应要比 Q_d 的响应紧密(分布点相对集中),随着天气从阴天、云天到典型

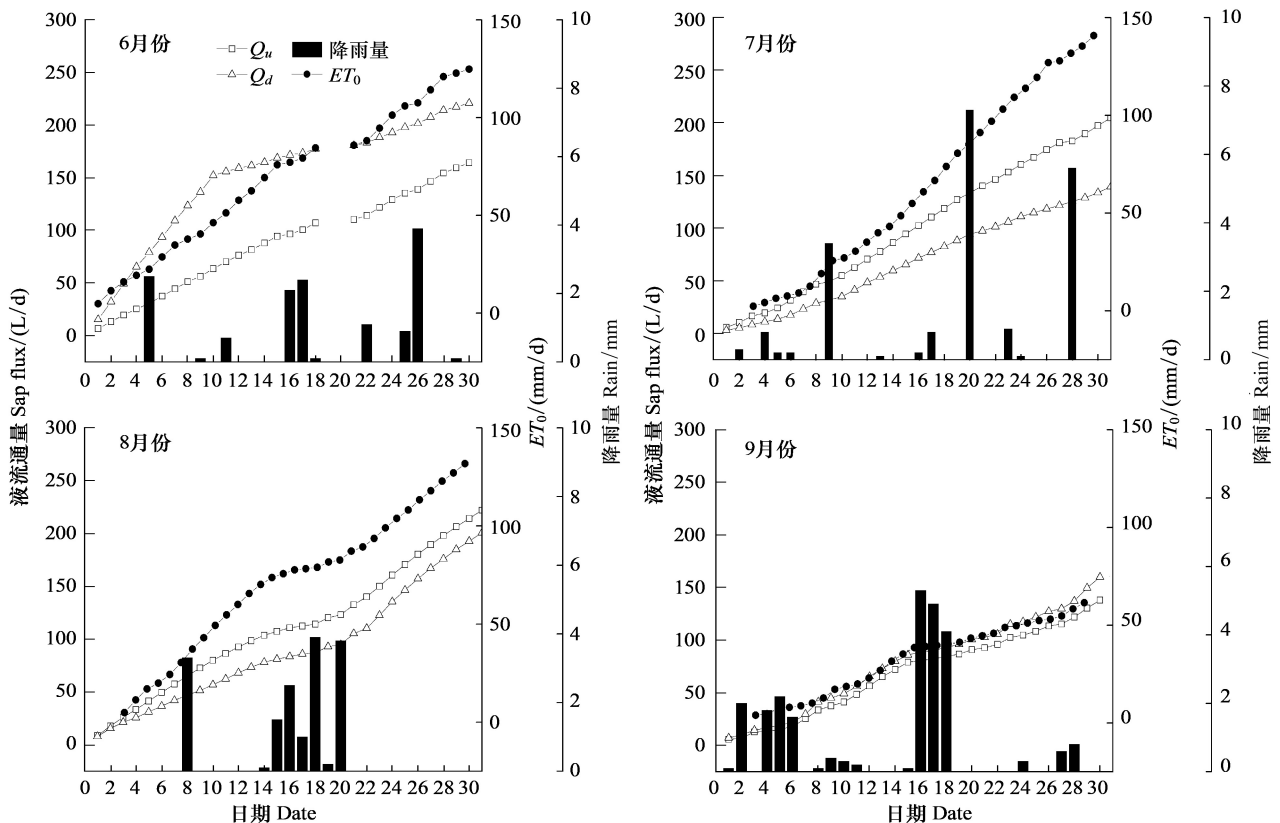


图2 树干液流量(冠基部 Q_u 、杆基部 Q_d) 累积过程(6月19—21三天数据缺失)

Fig.2 Cumulative process of Q_u , Q_d (data missed on 19—21 th in June)

晴天,冠、杆基部液流量与 ET_0 间整体上均呈正比例关系($Q_u = 1.454 \times ET_0 + 1.42$; $Q_d = 1.316 \times ET_0 + 1.52$),但是当 ET_0 约大于 5 mm/d 时,随着 ET_0 的继续增加,液流量不再增加或有下降,这表明过强的大气蒸发反面会限制树木过度蒸腾耗水,这可能是该地区新疆杨应对干旱的一种策略。对于当 ET_0 超过 5.0 时,晴天冠、杆基部液流日平均通量为什么会出现低于之前的情况,其主要原因可能是当遇到大气蒸发强烈的天气状况时,树木液流速率会及早地达到日峰值而限制液流的继续增加,这也是为什么有时云天液流日平均通量会高于典型晴天日的主要原因。

2.4 基于 ET_0 的新疆杨单株日液流量估算模型

前面研究已经表明,冠基部液流量(Q_u)不仅与大气蒸发潜力间有较紧密的关联(图3),而且受土壤水分(降水)的影响小(图1),因而是排除体内水分利用量影响、作为衡量单株日液流量估算的很好的指标。据此,利用6—9月份主要生长季节的数据,根据 Logistic 函数式建立了基于 ET_0 的整个生长季液流的估算模型:

$$Q_u = \frac{A_1 - A_2}{1 + (ET_0 / ET'_0)^p} + A_2 \quad (2)$$

式中 A_1 、 A_2 、 p 、 ET'_0 为模型参数,其中 A_1 、 A_2 分别表示最低和最高液流日平均通量, ET'_0 代表变量 Q_u 随 ET_0 变化最快时的自变量值。拟合结果显示(图4),参数 A_1 为 1.26 L/d (不为零),主要代表了夜间液流量,参数 A_2 值为 7.82 L/d ,代表了试验期间新疆杨单株日液流量能达到的最大值(一般在晴天日);参数 A_2 值为 1.78 mm/d ,是 Q_u 随 ET_0 变化最快时的自变量值,即 ET_0 约在 1.78 mm/d 时, Q_u 对 ET_0 变化的响应最明显,可以看出在整个 $ET_0 \leq 3 \text{ mm}$ 的区间内 Q_u 对 ET_0 的响应一直比较强烈,当 ET_0 大于 5 mm/d 后,在气孔调控及根系吸水能力的共同作用下,液流增幅明显减缓并趋于稳定(图4),可以认为 ET_0 大于 5 mm 是该地区新疆杨

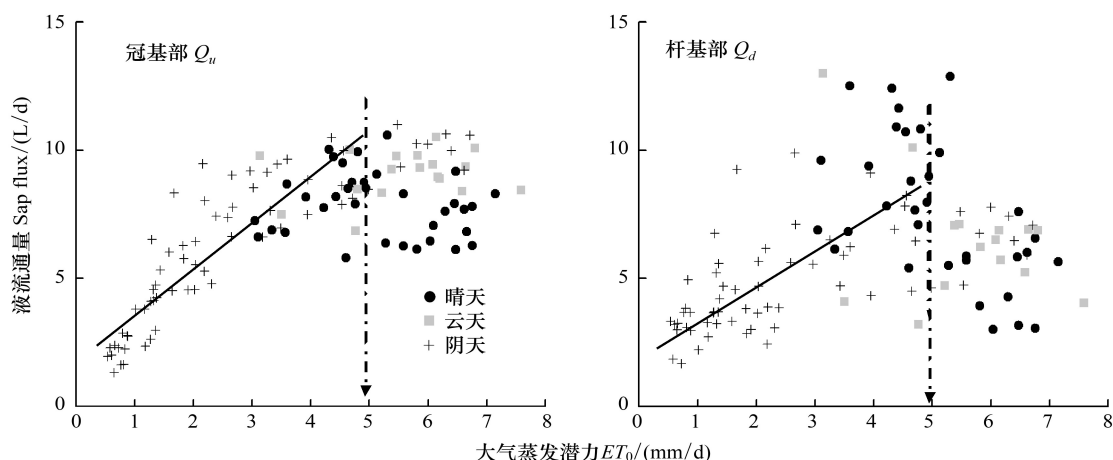


图3 不同天气下液流量(冠基部 Q_u 、杆基部 Q_d)与 ET_0 的关系

Fig. 3 Relationship of Q_u and Q_d with ET_0 in sunny, few clouds, cloudy days

启动水分调控机制的气象条件阈值。

3 结论与讨论

新疆杨冠基部的液流量是估算单株液流量较稳定的指标,这一值在6—9月的典型晴天日其日平均值为 (7.61 ± 0.65) L/d,而杆基部液流量在不同季节变化较大,在6—8前3个月,其典型晴天日的日平均值基本低于冠基部的日平均液流量,树木处于失水过程,但在得到连续多日降雨后的晴天(8月下旬之后)会迅速增加而超过冠基部液流量。新疆杨通过这种不同季节间体内水分的利用与“补偿”,一方面维持了体内水分的总体平衡与循环,另一方面保持冠基部液流的基本稳定,从而保证了生理活动的健康稳定。

在土壤水分亏缺较严重的季节(8月21日前),新疆杨通过杆基部较强的夜间液流活动来减缓日间强烈的蒸腾失水带来的体内水分亏缺,而在得到连续多日降雨、土壤水分状况得到有效改善后,夜间液流的比例由先前占全天液流总量的 31.98%—35.36% 下降到 6.72%—7.99%,这一值与冠基部夜间液流比例 4.67%—6.54% 基本相当,进一步证实夜间液流活动是树木维持体内水分平衡的主要机制之一。

从对每个月的整体分析来看(包括晴、云、阴天),6月份,杆基部液流量累积速率稍高于冠基部,树木体内水分能得到较充分的补充,而在大气蒸发趋于加强、冠层器官发育更趋于完善的7、8月份,冠基部液流量累积速率明显高于杆基部,树木体内水分处于失水过程,直至土壤水分得到有效改善的9月份,杆基部液流量略高于冠基部液流,冠、杆基部液流的这种变化反映了树体内水分参与液流循环的方式与过程。

冠基部液流量对大气蒸发潜力变化的响应要比杆基部更加紧密,树体内水分参与液流循环是削弱杆基部液流量变化对 ET_0 响应关系紧密度的主要原因。当 ET_0 超过 5 mm/d 时,新疆杨冠、杆基部液流量均表现出不再增加或下降的趋势,显示了树木主动保护、抵御干旱的策略。冠基部液流量与 ET_0 间的关系可用 Logistic 方程得到较好的拟合,为通过气象因子估算树木耗水量提供了可靠的模型,当 ET_0 达到 1.78 mm/d 的天气里,冠基部液流量对大气变化的响应最灵敏,而在 ET_0 增加到能达到 5 mm/d 的天气状况,液流会受到

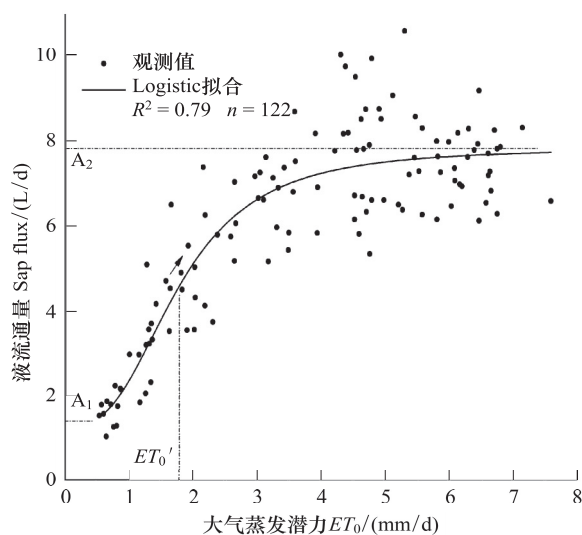


图4 冠基部液流量(Q_u)与 ET_0 间的关系

Fig. 4 Relationship of sap flux at crown base (Q_u) with ET_0

明显抑制而总量不再增加甚至会降低,试验样株冠基部液流日平均通量的上限约为 7.82 L/d。

计算表明,新疆杨单株在云、阴天的冠基部液流日平均通量分别较晴天低 0.41、2.71 L/d,虽然严格地区别云天和阴天甚至晴天是很难做到的,但这种划分仍然有助于甄别大气蒸发需求对树木液流启动及其整个过程的驱动方式。根据文献^[17]测定的新疆杨叶面积指数的季节变化特征,计算得出基于 Q_u 计算的 T/ET_0 在 8 月下旬连续降雨之前为 0.32,之后增加到 0.47,可见土壤水分改善对液流量的贡献明显,有研究表明刺叶栎 (*Quercus ilex*) 在干旱年份为 0.05—0.27^[18],油橄榄 (*Olea europaea* L. cv. Chétoui) 是 0.53^[19],桉树人工林达到 0.79^[20],而我国学者利用涡动相关法对草地系统的测定在 0.12—0.56^[21]。

References:

- [1] Tognetti R, Andria R, Morelli G, Calandrelli D, Fragnito F. Irrigation effects on daily and seasonal variations of trunk sap flow and leaf water relations in olive trees. *Plant Soil*, 2004; 249-264.
- [2] Kumagai T, Aoki S, Otsuki K, Utsumi Y. Impact of stem water storage on diurnal estimates of whole-tree transpiration and canopy conductance from sap flow measurements in Japanese cedar and Japanese cypress trees. *Hydrol Process*, 2009, 2344 (June); 2335-2344.
- [3] Cienciala E, Kucera J, Malmer A. Tree sap flow and stand transpiration of two *Acacia mangium* plantations in Sabah, Borneo. *J Hydrol*, 2000, 236; 109-120.
- [4] Egea G, Baille A, Martín B, Nortes P A, González-Real M M. Do short term sap flow measurements scale with leaf transpiration? A case study on Cucumis Sativus plants. *ISHS Acta Horticulturae* 846: VII International Workshop on Sap Flow, 2009; 127-134.
- [5] Bequet R, Cermak J, Nadezhdina N, De Canniere C, Ceulemans R. Tree water dynamics non-destructively assessed through sap flow measurements and potential evapotranspiration. *Biol Plantarum*, 2010, 54(2); 366-368.
- [6] Waring R H, Running S W. Sapwood water storage: its contribution to transpiration and effect upon water conductance through the stems of old-growth Douglas-fir. *Plant, Cell & Environment*, 1978, 1(2); 131-140.
- [7] Holbrook N M, Sinclair T R. Water balance in the arborescent palm, *Sabal palmetto*. II. Transpiration and stem water storage. *Plant, Cell & Environment*, 1992, 15(4); 401-409.
- [8] Gartner K, Nadezhdina N, Englisch M, Cermak J, Leitgeb E. Sap flow of birch and Norway spruce during the European heat and drought in summer 2003. *Forest Ecol Manag*, 2009, 258(5); 590-599.
- [9] Lei H, Zhi-shan Z, Xin-rong L. Sap flow of *Artemisia ordosica* and the influence of environmental factors in a revegetated desert area; Tengger Desert, China. *Hydrol Process*, 2010, 24(10); 1248-1253.
- [10] Liu R, Shi Y Z. *Gansu Populus*. Lanzhou: Lanzhou university press, 1995;143-145.
- [11] Granier A. A new method of sap flow measurement in tree stems. *Annales Des Sciences Forestieres*, 1985, 42(2); 193-200.
- [12] Granier A. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiol*, 1987, 320; 309-320.
- [13] Dang H Z, Zhang J S, Zhao Y S. Application of the thermal dissipation probe technique in studying the sap flow in taproot of *Caragana korshinskii*. *Scientia Silvae Sinicae*. 2010,46(3);31-38
- [14] Lu P, Urban L, Zhao P. Granier's thermal dissipation probe (TDP) method for measuring sap flow in trees: theory and practice. *Acta Botanica Sinica*, 2004, 46(6); 631-646.
- [15] Allen R G, Pereira L S, Raes D, Smith M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 1998(56); 1-465.
- [16] Allen R G, Pruitt W O, Wright J L, Howell T A, Ventura F, Snyder R, Steduto P, Berengena J, Yrisarry J B, Smith M, Pereira L S, Raes D, Perrier A, Alves I, Walter I, Elliott R. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference et. *Agr Water Manage*, 2006, 81; 1-22.
- [17] Sang Y Q, Guo F, Zhang J S, Meng P, Gao J. Variation in transpiration of *Populus bolleana* and the influence factors in Maowusu sandy area. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009,45(9);66-71
- [18] Infante J M, Domingo F, Fernández Alés R, Joffre R, Rambal S. *Quercus ilex* Transpiration as affected by a prolonged drought period. *Biol Plantarum*, 2003, 46(1); 49-55.
- [19] Charfi C, Masmoudi M, Abid-karray J, Ben N. Sap flow measurements in young olive trees (*Olea europaea* L.) cv. Chétoui under Tunisian conditions. *Sci Hortic-Amsterdam*, 2011, 129(4); 520-527.
- [20] Nizinski J J, Galat G, Luong A G. Water balance and sustainability of eucalyptus plantations in the Kouilou basin (Congo-Brazzaville). *Russ J Ecol+*, 2011, 42(4); 305-314.
- [21] Hu Z M, Yu G R, Zhou Y L, Sun X M, Li Y N, Shi P L, Wang Y F, Song X, Zheng Z M, Zhang L, Li S G. Agricultural and forest meteorology partitioning of evapotranspiration and its controls in four grassland ecosystems: Application of a two-source model. *Agr Forest Meteorol*, 2009, 149(9); 1410-1420.

参考文献:

- [10] 刘榕, 史元增. 甘肃杨树. 兰州: 兰州大学出版社, 1995;143-145.
- [13] 党宏忠, 张劲松, 赵雨森. 应用热扩散技术对柠条锦鸡儿主根液流速率的研究. *林业科学*, 2010, 46(3); 31-38.
- [17] 桑玉强, 郭芳, 张劲松, 孟平, 高峻. 毛乌素沙地新疆杨蒸腾变化规律及其影响因素. *林业科学*, 2009, 45(9); 66-71.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 24 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

A bibliometric study of biodiversity research in China	LIU Aiyuan, GUO Yuqing, LI Shiyong, et al (7635)
Effects of elevated CO ₂ and nitrogen deposition on leaf nutrient quality of <i>Fargesia rufa</i> Yi	 ZHOU Xianrong, WANG Jianhua, ZHANG Hong, et al (7644)
Airborne pollen assemblages and their relationships with climate factors in the central Shaanxi Province of the Loess Plateau: a case in Xiaheimugou, Luochuan County	LÜ Suqing, LI Yuecong, XU Qinghai, et al (7654)
Spatial and temporal change in ecological assets in the Yangtze River Delta of China 1995—2007	 XU Xibao, CHEN Shuang, YANG Guishan (7667)
Evaluation and optimization of woodland ecological patterns for Qingdao based on the agent-based model	 FU Qiang, MAO Feng, WANG Tianqing, et al (7676)
Interactive mechanism of service function of alpine rangeland ecosystems in Qinghai-Tibetan Plateau	 LIU Xingyuan, LONG Ruijun, SHANG Zhanhuan (7688)
Preliminary evaluation of air temperature reduction of urban green spaces in Beijing	 ZHANG Biao, GAO Jixi, XIE Gaodi, et al (7698)
Resources metabolism analysis for the pulp and paper industry in Wuhan, China	 SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, ZHAO Linjia, et al (7706)
The characteristics and influential factors of direct carbon emissions from residential energy consumption: a case study of Lijiang City, China	WANG Danyin, TANG Mingfang, REN Yin, et al (7716)
Spatial targeting of payments for ecosystem services Based on SWAT Model and cost-benefit analysis	 SONG Xiaoyu, LIU Yuqing, DENG Xiaohong, et al (7722)
The wind tunnel test of plastic greenhouse and its surface wind pressure patterns	 YANG Zaiqiang, ZHANG Bo, XUE Xiaoping, et al (7730)
Population quantitative characteristics and dynamics of rare and endangered plant <i>Davidia involucrata</i> in Hunan Province	 LIU Haiyang, JIN Xiaoling, SHEN Shouyun, et al (7738)
Phenotypic diversity in populations of germplasm resources of <i>Rodgersia sambucifolia</i> and related species	 LI Pingping, MENG Hengling, CHEN Junwen, et al (7747)
Effects of sand burial and seed size on seed germination, seedling emergence and growth of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. (Fabaceae) ...	 YANG Huiling, LIANG Zhenlei, ZHU Xuanwei, et al (7757)
Population-keeping mechanism of the parasitoid <i>Dastarcus helophoroides</i> (Coleoptera: Bothrideridae) of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) in oak forest	YANG Zhongqi, TANG Yanlong, JIANG Jing, et al (7764)
Study of mingling based on neighborhood spatial permutation	LOU Minghua, TANG Mengping, QIU Jianxi, et al (7774)
Comparison of three regression analysis methods for application to LAI inversion using Hyperion data	 SUN Hua, JU Hongbo, ZHANG Huaiqing, et al (7781)
Response of seed germination and seedling growth of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Quercus mongolica</i> to comprehensive action of warming and precipitation	ZHAO Juan, SONG Yuan, SUN Tao, et al (7791)
Impacts of water stored in sapwood <i>Populus bolleana</i> on its sap flux	DANG Hongzhong, LI Wei, ZHANG Youyan, et al (7801)
Dynamics of greenhouse gases emission and its impact factors by fire disturbance from <i>Alnus sibirica</i> forested wetland in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China	GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen (7808)
Different tide status and salinity alter stoichiometry characteristics of mangrove <i>Kandelia candel</i> seedlings	 LIU Biner, LIAO Baowen, FANG Zhanqiang (7818)
Effects of shrub encroachment in desert grassland on runoff and the induced nitrogen loss in southeast fringe of Tengger Desert	 LI Xiaojun, GAO Yongping (7828)
Community structure and throughfall erosivity characters of artificial rainforest in Xishuangbanna	 DENG Yun, [TANG Yanlin], CAO Min, et al (7836)
Temporal-spatial variations of net ecosystem productivity in alpine area of southwestern China	 PANG Rui, GU Fengxue, ZHANG Yuandong, et al (7844)

Relationships between chemical compositions of <i>Quercus</i> species seeds and climatic factors in temperate zone of NSTEC	LI Dongsheng, SHI Zuomin, LIU Shirong, et al (7857)
Effects of simulated acid rain stress on the PS II reaction center and free radical metabolism in leaves of longan	LI Yongyu, PAN Tengfei, YU Dong, et al (7866)
Assessment of organic pollution for surface soil in Shenyang suburbs	CUI Jian, DU Jizhong, MA Hongwei, et al (7874)
The impact of rainfall on soil respiration in a rain-fed maize cropland	GAO Xiang, HAO Weiping, GU Fengxue, et al (7883)
Effects of winter crops on enzyme activity and morphological characteristics of root in subsequent rice crops	YU Tianyi, PANG Huancheng, REN Tianzhi, et al (7894)
Dynamic changes of soil moisture and nitrate nitrogen in wheat and maize intercropping field under different nitrogen supply	YANG Ruiju, CHAI Shouxi, MA Zhongming (7905)
Characteristics of the bird diversity and the impact factors in Weishan Lake	YANG Yuewei, LI Jiuen (7913)
The effect of cropping landscapes on the population dynamics of the cotton bollworm <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera, Noctuidae) in the northern Xinjiang	LU Zhaozhi, PAN Weilin, ZHANG Xin, et al (7925)
The seasonal variations of nitrogen and phosphorus release and its fluxes from the sediments of the Beili Lake in the Hangzhou West Lake	LIU Jingjing, DONG Chunying, SONG Yingqi, et al (7932)
Optimization of lake model salmo based on real-coded genetic algorithm	GUO Jing, CHEN Qiuwen, ZHANG Xiaoqing, et al (7940)
The influence of climatic environmental factors and fishing pressure on changes of hairtail catches in the northern South China Sea	WANG Yuezhong, SUN Dianrong, CHEN Zuozhi, et al (7948)
Seasonal and spatial distribution of acid volatile sulfide in sediment under different mariculture types in Nansha Bay, China	YAN Tingru, JIAO Haifeng, MAO Yuze, et al (7958)
Review and Monograph	
Research progress on the mechanism of improving plant cold hardiness	XU Chengxiang (7966)
Influences of vegetation on permafrost: a review	CHANG Xiaoli, JIN Huijun, WANG Yongping, et al (7981)
Home-field advantage of litter decomposition and its soil biological driving mechanism: a review	ZHA Tonggang, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (7991)
Research progress on the relationship of pollutants between road-deposited sediments and its washoff	ZHAO Hongtao, LI Xuyong, YIN Chengqing (8001)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

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 24 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 24 (December, 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: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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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